

"AÑO DE LA REFORESTACION: CIENTO MILLONES DE ARBOLES"

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



"Evaluación y Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua de la Ciudad de Chiclayo"

INFORME DE INGENIERIA

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO SANITARIO

VERONICA BERTHA HUAMAN PRIETO

LIMA - PERU

1997

AGRADECIMIENTO

A MIS PADRES.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres Emilio Huamán H. y Violeta Prieto F. por su apoyo constante ya que a través del presente ven cristalizados uno de sus objetivos.

A EPSEL.SA.

A la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque EPSEL.SA., en la persona de todos sus dignos representantes y al personal operativo de Planta, por su apoyo y colaboración.

A MI PROFESOR ASESOR Y AMIGOS

Al Ing. Victor Maldonado Yactayo, por su orientación y asesoramiento profesional en la elaboración del presente informe.

A mis amigos de la ciudad de Lima y Chiclayo por su sana y franca amistad

Prólogo

El agua es en todos los ámbitos de la vida un elemento fundamental, que se encuentra en un ciclo natural constante. Esta circulación en la naturaleza es un factor importante para su autodepuración, sin embargo es también una de las causas esenciales de la propagación de sustancias nocivas, las cuales son absorbidas por el agua en su recorrido por aire y tierra.

Debido al aumento de la población mundial, la industrialización y la intensa actividad agrícola, la contaminación del agua se ha transformado en un problema de interés mundial, por lo tanto resulta una de las principales funciones de la ingeniería sanitaria proteger el agua lo mejor posible.

Un sistema de abastecimiento de agua es eficiente si el producto que se brinda como es el líquido elemento agua reúne las condiciones sanitarias para ser considerada apta para consumo humano además de satisfacer la demanda de la población a la se sirve brindándola con las condiciones de cantidad, cobertura, continuidad y calidad.

Actualmente la Planta de Tratamiento de Agua, es la principal fuente de producción de agua potable de Chiclayo, la misma que presenta deficiencias como es la de no satisfacer la demanda de la población en cantidad, ni cobertura ya que su servicio es intermitente, respecto a la calidad del agua se cumplen con los rangos permisibles.

El presente Informe de Ingeniería es una descripción de los trabajos de evaluación llevados a cabo a las unidades de la planta de tratamiento de la ciudad de Chiclayo con la finalidad comprobar sus deficiencias y lograr su optimización aumentando su capacidad de producción.

En la primera parte del presente Informe, se realiza un estudio de las características de la población y la localidad, posteriormente se ha recopilado información de proyección de la población al año 2010; asimismo, se hace una descripción detallada de todo el sistema de captación de agua cruda hacia la planta y de las características de las unidades de tratamiento.

En la etapa de evaluación se han determinado mediante pruebas de campo y a nivel de laboratorio los parámetros requeridos, teóricos y reales con los que opera la planta.

Cabe mencionar que anteriormente la planta de Chiclayo ha sido evaluada por otras empresas consultoras, por lo que en este trabajo se han determinado y comprobado las características más determinantes causantes de las deficiencias, los trabajos anteriores han servido de guía.

En la etapa final del presente informe se presenta un Anteproyecto para la optimización de la planta para un caudal de 1,000 l/s.

TEMARIO

“EVALUACION Y OPTIMIZACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA CIUDAD DE CHICLAYO.”

Contenido:

Capítulo 1: Introducción	
1.1	Objetivos del estudio	2
1.1.1	Objetivo General	2
1.1.2	Objetivos Específicos	2
1.2	Antecedentes Bibliográficos	2
1.2.1	Plan Maestro - Estudios Definitivos para la Ampliación y Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable	2
1.2.2	Estudios de factibilidad para el abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Chiclayo	3
1.2.3	Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Chiclayo	3
1.2.4	Anteproyecto : Planta de Tratamiento de Agua Potable de Chiclayo	4
1.2.5	Estudio de factibilidad de la Ciudad de Chiclayo	4
1.2.6	Plan Director de la Ciudad de Chiclayo	5
Capítulo 2: Características de la Localidad	7
2.1	Ubicación	8
2.2	Clima	8
2.3	Características Topográficas	9
2.4	Principales Servicios con que cuenta	9
2.5	Análisis Poblacional	9
2.5.1	Población Actual	9
2.5.2	Proyección de la Población	10
2.5.3	Desarrollo Urbano	10
2.5.4	Planeamiento Urbano	11
2.5.5	Uso del suelo	12
Capítulo 3: Información Socioeconómica	13
3.1	Actividades Económicas	14
3.2	Organización de la Empresa	14

Capítulo 4: Investigaciones Preliminares	18
4.1 Aspectos Básicos del Sistema de Agua Potable.....	19
Capítulo 5: Sistema de Abastecimiento de Agua	21
5.1 Si tema de abastecimiento de agua cruda	22
5.1.1 El Sistema de Riego del Valle Chancay - Lambayeque	22
5.1.2 La Bocatoma Raca-Rumi	22
5.1.3 Canal Alimentador	22
5.1.4 La Cascada	23
5.1.5 El Reservorio Tinajones	23
5.1.6 Canal de Descarga	23
5.1.7 El Repartidor La Puntilla	23
5.1.8 El Desarenador Desaguadero	24
5.1.9 El Repartidor Desaguadero	24
5.1.10 Toma Santeño	24
5.1.11 Toma Bola de Oro	24
5.1.12 Toma Botador	25
5.1.13 Las Lagunas Boró I y Boró II	25
5.1.14 Línea de Conducción Boró II - Chéscope - Planta de Tratamiento	26
5.2 Aguas subterráneas	26
5.3 Fuentes alternativas de agua cruda	27
5.4 Distribución del Agua Potable	27
5.5 Demanda de Agua Potable y su Cobertura	27
5.6 Diagnóstico de la Problemática del Sistema de Abastecimiento actual de la Ciudad de Chiclayo	28
Capítulo 6: Calidad del Agua	29
6.1 Normas Legales referentes a la Calidad del Agua Cruda y Potable	30
6.2 Características Físicas, Químicas y Microbiológicas del agua	30
6.3 Calidad de Agua de la Fuente de Abastecimiento	32
6.3.1 Fuente de agua Boró I	33
6.3.2 Fuente de agua Boró II	34
6.3.3 Fuente de agua Toma Chéscope	34
6.4 Descripción del Proceso de Potabilización del agua	35
6.4.1 Proceso de Potabilización del Agua en la Ciudad de Chiclayo	36
6.4.2 Parámetros fundamentales para el proceso de Potabilización	37
Capítulo 7: Descripción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Chiclayo	38
7.1 Descripción General de la Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo	39
7.2 Edificio Central, Laboratorio, Administración	40
7.3 Llegada de Agua Cruda	40
7.4 Alternativas de Alimentación de Agua Cruda a la P.T.A.Chiclayo	40
7.5 Almacenamiento de Productos Químicos	41
7.6 Dosificación de Productos Químicos de Tratamiento	41
7.7 Cámara de Mezcla Rápida	41
7.8 Unidad de Floculación	42

7.9	Unidad de Decantación	42
7.10	Unidad de Filtración	43
7.11	Sistema de Lavado	44
7.12	Sistema de Desinfección	45
7.13	Reservorios de Almacenamiento de Agua Potable	45
7.14	Estación de Bombeo N°2 (Equipos de Bombeo de 200 H.P .)	45
7.15	Macromedición	46
 Capítulo 8: Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua		47
8.1	Programa de Evaluación	48
8.2	Calidad	48
8.2.1	Calidad de Agua de la Fuente : Toma Chéscope	49
8.2.2	Calidad de Agua de la Fuente : Boró I	50
8.2.3	Calidad de Agua de la Fuente : Boró II	51
8.3	Procesos de Tratamiento requeridos	52
8.4	Determinación de Parámetros Optimos requeridos para Filtración	
8.4.1	Rápida Completa	52
	Determinación de Parámetros Optimos de Dosificación	53
8.4.2	Determinación de Parámetros Optimos de Floculación	56
8.4.3	Determinación de Parámetros Optimos de Decantación	59
8.4.4	Resumen de los resultados	61
8.5	Resultado de la evaluación de las unidades del Módulo Norte de la Planta de Tratamiento de Chiclayo	62
8.5.1	Evaluación de la Dosificación y manejo de sustancias químicas	62
8.5.2	Evaluación del Proceso de Mezcla rápida	66
8.5.3	Distribución de caudal al Floculador	69
8.5.4	Evaluación del Proceso de Floculación.....	69
8.5.5	Evaluación del Proceso de Decantación	77
8.5.6	Evaluación del Proceso de Filtración	78
8.5.7	Evaluación del Proceso de Desinfección	86
 Capítulo 9: Anteproyecto para la Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo		87
9.1	Prólogo	88
9.2	Anteproyecto para el almacenamiento de las sustancias químicas.....	88
9.3	Anteproyecto para la Optimización del Proceso de Mezcla Rápida	89
9.4	Anteproyecto para la Optimización del Proceso de Floculación	90
9.5	Anteproyecto para la Optimización del Proceso de Decantación	90
9.6	Anteproyecto para la Optimización del Proceso de Filtración	91
 Capítulo 10: Conclusiones y Recomendaciones		92
10.1	Resúmen	93
10.2	Conclusiones.....	97
10.3	Recomendaciones	98
10.3.1	Soluciones a corto plazo.....	98
10.3.3	Soluciones a Mediano Plazo	98
10.3.2	Soluciones a Largo Plazo	99

Referencias Bibliográficas

100

Anexo 1: Láminas

- Lámina N°1 : Ubicación Geográfica del Departamento de Lambayeque.
- Lámina N°2: Límites Políticos de la Ciudad de Chiclayo.
- Lámina N°3 : Sectorización de la Ciudad de Chiclayo.
- Lámina N°4 : Expansión Urbana de la Ciudad de Chiclayo.
- Lámina N°5 : Lámina N°6 : Esquema Hidráulico del Proyecto Tinajones.
- Lámina N°6 : Esquema General de Captación de Agua Cruda a la P.T.A.Chiclayo.
- Lámina N°7: Sectorización del Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de Chiclayo.

Anexo 2: Tablas y Cuadros**Anexo 3:**

- 3.1 Dimensionamiento del difusor
- 3.2 Dimensionamiento del floculador de flujo vertical.
- 3.3 Dimensionamiento del canal de distribución de agua floculada.
- 3.4 Dimensionamiento del decantador laminar de alta tasa.
- 3.5 Dimensionamiento de los filtros rápidos.
- 3.6 Esquema de la planta existente.($Q= 0.720 \text{ m}^3/\text{s}$).
- 3.7 Esquema de la planta optimizada ($Q= 1\text{m}^3/\text{seg.}$)

Anexo 4 : Histogramas de Calidad de la Fuente de Captación.**Anexo 5: Vistas Fotográficas****Anexo 4: Planos**

- Plano N°1 P.T.A.Chiclayo-Esquema General .
- Plano N°2 P.T.A. Chiclayo-Módulo de Tratamiento Sur-Planta y Cortes.
- Plano N°3 P.T.A.Chiclayo-Módulo de Tratamiento Sur-Cortes.
- Plano N°4 Plano de Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo($Q=0.720 \text{ m}^3/\text{s}$).

1 Introducción

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

El objetivo general del presente estudio es evaluar las unidades componentes de la Planta de Tratamiento de Agua de la ciudad de Chiclayo para determinar su y estado actual para hallar la posibilidad de optimizar su capacidad de producción y/o ampliarla para aprovisionar las necesidades de agua de la población utilizando las estructuras existentes.

1.1.2 Objetivos Específicos

Mediante la evaluación de la Planta de Chiclayo se podrá determinar las deficiencias en las unidades de tratamiento y en las funciones de Operación y Mantenimiento de la Planta ya que las mismas se ven reflejadas en la calidad del agua producida.

De la presente premisa se han planteado como objetivos específicos del presente estudio los siguiente :

- Determinar las características de cada uno de los procesos componentes de la Planta.
- Determinar la eficiencia de cada proceso.
- Determinar las características hidráulicas y parámetros operacionales de cada una de las unidades.
- Evaluar las condiciones de funcionamiento de las unidades.
- Determinar los componentes o causantes de la reducción de la eficiencia de tratamiento.
- Determinar las características y eficiencia de la organización operativa de mantenimiento y administración.
- Determinar si la Planta es susceptible de ser optimizada.

1.2 Antecedentes Bibliográficos

1.2.1 Plan Maestro - Estudios Definitivos para la Ampliación y Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable.

Elaborado durante el período de 1985 a mayo de 1988, por la empresa Corporación Hidrotécnica S.A.. Este estudio tuvo por objetivo la ampliación y el mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado, abarcando sus principales unidades constituyentes desde la captación de agua cruda hasta el tratamiento de las aguas servidas de la ciudad.

El Plan Maestro de la Ciudad de Chiclayo en su estudio de factibilidad, prevé las siguientes obras a realizarse en la 1^{era} etapa del proyecto :

- Revestimiento del canal de conducción de agua a la laguna Boró (Canal Las Mercedes), con una longitud de 1.8 Km. y una capacidad de 2.18 m³/seg., con la finalidad de evitar las pérdidas de agua por filtraciones.

- Construcción de dos desarenadores localizados en la entrada de la Laguna Boró.
- Construcción de una segunda línea de conducción paralela a la primera en la segunda etapa con capacidad de 565 l/seg.
- Optimización y rehabilitación de la Planta de tratamiento existente y la construcción de una unidad de filtración rápida de flujo ascendente, con capacidad de 685 l/s, para obtener una capacidad instalada de 1,500 l/s. (hasta el año 2,000).
- Se considera para la 1^{era} etapa, un déficit de reserva de 5,000 m³, que será separado con la construcción de un reservorio apoyado con esta capacidad en la Zona Oeste de la ciudad, sobre el Cerro Cruz de la Esperanza.
- Se construirá un reservorio elevado en el área de la Planta de tratamiento, para atender la zona central.

Para la 2^{da} etapa están previstas las siguientes obras :

- Distribución de 7,300 m³ requeridos adicionalmente, de cuatro reservorios enterrados , uno en el área de la Planta y los otros tres al lado de cada uno de los reservorios existentes.
- Instalación de líneas de impulsión independientes, directo desde la Planta de tratamiento a los reservorios de cabecera , a través de Bombeo.

1.2.2 Estudios de factibilidad para el abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Chiclayo. - Evaluación de la Planta de Agua Potable.

Este trabajo fue desarrollado en 1984, por el Servicio Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado - SENAPA , que contó con el apoyo y responsabilidad personal de la Gerencia de estudio de pre-inversión y bajo asesoría del consultor del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS.

Se trata de un estudio detallado de las condiciones operacionales de la Planta de tratamiento , siendo evaluados sus principales equipos, tuberías y accesorios. También fueron consideradas las características hidráulicas de cada unidad a través del levantamiento de diversos parámetros de proyecto, tales como : tiempos de retención, tasa de aplicación, líneas de flujo, eficiencia del proceso, etc.

Para cada unidad de la Planta fueron utilizadas técnicas específicas y adecuadas para la determinación de tales parámetros, utilizando trazadores químicos, y análisis de laboratorio.

1.2.3 Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Chiclayo - Informe.

Este trabajo fue desarrollado por la Empresa Alpha Consult SA. En 1990, y tuvo como objetivo la continuidad y complementación de la evaluación efectuada por el estudio antes indicado. El informe presenta dos partes : La primera comprende una descripción de las instalaciones existentes, mientras que la segunda consiste en la evaluación propiamente dicha del sistema de tratamiento.

1.2.4 Anteproyecto : Planta de Tratamiento de Agua Potable de Chiclayo.

Este trabajo presenta una breve descripción de una nueva estación de tratamiento de agua para Chiclayo. De acuerdo con la documentación consultada, se propone la construcción de una nueva Planta de Tratamiento y mejoramiento de las instalaciones existentes para solucionar los problemas de tratamiento detectados.

Las características que deberá tener la nueva Planta son en resumen las siguientes :

- Capacidad de tratamiento 710 l/s.
- Índice de pérdidas 3.5 %
- Capacidad de producción 685. L/s
- Componente del sistema de tratamiento : Cámara de carga, Planta de Tratamiento (02 módulos), Almacén de productos químicos, Edificio de Cloración.

1.2.5 Estudio de factibilidad de la Ciudad de Chiclayo.

En 1986 la Gerencia de estudios de Pre-Inversión del Servicio Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado (SENAPA) elaboró el estudio de factibilidad cuyos objetivos principales fueron :

- Establecer las necesidades de ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado.
- Determinar su factibilidad técnica y económica.

El estudio considera tres etapas de ejecución de obras :

- Programa de medidas inmediatas, para dar solución urgente a problemas del servicio de agua potable y alcantarillado.
El objetivo principal de esta etapa fue mejorar el servicio e incrementar su cobertura. Las obras fueron ejecutadas y se encuentran operativas.
- Solución a Mediano Plazo : abarca del año 1990 al año 2000.
- Solución a Largo Plazo : abarca del año 2000 al año 2010.

La solución escogida para el mejoramiento del sistema de Agua Potable de la Ciudad de Chiclayo, prefiere continuar utilizando la fuente actual de abastecimiento, ampliar la Planta existente mediante filtración ascendente y abastecer a la red mediante reservorios de cobertura. Entre las soluciones planteadas se encuentran las siguientes :

- Captación : Se plantea el mejoramiento del canal que llega a la laguna Boró, a fin de aumentar su capacidad.
- Desarenador : Se ha provisto la construcción de un Desarenador que se ubicará al ingreso de la laguna y el canal de ingreso. Esta unidad está diseñada en tres módulos de 725 l/s cada uno.

- Laguna de Pre-sedimentación : las obras propuestas se refieren únicamente a la Laguna Boró I que requiere un mejoramiento sobre todo en el dispositivo de ingreso.
- Línea de Conducción : Esta línea partirá de la Laguna Boró y llegará hasta una cisterna ubicada en la Planta de tratamiento.
- Planta de Tratamiento : las obras programadas en la Planta tienen 2 aspectos : obras de mejoramiento y optimización en la Planta existente y construcción de un nuevo módulo de tratamiento. Las obras de mejoramiento en la Planta existente están dirigidas principalmente a reponer equipos y corregir errores de diseño que disminuyen la eficiencia de la Planta. Respecto a la nueva Planta, se ha previsto la construcción de dos módulos de 685 l/s que serán construidos uno en cada etapa.
- Estación de Bombeo a la Red : deberá instalarse equipos de bombeo para atender cada zona de la población. En la I etapa se instalará un total de once equipos y en la II etapa veintinueve, por lo que es necesario considerar ampliación de la caseta de bombeo.
- Línea de impulsión a los reservorios : Desde la estación de bombeo existente y la proyectada se instalarán líneas de impulsión hasta los reservorios Norte Sur, Diego Ferré y Oeste .
- Red de Distribución : La ciudad ha sido dividida en 5 zonas , desde donde se abastecerá los reservorios y la zona Centro para bombeo directo desde la Planta. Para cada zona se ha planteado una red que funcionará en forma independiente.

La solución planteada no fue utilizada.

1.2.6 Plan Director de la Ciudad de Chiclayo.

Este estudio fue elaborado en el año 1992, mediante un convenio firmado entre la Municipalidad Provincial de Chiclayo y el Instituto Nacional de Desarrollo Urbano - INADUR, desarrollándose dos estudios importantes para el desarrollo urbano de la Ciudad de Chiclayo : El esquema de Estructuración Metropolitana y la actualización del Plan Director vigente.

El Plan director de la ciudad de Chiclayo, contempla cuatro capítulos :

- El 1º contempla el marco referencial en el cual se realiza el proyecto, producto de una síntesis del esquema de estructuración metropolitana.
- El 2º presenta la situación actual que atraviesa la ciudad en sus aspectos físicos, social, económico y administrativo.
- Finalmente los capítulos 3º y 4º definen la propuesta urbana prevista para el año 2002, constituida por la normalidad correspondiente la identificación, priorización y desarrollo de proyectos de inversión urbana.

En este estudio se concluye lo siguiente :

- * La evolución urbana y demográfica de la Ciudad de Chiclayo en el siglo XX ha sido tan acelerada que prácticamente cada 10 años fue duplicada su población y su ocupación física, llegando en el período 72-91 a incrementar su población en 152% y su área en un 130%.
- * Actualmente la ciudad de Chiclayo, ocupa un área de 3 572 Ha , lo cual arroja como densidad actual de la ciudad 125 Hab/Ha.
- * Los usos del suelo en el casco urbano actual de la ciudad de Chiclayo, presentan características diferenciadas en los tres distritos que conforman Chiclayo. Leonardo Ortiz y la Victoria. Chiclayo (66% del área de la Ciudad) concentra la mayor parte de los tipos de usos de suelo, José Leonardo Ortiz (17% del área de la ciudad) se dinamiza alrededor del mercado de Moshoqueque (comercio al mayoreo) siendo el uso predominante el residencial , mientras que la Victoria (17% del área de la Ciudad) es netamente residencial, salvo por una zona de depósitos de tipo industrial. De esta manera se tiene que el uso residencial representa el 65% de las áreas , siguiendo la importancia de los usos especiales (22%) que incluye el aeropuerto y zona militar (17%) del área de la ciudad.
- * Las tendencias de expansión en la Ciudad de Chiclayo se están dando sobre terrenos agrícolas, algunas y dentro de las áreas de expansión previstas por el Plan Director vigente (de 1974) , pero una gran parte fuera de ellas, aunque no se han saturado dichas áreas de expansión.

2 Características de la Localidad

2.1 Ubicación

Chiclayo es la capital del Departamento de Lambayeque y sede del gobierno de la región Nor-Oriental de Marañón. La ciudad se encuentra ubicada en la Costa del norte de Perú aproximadamente a 720 km al norte de Lima, a una altura de 27 m.s.n.m. Chiclayo; se encuentra en la banda del desierto que limita en el Oeste con el Pacífico y en el Este con la Cordillera de los Andes, en las coordenadas Latitud Sur 06°46'05" y Longitud Oeste 79°50'13", su área es de 227,49 km², está dividido en tres distritos : Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria.

2.2 Clima

El clima de la región es variable, entre cálido en el verano y templado en el invierno con temperaturas medias que varían entre 19.3 a 25.7°C en los meses de invierno y verano respectivamente, la temperatura media anual de 21°C con valores máximos entre los meses de enero a marzo de 32°C y valores mínimos entre los meses de junio y agosto de 15 °C. La humedad relativa es de 75%. (Ver Cuadro 2.1).

Una de las características principales de la Ciudad de Chiclayo es la persistente presencia de corrientes de aire provenientes del Sur, que se inician prácticamente después del mediodía motivando el arrastre de partículas de arena fina/polvo que se depositan dentro de las casas originando trabajos diarios de limpieza en casi todos los hogares de la población.

Cuadro 2 1: Datos Climatológicos

Año	Mes	Temperatura media (°C)		Precipitación (mm)
		Max	Mín	
1994	Septiembre	24.5	15.8	0.0
	Octubre	25.8	16.7	0.0
	Noviembre	26.0	17.5	0.3
	Diciembre	27.2	18.3	1.0
1995	Enero	30.2	20.6	0.7
	Febrero	-	-	-
	Marzo	-	-	-
	Abril	27.8	18.9	0.0
	Mayo	27.0	17.4	0.0
	Junio	24.8	16.5	0.0
	Julio	23.2	15.8	4.0
	Agosto	23.1	15.2	0.0
	Septiembre	24.8	15.9	0.0
	Octubre	23.4	15.7	0.0
	Noviembre	25.5	16.7	0.0
	Diciembre	26.9	17.2	0.0
	1996	Enero	29.1	19.3
Febrero		30.7	20.2	0.0
Marzo		29.5	20.6	3.4

Fuente: MINISTERIO DE AGRICULTURA;
Boletín estadístico mensual del sector agrario

2.3 Características Topográficas

La presencia de una mapa freática en profundidades que varían de 2 a 5 m., en distintos puntos de la ciudad, es debida principalmente a la infiltración de los campos de cultivos de arroz, que es uno de los principales cultivos del Valle Chancay, que prácticamente envuelven el área urbana de la ciudad en sus cuatro puntos cardinales, incrementadas en mayor ó menor grado por los distintos canales de riego que cruzan la Ciudad de Este a Oeste, algunos canalizados y otros no, dentro de los cuales se pueden mencionar las acequias Cois, Pulen y Yortuque.

2.4 Principales servicios con que cuenta

La Población de Chiclayo cuenta con servicios eléctrico, telefónico, y de saneamiento básicos. (Ver Cuadro2.2).

Cuadro 2.2 : Servicios Públicos

TIPO DE SERVICIO	Nº Viviendas que cuentan con Servicio	Nº Viviendas que no cuentan con Servicio
Eléctrico	65,056	11,071
Telefónico	19,871	56,256
Agua Potable	50,228	25,899
Alcantarillado	45,305	30,822

2.5 Análisis Poblacional

2.5.1 Población Actual

La ciudad de Chiclayo tiene en la actualidad (1997) aproximadamente 440,000 habitantes. El núcleo poblacional de Chiclayo, lo constituyen los distritos de Chiclayo, Leonardo Ortiz y La Victoria. Otros centros poblados se sitúan en un radio de 10 Km. del centro, es decir Lambayeque, San José, Pimentel, Santa Rosa y Puerto Eten que está a 15 Km.

Según los resultados definitivos del Instituto Nacional de Estadística e Información (INEI), la población de la Ciudad de Chiclayo, se elevó a 1993 a 419.600 habitantes. Con una tasa actual de crecimiento de 3.3 % la población en 1995 se estimó a 447,100 cuya distribución poblacional según distritos se puede apreciar en el siguiente cuadro :

Cuadro 2.3 : Distribución Poblacional en 1995 (Según Distritos)

Distritos	Población (hab)	Area bruta (ha) Residencial ocupada	Densidad (hab/ha)
Chiclayo	253,900	1,210	210
José Leonardo Ortiz	126,400	515	245
La Victoria	63,800	375	170
Total Casco Urbano	447,100	2,100	213

Fuente : INEI1995 - Resultados definitivos del Censo 1993 y INADUR 1992 - Plan Director.

2.5.1 Proyección de la Población

Las proyecciones de la Población de Chiclayo en el presente informe están basados en el Plan Director de Chiclayo elaborado en 1985 bajo la responsabilidad del a Municipalidad Provincial de Chiclayo. La segunda fuente representada por el estudio de factibilidad del año 1988. Como tercera fuente, se tuvo el informe del plan de inversión preliminar recientemente elaborado en el marco del proyecto de mejoramiento institucional y operativo de la empresa EPSEL.SA.

Por lo expuesto, se considera adecuado utilizar dentro del área del Proyecto una tasa de crecimiento anual de 3.0% a partir de 1995 hasta el año 2000 (similar a la actual tasa de crecimiento urbano de Chiclayo), luego de 2.8% hasta el año 2005, de 2.6% hasta el año 2010.

Cuadro 2.4 : Tasas de Crecimiento Poblacional

1993-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010
3.3%	3.0%	2.8%	2.6%

Tomando como base el ajuste de la información histórica del número de habitantes urbanos y las tasas de crecimiento anteriormente indicadas, se proyectan hasta el año 2010 una población de unos 640,000 habitantes. (Ver Cuadro 2.5).

Cuadro 2.5: Proyección de la Población

Año	Población	Año	Población
1940	20,951	2001	502,841
1961	90,361	2002	516,556
1972	177,321	2003	530,437
1981	266,674	2004	544,484
1995 ¹⁾	424,037	2005	558,697
1996	436,756	2006	573,782
1997	449,641	2007	589,274
1998	462,692	2008	605,184
1999	475,909	2009	621,524
2000	489,292	2010	638,305

2.5.3 Desarrollo Urbano

El área de estudio del presente informe abarca el casco urbano de Chiclayo es decir a los distritos de Chiclayo, José Leonardo Ortiz y La Victoria que lo conforman tal como se indica en la Lámina 02 (Anexo 1), donde se muestra los límites políticos de la Ciudad de Chiclayo.

¹⁾ Tasa de crecimiento 1995/96: 3.0 %

Con fines del desarrollo Urbano, se caracterizó la estructura urbana en el ámbito del proyecto y se definieron los niveles siguientes :

- Residencial residencial y asentamientos humanos
- Comercial dentro de las zonas residenciales
- Industriales áreas de uso industrial exclusivo
- Usos públicos dentro de las zonas residenciales y comerciales
- Otros usos.

El desarrollo urbano acelerado de estos últimos años por una población migratoria en demanda de terrenos para edificar sus viviendas , ha alterado todos los planes de desarrollo urbano, tal es el caso de la Av. Circunvalación Norte, donde se han establecido varios Pueblos Jóvenes repartidos de la siguiente forma :

- 69 en el Distrito de Chiclayo ;
- 27 en el Distrito de J.L.Ortiz y
- 06 en el Distrito de La Victoria.

Por otro lado se han desarrollado 131 nuevas urbanizaciones

- 113 en el Distrito de Chiclayo y
- 018 en el Distrito de J.L.Ortiz

Por lo tanto el desarrollo urbano de la Ciudad de Chiclayo es de tipo horizontal y no vertical, razón por la cual las áreas que ocupan son agrícolas que no están cultivadas por falta de agua . Los mismos pobladores para edificar sus viviendas utilizan la tierra vegetal para construir los adobes, destruyendo totalmente estos suelos agrícolas.

2.5.4 Planeamiento Urbano

Las áreas de uso del casco urbano fueron clasificadas por el Plan Director de Chiclayo en distintas zonas , que se representan en Lámina 03 (Anexo 1) que son :

- C : Chiclayo Central, con 9 sub-sectores
- N : Chiclayo Norte, con 4 sub-sectores
- S : Chiclayo Sur, con 5 sub-sectores
- O : Chiclayo Oeste, con 8 sub-sectores
- E : Chiclayo Este, con 3 sub-sectores

Cada una de las zonas se identifica y tipifica tanto por sus características propias como por sus niveles de densidad residencial específicos (hab/ha), para lo cual se tomó como base la población obtenida por los resultados definitivos del Censo de Población del año 1993.

2.5.5 Uso de Suelo

Dentro del casco urbano de Chiclayo, el área consolidada tiene actualmente una extensión de 3,572 hectáreas incluyendo áreas para usos especiales como aeropuerto , etc. (790ha), de las cuales , 110 hectáreas corresponden a zonas ocupadas por la industria, básicamente el Parque Industrial . Otras áreas comprenden diversos equipamientos de carácter metropolitano , como las áreas verdes y parques públicos, cuya extensión es de 65 hectáreas, dentro de esta categoría se pueden mencionar las zonas de espectáculos deportivos, hípicas, piscinas, etc. que en conjunto alcanzan dicha cifra.

Las restantes áreas son ocupadas por diversos usos , ya sean residenciales, establecimientos públicos (hospitales, cárcel, universidad, cuarteles, colegios, etc.) con 110 hectáreas y el área comercial con 260 hectáreas.

En el cuadro siguiente se presenta el resumen de las áreas residenciales, industriales y de otros usos a nivel de distritos.

Cuadro 2.5 : Distribución Urbana (expresado en Hectáreas)

Zonas	1993				2012			
	Resid. Ocup.	Indust. Comer.	Otros usos	Total *	Resid. Total	Indust. Comer.	Otros usos	Total *
Central (C)	1,205	200	375	1,780	375	460	80	2,347
Norte (N)	400	75	130	605	130	250	70	1,060
Sur (S)	350	65	120	535	120	80	100	1,196
Oeste (O)	--	30	--	30	--	140	50	1,274
Este (E)	--	--	--	--	--	30	--	650
TOTAL	1,955	370	625	2,950	5,987	960	300	6,527

*Sin aeropuerto y zona militar

•() Incl. Zonas pre-urbanas

3 Información Socio-Económica

3.1 Actividades Económicas

Chiclayo se encuentra en el área de influencia de las grandes zonas de irrigación de los sistemas de los ríos Tinajones y Jequetepeque-Zaña. Por consiguiente el sector económico principal es el comercio, con productos agropecuarios. El desarrollo industrial es casi inexistente.

Las actividades industriales, los servicios y el comercio han crecido preponderantemente, pero con las características propias de un país sujeto al consumo de los productos terminados y con la tecnología avanzada, procedente de los países donde imperan los capitales transnacionales. Habían 1,056 establecimientos industriales, de los cuales 616 se encontraban en el Distrito de Chiclayo, 351 en el Distrito de José Leonardo Ortiz y 89 en el Distrito de La Victoria.

En el presente, Chiclayo tiene una preponderancia en las actividades comerciales e industriales con más de seis mil establecimientos comerciales y dos mil industriales de bienes de consumo, intermedios y de producción.

El Departamento de Lambeyeque es un centro agrícola con los principales cultivos : la caña de azúcar y el arroz.

Chiclayo constituye el centro más importante de las actividades económicas de su región, siendo un núcleo de población muy importante entre Lima y el extremo norte del país.

3.2 Organización de la Empresa.

El Organigrama Estructural de la Empresa EPSEL.SA.(Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambeyeque), es la siguiente :

- Junta Empresarial.
- Directorio
- Gerencia General

A su vez, según el Organigrama Funcional, EPSEL.SA., cuenta con cuatro Gerencias :

- Gerencia Administrativa
- Gerencia Ingeniería
- Gerencia Comercial.
- Gerencia Operacional

La Gerencia Operacional de EPSEL.SA., está a cargo de un Ingeniero Sanitario, y que dentro de sus atribuciones principales está la de atender todos los sistemas de agua potable y alcantarillado del Departamento de Lambeyeque conformado por 25 localidades, actualmente distribuidas en tres Zonales : Norte(Lambeyeque), Centro(Ferreñafe) y Sur (Monseñi), cada una con autonomía suficiente para lograr la atención de los servicios de sus respectivas administraciones.

La descentralización de EPSEL.SA. a través de Zonales está en proceso de reforzamiento, sin embargo para resolver problemas de mayor envergadura relacionados con operación, mantenimiento, reparaciones de equipos, reparación y mantenimiento urgente de sistemas de agua y alcantarillado, así como llevar el control de calidad de el agua producida a nivel estricto, la Gerencia Operacional está constituida por tres Sub-Gerencias: La Sub-Gerencia de Mantenimiento de equipos, la Sub-Gerencia de Distribución, la Sub-Gerencia de Producción, además de tener a cargo directamente al Departamento de Control de Calidad, a cargo de sus respectivos Sub-Gerentes y Profesionales.

El Departamento de Control de Calidad, tiene dos áreas bien definidas, el área de Microbiología y el área de Físico-Química. Recientemente, con el apoyo del Gobierno alemán, el Laboratorio ha sido equipado con equipos de última tecnología, siendo posible realizar múltiples ensayos tanto a muestras de agua potable, como a muestras de aguas residuales.

La Sub-Gerencia de Mantenimiento de Equipos, tiene dos departamentos: Departamento de Bombas y Departamento de mantenimiento Electromecánico. El personal de apoyo está constituido por 21 personas entre empleados, obreros y choferes, de los cuatro vehículos que disponen para sus funciones.

La Sub-Gerencia de Distribución, está constituida por dos Departamentos, Departamento de Distribución y departamento de Colectores además de una Supervisión para turnos de Emergencia y para Máquinas de Balde, cuenta además con un área de atención al público.

La Sub-Gerencia de Producción, está constituida por tres departamentos: Departamento de Supervisión de Laguna Botó y Obras de Captación, Departamento de Planta de Tratamiento y Departamento de Supervisión y Operación de Pozos y Cámaras.

Actualmente se está implementando un cuarto Departamento de Supervisión y Mantenimiento de Lagunas de estabilización.

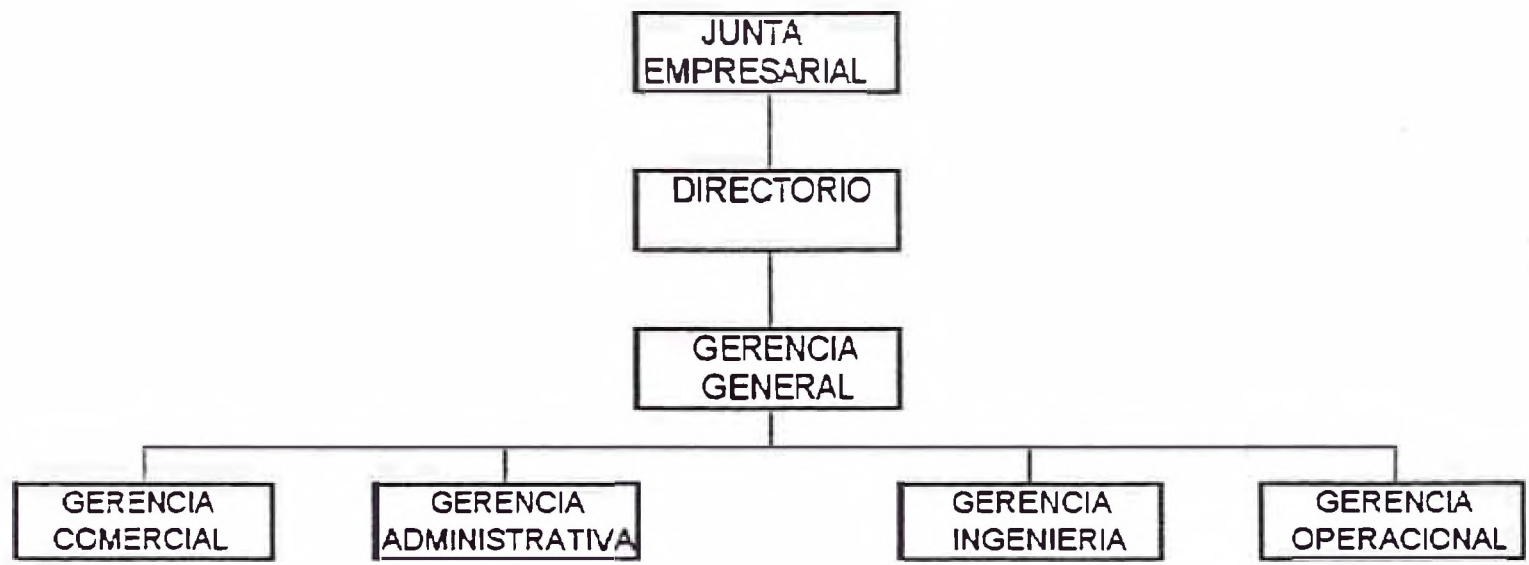
El Departamento de Planta de Tratamiento tiene la siguiente estructura :

- Jefatura de Planta
- Equipo de Operación de Planta
- Área de Reparación y Mantenimiento de Sistemas de Cloración.

Actualmente el apoyo en el mantenimiento de los equipos de la Planta de Tratamiento, es proporcionado por la Sub-Gerencia de Mantenimiento de Equipos cuando es necesario.

El Organigrama Estructural de EPSEL.SA. y de la Sub-Gerencia de Producción, se muestran a continuación en los cuadros 01 y 02.

ORGANIGRAMA ESTRUCTURAL DE EPSEL.SA



Cuadro 01

ORGANIGRAMA ESTRUCTURAL DE LA SUB-GERENCIA DE PRODUCCION DE EPSEL.SA



Cuadro 02

4 Investigaciones Preliminares

4.1 Aspectos Básicos del Sistema de Agua Potable

El abastecimiento de Agua Potable para la Ciudad de Chiclayo es proporcionado por la Planta de Tratamiento de EPSEL.SA. ubicada en la Zona Norte de la Ciudad, mediante equipos de bombeo, que impulsa el agua tratada a los reservorios de cabecera (4), con un volumen de almacenamiento de 16,300 m³. La producción de la Planta es de 20.8 millones de m³/año

Las redes de distribución que en total suma unos 330 Kilómetros, distribuyen el agua a la población a través de 52,075 conexiones, que representa un 88.0% de la población abastecida (Ver cuadros 4.1 y 4.2)

Las zonas de distribución al año 1995 están divididas en 9 sectores de facturación los que se indican en la **lámina 08-Anexo 01** y según la ubicación de la zona la ciudad de Chiclayo se divide en 5 sectores (Ver **lámina 3-anexo 01**):

Chiclayo Norte
Chiclayo Centro
Chiclayo Sur
Chiclayo Este
Chiclayo Oeste

En el cuadro 4.1 se indica el consumo neto y la demanda actual de agua potable en la ciudad de Chiclayo al año 1995, además se indica la proyección del consumo al hasta el año 2010.

En el cuadro 4.2 se indica la población año 1995 y su proyección al año 2010.

Considerando que las pérdidas técnicas de agua ascienden aproximadamente a 42.6%, puede deducirse que la producción ofertada por la planta de tratamiento existente (20.8 millones de m³/año) no cubre la demanda de la población actual que es de aproximadamente 68 millones de m³/año.

Al año 2010, según los estudios realizados para la ejecución de las obras del Plan Maestro de la ciudad de Chiclayo, las pérdidas llegarían a 20%, por lo que la demanda de agua de la población proyectada en ese año será de 43.2 millones de m³/año, que de ninguna manera se podría cubrir con la planta de tratamiento de agua existente, por lo que es necesario la ejecución de obras que tiendan a incrementar la capacidad de producción del servicio que presta LA Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento EPSEL.SA.

**Cuadro N°4.1 CONSUMO NETO Y DEMANDA DE AGUA POTABLE EN CHICLAYO
(1995-2010)**

Año	Dot. por habít. (l/hab/d)	Dot. conex. comer. grande (m ³ /mes)	Dot. conex. comer. pequeña (m ³ /mes)	Dot. indust. (incl.poz.) grande (m ³ /mes)	Dot. indust. (incl.poz.) pequeña (m ³ /mes)	Dot. conex. estat. (m ³ /mes)	Dot. conex. estat. (m ³ /mes)	Conex. domest.	Consum. domest. (m ³ /d)	Consum. comerc. grande (m ³ /d)	Consum. comerc. peq. (m ³ /d)	Consum. indust. grande (m ³ /d)	Consum. indust. peq. (m ³ /d)	Conex. estat. (m ³ /d)	Conex. sociales (m ³ /d)	Consum. Total (m ³ /d)
1995	100	130	35	49500	34500	416	180	44701	26821	1040	8582	1980	1380	2712	3723	46738
1996	101	131	36	51480	35880	416	161	47589	28776	1081	8988	2059	1435	2788	3692	48800
1997	102	132	36	53539	37315	416	162	50623	30845	1123	9411	2142	1493	2825	3654	51492
1998	104	134	37	55681	38808	417	1654	53809	33032	1167	9851	2227	1552	2883	3607	54319
1999	105	135	37	57908	40380	417	185	57155	35344	1213	10306	2316	1614	2943	3551	57290
2000	106	136	38	60224	41975	417	166	60667	37786	1260	10785	2406	1879	3003	3487	60408
2001	107	137	39	62633	43654	417	167	64228	40287	1307	11259	2505	1746	3066	3405	63573
2002	108	138	39	65139	45400	418	168	67957	42921	1355	11751	2606	1816	3128	3313	66886
2003	109	139	40	67744	47216	418	166	71860	45694	1405	12791	2710	1889	3192	3211	70362
2004	111	141	40	70454	49104	418	171	75945	48613	1456	13342	2818	1964	3258	3097	73996
2005	112	142	41	73272	51608	418	172	80220	51685	1509	13885	2931	2043	3325	2970	77805
2006	113	143	41	78203	53111	419	173	84529	54810	1562	14449	3048	2124	3393	2826	81649
2007	114	144	42	79251	55236	419	174	89025	58088	1615	15032	3170	2209	3463	2669	85663
2008	115	145	43	82421	57445	419	175	93718	61526	1671	15032	3297	2298	3534	2498	89856
2009	116	146	43	85718	59743	419	176	98615	65131	1728	15635	3429	2390	3607	2312	94232
2010	118	148	44	89147	62133	420	178	103725	68911	1787	16260	3566	2485	3681	2112	98802

Cuadro N° 4.2 CONSUMO Y DEMANDA DE AGUA POTABLE; COBERTURA Y NO CONEXIONES

Año	Población (hab.)	Cobertura (conexiones domésticas (%))	Población servida (hab.)	Población no servida (hab.)	Población por conexión (hab./con.)	Conexiones domésticas	Conexiones comerciales grandes	Conexiones comerciales pequeñas	Conexiones industriales grandes	Conexiones industriales pequeñas	Conexiones estatales	Conexiones sociales	Conexiones Total
1995	447,717	60	268,206	179,511	6	44,701	200	6,130	26	157	163	698	52,075
1996	481,149	62	284,416	176,733	6	47,589	206	6,314	26	161	168	687	55,149
1997	474,983	63	301,357	173,626	6	50,623	212	6,503	27	165	170	675	58,375
1998	489,232	65	319,058	170,174	6	53,809	219	6,698	27	169	173	662	61,757
1999	503,909	67	337,551	166,358	6	57,155	225	6,899	27	173	176	647	65,302
2000	519,027	69	356,865	162,162	6	60,667	232	7,106	27	178	180	631	69,021
2001	533,559	71	376,303	157,256	6	64,228	238	7,305	28	182	184	611	72,778
2002	548,499	72	396,303	152,196	6	67,957	245	7,510	28	187	187	591	76,705
2003	563,857	74	417,635	146,222	6	71,860	252	7,720	28	191	191	569	80,811
2004	579,845	76	439,590	140,055	6	75,945	259	7,936	28	196	195	545	85,104
2005	595,875	78	462,447	133,428	6	80,220	266	8,159	29	201	199	519	89,593
2006	611,368	79	485,294	126,074	6	84,529	273	8,371	29	206	203	490	94,101
2007	627,263	81	509,016	118,247	6	89,025	280	8,588	29	211	207	460	98,800
2008	643,572	83	533,343	110,229	6	93,718	287	8,812	30	216	211	427	103,701
2009	660,305	85	559,207	101,098	6	98,615	295	9,041	30	222	215	393	108,811
2010	677,473	86	585,739	91,734	6	103,725	303	9,276	30	227	219	357	114,137

5 Sistema de Abastecimiento de Agua

5.1 Sistema de Abastecimiento de Agua Cruda

5.1.1 El Sistema de Riego del Valle Chancay - Lambayeque

Hay dos vistas generales sobre el Sistema de Riego del Valle Chancay-Lambayeque, para un mejor entendimiento de las mismas ver las Láminas 05 y 06-Anexo 1.

El sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Chiclayo, tiene como fuente principal la captación y conducción de las aguas superficiales que abastecen al valle Chancay-Lambayeque, provenientes de los ríos Conchano, Chotano, Chancay, Lambayeque y afluentes que discurren a la vertiente Pacífica a través de las obras de derivación de la primera etapa del proyecto Olmos-Tinajones. Tanto el río Conchano como el río Chotano aportan a la cuenca del Pacífico una masa anual de 250,000,000 m³ de agua, incrementando las descargas del río Chancay con una mayor disponibilidad del recurso hídrico en épocas de máximas avenidas.

El Sistema de Producción de Agua para la ciudad de Chiclayo, tiene su origen en el Río Chancay, cuyas aguas son captadas en la Bocatoma RACA-RUMI.

5.1.2 La Bocatoma Raca Rumi

La captación y almacenamiento para la presa Tinajones se realiza a través de la bocatoma Raca-Rumi, fue construida entre los años 1966-1968, se ubica sobre el Río Chancay y tiene una Capacidad de Captación de 75 m³/s.

La Bocatoma Raca-Rumi consta de dos compuertas de captación; tipo "vientre de pez" de 10.50m de ancho x 6m. de alto de tipo radiales accionadas eléctricamente. Se comunica con el canal alimentador a través de 6 cámaras desarenadoras las mismas que a través de un canal de limpia, evacúan los sólidos (arena y piedras pequeñas) al río Chancay.

En el río se encuentran 03 compuertas de río tipo Wagón de 5m. de ancho 6m. de alto; la primera, sirve para limpieza de las rejillas de captación, la segunda y tercera, para regular el agua en el río y para desarenar la zona de embalse.

Hay un aliviadero de demasías de 148.17 m. de longitud x 4.80m de altura, para evacuar los excesos que inciden en la zona de captación, sobre los 300 m³/s.

5.1.3 Canal Alimentador

Las aguas derivadas del río Chancay por la bocatoma Raca-Rumi ingresan al reservorio Tinajones a través de un canal Alimentador de 16 km. de longitud con sección típica Trapezoidal y taludes revestidos con mampostería de piedra, este canal tiene una capacidad máxima de conducción de 70 m³/s. En su inicio las descargas se controlan mediante un registrador mecánico (Limnógrafo) y una estación de aforo para su calibración.

5.1.4 La Cascada

En la conducción hacia el reservorio Tinajones, el agua cruda pasa a través de "Las Cascadas"; que es una estructura que sirve para salvar un desnivel de 42.70m. en el curso del canal alimentador, amortiguando la caída de agua a través de gradas y cámaras de amortiguación adyacentes que disipan la energía.

Las aguas son conducidas hasta el reservorio Tinajones para luego ser restituidas al río Chancay en épocas de estiaje. Es así, que el río Chancay se constituye en el principal contribuyente del Reservorio Tinajones.

5.1.5 El Reservorio Tinajones

El Reservorio Tinajones se encuentra localizado en la Región-Este del Departamento de Lambayeque, un poco distante de la Costa. Tiene una capacidad de almacenamiento del orden de los 120 millones de metros cúbicos con un espejo de agua de 20 Km².

La represa regula el caudal del río Chancay-Lambayeque en épocas de estiaje y almacena agua para diversos fines, entre los que se destaca el uso preferencial para irrigación de extensas áreas agrícolas.

Aguas abajo del reservorio Tinajones, el río Chancay es repartido en dos ramales denominados Río Reque y Río Taymi a través del Repartidor La Puntilla.

El Reservorio Tinajones cuenta con: una Presa Principal de 2.449m. de longitud y tres diques secundarios ; un aliviadero de demasías que permite la evacuación de hasta 65 m³/seg. en casos de emergencia, derivando dichas aguas hacia la quebrada "Juana Ríos" y de allí al Río Chancay ; y un túnel de salida que conduce el agua a través del canal de descarga que se inicia en un túnel de acero circular de 4 m de diámetro y 380 m de longitud

5.1.6 Canal de Descarga

El Canal de Descarga tiene una longitud de 3.9 km., con una capacidad máxima de 70 m³/s., este canal devuelve las aguas al río Chancay-Lambayeque las mismas que llegan al Partidor La Puntilla construido también en el cauce del río Chancay.

5.1.7 El Repartidor La Puntilla

Está construido en el cauce del río Chancay, se ha diseñado para soportar avenidas de hasta 1500 m³/s ; esta Infraestructura permite repartir las aguas del Río Chancay distribuye las aguas provenientes directamente del río Chancay en 2 cursos de aguas, la primera que sigue un cauce natural conocido como el Río Reque y la segunda conocida como Canal Taymi. Al Canal Taymi lo regulan 07 compuertas deslizantes con un ancho de 2.64m. y 1.83m. de alto con una capacidad máxima de 20m³/seg. cada una.

5.1.12 Toma Botador

Es una estructura partidora siendo el caudal promedio de conducción de 1200l/s. En este lugar ocurre una nueva división, iniciándose el Canal Las Mercedes, que abastece a las Lagunas Boró I y II.

5.1.13 Las Lagunas Boró I y Boró II

Son inmensas lagunas excavadas cuya función principal es la de actuar como unidades pre-sedimentadoras. Esto se ha comprobado al determinarse la eficiencia Remocional en términos de remoción de turbiedad. Asimismo las Lagunas Boró sirven como Estanques de Regulación y Almacenamiento de Agua Cruda para situaciones de emergencia o en épocas de estiaje.

Principales Características:

Laguna Boró I:

Aren aproximada	25 Hns.
Volumen	500,000 m ³ .
Profundidad Promedio	2.3 m.
Cota Promedio de Operación	49.60 m.s.n.m.
Periodo de Retención	10 días

Laguna Boró II:

Aren aproximada	57 Hns.
Volumen	1'500,000 m ³
Profundidad Promedio	2.7 m.
Cota Promedio de Operación	49.30 m.s.n.m.
Periodo de Retención	28 días

En Diciembre de 1,994 en la Laguna Boró I se presentaron problemas de características organolépticas anormales (Olor y Sabor) en la masa de agua contenida, debido a la presencia de microorganismos como los Actinomicetos y Clostridios Sulfito-Reductores como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica de los lodos acumulados por muchos años en el Fondo de la Laguna, desde el 3 de Enero de 1,995 se cerró el Sistema de Alimentación a las Laguna Boró I para proceder a la limpieza del canal Alimentador y secado de la Laguna para proceder a su estudio y rehabilitación dejándose fuera de operación hasta julio de 1997. Actualmente ya se ha ejecutado el Proyecto de Rehabilitación de esta Laguna, estando nuevamente en operación.

Desde el 3 de enero de 1995, hasta el 15 de Agosto de 1,995 la captación se realizó directamente del Río Lambayeque a través de la antigua Toma Chéscope. Este tipo de captación si bien es cierto fue la única solución ante el problema de olor y sabor presentado en Diciembre de 1,994 en Boró I, trajo serios problemas en la Planta de tratamiento en épocas de lluvia ya que se llegó a recibir agua cruda con turbiedades hasta de 10,000 U.N.T. imposibles de tratar.

Es debido a estas situaciones presentadas en la Laguna Boró I, que se aceleraron las obras de "Rehabilitación de la Laguna Boró II" así como la Obra de " Interconexión Boró II-Chéscope" y el 15 de Agosto de 1,995 entra en funcionamiento Boró II como fuente alternativa de alimentación de agua cruda hacia la P. T.A. Chiclayo.

En Noviembre de 1996 la Laguna Boró II presentó indicios de problemas de eutroficación por lo que fue necesario dejarla fuera de operación, actualmente está siendo evaluada para su rehabilitación.

Al dejarse fuera de operación Boró II, nuevamente fue necesario captar agua cruda a través de la Toma Chéscope directa de río, con los inconvenientes que presentaba, es por esta razón que nuevamente la Empresa EPSEL.SA., tomó la decisión de ejecutar inmediatamente el Proyecto "Rehabilitación de la Laguna Boró I", que entre sus obras tenía la remoción de las capas de sedimentos acumulados hasta una profundidad promedio de 2.00 m., el reforzamiento de los diques centrales mediante enrocamiento y acondicionamiento de un desarenador, los mismos que se culminaron en agosto de 1997, actualmente Boró I está operando en forma normal.

5.1.14 Línea de Conducción Boró II - Chéscope - Planta de Tratamiento

La conducción de agua desde las Lagunas Boró I y II se realiza a través de dos tramos de tubería bien definidos. El Primer tramo Boró-Chéscope, con tubería de concreto armado de 40" de diámetro y 5,833 ml. de longitud y el Segundo tramo Chéscope-Planta de Tratamiento, a través de una tubería de concreto armado de 34" de diámetro y 8,502 ml. de longitud, pasando en su recorrido a través de 4 cámaras de regulación.

El sistema de conducción se encuentra limitado por el diámetro de la línea de conducción a la Planta de Tratamiento, mediante la cual llegan actualmente aproximadamente como máximo 720 l/s de agua cruda.

5.2 Aguas subterráneas

La capacidad total de los pozos es de 58.50 l/s. La mayor parte de esta capacidad se usa para la agricultura. 8.5 l/s quedan para el abastecimiento del agua municipal. Esta agua se usa para la ciudad de Pimentel. A continuación se detallan las características de estos pozos :

POZOS	NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	CAUDAL PROMEDIO (l/S)	HORAS DE BOMBEO (h)
1-82	12.5	28	16.25	13
Corropón	5.0	15	8.20	13
Electronorte	6.0	28	18.75	18
Cruz de la Esperanza	15.0	30	15.00	12
TOTAL			58.50	

5.3 Fuentes alternativas de agua cruda

A causa de las circunstancias climáticas y geográficas no existen otras superficies de agua que puedan considerarse como fuentes de agua cruda para la obtención de agua potable. En el campo de las aguas subterráneas no existen tampoco alternativas algunas debido a la cercanía al mar (gusto salado) y a la actividad agrícola intensiva.

5.4 Distribución del Agua Potable

De la P.T.A. Chiclayo, cuatro bombas centrífugas horizontales (cada una con un rendimiento de 300 l/s) alimentan la red de distribución de agua potable, la cual está constituida por redes matrices cuyos diámetros varían de 6" a 34" con una longitud total aproximada de 29.3 km.; las redes secundarias varían de 3" a 18" con una longitud total aproximada de 230 km. con una antigüedad aproximada de 45 años.

En la distribución de la Red se ubican 8 reservorios de almacenamiento con capacidad de almacenamiento de 17,800 m³, ubicados en diferentes sectores de la ciudad, cuyas características se detallan a continuación :

RESERVORIO	CAPACIDAD (M3)	UBICACIÓN	TIPO
R-1	4,000	P. T. A. Chiclayo	Enterrado
R-2	3,500	P. T. A. Chiclayo	Enterrado
R-SUR	3,000	Panamericana Sur	Elevado
R-NORTE	3,000	Calle Ecuador	Elevado
R-D.FERRE	2,000	Av. Grau	Elevado
R-OESTE	800	Cruz de la Esperanza	Apoyado
PQ.INDUSTRIAL	1,000	Parque Industrial	Enterrado
PQ.INDUSTRIAL	500	Parque Industrial	Elevado

5.5 Demanda de agua potable y su cobertura

En el cuadro 01 del Anexo 2 se han calculado la demanda de agua potable (bruta) de la población de Chiclayo, que asciende al año 1997 de 2'525,763 m³/mes y la proyectada al año 2010 de 3'846,963 m³/mes.

La causa principal de esta alta demanda se debe al alto índice de pérdidas extremas de agua en la red. En la ciudad de Chiclayo se estima esta pérdida en un 42 %.

El actual sistema de agua potable abastece aproximadamente a 320,000 usuarios que corresponde al 76% de la población, con un servicio sólo de 8 horas.

Una parte de la población no es atendida de la red de distribución. Para solucionar provisionalmente esta falta de cobertura, se cuenta con 98 piletas públicas. Se estima que la población atendida por este sistema es de aproximadamente 12,372 hab. Que corresponde al 3% de la población total de Chiclayo.

5.6 Diagnóstico de la Problemática del Sistema de Abastecimiento actual de la Ciudad de Chiclayo.

El crecimiento poblacional de la Ciudad de Chiclayo ha sido explosivo, lo que ha traído como consecuencia la falta de Cobertura de los Servicios Básicos, de Agua Potable y Alcantarillado que tienen antigüedad aproximada de 50 años señalándose que la 1^{ra} Planta de Tratamiento de Agua Potable fue construida en 1,928 y diseñada para atender a una población de 18,000 habitantes.

El sistema de agua potable de Chiclayo, enfrenta una gran crisis derivada de un progresivo deterioro de la infraestructura de conducción y tratamiento, combinado con el incremento acelerado de las áreas urbanas, produciéndose un evidente desequilibrio entre la oferta y la demanda. En la actualidad existen fugas en la línea y probables burbujas de aire que limitan el caudal de conducción .

Existe un apreciable desequilibrio entre la oferta que puede dar EPSEL.SA. y la demanda de la población, por lo que es prioritario el desarrollo de obras que tiendan a mejorar la capacidad de producción de la empresa, para lo cual EPSEL.SA. está ejecutando las obras correspondientes al Plan Maestro que entre sus Proyectos principales está la construcción de una nueva Planta de Tratamiento con una capacidad de producción de 750 l/s.

Con esta obra nueva, se estaría alcanzando una capacidad de producción total entre la planta existente y la nueva ascendente a 1,450 l/s . con lo que mejoraría el abastecimiento de agua a la ciudad (de 08 horas del servicio actual a 16 horas en promedio), aún insuficiente para atender las demandas insatisfechas de la población, por lo que el presente informe tiende a optimizar la capacidad de producción de la planta existente hasta llegar a 1.0 m³/s, con lo que se lograría mejorar a corto plazo el servicio a la ciudad de Chiclayo hasta 1,750 l/s con un servicio promedio de 20 horas.

6 Calidad del Agua

6.1 Normas Legales referentes a la calidad del Agua cruda y potable

Las Normas Legales que controlan la calidad del agua cruda con fines de abastecimiento de agua para consumo humano están dadas por la Ley General de Aguas, entre las que se tienen las siguientes clases :

Clase I : Fuentes de abastecimiento doméstico con simple desinfección.

Clase II: Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud.

Para el caso de la Ciudad de Chiclayo se tiene ambas clases : la clase I para las fuentes de agua subterránea y la Clase II para el caso de la fuente que abastece a la P.T.A.P. Chiclayo. Para un mejor entendimiento se ha elaborado el cuadro 02-Anex.02 donde se comparan las Normas Técnicas Peruanas, con las de la Unión Europea y la OMS.

En este cuadro puede observarse que el 80 % de los valores límites de las Normas Peruanas son iguales a los de la OMS. Con los de la UE tampoco existen diferencias grandes. Sin embargo los siguientes valores difieren mucho entre sí:

- Fenoles (Perú¹⁾ = 0,1 mg/l; UE = 0,0005 mg/l).
- Cloruro (Perú¹⁾ = 600 mg/l; UE = 25 mg/l [recomendable] OMS = 250 mg/l),
- Cianuros(Perú¹⁾ = 0,1 mg/l; UE = 0,05 mg/l; OMS = 0,001 mg/l),

6.2 Características Físicas, Químicas y Microbiológicas del Agua.

En el Cuadro 6.1 se detallan los efectos que causan en los seres humanos, animales y al medio ambiente la alteración de sustancias y parámetros que pueden ocasionar quejas de los consumidores.

¹⁾ Norma técnica de Perú

Cuadro 6.1 :

Parámetros ó sustancias	Efectos
Temperatura	Variaciones en el valor esperado indican influencias no naturales
Turbiedad (visual)	Variaciones en el valor esperado indican influencias no naturales
pH	En general, se recomienda un pH entre 6,5-8,5 pues los metales se movilizan fuera de este intervalo. Es de esperarse la mortalidad de los peces a partir del pH 5
Conductividad	Concentraciones altas no usuales indican influencias no naturales (por ejemplo infiltración de residuos minerales)
Oxígeno disuelto (O ₂)	Variaciones en el valor esperado indican influencias no naturales
Dureza (CaCO ₃)	Concentraciones altas hacen peligrar las tuberías. No obstante, la concentración no debe estar por debajo de los 60 mg/l ya que se presume que determinados males cardíacos guardan relación con el consumo de agua muy blanda.
Nitrato	Más de 10 mg/l pueden provocar metemoglobinemia en los lactantes y puede producirles la muerte
Amonio	Concentraciones altas producen sobrefertilización y abundancia de alimentos en las aguas
Zinc (Zn)	Concentraciones altas pueden afectar el sabor. Tóxico para algunas plantas y peces
Cobre (Cu)	Dosis altas en los seres humanos producen náuseas y daños al hígado. Ya en dosis bajas es tóxico para los peces y las plantas acuáticas. Muy tóxico combinado con otros metales, en especial con Zn.
Fenoles	Cancerígenos
Fosfato (PO ₄ ²⁻)	Concentraciones altas producen sobrefertilización y abundancia de alimentos en las aguas
Cloruros (Cl ⁻)	Concentraciones altas influyen en el sabor del agua. Los animales toleran concentraciones de hasta 3000 mg/l; para los peces, en cambio, las concentraciones mínimas son tóxicas
Fluoruros (F ⁻)	Pequeñas concentraciones producen efectos favorables en los dientes. Concentraciones altas, sin embargo, producen envenenamiento crónico en los animales
Hierro (Fe)	Influye en el sabor del agua; sin embargo no es tóxico
Manganeso (Mn)	Influye en el sabor del agua y puede manchar la ropa lavada. Tóxico para los animales en altas concentraciones.
Hidrocarburos disueltos	Influyen en el sabor y olor del agua. Además algunos hidrocarburos producen cáncer
Arsénico (As)	Sumamente tóxico y cancerígeno para los seres humanos. La intoxicación puede producir la muerte.
Cadmio (Cd)	El Cadmio puede alojarse en los tejidos. Los seres humanos pueden intoxicarse con alimentos contaminados, principalmente con pescado. Cd se aloja en los tejidos del hígado y de los riñones y produce severos daños a los riñones. Afecta al crecimiento de algunas plantas y se concentra en sus tejidos

Cont. Cuadro 6.1

Parámetros o sustancias	Efectos
Cloruro (Cl)	En un budo que las intoxicaciones con CN sólo son mortales si se ha exigido demasiado a los mecanismos biológicos naturales de desintoxicación. Por lo general, el cuerpo humano está en condiciones de soportar pequeñas intoxicaciones de CN.
Mercurio (Hg)	Hg se almacena en el sistema nervioso, en el hígado y en los riñones de los seres humanos y de los animales. Las intoxicaciones con Hg pueden ser crónicas o severas.
Plomo (Pb)	El plomo puede almacenarse y alojarse en el cuerpo de los seres humanos y de los animales. Los seres humanos sufren de intoxicaciones crónicas o severas. Los niños pequeños son particularmente sensibles y sufren enfermedades nerviosas o "retardo".
Selenio (Se)	Efectos tóxicos que se comparan al As. El Se aloja tan fácilmente en las plantas que los animales se intoxican al comerlas.
Bifenilos policíclicos (PCB)	Se alojan en el tejido adiposo de los seres humanos y de los animales y produce cáncer.
Pesticidas	Se alojan en el tejido adiposo de los seres humanos y de los animales y son cancerígenos.
Coliformes totales	Cumplen una función indicadora. Evidencian contaminación por materias fecales e indican presencia de virus, bacterias y huevos de helmintos.
Coliformes fecales	Cumplen una función indicadora. Evidencian contaminación por materias fecales e indican presencia de virus, bacterias y huevos de helmintos.

6.3 Calidad de Agua de la Fuente de Abastecimiento

Chichayo cuenta con tres fuentes de agua cruda para el abastecimiento del agua potable (ver capítulo 2.) las cuales han estado en funcionamiento durante los últimos cinco años. La información proporcionada sobre la calidad de la fuente está especificada para las tres fuentes de abastecimiento lo que nos da una muy buena idea del rango dentro del cual varía cada parámetro y su comportamiento a lo largo del año. Debido a eso, se ha tomado en consideración el funcionamiento de las tres fuentes.

Actualmente se está captando agua proveniente de la Laguna Boró I, alternativamente de la Toma Chéscopo.

6.3.1 Fuente de agua Boró I

Boró I es un reservorio de almacenamiento que tiene un área de 19 ha. Está alimentada a través del canal Las Mercedes del Reservorio Tinajones. Su función es actuar como un Pre-sedimentador y como reservorio de regulación.

En diciembre de 1994 Boró I sufrió un proceso de Eutroficación. Las causas fueron las siguientes:

1. Boró I no dispone de ninguna zona de protección con respecto a la región que la rodea, la cual ha sido intensamente explotada para la agricultura. Debido a la aplicación intensa y constante de fertilizantes, gran cantidad de nutrientes (sobre todo fósforo y nitratos) se infiltran en el agua. El sistema de ríos de Tinajones provoca el incremento aún más nutrientes en la laguna. Debido a la irrigación y fertilización en la región del valle, sus ríos sufren una contaminación constante.
2. Boró I sufre un fuerte arenamiento, es decir, que el volumen del reservorio se reduce constantemente y con la arena se transportan innumerables microorganismos, los cuales asimismo colaboran con la eutroficación.

Cuadro 6.2 : Datos de Calidad del Agua de Boró I 1993/94 ¹⁾

Calidad del Agua de Boró I 1993/94 ²⁾					
Mes	pH	Turbiedad	Alcalinidad	CO ₂	Dureza
Noviembre	8,2	46,7	119,0	2,1	107,5
Diciembre	8,2	27,9	24,5	1,1	107,5
Enero	8,1	34,2	113,0	1,1	105,0
Febrero	8,1	48,7	114,5	1,2	100,0
Marzo	8,0	91,5	108,0	1,1	100,0
Abril	8,1	90,0	129,0	1,0	100,0
Mayo	8,2	36,6	131,5	1,0	107,5
Junio	8,3	17,9	139,5	1,0	110,5
Julio	8,2	12,4	132,5	1,0	107,5
Agosto	8,4	6,5	152,5	0,75	115,0
Septiembre	8,26	10,0	162,5	0,75	117,5

Fuente : archivos de EMAPAL

¹⁾ Todos los valores son un promedio mensual de las medidas diarias.

²⁾ Unidades de turbiedad (nefelométrico).

³⁾ mg/l [como CaCO₃] Después de agregar naranja de metilo titulado con una solución ácida (ácido

clorhídrico [HCL] y ácido sulfúrico [H₂SO₄]

⁴⁾ mg/l

⁵⁾ Dureza total, mg/l [como CaCO₃]

6.3.2 Fuente de agua Boró II

Boró II es un reservorio con un área de 24 ha. Está alimentado a través del canal Las Mercedes del reservorio Tinajones y actúa como presedimentador. La diferencia entre Boró I y Boró II es el tamaño y por consecuencia el tiempo de retención. El tiempo de retención es de 21 días (Boró I = 8 días).

En noviembre de 1996 Boró II sufrió las consecuencias del proceso de eutrofización. Las causas son las mismas que en Boró I.

Cuadro 6.3 : Calidad de Agua de Boró II 1995/96

Mes	pH	Turbiedad ³⁾	Alcalinidad ⁴⁾	CO ₂ ⁵⁾	Dureza ⁶⁾
Noviembre	7,67	19,8	134,5	-	-
Diciembre	7,44	7,03	110,5	-	-
Enero	7,80	9,07	99,0	2,5	102,5
Febrero	7,68	5,53	92,0	2,5	94,5
Marzo	7,41	8,20	98,5	2,5	105,5
Abril	7,64	12,10	110,0	3,4	121,0
Mayo	7,88	13,70	133,0	3,2	124,0
Junio	7,59	9,38	133,5	-	133,0
Julio	7,87	7,11	120,5	-	131,0
Agosto	7,50	7,04	115,5	-	126,5
Septiembre	7,69	7,88	129,5	-	122,5
Octubre	7,50	18,30	125,0	-	128,5

Fuente: Archivo de EMAPAL

6.3.3 Fuente de agua Toma Chéscope

La Toma Chéscope está ubicada en el río Lambayeque, a aproximadamente 5 km. al sudoeste de las lagunas Boró I y II. El agua cruda proviene también del reservorio Tinajones, sólo que aquí a causa de la ausencia de presedimentación, el agua se tiene que extraer con alta turbiedad. Esto sucede sobre todo en tiempo de lluvias intensas en la Sierra.

Cuadro 6.4: Calidad del agua cruda de la Toma Chéscope 1994¹⁾

Mes	pH	Turbiedad ²⁾	Alcalinidad ³⁾
Noviembre	-	-	-
Diciembre	-	-	-
Enero	7.72	31.88	155.0
Febrero	7.70	-	121.5
Marzo	7.64	123.38	81.5
Abril	7.45	138.66	93.0
Mayo	7.35	91.90	153.5
Junio	7.46	14.29	129.5
Julio	7.54	10.50	185.0
Agosto	7.83	28.00	168.0

Fuente: Archivo de EPBIL

³⁾ Unidades de turbiedad (nefelométrico).

⁴⁾ mg/l [como CaCO₃] Después de agregar naranja de metilo titulado con una solución ácida (ácido clorhídrico [HCl] y ácido sulfúrico [H₂SO₄])

⁵⁾ mg/l

⁶⁾ Dureza total, mg/l [como CaCO₃]

Con el agua cruda proveniente de la toma Chéscope fue posible hacer un análisis físico-químico más amplio, el mismo se ejecutó en el laboratorio central del CEPIS. (Ver cuadro 6.2).

Cuadro 6.5: Calidad del agua cruda de la Toma Chéscope (10 02 1997)

Parámetro	Valor	Unidad
Turbiedad	115	UT ¹⁾
Alcalinidad total (como CaCO ₃)	102	mg/l
Color	8	UC ²⁾
Dureza total (como CaCO ₃)	118	mg/l
Cloruro	6	mg/l
Sulfato	26	mg/l
Amoníaco	<0.1	mg/l
Nitrógeno orgánico	0.86	mg/l
Nitratos	0.4	mg/l
Nitrilo	0.034	mg/l
Fósforo	0.26	mg/l
Hierro	6.2	mg/l
Manganeso	0.26	mg/l

Los análisis bacteriológicos se llevan a cabo irregularmente (tanto para Boró I y II como para Chéscope). Por consiguiente, la contaminación bacteriológicas difícilmente pueden documentarse durante un largo período. Los valores de coliformes totales están entre 40 y 90 NMP / 100 ml, para coliformes fecales entre 40 y 100 NMP / 100 ml.

6.4 Descripción del Proceso de Potabilización del agua

Para lograr la separación de las impurezas en el agua durante su proceso de potabilización, se emplean principalmente procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección.

Cuando las impurezas no eliminar se encuentran agrupadas en pequeñas cantidades, sólo se requiere la filtración directa. No obstante, cuando existe una alta concentración de impurezas, como en este caso en la ciudad de Chiclayo, se debe intercalar un proceso de decantación. En base a la turbiedad del agua se puede determinar el límite entre la filtración directa y la filtración con decantación. El límite se encuentra alrededor de las 30 UT¹⁾.

Si las impurezas presentes en el agua están en forma de partículas en estado coloidal o de partículas en suspensión, solo se podrá lograr una separación económica y cualitativamente satisfactoria mediante el uso de coagulantes. Esto es válido tanto para la filtración directa como para la filtración con decantación.

¹⁾ Unidades nefelométricas de turbiedad

²⁾ Unidades de color (coeficiente de absorción Hg 436 nm)

6.4.1 Proceso de Potabilización del Agua en la Ciudad de Chiclayo

El proceso, del tratamiento del agua potable en Chiclayo consta de las siguientes etapas de preparación.

- **Coagulación**

Se entiende por coagulación al proceso de desestabilización de las fuerzas de estabilización (repulsión), que actúan entre las partículas dispersas. Estas fuerzas de estabilización tienen origen electrostático, la cual casi siempre es negativa cuando se trata de aguas superficiales. En Chiclayo, la desestabilización de las partículas coloidales causantes de la turbiedad del agua se logra a través de la aplicación de una solución de sulfato de aluminio en una cámara de mezcla rápida con agitador de tipo mecánico. A través de la aplicación del sulfato de aluminio el sistema coloidal estable se transforma en un estado de aglomeración inestable. Mediante el movimiento Browniano, las partículas desestabilizadas se conglomeran tan estrechamente, que las fuerzas de Van-der-Waals se ponen en funcionamiento y se forman los microfloculos.

- **Floculación**

A continuación comienza la fase de agrupación de las partículas desestabilizadas. Diferentes mecanismos de transportes conglomeran las partículas estrechamente y así se forman los microfloculos. El tamaño de los floculos es de gran importancia. En la filtración con proceso de decantación se debe lograr un floculo grande, compacto y denso que se deposite muy fácilmente en la decantación y que a su vez se resista al esfuerzo de arrastramiento de la filtración. Esto se lleva a cabo a través de pendientes de velocidad descendentes en todo el proceso del tratamiento y sobre todo en el floculador.

- **Decantación**

Es la separación de los floculos se efectúa por un lado en la decantación convencional, aquí, los floculos de mayor tamaño formados en el floculador se depositan a lo largo del decantador bajo la influencia de la fuerza de gravedad y por acción de su propio peso.

La unidad de decantación consta de dos etapas: decantación convencional y decantación laminar donde la separación de los floculos se separan mediante un sistema patentado de angotubos.

- **Filtración**

Es la separación de los floculos más livianos que no se retuvieron en el decantador.

Las condiciones para una separación de satisfactoria son el transporte de los floculos a la superficie granulada en el filtro y una adherencia suficiente entre las partículas y el lecho filtrante.

6.4.2 Parámetros fundamentales para el proceso de potabilización

La eficiencia de cada etapa del tratamiento está influida por diferentes factores. Los siguientes son los parámetros fundamentales para el proceso de tratamiento del agua cruda con proceso de coagulación, floculación, decantación y filtración:

1. Mezcla rápida:

- Dosis óptima de coagulante
- Concentración óptima de coagulante
- pH óptimo

2. Floculación:

- Tiempo de retención en el floculador
- Gradientes de velocidad

3. Decantación :

- Tasa de sedimentación

4. Filtración

- Velocidad de filtración
- Características del Lecho filtrante
- Características del proceso de lavado.

7 Descripción de la Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo

Capítulo 7 Descripción de la Planta de Tratamiento de Agua

7.1 Descripción General de la Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo

La Planta de Tratamiento de Agua de la Ciudad de Chiclayo fue construida en el año 1959 con una capacidad instalada de 900 lps., caudal que nunca llegó a alcanzarse debido a deficiencias y existencia de fugas en la línea y probables burbujas de aire que limitaban el caudal de conducción a 540 l.p.s. La Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo fue mejorada en 1974 para aumentar su capacidad nominal de tratamiento realizándose modificaciones en las estructuras de las unidades componentes a las actuales tales como unidad de mezcla rápida y floculador mecánicos, instalación de sistema patentado de angotubos, unidades de filtración con medios dobles, y reservorios de almacenamiento.

En el año 1988 se culminó la construcción de una estación de bombeo al ingreso del agua a la Planta y cámara Rompecarga, consiguiéndose aumentar el caudal máximo de conducción a 800 l.p.s., lo que siempre está limitado por la capacidad de la línea de conducción.

Actualmente en aforos efectuados en el reservorio de almacenamiento R-1 de la P.T.A.Chiclayo, se ha registrado un caudal de 680 lps cuando la alimentación de agua cruda hacia la Planta de Tratamiento se realiza desde las Lagunas Boró I y II y de 710 lps. cuando la alimentación de agua cruda es a través de la Toma Chéscope.

La Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo es del tipo convencional, dividida en dos módulos de tratamiento completos totalmente idénticas, estos módulos están conformados unidades de mezcla rápida, floculadores de flujo horizontal mecánicos, decantadores convencional y laminar, unidad de filtración compuesta por ocho módulos de filtros rápidos descendentes de medios dobles, con lecho mixto de arena y antracita y proceso de desinfección mediante la aplicación de cloro.

Los módulos de Tratamiento tienen 360 l/s de capacidad de producción cada uno y constan de :

- Un retromezclador
- Un floculador mecánico de dos cámaras, con agitadores de paletas de eje horizontal.
- Un decantador mixto de dos tramos, convencional y laminar, con módulos de sedimentación patentados (ango-tubos).
- Cuatro filtros de tasa y nivel constante.

Los componentes, deficiencias y mejoramiento de la P.T.A.Chiclayo desarrollados en el presente informe se refieren a los dos módulos de tratamiento.

La Producción actual de la Planta es en promedio de 720 lps., debido a deficiencias operativas en determinadas fases el proceso de tratamiento es deficiente, lo que se ve reflejado en la cantidad del agua producto.

7.2 Edificio Central, Laboratorio, Administración

Dentro de las instalaciones de la Planta existe un edificio central donde se localizan las actividades relacionadas con la preparación y dosificación de productos químicos, la administración general de la instalación y hasta marzo de 1997 se encontraba en este edificio el laboratorio central de control de calidad de la Empresa, a la fecha, se cuenta con un completo y moderno laboratorio con ambiente propio.

7.3 Llegada de Agua Cruda

Con la finalidad de aumentar la capacidad de conducción de la línea, la estructura de llegada del agua cruda a la Planta de Chiclayo está conformada por una estructura circular ó Caisson de 150m³, 8m. de diámetro y 4.40m. de profundidad, donde se disminuye el nivel de llegada del agua cruda proveniente de la Laguna Boró I (cota promedio 49.4 m.s.n.m.) a una cota de 27.62 m.s.n.m, de donde 5 tuberías de succión de ø 400mm. de diámetro alimentan a 5 equipos de bombeo para caudales de 250 l/s, 48 HP, y ADT de 9.0m., e impulsan el agua cruda a través de una tubería de ø 750 mm. hacia una cámara rompe-carga de 200m³ donde se ubican tuberías de salida de 750 mm. Las mismas que conducen el agua cruda por acción de la gravedad hacia dos módulos de tratamiento denominados Sedimentadores Norte y Sur ubicados en relación a la sala de mando , los cuales deben tratar teóricamente el 50 % del caudal total que ingresa a la Planta de Chiclayo.

La estación de bombeo de agua cruda opera permanentemente con 03 equipos de 48 H.P., quedando los dos equipos restantes en Stand-by, ante cualquier imprevisto.

Las principales características del sistema de bombeo de agua cruda a la Planta de tratamiento son las siguientes:

- Número de unidades : 5
- Tipo : Centrífugas horizontal
- Capacidad : 250 l/s
- Motor : U.S. Motor, 200 PS; 1180 r.p.m.

7.4 Alternativas de Alimentación de Agua Cruda a la P.T.A.P.Chiclayo.

Se puede afirmar que la Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo, cuenta con dos alternativas para su alimentación de agua cruda sea cual fuere la fuente de captación (Boró I, Boró II ó Toma Chéscope), la primera conformada por el Caisson y 03 equipos de bombeo de 48 H.P. y la otra alternativa el sistema de alimentación por gravedad, al cual se cambia mediante la manipulación de las válvulas correspondientes y el cual es utilizado para casos de emergencias donde por situaciones fortuitas como por ejemplo ante cortes intempestivos de fluido eléctrico o cuando se hace el cambio de sistema de captación.

Mediante esta alternativa puede alimentarse a la Planta de Tratamiento con un caudal 540 l/s. aproximadamente.

Capítulo 7 Descripción de la Planta de Tratamiento de Agua

7.5 Almacenamiento de Productos Químicos

Para el almacenamiento de sulfato de aluminio hay un pequeño techo al lado del edificio central. No se cuenta con un área adecuada para los otros productos químicos. Por falta de este ambiente los sacos de sulfato de aluminio están almacenados al aire libre.

7.6 Dosificación de Productos Químicos

La sala de dosificación de sustancias químicas está integrada por cuatro dosificadores en seco destinados dos de ellos para cal y los otros para sulfato de aluminio. Por las características del agua no se requiere la aplicación de cal en la mayor parte del año; ninguno de los dos dosificadores cuenta con motor de agitación del tanque de disolución.

Los dosificadores para el sulfato de aluminio y para la cal son los mismos. Las características de los equipos de dosificación son presentadas a continuación:

- Cantidad: 4 (1000 kg./tolva)
- Marca: Lockwood
- Tipo: Tornillo sin fin
- Dosificación: En seco

Características de los dosificadores de sulfato de cobre.

- Cantidad: 2
- Marca: Electromac (1L-A-2035-6)
- Tipo: En solución con bomba dosificadora de 0.3 a 2.1 l/s
- Volumen del tanque de solución: 636 l.

La dosificación de reactivo hacia ambos módulos de tratamiento norte y sur se efectúa mediante una caja repartidora ubicada en la parte superior de la cámara de mezcla rápida, y se realiza a través de un tubo de PVC de 100 mm que se alimenta en la sala de dosificación.

7.7 Cámara de Mezcla Rápida

La unidad de mezcla rápida está ubicada al ingreso de la tubería de agua cruda, está constituida por una cámara de forma rectangular con 3.0x 2.0 m de sección y 4.0 m de altura, y una altura de agua de 3.75m. a esta cámara llegan las tuberías de dosificación de reactivos. Con estas dimensiones dicha unidad tiene un volumen de agua de 22.75 m³

Esta unidad está equipada con un retromezclador mecánico de eje vertical marca Delcrosa de 3 HP de potencia, actualmente se encuentra inoperativo. De información proporcionada por la Empresa se determinó que dicho la mariposa de este agitador tiene un radio de giro de 0.45m., asimismo dicho equipo no contaba con un dispositivo para variar el número de revoluciones.

La dosificación de la solución de sulfato de aluminio es aplicada exactamente en la boca a la altura de la clave del tubo de ingreso de agua cruda a la unidad.

7.8 Unidad de Floculación

Esta unidad está constituida por una cámara de 10.0 x 11.8 m sección y 4.0 m de altura, la altura de agua es de 3.75 m. El volumen total de esta unidad es de 442.5 m³. El floculador cuenta con 2 compartimentos exactamente iguales divididos por una pantalla divisoria de madera simple ubicada a lo ancho de la unidad de una profundidad de 2.45m. y a una altura de 1.50 m desde el fondo de la unidad. Está equipada con paletas de eje horizontal ubicadas en serie que contienen cuatro aspas de dos alas de 2.3 m de ancho, con radio de giro de 1.575m . El conjunto es accionado por motores eléctricos de 7.5 H.P. y 1800 R.P.M. ubicados en una cámara seca. Los dos conjuntos de paletas tienen la misma velocidad de giro de 2.4 R.P.M. girando una en sentido contrario de la otra .El agua proveniente de esta unidad fluye hacia una cámara de tranquilización pasando a través de una pared de ladrillo con perforaciones simétricas, antes de ingresar al sedimentador.

El sistema de floculación no actúa eficientemente por la escasa gradiente de velocidad en la mezcla rápida , lo cual no permite la formación consistente de flocs en su oportunidad.

Adicionalmente se observa que cuando el agua cruda proviene a través de la toma Chéscope directa de río se presenta un ingreso imprevisto de arenas que sedimentan en la cámara de floculación, obligando a continuas intervenciones de remoción para no perturbar el giro de las paletas.

7.9 Unidad de Decantación

La unidad de decantación está ubicada inmediatamente después de la unidad de floculación formando un conjunto. Cuenta con dos secciones bien definidas: la primera tiene forma de U y es de decantación simple y la segunda es de decantación laminar compuesta por un sistema de módulos patentado de megotubos. La recolección de agua decantada se efectúa mediante 14 módulos de plástico que cuentan con vertederos triangulares ubicados a lo ancho de la unidad sobre la unidad de decantación laminar.

Las características principales de la unidad son las siguientes:

1ª Sección:

- Período de retención teórico 91.6 min.
- Superficie 520.8 m²
- Velocidad de escurrimiento horizontal 0.47 m/min.
- Tasa de sedimentación 59.7 m³/m²/d
- Longitud (1er tramo) 16.25 m.
- Longitud (2do tramo) 15.80 m.

2ª Sección:

- Período de retención teórico 36.1 min.
- Superficie 205.3 m²
- Velocidad de escurrimiento horizontal 0.55 m/min.
- Tasa de sedimentación 151.5 m³/m²/d
- Longitud 10.7 m

El fondo de los sedimentadores consta de cumpletos troncocónicos invertidos. El sistema de recolección de lodos está formado por tuberías perforadas de $\varnothing 75$ mm ubicadas en el fondo y a lo largo de toda la unidad que suben por la pared interior, atraviesan el muro y mediante giro de 90° , drenan el lodo acumulado aprovechando la carga hidráulica que proporciona el tirante de agua en el decantador (efecto sifón) y finalmente descargan a un colector exterior de $\varnothing 200$ mm., para ser evacuados mediante los equipos de bombas de lodos hacia la acequia Cois. Los lodos son drenados constantemente estando esta labor incluida dentro de las tareas diarias de operación.

Los módulos patentados de anpotubos presentan evidente estado de deterioro, además, por sus características tubulares se obturan rápidamente originando constantes intervenciones de limpieza, así como por la carencia de facilidades para limpiar los lodos acumulados en el interior de los módulos.

7.10 Unidad de Filtración

La Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo cuenta en cada uno de sus módulos con una batería compuesta por cuatro filtros dobles cada uno con dos secciones de filtración de 2.4×6.5 m de sección y 3.0 m de profundidad, separadas por el canal de desagüe de 0.7 m de ancho; el borde libre de los filtros es de 0.9 m.

El ingreso de agua es común para las dos secciones y se realiza mediante un vertedero ubicado entre ellas. Asimismo, en ambas secciones se ubicaron 3 canaletas para la recolección del agua de lavado las cuales drenan al canal de desagüe común para las dos secciones.

El lecho filtrante es de medio doble compuesto por capas de arena y antracita, la capa soporte es de grava. El sistema de recolección de agua filtrada es mediante fondos tipo Wheeler con cajas troncocónicas donde se albergan esferas de cerámica de $\varnothing 3.5$ y $1.5''$, el cual descarga el agua filtrada a una sección inferior de 0.4 m. de altura donde se ubica la tubería de salida de agua filtrada.

Las principales características del sistema de filtración son las siguientes:

• N° filtros	4 unidades/módulo
• N° de secciones de filtración	2 por filtro
• Espesor del medio filtrante	0.80 m
• Espesor de antracita	0.55 m
• Espesor de arena	0.25 m
• Capa soporte de grava	0.30 m

La Característica del medio filtrante actual se presenta en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1: Granulometría del medio filtrante

Material	D_x ¹⁾	D_{60} ²⁾	D_{90} ³⁾	C.U. (D_{60}/D_{10}) ⁴⁾	L_m ⁵⁾
Arena	0.6	0.72	0.9	1.2	
Antracita	1.05	1.7	2.7	1.62	4.5

Cada filtro cuenta con dos válvulas de mariposa a la salida de agua filtrada (una para cada sección) una válvula de mariposa para control de flujo de salida comandada por un flotador en la caja del filtro el cual acciona el disco mediante palancas, un medidor venturi, una válvula de compuerta antes del ingreso al colector, una válvula mariposa para el desagte antes del ingreso al colector, una válvula de mariposa para el desagte y otra similar para el ingreso del agua de lavado. Todas las válvulas son de accionamiento manual desde la sala de mando, a excepción de la válvula reguladora de caudal.

Las instalaciones se complementaban con un medidor de pérdida de carga para cada filtro y los paneles de registro de caudal de salida caudal de bombeo y diferencial de carga todos ellos inoperativos por haberse removido los tubos de transmisión y/o deteriorado los mecanismos indicadores.

7.11 Sistema de Lavado

El sistema de lavado del lecho filtrante es mediante un flujo de agua a presión en sentido contrario ascendente (retrolavado), la presión necesaria es proporcionada mediante una derivación de la tubería de impulsión de los equipos de bombeo de agua a la ciudad.

Anteriormente se contaba con un sistema de lavado superficial ubicado en la parte superior del lecho de arena esta compuesto por 7 tubos de $\phi 1.5''$, alimentados de agua a presión a través de un tubo longitudinal de $\phi 100$ mm. El tubo de desagte se ubica al fondo del canal central a nivel con el lecho de grava. Actualmente este sistema de lavado superficial está fuera de operación, presentando evidentes muestras de deterioro.

Los sistemas de salida de agua filtrada, lavado y desagte del filtro, están conformados por tuberías de acero de $\phi 300$ mm; el colector de agua filtrada es de $\phi 850$ mm y el colector de desagtes es de $\phi 600$ mm.

1) Tamaño efectivo

2) Tamaño en un 90 % del peso que pasa la malla

4) Coeficiente de uniformidad

5) Grado de intermezcla: d_{90} antracita / d_{60} arena

7.12 Sistema de Desinfección

El proceso de desinfección del agua filtrada se efectúa mediante la aplicación de cloro-gas en solución mediante dos dosificadores al vacío ubicados en la sala de mando. La alimentación del cloro-gas se realiza desde un ambiente exterior que alberga un solo cilindro de 2,000 lbs., instalado sobre una balanza.

Debido a la carencia de un ambiente adecuado los cilindros de reserva se encuentran a la intemperie.

El sistema de desinfección se ubican en la galería de control de filtros y cuenta con dos unidades de cloración cuyas características en resumen son las siguientes:

- Cantidad 2
- Tipo Dosificadores de cloro gaseoso al vacío
- Control Manual
- Rango de Operación de 20 a 300 lbs⁶⁾ /d
- Marca: Wallace-Tierman

La inyección de la solución de cloro se aplica mediante un inyector de orificios instalado directamente dentro de la tubería general de agua filtrada y antes de las válvulas de control de agua de ingreso hacia los reservorios de almacenamiento R-1 y R-2.

7.13 Reservorios de Almacenamiento de Agua Potable

Dentro de las instalaciones de la Planta de Tratamiento se encuentran los dos reservorios de almacenamiento de agua tratada R-1 y R-2, ambos son enterrados con volúmenes totales de aproximadamente 4000 m³ cada uno.

El llenado de los reservorios es controlado por el personal operativo, mediante la manipulación de válvulas reguladoras al ingreso de cada uno de los reservorio.

7.14 Estación de Bombeo N°2 (Equipos de Bombeo de 200 H.P.)

La estación de bombeo de agua tratada está ubicada entre los dos reservorios enterrados de almacenamiento R-1 y R-2.

Cuenta con un conjunto de cuatro electrobombas cuyas de tuberías de succión se ubican dos dentro de cada reservorio enterrado mediante las cuales el agua potable almacenada se succiona e impulsa a través de una tubería general de 34" directamente a las redes de distribución.

⁶⁾ libra = 460 g ; 300 lbs/d = 138 kg/d

Capítulo 7 · Descripción de la Planta de Tratamiento de Agua

La operación de bombeo a la ciudad se realiza mediante el funcionamiento de 03 equipos de bombeo los cuales se encienden durante las horas de máxima demanda por el lapso de aproximadamente dos horas, que es el tiempo en que se totalmente el agua almacenada en ambos reservorios. Siempre se cuenta con 01 equipo en stand-by

Las horas de bombeo de agua potable a la ciudad son :

05:45 a.m. - 8.00 a.m.

11:45 p.m. - 2.00 p.m.

17:45 p.m. - 20:00p.m.

22:45 p.m. - 01:00 a.m.

Las principales características del sistema de bombeo de agua tratada a la ciudad son las siguientes:

- Número de unidades: 4
- Tipo : Centrifugas horizontal
- Modelo : 12x16x18 L 1180 r.p.m.
- Marca : Hidrostral
- Capacidad : 300 l/s.
- Motor : U.S. Motor, 200 PS; 1180 r.p.m.

7.15 Macromedición

La Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo cuenta con un sólo macromedidor de abrazadera instalado inmediatamente a la salida de la estación de bombeo de agua tratada. Mediante este macromedidor se registra en forma horaria los caudales de agua tratada impulsados a la ciudad.

Las principales características de este macromedidor son :

- Número de unidades : 1
- Tipo : macromedidor helicoidal de abrazadera $\varnothing 30''$
- Capacidad : de 0 a 2000 l/s

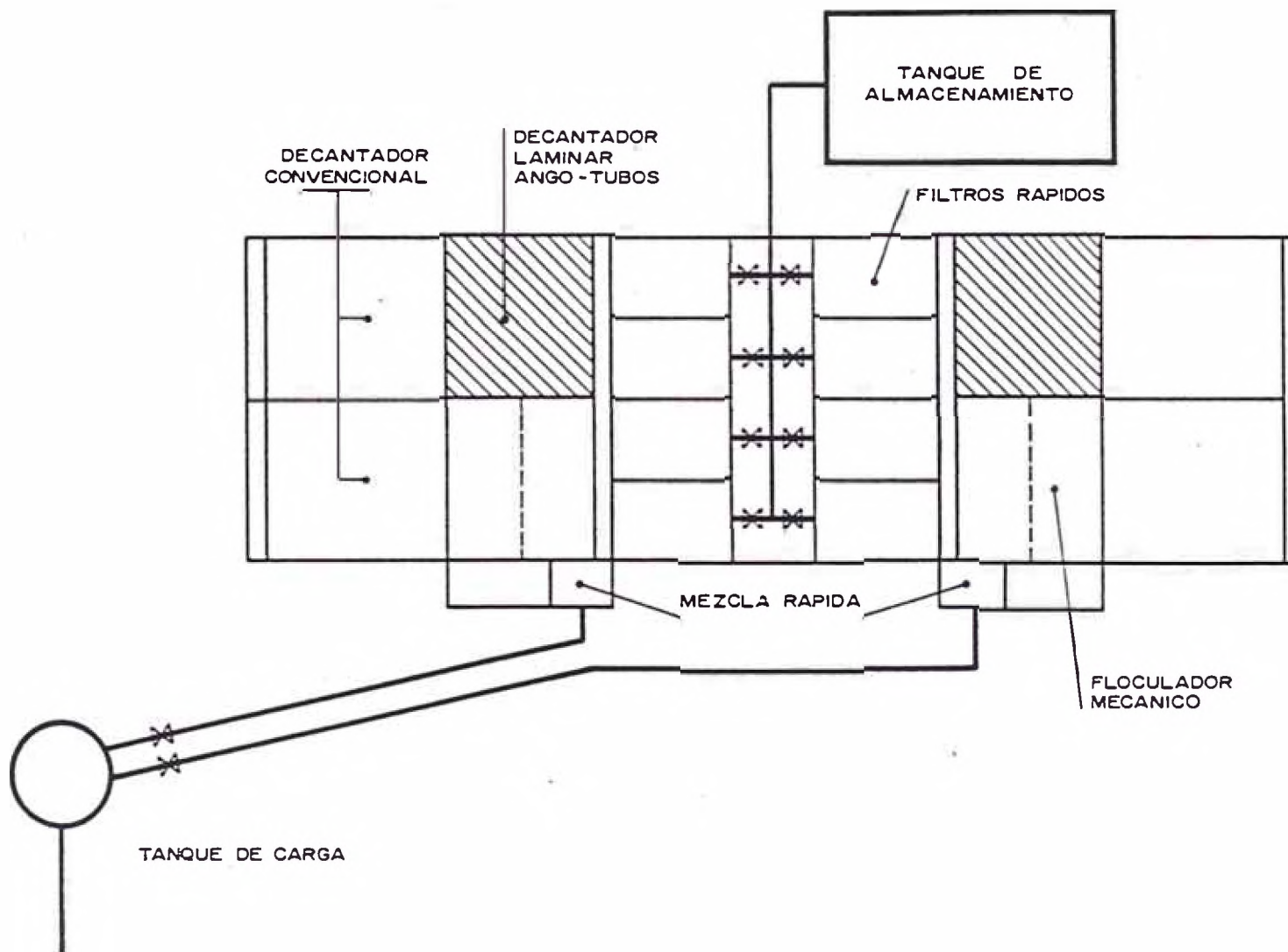


DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA CIUDAD DE CHICLAYO EXISTENTE

8 Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo

8.1 Programa de actividades durante la evaluación de la P.T.A.Chiclayo.

A continuación se presenta las actividades que se han seguido durante la evaluación de la P.T.A.Chiclayo.

- **Determinación de parámetros óptimos de dosificación.**

En esta etapa de la evaluación se determinaron a nivel de laboratorio mediante el equipo de Prueba de Jarras los parámetros óptimos de los procesos de mezcla rápida, floculación y decantación.

- **Evaluación de la dosificación y manejo de sustancias químicas.**

Se determinó la eficiencia de la dosificación de sustancias químicas mediante la calibración de los equipos dosificadores y determinación del grado de exactitud y flexibilidad de los mismos.

- **Evaluación de la unidad de floculación - decantación**

Mediante el ensayo de trazadores se determinaron las condiciones hidráulicas de las unidades de floculación y decantación tales como Gradientes de velocidad y periodos de retención reales.

- **Evaluación del proceso de filtración.**

En esta etapa se determinó la eficiencia del proceso de filtración mediante la determinación de la granulometría y espesor del lecho filtrante y del sistema de lavado de los filtros.

8.2 Calidad

La información recopilada al inicio del presente estudio de evaluación proporcionada sobre la calidad del agua que se trata en la P.T.A.Chiclayo está definida para los tres tipos de fuentes de captación del sistema en el periodo de tiempo de 1993-1995, es decir corresponde a la toma Chéscope (enero- agosto 1994), la Laguna Boró I (noviembre 1993-setiembre 1994) y Laguna Boró II (noviembre 1995-setiembre 1996), esto nos da una buena idea del rango dentro del cual varía cada parámetro y su comportamiento durante los periodos comprendidos.

8.2.1 Calidad de Agua de la Fuente : Toma Chéscope

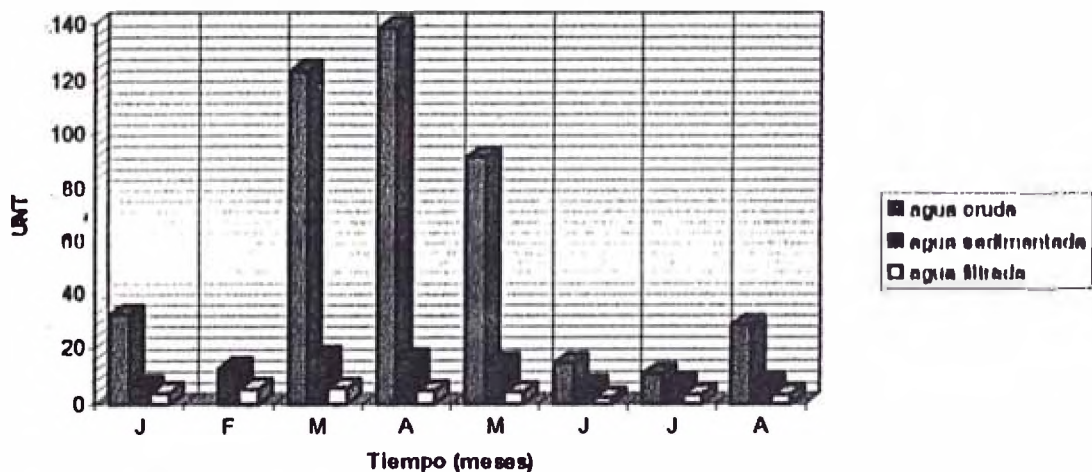
El gráfico 8.1 donde la fuente de captación es directa de río a través de la Toma Chéscope, nos muestra que los valores máximos de turbiedad se presentan durante los meses de lluvias es decir de marzo a mayo, con algunas variaciones dependiendo del régimen de lluvias, el promedio mensual máximo de turbiedad se presenta en el mes de abril de 1995 con un promedio mensual de 138.66 UNT. En los meses de Junio a Enero se presentan normalmente aguas claras con turbiedades por debajo de los 30 UNT. La Alcalinidad tiende bajar entre febrero y abril del año considerado, pero se mantiene por encima de los 81 mg/l. En los meses restantes varía entre 120 a 185 mg/l. En todo caso, las concentraciones registradas son siempre altas, no requiriéndose añadir alcalinidad al agua para mejorar la eficiencia de la coagulación. El pH se presenta siempre por encima de 7 y la tendencia en los meses siguientes tiende a subir, variando entre 7.3 y 7.9. este rango de pH es apropiado para coagular la turbiedad.

Cuadro 8.1 : Calidad del Agua Cruda de la Toma Chéscope 1995

Mes	pH	Turbiedad	Alcalinidad
Enero	7.72	31.88	155.0
Febrero	7.70	-	121.5
Marzo	7.64	123.38	81.5
Abril	7.45	138.66	93.0
Mayo	7.35	91.90	153.5
Junio	7.46	14.29	129.5
Julio	7.54	10.50	185.0
Agosto	7.83	28.00	168.0

Fuente: Archivo de EPSEL

Gráfico 8.1
Turbiedad del Agua
Fuente: Toma Chéscope 1994/95



8.2.2 Calidad de Agua de la Fuente : Boró I

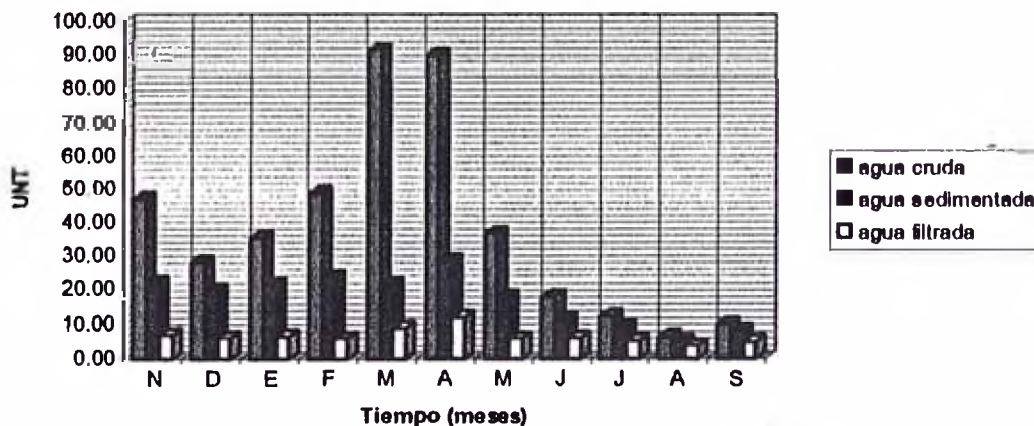
El gráfico 8.2 muestra la calidad del agua cuando la fuente proviene de la Laguna Boró I . Los valores máximos de turbiedad se presentan durante los meses marzo y abril con algunas variaciones dependiendo del régimen de lluvias, el promedio mensual máximo de turbiedad se presenta en el mes de marzo de 1994 con un promedio mensual de 91.5 UNT. En los meses de Junio a Setiembre se presentan normalmente aguas muy claras con turbiedades por debajo de los 20 UNT. La Alcalinidad tiende a mantenerse por encima de los 130 mg/lit. En los meses restantes varía entre 108.0 a 160 mg/lit. Las concentraciones registradas también son siempre altas, no requiriéndose tampoco añadir alcalinidad al agua para mejorar la eficiencia de la coagulación. El pH se presenta siempre por encima de 8 y la tendencia en los meses a variar entre 8 y 8.4.

Cuadro 8.3 : Datos de Calidad del Agua de Boró I 1993/94

Calidad del Agua de Boró I 1993/94					
Mes	pH	Turbiedad	Alcalinidad	CO ₂	Dureza
Noviembre	8,2	46,7	119,0	2,1	107,5
Diciembre	8,2	27,9	24,5	1,1	107,5
Enero	8,1	34,2	113,0	1,1	105,0
Febrero	8,1	48,7	114,5	1,2	100,0
Marzo	8,0	91,5	108,0	1,1	100,0
Abril	8,1	90,0	129,0	1,0	100,0
Mayo	8,2	36,6	131,5	1,0	107,5
Junio	8,3	17,9	139,5	1,0	110,5
Julio	8,2	12,4	132,5	1,0	107,5
Agosto	8,4	6,5	152,5	0,75	115,0
Setiembre	8,26	10,0	162,5	0,75	117,5

Fuente : motivos de EMAPAL.

Gráfico 8.2
Turbiedad del Agua
Fuente : Boró I 1993/1994



8.2.3 Calidad del Agua Cruda Fuente : de agua Boró II

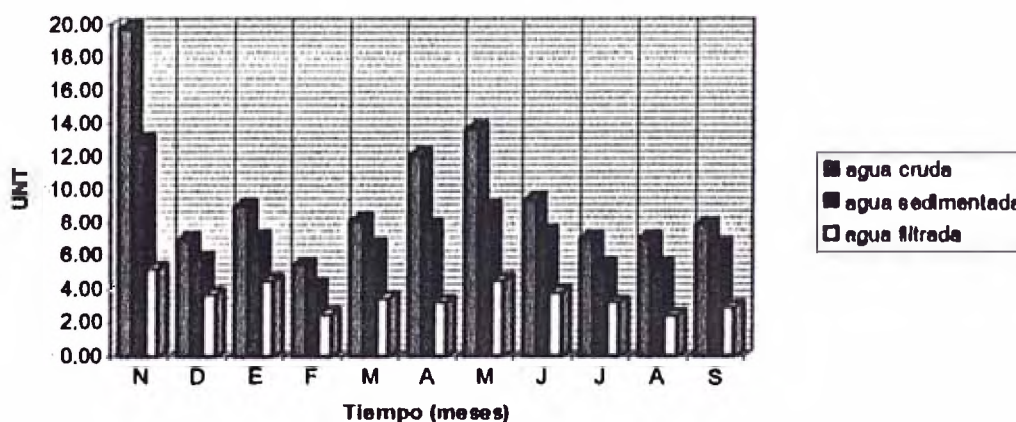
El gráfico 8.3 muestra la calidad del agua cuando la fuente proviene de la Laguna Boró II. Los valores máximos de turbiedad se presentan durante los meses octubre'95 y noviembre'96 dependiendo de la época de lluvias con algunas variaciones dependiendo del régimen, el promedio mensual máximo de turbiedad se presenta en el mes de noviembre'96 con un promedio mensual de 19.8 UNT. En los meses de Diciembre'95 a Octubre'96 presentan normalmente aguas muy claras con turbiedades por debajo de los 20 UNT., pudiendo asegurarse que cuando se opera con la Laguna Boró II el tratamiento del agua solamente requiere de un proceso Filtración Directa. La diferencia entre las lagunas Boró I y II radica en los periodos de retención. La Alcalinidad tiende a mantenerse por encima de los 100 mg/lit., variando entre 92 y 133 mg/lit. Las concentraciones registradas son siempre altas, no requiriéndose tampoco añadir alcalinidad al agua para mejorar la eficiencia de la coagulación. El pH se presenta siempre por encima de 7, variando entre 7.4 y 7.9 este rango de pH es apropiado para coagular la turbiedad.

Cuadro 8.4 : Datos de Calidad de Agua de Boró II 1995/96

Mes	pH	Turbiedad	Alcalinidad	CO ₂	Dureza
Noviembre	7,67	19,8	134,5	-	-
Diciembre	7,44	7,03	110,5	-	-
Enero	7,80	9,07	99,0	2,5	102,5
Febrero	7,68	5,53	92,0	2,5	94,5
Marzo	7,41	8,20	98,5	2,5	105,5
Abril	7,64	12,10	110,0	3,4	121,0
Mayo	7,88	13,70	133,0	3,2	124,0
Junio	7,59	9,38	133,5	-	133,0
Julio	7,87	7,11	120,5	-	131,0
Agosto	7,50	7,04	115,5	-	126,5
Septiembre	7,69	7,88	129,5	-	122,5
Octubre	7,50	18,30	125,0	-	128,5

Fuente: Archivo de EMAPAL

Gráfico 8.3
Turbiedad del Agua
Fuente: Boró II 1995/1996



8.3 Proceso de tratamiento requerido

Teniendo en cuenta las variaciones de calidad de las fuentes, cuando se capta el agua cruda a través de la Toma Chéscope (50 % del tiempo la turbiedad es menor de 30 U.N.T.), el 50 % del tiempo la Planta podría operar con filtración rápida completa y el 50% restante con filtración directa, esto es, sólo mezcla rápida y filtración.

En cambio con la Fuente Boró I el 65% del tiempo la Planta debe operar con filtración rápida completa y el 35% restante con filtración directa. Con Boró II el 100% del tiempo la Planta debería operar con filtración directa.

8.4 Determinación de parámetros óptimos para filtración rápida completa

Uno de los objetivos de la evaluación de la P.T.A.Chiclayo ha sido determinar a nivel de Laboratorio los principales parámetros operacionales, para la calidad del agua existente en el momento de la evaluación, utilizando para ello el Equipo de Prueba de Jarras para simular los procesos de tratamiento que se efectúan en la Planta de Tratamiento de Chiclayo.

Mediante el Equipo de Prueba de Jarras, se simularon, a nivel de Laboratorio, los parámetros operacionales, con los cuales se obtiene la máxima eficiencia en el tratamiento en estas.

El parámetro de control fundamental que nos indica la eficiencia de cada proceso de tratamiento es la turbiedad. La presente investigación fue realizada con agua directa del río proveniente de la Toma Chéscope, ya que al momento del inicio de las investigaciones las lagunas Boró no estaban en operación. Actualmente ya está operativa la Laguna Boró I mientras que la Laguna Boró II está en periodo de recirculación de las aguas contenidas.

a. Descripción del Equipo de Prueba de Jarras

Normalmente estos equipos de Prueba de Jarras constan de lo siguiente:

- Un agitador mecánico provisto con tres a seis paletas, capaz de operar a velocidades variables (de 0 a 100 revoluciones por minuto).
- Un iluminador de flóculos localizado en la base del agitador.
- Vasos de precipitados de 2 lt. Cada uno, forma baja, de cristal refractario tal como se muestran en el Anexo 5.

b. Recomendaciones para la realización de los Ensayos de “Pruebas de Jarras”

- Los Ensayos de Pruebas de Jarras constituyen una herramienta muy apreciable para
- La evaluación y caracterización de la eficiencia de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación.
- La velocidad de adición del coagulante químico debe ser lo más rápido posible y en forma simultánea a cada vaso o jarra. (máximo en un lapso de cinco segundos).

- Aplicar las dosis de coagulante en un punto fijo localizado cerca del eje impulsor durante una mezcla rápida a alta velocidad.
- Debido a que en la Prueba de Jarras la variable más importante es la intensidad de agitación expresada como gradiente de velocidad es que utilizan las paletas o rotores, accionadas en forma mecánica y magnética.
- Los estatores o deflectores se utilizan para el movimiento de inercia que se produce al detener el motor de agitación luego del ensayo de floculación los cuales provocan resultados erróneos en el ensayo posterior de sedimentación.

c. Descripción del ensayo

- Se llenan las jarras con 2lt. de agua cruda.
- Se coloca la jarra bajo de la paleta, la cual debe ser ajustada exactamente en el centro de la jarra.
- Se hacen girar las paletas a 100 r.p.m.
- Se inyecta rápidamente y en forma simultánea el coagulante a las 06 Jarras.
- Una vez hecha la mezcla rápida durante 60seg. se disminuye la velocidad de rotación de las paletas por ejemplo a 40 r.p.m., según sea el parámetro a determinar.
- De acuerdo al objetivo del ensayo el tiempo de floculación dura de 5 a 30 minutos.
- Al final del periodo de floculación se retiran las paletas y se instala el dispositivo para la toma de muestras.
- Cumplido el tiempo de floculación se procede a dejar las Jarras en periodo de sedimentación. Aquí también pueden variar los tiempos de sedimentación de acuerdo al objetivo del ensayo.
- Después de cumplido el tiempo de sedimentación se toman las muestras, debiendo determinarse la turbiedad residual.
- Cada parámetro se examina siguiendo el mismo orden que en el proceso del tratamiento. Cuando se realiza la determinación de un parámetro como óptimo, en la prueba siguiente este se mantiene constante haciendo variar el parámetro deseado. Este procedimiento se repite hasta que el último parámetro para todos los ensayos.

8.4.1 Determinación de Parámetros Óptimos de Dosificación.

Los parámetros de calidad del agua cruda investigada fueron :

- Turbiedad = 32 UT
- pH = 7,71
- Dureza = 130 mg/l
- Alcalinidad = 120 mg/l

Los parámetros adoptados durante el proceso de tratamiento fueron:

Condiciones de Mezcla Rápida :

- Velocidad de agitación = 100 R.P.M.
- Gradiente de Velocidad = 180 /s
- Tiempo = 1 min.

Condiciones de Floculación :

- Tiempo de Floculación = 15 min.

- Gradiente de velocidad = 34 /s
 - Tiempo de Sedimentación = 15 min.
 - Altura de toma de muestra = 6 cm.
- Coagulante utilizado :**
- Sulfato de Aluminio = $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O)$

1.) Determinación de la Dosis Optima

El objetivo de este ensayo es poder determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales en la Planta que permita la formación de un floc pesado y compacto que pueda ser fácilmente retenido en los sedimentadores y no se rompa al pasar por el filtro sino que este a su vez sea retenido por el medio que atraviesa. El floc que se busca, por lo tanto, es aquel que da el mayor rendimiento en el conjunto de los procesos de clarificación.

Los resultados de este ensayo están expuestos en el **cuadro 8.1.**

Cuadro N°8.1 : Resultados del ensayo 1.)

DOSIS DE COAGULANTE (mg./lt.)	TURBIEDAD RESIDUAL (UT.)
10	4,3
15	2,0
20	1,7
25	1,8
30	2,0
35	2,1

Como conclusión se obtuvo que la **Dosis Optima de Sulfato de Aluminio** $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O)$ = **20 mg/l.** donde se obtuvo la menor turbiedad residual.

2.) Determinación de la Concentración Optima

El objetivo del presente ensayo es el de determinar la concentración de la solución de coagulante Sulfato de Aluminio donde se obtiene los mejores resultados de turbiedad residual debido a que la concentración de la solución de coagulante influye en la eficiencia de la mezcla rápida y cambia los resultados de la coagulación.

El ensayo de Prueba de Jarras se trabajó bajo las condiciones establecidas anteriormente y utilizando la Dosis Optima determinada en el ensayo anterior, los resultados obtenidos se dan a continuación en el **cuadro 8.2 :**

- Dosis Optima de Sulfato de Aluminio = 20 mg/l

Cuadro 8.2 : Resultados del ensayo 2)

CONCENTRACION (%)	TURBIEDAD RESIDUAL (UT)
0,5	4,4
1,0	3,0
2,0	2,0
5,0	2,2
10,0	2,7
15,0	3,0

Como conclusión se obtuvo que la Concentración Óptima de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_3)_4 \cdot 14H_2O$ es de = 2% donde se obtuvo la menor turbiedad residual

3.) Determinación del pH óptimo

El objetivo del presente ensayo es el de determinar el pH con el que se alcanza la mayor eficiencia remocional.

Para esta prueba fue necesario alterar el pH natural del agua que era de 7.71 a 6,3 y 8,84 ; el resto de condiciones se mantuvieron inalterables con respecto a la prueba anterior. Asimismo se utilizaron la Dosis y Concentración Óptimas determinadas en los ensayos anteriores.

- Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio = 20 mg/l
- Concentración Óptima de Sulfato de Aluminio= 2%

Los resultados obtenidos en esta prueba se presentan a continuación en los cuadros 8.3 y 8.4:

Cuadro 8.3 : Resultados del ensayo 3.)

Dosis (mg/l)	Concentración (%)	pH	Turbiedad Residual(UNT)
20	2	6.30	1.7
20	2	7.71	2.0
20	2	8.84	1.5

Asimismo, se realizó un Ensayo de Prueba de Jarras , variando las dosis de sulfato de aluminio al tiempo que se variaba el pH, para determinar con ello si era posible disminuir la cantidad de sulfato de aluminio.

Cuadro 8.4 : Resultados del ensayo 3.)

Jarra N°	pH = 6,3		pH = 8,84	
	Dosis (mg/l)	Turbiedad Residual (UT)	Dosis (mg/l)	Turbiedad Residual (UT)
1	10	4,1	10	5,6
2	15	1,5	15	4,1
3	20	1,7	20	2,2
4	25	1,7	25	1,8
5	30	1,4	30	1,5
6	35	2,3	35	2,0

Del análisis de los resultados vemos que los resultados de turbiedad residual están por debajo del nivel aceptable (5 U.N.T.) para valores de pH ligeramente distintos al pH natural del agua.

Conociendo que la Alcalinidad natural del agua cruda es alta y el pH natural se encuentra dentro del rango óptimo para remoción de turbiedad con coagulante Sulfato de Aluminio, los resultados de los cuadros 8.3 y 8.4 nos indican que no es necesario añadir alcalinidad artificial o modificar el pH del agua.

Asimismo no es posible lograr una reducción del sulfato de aluminio significativa si se varía el pH del agua a valores ligeramente diferentes al pH natural del agua cruda.

Por lo tanto se concluye que el pH óptimo del agua es el natural = 7.71.

8.4.2 Determinación de los Parámetros Óptimos de Floculación

El objetivo del presente ensayo fue el de determinar a nivel de laboratorio, los parámetros óptimos de floculación como son : el Gradiente de velocidad y el tiempo de floculación.

a. Procedimiento

- Se toma la muestra de agua cruda y se determina la turbiedad inicial (T_0).
- Se llenan los 6 vasos del equipo con el agua cruda.
- Se pone a funcionar el equipo con la velocidad de 100 r.p.m.
- Se aplican la dosis óptima de coagulante.
- A partir de la aplicación del coagulante se realizará la mezcla rápida durante un minuto.
- Al finalizar la mezcla rápida se inicia el proceso de floculación, para la cual se modifica la velocidad de acuerdo a las gradientes de velocidad seleccionadas. En este caso el gradiente de velocidad se varió desde $20-70s^{-1}$.
- Luego de flocular el agua por 5 minutos, se retira el primer vaso, se colocan el tomador de muestra.
- Los siguientes vasos se retiran en los tiempos de floculación seleccionados. En el presente caso para estas determinaciones se realizaron seis series de ensayos donde los tiempos de floculación variaron desde 5-30 min.
- Se determina la turbiedad residual para cada muestra, se calcula la eficiencia Remocional . Los resultados obtenidos se muestran en el **cuadro 8.5**.
- El tiempo de sedimentación para todos los casos fue de 10 min.

b. Recomendaciones para la realización de los Ensayos :

- Exactitud en la toma de muestras en los tiempos seleccionados.
- Realizar los ensayos a igual temperatura de la que normalmente tiene el agua cruda, por ser la temperatura un factor importante en el tratamiento.

En el **cuadro 8.5** se muestran los resultados de los ensayos de Pruebas de Jarra realizados para definir los parámetros de floculación para la Planta de Tratamiento de Chiclayo.

Condiciones de Mezcla Rápida :

- Velocidad de agitación = 100 R.P.M.
- Gradiente de Velocidad = 180 /s
- Tiempo = 1 min.

Condiciones de Floculación :

- Tiempo de Floculación = variable
- Gradiente de velocidad = variable
- Tiempo de Sedimentación = 10 min.
- Altura de toma de muestra = 6 cm.

Coagulante utilizado :

- Sulfato de Aluminio = $(Al_2(SO_3)_4 * 14 H_2O)$
- Dosis = 20 mg/l.
- Concentración = 2%

Condiciones iniciales del agua cruda

- Turbiedad = 32 UT
- pH = 7,71
- Dureza = 130 mg/l
- Alcalinidad = 120 mg/l

Cuadro 8.5: Turbiedad residual (T_r) con distintos tiempos de floculación

Gradiente de Velocidad		Tiempo de Floculación (min.)					
		5	10	15	20	25	30
R.P.M.	G(s ⁻¹)	T _r	T _r	T _r	T _r	T _r	T _r
20	20	12,5	4,6	3,9	2,9	2,8	2,3
28	30	8,4	4,3	2,3	2,0	1,9	2,1
34	40	4,7	3,9	1,8	1,7	2,2	2,4
39	50	5,4	2,3	1,5	2,0	1,9	4,1
45	60	4,1	2,2	1,9	2,5	4,2	5,4
55	70	5,2	2,3	2,2	2,6	4,4	5,7

Con los resultados de los ensayos realizados se grafican en escala aritmética los valores de $T_r/T_f \times 100$ versus periodos de floculación para los diversos valores de gradiente de velocidad (Gráfico 4.1). En esta curva se ha seleccionado el periodo total de floculación en base al punto que produce la mayor eficiencia Remocional, que para nuestro caso es de 16 minutos.

Luego se han graficado en escalas aritméticas los valores de $T_r/T_f \times 100$ versus los gradientes de velocidad para los diferentes periodos de floculación, obteniéndose seis curvas (Gráfica 4.2), donde se observa que para cada gradiente de velocidad, existe un periodo óptimo de floculación, que produce la máxima eficiencia (valor mínimo de $T_r/T_f \times 100$). Los puntos obtenidos tienen las coordenadas que se mencionan en el cuadro 8.6.

Cuadro 8.6: Valores críticos parámetros de Floculación

Punto	1	2	3	4	5	6
T (min.) ¹⁾	5	10	15	20	25	30
G (s ⁻¹) ²⁾	60	55	50	39	32	30

¹⁾ Tiempo de floculación en minutos

²⁾ Gradiente de velocidad G

Los valores obtenidos se ajustan a una recta mediante la ecuación de los mínimos cuadrados, de donde se determinó la siguiente ecuación

Ecuación [1] $G^{2,457} + T = 10^{5,186}$

De la aplicación de esta ecuación se obtienen los puntos indicados en el cuadro 8.7

(min.) ¹⁾	Cuadro 8.7: Parámetros críticos de la floculación					
T	5	10	15	20	25	30
G	67	51	43	38	35	32

Para el caso especial de la planta de tratamiento de Chiclayo, se han seleccionado dos compartimentos para el floculador siendo el tiempo total de 16 minutos, se tendrán los siguientes parámetros de diseño del floculador, obteniéndose las diferentes gradientes de velocidad para los periodos de 8 y 16 minutos de la ecuación. (Cuadro 8.8)

Cuadro 8.8: Parámetros críticos de la floculación			
Compartimento	Tiempo de retención (min.)		Gradiente de velocidad (s ⁻¹)
	Parcial	Total	
1	8	8	55
2	8	16	42

Gráfico 4.1
Turbiedad residual versus tiempo de retención

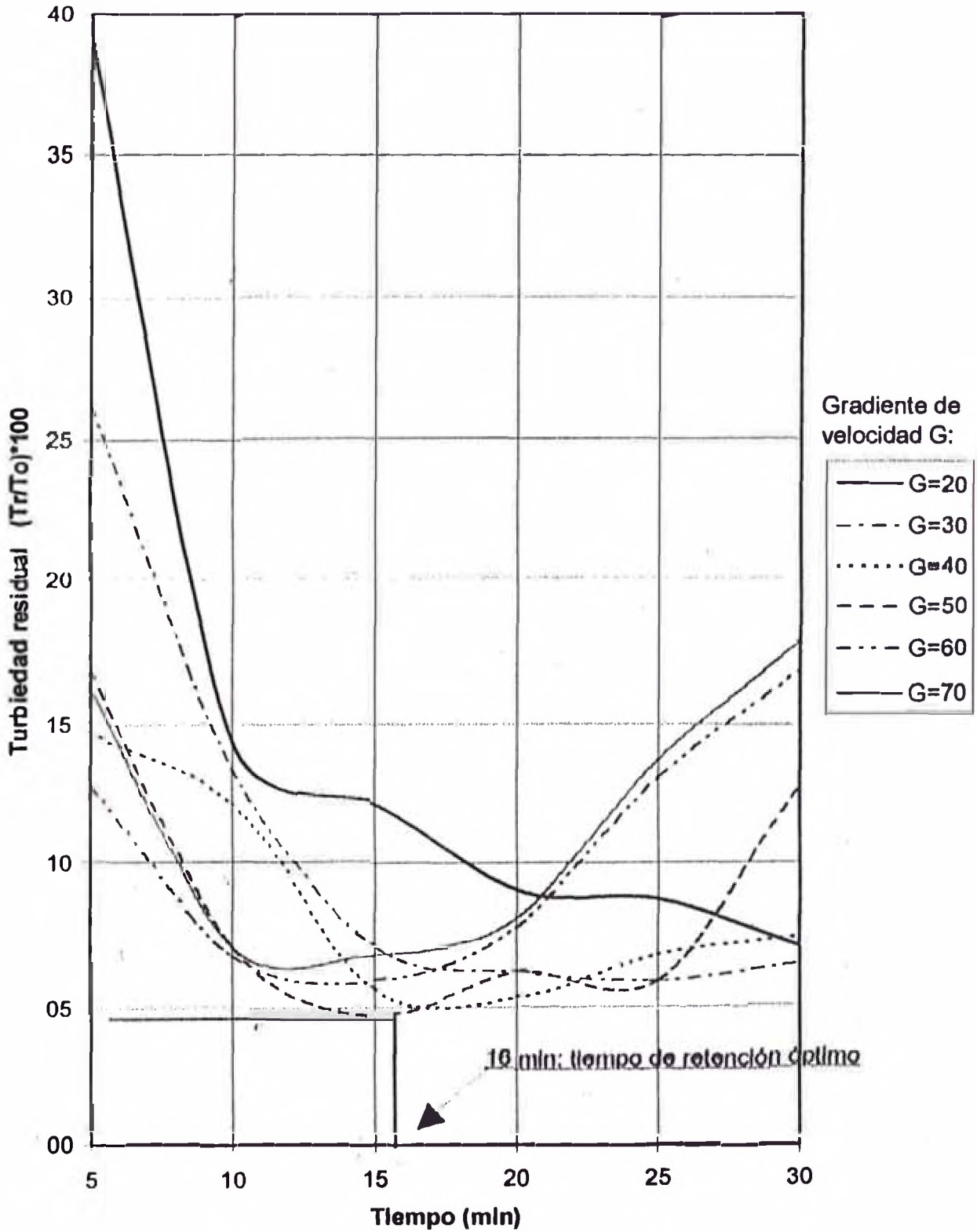
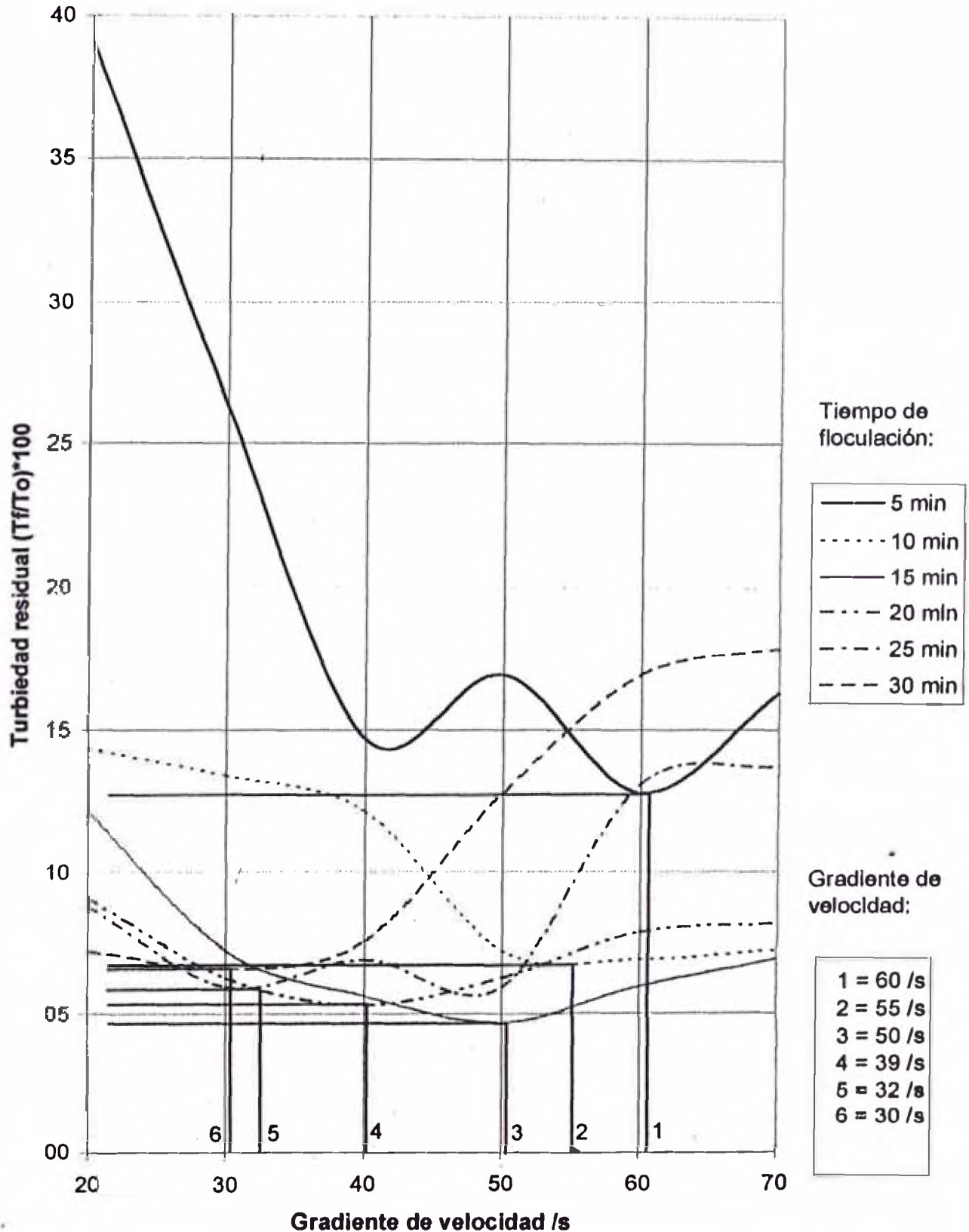


Gráfico 4.2
Turbiedad residual versus gradiente de velocidad



8.4.3 Determinación de los Parámetros Óptimos de Decantación

El objetivo de este ensayo es determinar, a nivel de laboratorio, los parámetros de sedimentación bajo condiciones ideales.

a. Procedimiento

- Se llenan tres vasos con el agua cruda, se enciende el equipo de Prueba de Jarras y se agregan el coagulante a las condiciones óptimas de dosificación, realizándose la mezcla rápida a 100 r.p.m. durante 1 minuto.
- Concluido el minuto de mezcla rápida se inicia la floculación con los gradientes y tiempo de floculación pre-seleccionados en los ensayos anteriores .
- Terminada la floculación se detiene el equipo y se colocan los flotadores para tomar las muestras, tratando de no producir ninguna perturbación en las suspensiones.
- Se toman muestras cada ½ minuto los primeros dos minutos; hasta acumular seis minutos y de dos en dos hasta completar 10 minutos de sedimentación. (30 - 600s).
- Se determina la turbiedad residual (T_r) en las muestras. Los resultados de este ensayo se indican en el cuadro 8.9.

Condiciones de dosificación :

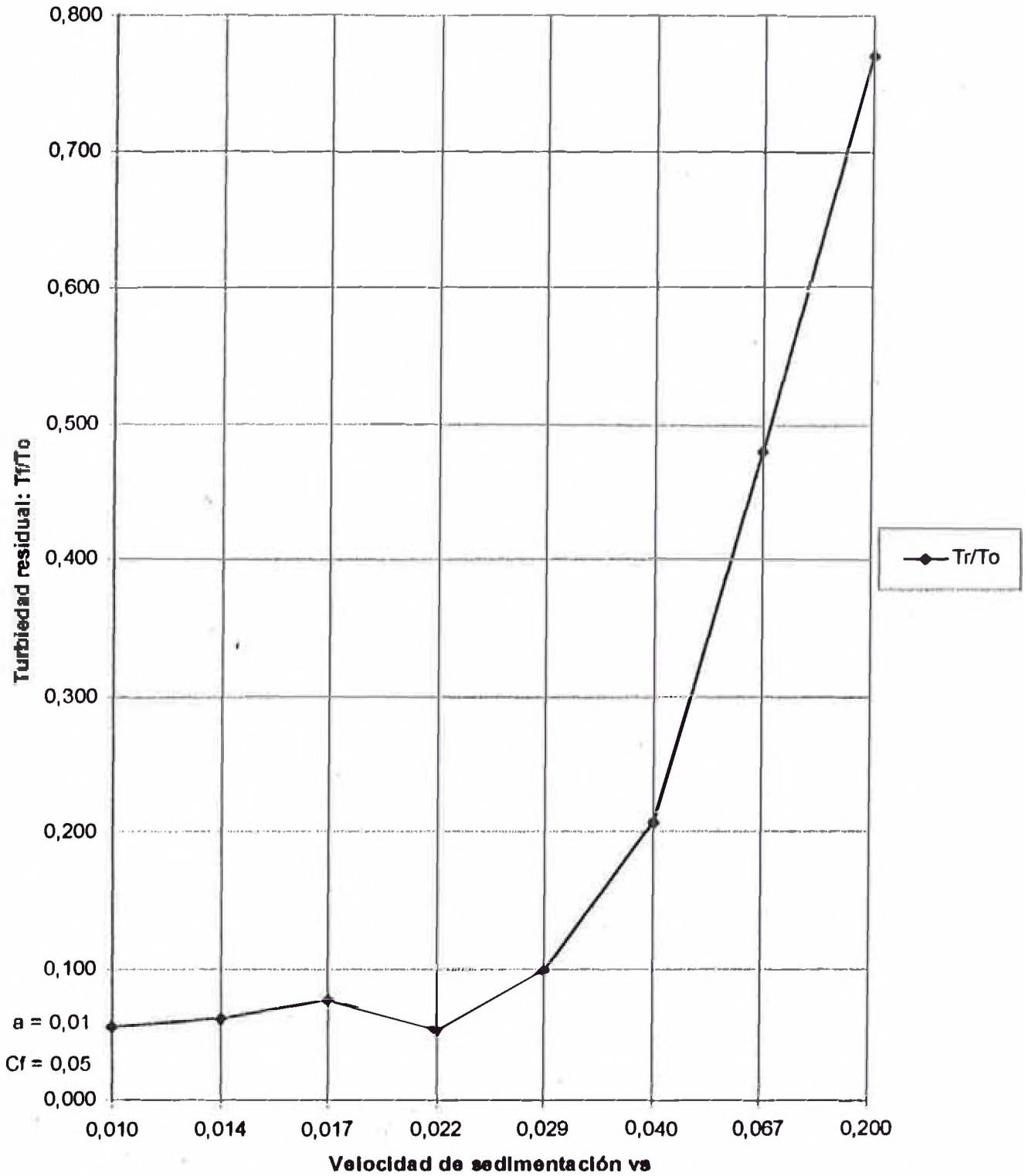
- Coagulante : Sulfato de Aluminio
- Dosis : 20 mg/lt
- Concentración : 2%

Cuadro 8.9: Resultados del ensayo de sedimentación

Tiempo Sedim. (t_s)	Veloc. Sedim. (V_s) cm/s	Turbiedad Inicial (T_o) UN	Turbiedad residual T_r (UNT)				T_r/T_o
			1	2	3	$\bar{\phi}$	
30	0.200	32.0	25.0	25.0	24.0	24.67	0.771
90	0.067	32.0	15.0	13.0	18.0	15.33	0.479
150	0.040	32.0	8.5	4.1	7.3	6.63	0.207
210	0.029	32.0	3.7	2.6	3.1	3.13	0.098
270	0.022	32.0	2.4	-	2.7	2.55	0.080
360	0.017	32.0	2.2	2.4	2.6	2.40	0.075
420	0.014	32.0	2.1	1.7	2.1	1.97	0.061
600	0.010	32.0	1.9	1.6	1.9	1.80	0.056

Con este tiempo de sedimentación (T_s) y con la profundidad de la toma de muestra (6.0 cm.), se calculó la velocidad sedimentación (V_s).

Gráfico 4.3
Velocidad de sedimentación versus turbiedad residual



El cuadro 8.10 nos muestra los valores correspondientes al porcentaje total de remoción (Rt), la turbiedad removida (Tr) y la turbiedad final (Tf).

To = 32 UT., a = 0.01, Cf = 0.005

Cuadro 8.10: Parámetros óptimos de sedimentación

q (m ³ /m ² /d)	V _s (cm/s)	C _o	R _t (%)	T _r (UT)	T _f (UT)
20	0.0231	0.08	97	31.04	0.96
30	0.0347	0.10	95	30.40	1.60
40	0.0463	0.75	75	24.01	7.99
45	0.0521	0.74	74	23.63	8.37
49	0.0567	0.69	69	22.10	9.90
49.5	0.0573	0.68	68	21.78	10.22
50	0.0579	0.65	65	20.83	11.17
60	0.0694	0.49	49	15.73	16.27

Parámetros óptimos de sedimentación:

- Velocidad de sedimentación Vs=0,0573 cm/s, con
- Tasa de sedimentación q =49,5 m³/m² x día

8.4. Resumen de los resultados

En el cuadro 8.11 se muestran los parámetros óptimos para el proceso del tratamiento con mezcla completa provenientes de los ensayos de Pruebas de Jarras.

Cuadro 8.11 : Resumen de los Resultados

UNIDAD DE TRATAMIENTO	PARÁMETRO ÓPTIMO DETERMINADO
Mezcla rápida	
Dosis de coagulante	20 mg/l
Concentración de coagulante óptima	2 %
pH óptimo	pH natural (7,7)
Floculación	
Período de retención (total)	t = 16 min.
Período de retención (mínimo)	t = 8 min.
Gradiente de velocidad en el primer Compartimento	G=55 /s
Gradiente de velocidad en el segundo compartimento	G=42 /s
Gradiente de velocidad para más compartimentos o diferentes periodos de retención	$G^{2,457} + T = 10^{5,186}$
Sedimentación	
Velocidad y tasa de sedimentación para la turbiedad mínima concebible.	vs=0,0231 cm/s, q = 20 m ³ /m ² /d
Velocidad y tasa de sedimentación para una turbiedad de 10 UT.	vs=0,0573 cm/s, q = 49,5 m ³ /m ² /d

8.5 Resultados de la evaluación de las Unidades del Módulo Norte de la Planta de Tratamiento de Chiclayo

La Evaluación Técnica de la Planta de Tratamiento de Chiclayo comprendió la evaluación de las unidades de tratamiento del módulo Norte e instalaciones generales de la Planta y como se conducen las gestiones de operación, mantenimiento y control de calidad.

8.5.1 Evaluación de la Dosificación y manejo de sustancias químicas.

Comprende la evaluación de los almacenes, forma en que se recepciona y trasladan las sustancias químicas de la sala de dosificación y de las unidades de dosificación.

a. Sustancias químicas empleadas

Las sustancias químicas utilizadas son sulfato de aluminio, sulfato de cobre, cal, hipoclorito de calcio y gas cloro.

A continuación se indican las características principales de estos insumos :

Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$

- El sulfato de aluminio proviene de Lima, Perú suministrándose en forma granulada (tipo B). La marca se llama "Pantera".
- Según la declaración del fabricante, la pureza del producto se encuentra entre 15 y 16 % (Al_2O_3)
- El sulfato de aluminio se provee en bolsas plásticas de 50 kg.

Cloro (Cl_2)

- Según la declaración del fabricante, la pureza del producto es de 99,9 % (Cloro líquido).
- El cloro se provee en cilindros de metal de 1000 kg. y de 68 kg.

Hipoclorito de Calcio

- Se emplean dos tipos de Hipoclorito de Calcio en forma granular :
 - El primero de ellos, según la declaración del fabricante la pureza del producto es de 33% se provee en bolsas plásticas de 50 kg. c/u.
 - El segundo tipo, según la declaración del fabricante, la pureza del producto es de 65 % .Se provee en cilindros plásticos de 45 kg. c/u

Sulfato de Cobre

- Se provee en bolsns plásticas de 50 kg. c/u.
- No cuenta con indicación acerca de la pureza del producto.

Cal

- Se emplean dos tipos de Cal en polvo.
- Se provee en bolsas plásticas de 50 kg. y 30 Kg.
- No cuenta con indicación acerca de la pureza del producto.

b. Almacenes

La Planta de tratamiento de Chiclayo no cuenta con una bodega de almacenamiento apropiado para sustancias químicas, hasta el mes de Octubre de 1997, el Sulfato de aluminio se almacenaba bajo un techo de calaminas con área de 72 m² ubicado al lado del edificio central el cual era insuficiente para almacenar el aprovisionamiento necesario de sulfato de aluminio, el restante se apilaban al aire libre. Actualmente este techo ha sido desmontado debido a que el área empleada se encontraba dentro del límite de las obras de la nueva Planta de Tratamiento.

Debido a estas condiciones de almacenamiento, el sulfato de aluminio está expuesto constantemente a la humedad ambiental, la cual se incrementa en la noche debido al descenso considerable de la temperatura. A causa de esto se forman grumos en el granulado, los cuales obstruyen la salida de la tolva hacia el dosificador, para evitar esto se antepone un tamiz de abertura 5 mm a la boca de la tolva durante el llenado. Se estima que un 5% del sulfato inutilizado permanece en el tamiz. Aún cuando las bolsas de sulfato de aluminio se colocan sobre tarimas de madera, están expuestas al ambiente. No hay almacén para los cilindros de cloro gas; estos permanecen a la intemperie.

c. Sala de Dosificación

La sala de dosificación es un ambiente bastante adecuado donde se ubican los dosadores de cal, sulfato de aluminio y sulfato de cobre. En el piso inmediato superior se ubica las tolvas para el vacado de los reactivos, estos son transportados hasta este nivel por medio de un ascensor.

Este nivel también se utiliza como bodega de transferencia de sustancias químicas utilizadas : sulfato de aluminio, sulfato de cobre, cal e hipoclorito de calcio.

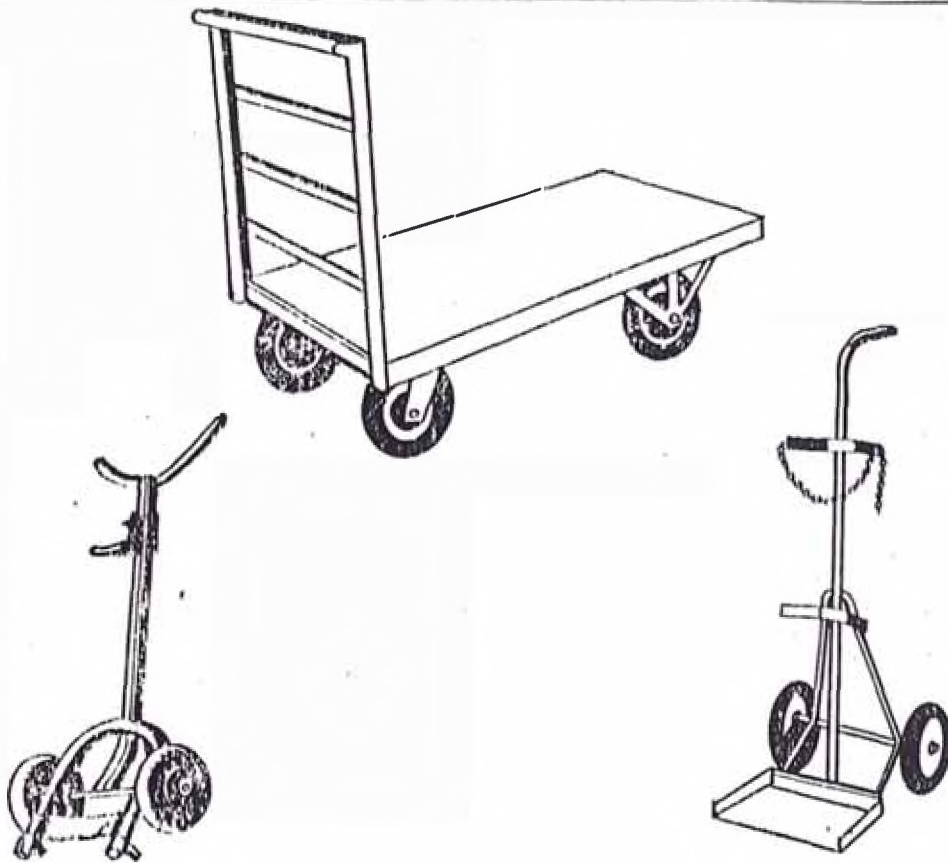
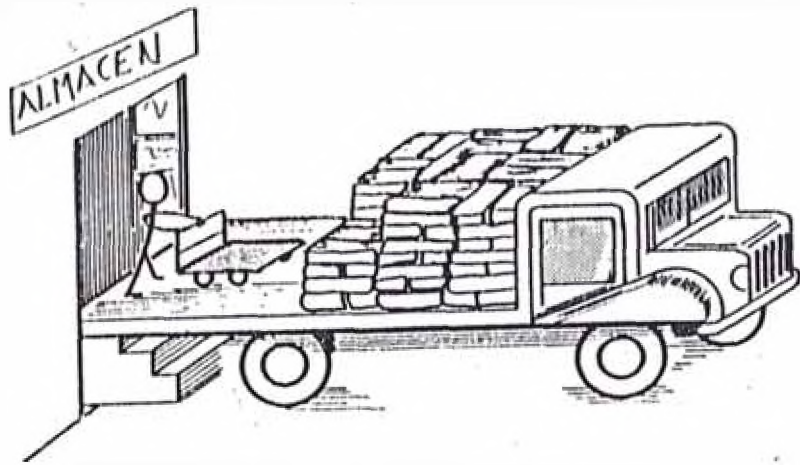
El diámetro de los orificios de salida del embudo es de 5mm, deja pasar todavía pequeños grumos. Además el vibrador que se encuentra debajo del embudo no funciona. El personal de EPSEL trata de remediar esta situación, golpeando con una piedra debajo de la parte final del embudo. El grado de eficiencia del sulfato de aluminio en el proceso de desestabilización se ve de esta manera notoriamente restringido.

En las tolvas de los equipos de dosificación de sulfato de aluminio y cal , los vibradores no funcionan.

Los tanques de solución no cuentan con dispositivo mecánico de mezcla. Las tuberías de ingreso de agua al tanque de solución no cuenta con un medidor que permita ajustar la concentración de la solución a límites adecuados.

d. Calibración de los Equipos

Para calibrar los dosificadores, se tomaron dos pruebas a seis diferentes velocidades (aberturas) de regulación. En cada prueba se pesó el sulfato que sale del dosificador durante dos minutos. De cada par de pruebas se calculó su valor medio (ver Cuadro) y se comparó con los valores utilizados en la Planta (ver gráfico 6.4). Sólo pudo ser calibrado un dosificador. Los otros tres estaban fuera operación.



CARRITOS BASCULANTES Y CARRETILLAS

Cuadro 8.12: Calibración del Dosificador

Abertura del regulador de dosificación	r.p.m.	Pesos obtenidos				Valores utilizados en Planta
		Prueba 1 (kg/2min)	Prueba 2 (kg/2min)	Promedio (kg/2min)	Real (kg./h)	
0	2	0.413	0.388	0.413	12.39	14.4
2	4	1.052	0.980	1.016	30.48	33.5
4	11	2.460	2.430	2.445	73.35	85.0
6	19	4.502	4.309	4.406	132.17	135.0
8	30	5.674	5.620	5.647	169.41	187.0
Max (9.5)	Max	7.096	6.843	6.970	206.06	225.0

Adicionalmente se requiere comparar la dosis que realmente se está utilizando con la dosis óptima obtenida en el laboratorio con el equipo de prueba de jarras la cual fue de 20 mg/l.

La cantidad de sulfato de aluminio que debe ser aplicada cada hora (P) es la siguiente:

$$P = 0,0036 * D * Q$$

$$P = 0,0036 * 20 * 710$$

$$P = 51,12 \text{ kg./h}$$

Siendo :

D = Dosis de coagulante [mg/l]

Q = Caudal tratado [l/s]

P = Peso dosificado [kg./h]

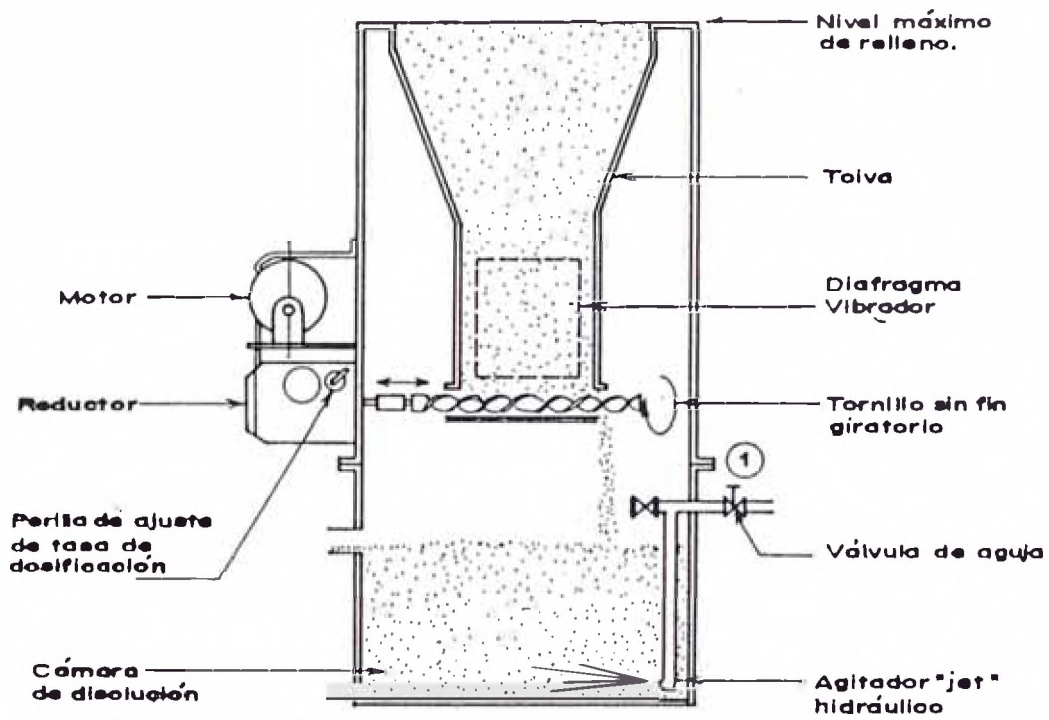
De este ejemplo puede concluirse que la dosificación de sulfato de aluminio es insuficiente ya que para dosificar 51,12 kg./h tendría que ajustarse el regulador de apertura del dosificador a 2.65 (8 r.p.m.), pero de tabular los valores de la tabla de calibración actual utilizada en la planta, con esta abertura se estarían dosificando solamente 42,5 kg./h., lo que nos indica que la tabla de calibración empleada en planta no da valores reales.

e. Grado de Exactitud del Dosificador [E] :

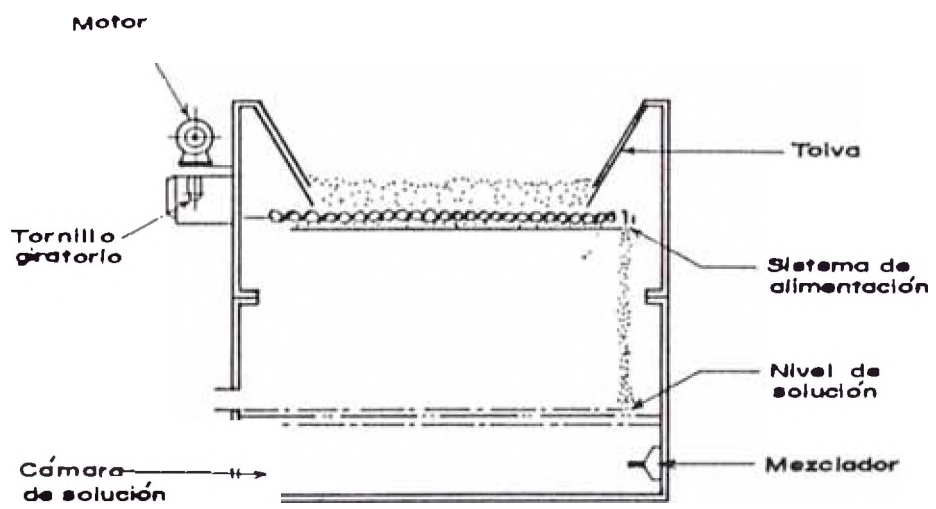
Para una dosis de coagulante de 20 mg/l se obtiene un grado de exactitud de 85.1%

$$E = (42,5/51,12) * 100 = 85,1 \%$$

Para una dosis de coagulante de 30 mg/l se obtiene un grado de exactitud de solamente 71,7 %.

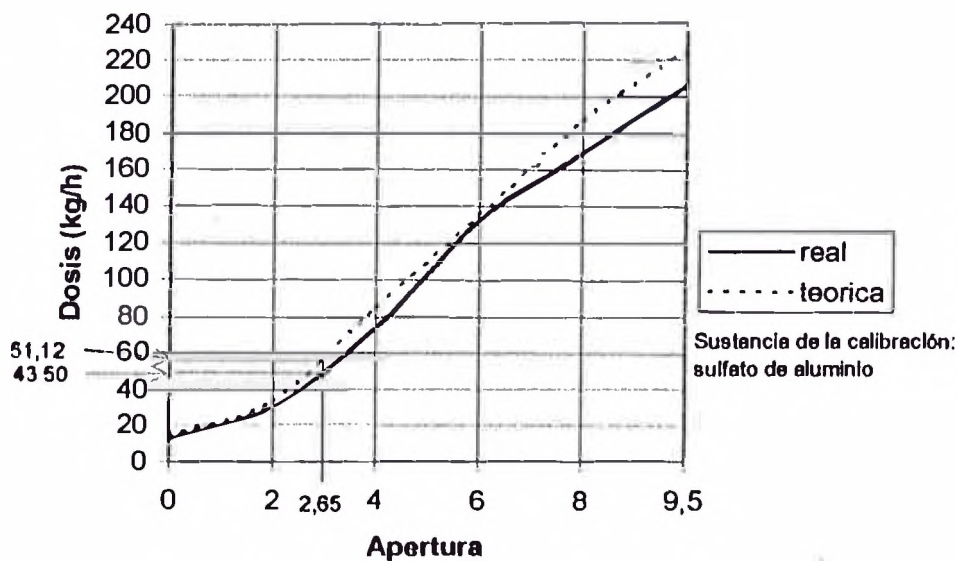


DOSIFICADOR VOLUMETRICO TIPO TORNILLO GIRATORIO -



DOSIFICADOR VOLUMETRICO TIPO TORNILLO GIRATORIO

Gráfico 6.4
Calibración de dosificadores



Cuadro 8.13: Exactitud de Dosificadores

Exactitud	Grado de Exactitud %
Muy buena	> 95
Buena	90 - 95
Regular	85 - 90
Deficiente	< 85

f. Grado de Concentración de la solución

Con el peso real y el caudal de agua que alimenta a la cámara de solución se puede determinar el grado de concentración existente, el cual será:

$$C = (P \cdot 100) / Q$$

$$C = (43,5 \cdot 100) / (0,88 \cdot 3600)$$

$$C = 1,37 \%$$

Donde :

C = Concentración [%]

P = Peso dosificado [kg./h}

Q = Caudal [l/s]

La exactitud [E] de la concentración es:

$$E = (C / C_{opt}) \cdot 100$$

$$E = (1,37 / 2) \cdot 100$$

$$E = 68,7 \%$$

Donde :

C_{opt} = Concentración Óptima [%]

g. Tiempo de Retención en la cámara de disolución

Con los caudales [Q] mínimo y máximo de agua que ingresa al tanque de disolución se pueden determinar los tiempos de retención [T] mínimo y máximo por medio de la siguiente ecuación:

$$T_{max} = V/(Q*60)$$

$$T_{max} = 210 \text{ l} / (0,16 \text{ l/s} * 60)$$

$$T_{max} = 21,90 \text{ minutos}$$

$$T_{min} = V/(Q*60)$$

$$T_{min} = 210 \text{ l} / (0,88 \text{ l/s} * 60)$$

$$T_{min} = 1,98 \text{ minutos}$$

Donde :V = Volumen del tanque de solución

En general el tiempo de retención recomendado es de aproximadamente 10 min., pudiéndose aceptar hasta 5 min. para permitir la polimerización adecuada de los coagulantes y mejorar su eficiencia.

Los dosificadores de Chiclayo trabajan con el máximo caudal, por eso el tiempo de retención es mínimo (1.98 min.), lo cual es insuficiente. Con un caudal medio de 0.4 l/s se logra un tiempo de retención de 8,75 min. Esto correspondería a una concentración de 3,02 %. Este valor es más alto que el óptimo de 2 % (exactitud = 66.2 %), sin embargo una concentración mayor es más favorable.

8.5.2 Evaluación del Proceso de Mezcla rápida

La mezcla rápida es el problema principal de la Planta de Chiclayo, lo que hace que esta interferencia se arrastre a lo largo del proceso de tratamiento. La solución de coagulante ingresa a la cámara de mezcla rápida mediante un tubo de PVC (\varnothing 50 mm) instalado en la parte superior de la boca de la tubería de conducción del agua cruda hacia la unidad evaluada.

a. Tiempo Real de Retención

Para determinar el tiempo real de retención en la cámara de mezcla rápida, la velocidad y las condiciones de ingreso a través del canal afluente a la unidad de floculación se utilizó la metodología de trazadores mediante la aplicación de una solución concentrada de cloruro de sodio, determinándose luego la conductividad de las muestras. En el Gráfico 6.6 se muestran los resultados obtenidos en este ensayo. De la curva resultante se puede deducir que el periodo de retención real es de 60s.

b. Gradiente de Velocidad

Como describimos en el capítulo 7, la mezcla rápida es de tipo mecánico. El Gradiente de Velocidad en esta unidad debería ser producido por la energía liberada en el ingreso de la línea de conducción y por el elemento mecánico de mezcla. En la Planta de Chiclayo el gradiente de velocidad existente se genera únicamente hidráulicamente. El valor de la pérdida de carga en esta unidad (0.158m.) se ha tomado de una evaluación realizada en el año 1987, donde la pérdida de carga se determinó, mediante la instalación de un piezómetro a la entrada de la cámara.

Con estos resultados el gradiente de velocidad por energía hidráulica (G_H) está dado por :

$$G_H = \sqrt{H * 1000 / (\mu * T_R)}$$

$$G_H = \sqrt{(0.158 * 1000 / (0.000103 * 60))}$$

Realizando el cálculo se obtiene :

$$G_H = 160 \text{ s}^{-1}$$

Donde :

μ = viscosidad del agua = 0.000103 Kgf.seg/m²

H= pérdida de carga = 0.158 m.

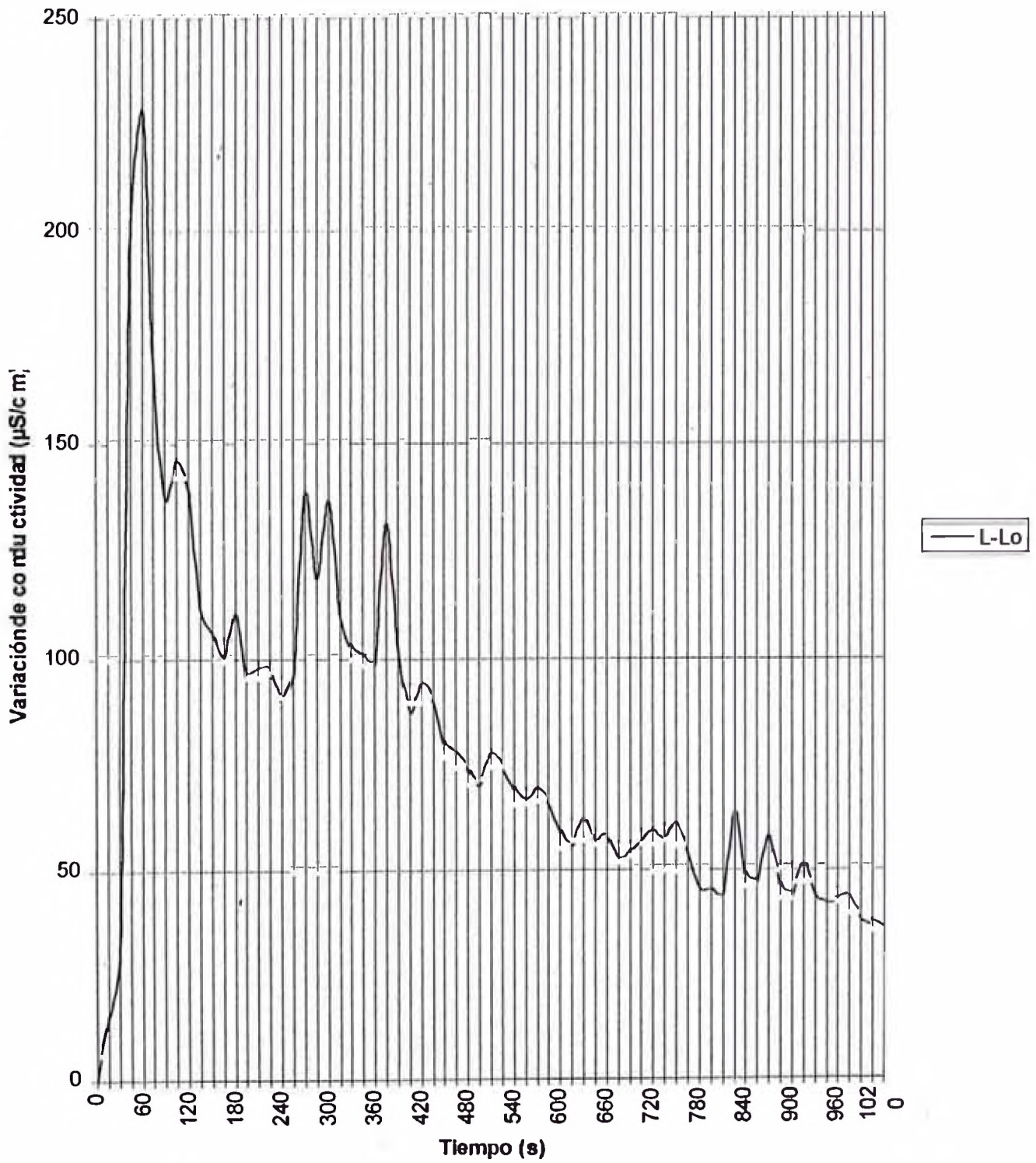
T_R = tiempo de retención real = 60 seg.

El gradiente de velocidad debido a energía mecánica no existe debido a la inoperatividad del elemento mecánico, por lo que finalmente el Gradiente de Velocidad en esta unidad es de 160s⁻¹, el mismo que es sumamente bajo en relación a los parámetros recomendados. El periodo de retención real está dentro de los límites recomendados para este tipo de unidades.

De la evaluación realizada en el año 1987, se determinó que el Gradiente de Velocidad proporcionado por el elemento mecánico era de 2.9 s⁻¹, totalmente deficiente ya que su trabajo era prácticamente nulo.

En general, el proceso de mezcla rápida en esta unidad es desfavorable. Por un lado el peligro ocurrir cortos circuitos es muy elevado, y por otro, el tipo de motor del elemento mecánico es insuficiente para proporcionar el gradiente de Velocidad necesario. Los errores que se cometen en el proceso de mezcla rápida son difíciles de corregir en las siguientes etapas del tratamiento. Aún cuando las mismas se cumplan efectivamente, el tratamiento en general será deficiente si la desestabilización de las partículas causantes de la turbiedad es defectuosa.

Gráfico 6.6
Curva de variación de conductividad en el canal de interconexión en función del tiempo



8.5.3 Distribución de caudal al floculador

El agua coagulada que ingresa a través del canal de interconexión de la unidad de mezcla hacia la unidad de floculación ingresa por medio de tres ventanas. Para evaluar este canal se tomaron los resultados del ensayo de trazadores utilizando cloruro de sodio, la solución concentrada del trazador fue aplicado en la unidad de mezcla rápida, tomándose muestras a la salida de la unidad en los tres puntos de las ventanas. A las muestra obtenidas se midió la conductividad para hallar la distribución porcentual del caudal en los tres puntos.

Cuadro 8.15 Distribución porcentual del caudal

Punto de toma de muestra	Conductividad (μS)	(%)
Punto 1	3.719	22.8
Punto 2	5.017	30.7
Punto 3	7.611	46.5
Suma	16.347	100

El persistente cambio de la conductividad indica que el canal de ingreso a la unidad de floculación están construidos deficientemente, no permitiendo una distribución uniforme del caudal que ingresa a la unidad. La curva descendente e irregular del gráfico 6.6 muestra un porcentaje extremadamente alto de "espacios muertos", es decir lugares en los cuales el agua permanece durante largo tiempo. Sobre la suma de cada uno de los cambios de la conductividad, se efectúa una división porcentual exacta del caudal. En el cuadro 8.15 se calculó el promedio de los valores de los tres puntos de toma de muestra para obtener un aspecto general del canal afluente.

Los resultados porcentuales obtenidos indican que casi la mitad del agua cruda se desplaza hacia el final del canal, contrariamente al inicio del mismo se desplaza sólo un 22.8 %, mientras que la parte central el 30.7%.

8.5.4 Evaluación del Proceso de Floculación

Como se describió en el capítulo 6 la unidad de floculación está conformada por dos compartimentos exactamente iguales, dotadas cada una con una sistema de agitación mecánica en paralelo con dos conjuntos de paletas cada una, ambas con la misma velocidad de giro.

a. Parámetros óptimos de Floculación

Cuadro 8.14: Parámetros optimos de la floculación

Compartimento	Tiempo de retención (min.)		Gradiente de Velocidad (s^{-1})
	Parcial	Total	
1	8	8	55
2	8	16	42

b. Periodo real de Retención

El periodo de retención teórico se calcula mediante el volumen de la unidad de Floculación [V] y el caudal de agua que ingresa a esta unidad [Q].

$$\begin{aligned} \text{Volumen Total de la unidad (V)} &= 442.5 \text{ m}^3 \\ \text{Caudal que ingresa a la unidad (Q)} &= 0.355 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{442.5 \text{ m}^3}{0.355 \text{ m}^3/\text{s} * 60 \text{ s}/\text{min}} = \frac{442.5 \text{ m}^3}{21.3 \text{ m}^3/\text{min}} = 20.7 \text{ min}$$

Asimismo para evaluar las condiciones reales en que opera esta unidad se realizó el ensayo de trazadores utilizando sal común, obteniéndose los datos indicados en el Cuadro 8.15 y en la figura 6.7.

De la Gráfica 6.7 se obtiene un periodo real de

$$T_R = 9 \text{ minutos}$$

$$\begin{aligned} \text{El volumen real de la unidad será :} & \quad V_R = T_R * Q \\ & \quad V_R = 9 * 60 * 0.355 \\ & \quad V_R = 191.7 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad (G) para este tipo de floculadores con agitadores mecánicos viene dado por la siguiente fórmula :

$$G = \frac{90 \sqrt{n^3 \cdot \sum A_i r_i^3}}{(\mu \cdot V_R)}$$

Donde :

n^3 = velocidad de giro de las paletas en r.p.s. = 0.04 r.p.s.

$A_i \cdot \sum r_i^3$ = sumatoria del producto del área de cada paleta multiplicado por su radio de giro al cubo

μ = viscosidad del agua en kgr.seg/m² = 0.000103 kgr.seg/m²
 = Volumen real en m³ = 442.5 m³

de las características de las paletas tenemos :

$$\begin{aligned} A_1 r_1^3 &= 0.634 \\ A_2 r_2^3 &= 1.348 \end{aligned}$$

y como se trata de 04 paletas, la sumatoria para las cuatro conjuntos de paletas será :

$$A_i \cdot \sum r_i^3 = 8 * 0.634 + 8 * 1.348 = 15.856$$

Realizando el cálculo se obtiene :

$$G = 90 \sqrt{(0.04) * 15.856 / (0.000103 * 191.7)}$$

$$G = 90 \sqrt{(0.04)^3 * 15.856 / (0.000103 * 191.7)}$$

$$G = 20.4 \text{ s}^{-1}$$

Otro problema que se presenta cuando se capta agua cruda directa de río a través de la Toma Chéscope es el arenamiento de la cámara de floculación. Debido a la falta de un desarenador, en la unidad de floculación se deposita gran cantidad de arena que impide el trabajo de las paletas mecánicas, ocasionando además, constantes paralizaciones para proceder a la limpieza de estas unidades.

c. características hidráulicas

En el ensayo de trazadores realizado para evaluar la unidad de floculación se tomaron muestras en tres puntos diferentes de la salida de la unidad. Se tomaron los datos de conductividad a las muestra obtenidas (Ver Cuadro 8.15) determinándose el período de retención real y la distribución porcentual del caudal en los tres puntos (Ver Cuadro 8.16).

Cuadro 8.15: Resultados del ensayo de trazadores en la Unidad de Floculación

Conductividad Inicial $L_0 = 330 \mu\text{S}$

Muestra (N°)	t (min.)	t/t ₀	Conductividad (L)	L - L ₀	L-L ₀ (acum.)	F(t)	100-F(t)
1	0	0.000	330	0	0	0.000	100.000
2	3	0.154	355	25	25	3.448	96.552
3	6	0.308	423	93	118	16.276	83.742
4	9	0.462	443	113	231	31.862	68.138
5	12	0.615	418	88	319	44.000	56.000
6	15	0.769	401	71	390	53.793	38.621
7	18	0.923	385	55	445	61.379	32.690
8	21	1.077	373	43	488	67.310	27.034
9	24	1.231	371	41	529	72.966	22.207
10	27	1.385	365	35	564	77.793	17.793
11	30	1.538	362	32	596	82.207	13.931
12	33	1.692	358	28	624	86.069	10.759
13	36	1.846	353	23	647	89.241	8.690
14	39	2.000	345	15	662	91.310	6.483
15	42	2.154	346	16	678	93.517	4.828
16	45	2.308	342	12	690	95.172	3.448
17	48	2.462	340	10	700	96.552	2.345
18	51	2.615	338	8	708	97.665	1.655
19	54	2.769	335	5	713	98.345	0.414
20	57	2.923	339	9	722	99.586	0.000
21	60	3.077	333	3	725	100.000	0.000

Donde :

- t = Tiempo de toma de muestras
- t_0 = Período de retención teórico (19,5 min.)
- L = Conductividad
- L_0 = Conductividad Inicial
- $F_{(t)}$ = $100 * [\sum(L-L_0)] / \sum(L-L_0)$

Cuadro 8.16: Distribución porcentual de caudal

Punto de toma de muestra	Conductividad (μS)	(%)
Punto 1	629	28.9
Punto 2	630	29.0
Punto 3	914	42.1
Suma	2,173	100

De los cuadros 8.15, 8.16 y el gráfico 6.7 se deduce lo siguiente:

La concentración máxima del trazador logra salir de la unidad al cabo de 9 minutos. Es decir que el periodo de retención real en la unidad de floculación es 9 minutos, valor que se encuentra por debajo del parámetro teórico y óptimo. Este resultado nos indica la existencia de **cortocircuitos** en la unidad de floculación, es decir hay un porcentaje del flujo de agua que permaneció en la unidad menos del tiempo requerido para la formación de los flóculos.

Otra indicación de la presencia de cortocircuitos es que después de sólo 3 minutos de aplicado el trazador, la variación de la conductividad del agua aumentó hasta 355 (μS) /cm., es decir 25(μS) /cm., mas que la conductividad inicial que fue de 330(μS) /cm.

Cuadro 8 17: Interpretación del gráfico 6 7

Parámetros analizados	Valor	Unidad
Tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente (t_i)	0	min.
Concentración máxima a la salida (C_p)	113	$\mu\text{S}/\text{cm}$
Tiempo modal, correspondiente a la presentación de la máxima concentración (t_p)	9	min.
Tiempo mediano, correspondiente al paso de 50 % de la cantidad total del trazador (t_m)	13,5	min.
Tiempo mediano, correspondiente al paso de 90 % de la cantidad total del trazador (t_{90})	45,5	min.
Tiempo teórico de retención (t_0)	19,5	min.
Tiempo que transcurre hasta que el trazador pase en su totalidad (t_f)	60	min

De los resultados obtenidos es posible realizar un análisis más preciso utilizando la teoría de Wolf-Resnick¹⁾. Para este fin se ha procesado la información de campo indicada en el cuadro 8.15, obteniéndose la gráfica 6.8.

Trazando una tangente en la curva del gráfico 6.8, se obtienen los siguientes valores:

$$L = 0,154; \quad \frac{t1}{t0} = 0,154; \quad \frac{t2}{t0} = 2,000; \quad \tan a = \frac{1}{2,000 - 0,154} = 0,542$$

Cálculo del flujo de pistón:

$$p = \frac{L * \tan a}{\log e + L * \tan a} = \frac{0,154 * 0,542}{0,435 + 0,154 * 0,542} = 0,161 = 16.1\%$$

Cálculo del flujo mezclado:

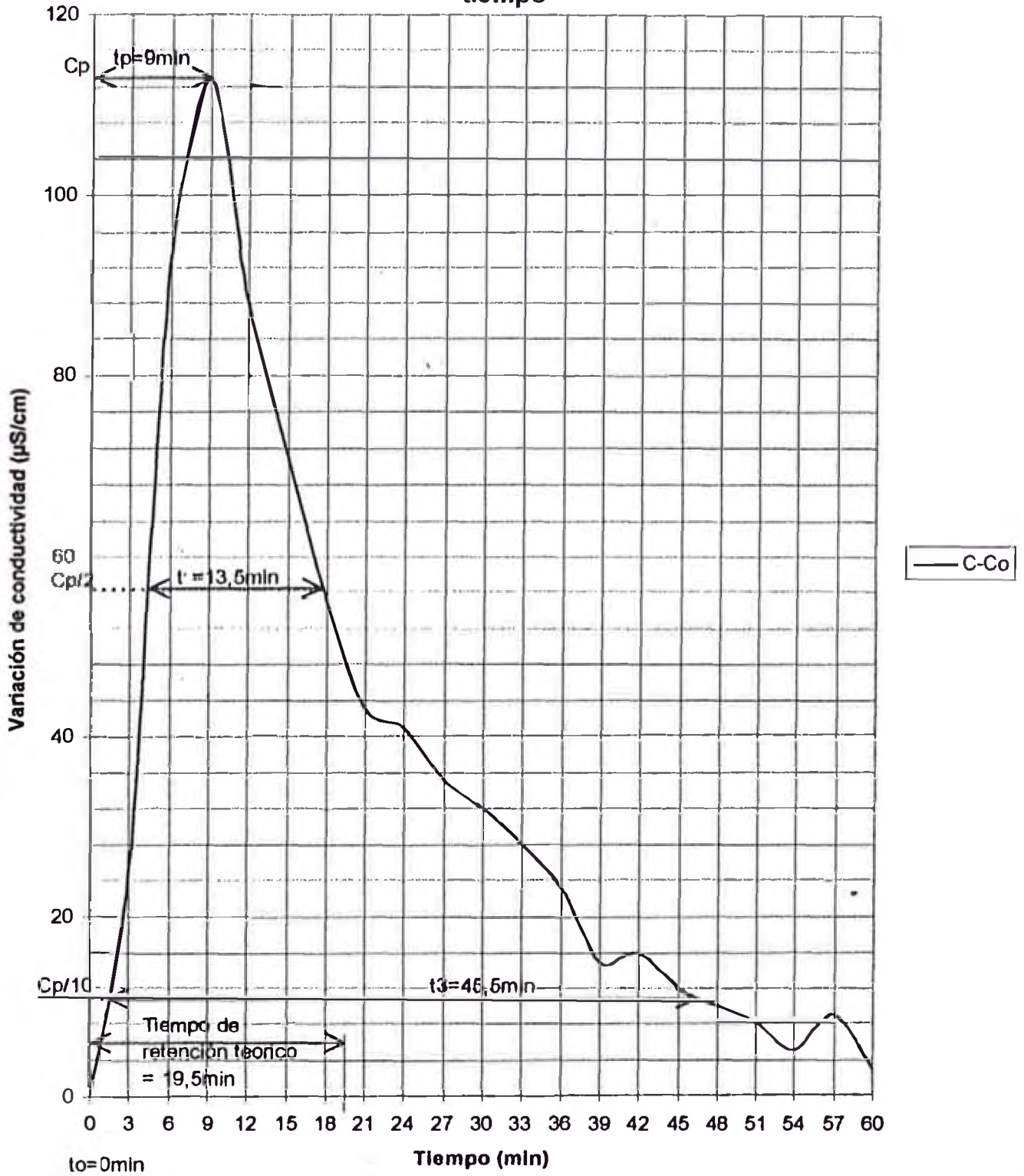
$$M = 1 - p = 1 - 0,161 = 0,839 = 83,9\%$$

Cuadro 8.17: Tipos de flujo en el reactor

Tipos de flujo	(%)
flujo de pistón	16.1 %
flujo mezclado	83.9 %

¹⁾ Centro panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (Cepis). Ciclo: Tratamiento, Serie: Filtración rápida, Manual IV: Evaluación; Junio 1992 S 41ff.

Gráfico 6.7
Curva de variación de conductividad en el floculador en función del tiempo



d. Caracterización de los flóculos

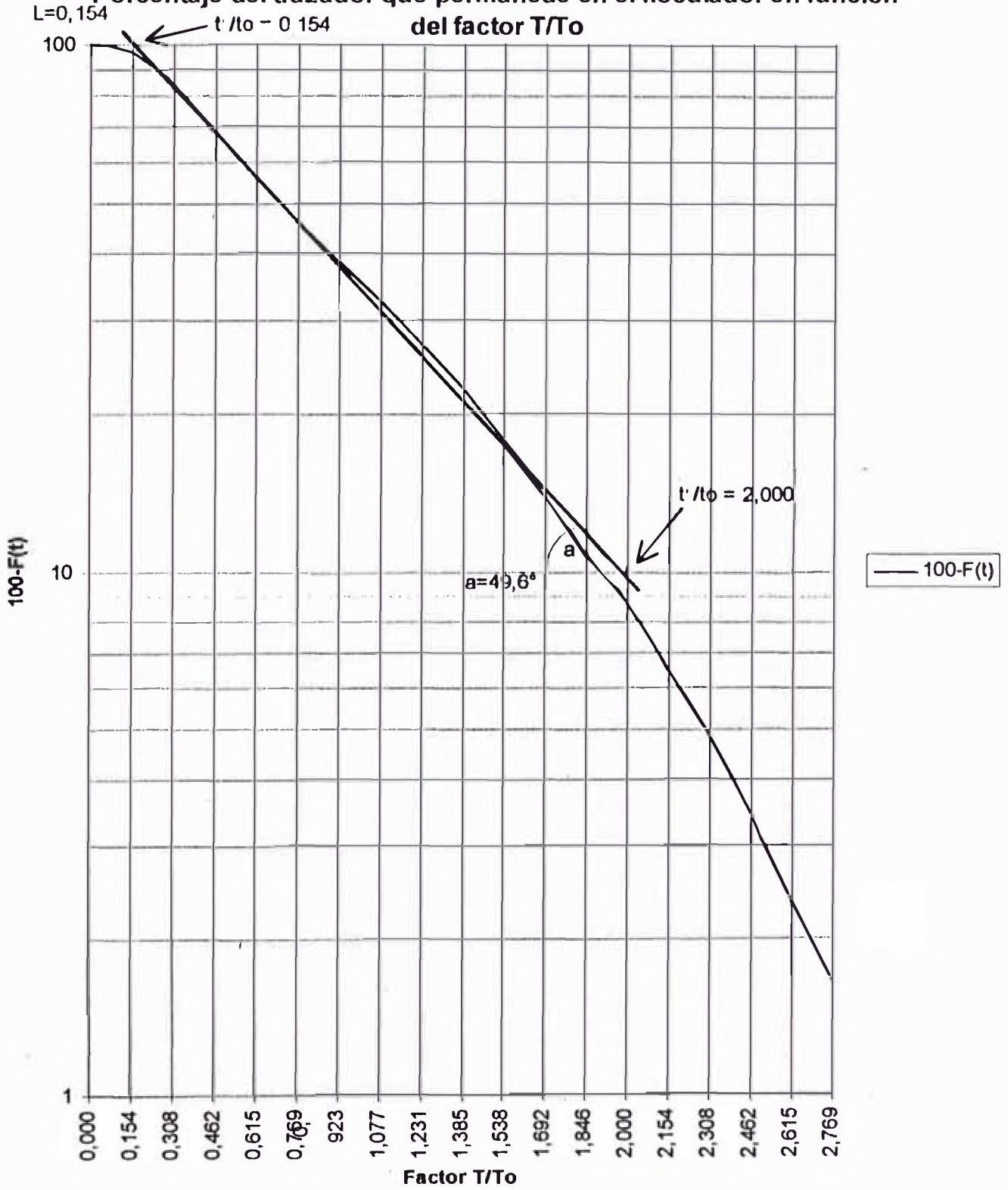
El índice de Willcomb¹⁾ del flóculo formado en Planta es 4 (disperso, bien formado pero uniformemente distribuido, sedimenta muy lentamente o no sedimenta). En laboratorio, en cambio, se consiguió un flóculo con índice de Willcomb 8 (bueno, flóculo que se deposita fácil pero completamente).

Se concluye que la eficiencia de esta unidad es muy baja, debido a las grandes deficiencias de diseño que ocasionan grandes espacio muertos, grandes cortocircuitos, tiempos de retención muy bajos (9 minutos, en lugar de 20.7 minutos), por debajo del óptimo y la lógica disminución del volumen útil de la unidad que no permite la formación del floc. La baja eficiencia de esta unidad se debe también a los problemas ya citados de un mal proceso de coagulación.

¹⁾ Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente; Ciclo: Tratamiento, Serie: Filtración rápida, Manual II: Criterios de selección; Mayo 1992; p. 37

Gráfico 6.8

Porcentaje del trazador que permanece en el floculador en función del factor T/T_0



8.5.5 Evaluación del Proceso de Decantación

Como se describió en el capítulo 6 la unidad de decantación se compone de dos partes bien definidas: la primera parte corresponde a la unidad de decantación convencional que tiene forma de U, la segunda parte corresponde a la unidad de decantación laminar compuesto por un sistema de módulos patentado de angotubos sobre el cual se encuentran las canaletas de recolección de agua decantada.

El problema principal de esta unidad proviene desde la elección misma diseñar la estructura del reactor de decantación convencional en forma de U.

Visualmente se puede observar que una gran parte de los flóculos se encuentra en la segunda parte del reactor, esto se debe a su ineficiente formación debido a la baja gradiente de velocidad del floculador, lo que produce un flóculo muy débil y voluminoso, los mismos que al pasar por el angosto canal de cambio de dirección se rompen debido a la turbulencia provocando su aparente levantamiento en la etapa final de la decantación pasando muchas veces hasta los filtros. Asimismo, la ubicación de los reactores no es la adecuada, provocando gran cantidad de "espacios muertos".

Para determinar las características de la unidad de decantación, se realizó ensayo de trazadores. Lamentablemente los resultados de cada toma de muestra fueron tan desiguales entre sí, que fue imposible alcanzar un resultado significativo.

La parte de la unidad de decantación laminar tiene el sistema de módulos de angotubos totalmente deteriorado, faltando módulos en muchas partes de la unidad, por lo que la unidad de decantación no cumple de ninguna forma su función original, además por sus características tubulares los módulos plásticos se obturan rápidamente y por carecer de facilidades para limpiar los lodos acumulados en su interior los flóculos inicialmente retenidos en los tubos plásticos, son arrastrados hacia la superficie del decantador laminar pudiéndoseles apreciar a simple vista.

En el anexo 05 puede observarse vistas fotográficas de las características de las unidades de decantación convencional y laminar, comprobándose lo mencionado anteriormente.

En épocas en que la turbiedad del agua es relativamente baja el sistema de recolección de lodos se pone en funcionamiento una vez por día, siendo recomendable que en tiempos de avenida en los que el agua cruda llega con una alta turbiedad, debe realizarse en forma más continua para evitar la acumulación excesiva de lodos en esta unidad.

La eficiencia de la unidad de decantación es muy bajas. Las diferencias de las unidades de turbiedad del agua cruda y el agua decantada son notorias solamente cuando el agua cruda llega con un alto grado de turbiedad.

Como se mencionó en el capítulo 1, la planta de tratamiento de Chiclayo ha sido evaluada en el año 1984 bajo la asesoría del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS.

Las conclusiones a las que se llegó en esa evaluación fueron las siguientes :

- Estructuralmente la unidad de decantación no presenta problemas.
- La unidad presenta un alto porcentaje de flujo mezclado lo cual indica presencia d cortocircuitos, que originan que el periodo de retención real sea muy inferior al teórico disminuyendo la capacidad útil de la unidad y aumentando su carga de trabajo.
 - % de flujo mezclado = 0.58
 - % de espacios muertos = 0.24
 - Periodo de retención teórico = 182.5 min.
 - Periodo de retención real = 96 min.
- El análisis de las líneas de flujo demuestran que esta unidad en lugar de mejorar la calidad del agua, contribuye a deteriorarla por lo menos en algunas zonas, esto debido principalmente al sistema de salida y al cambio de giro del flujo, que contribuyen a resuspender la turbiedad ya sedimentada.
- Esta unidad está produciendo en la mayor parte del tiempo un agua con alta turbiedad que va ha dificultar el trabajo de los filtros.
- Asimismo, en esta unidad es notorio los efectos de la deficiencia de los proceso de coagulación y floculación, lo cual contribuye a disminuir la eficiencia de esta unidad.

8.5.6 Evaluación del Proceso de Filtración

En esta unidad se evaluaron y determinaron: los parámetros de operación del proceso, las características y estado real del medio filtrante y la eficiencia del proceso de lavado.

a. Velocidad de filtración

Esta determinación se realizó en el filtro N°2 del módulo sur de la P.T.A.Chiclayo. Se determinó el caudal y velocidad de filtración antes y después del proceso de lavado del filtro.

Para esta prueba se cerró la válvula de ingreso del agua decantada y se midió el tiempo en el cual el nivel del agua descendió 10 cm. Se logró un volumen, multiplicando el área del filtro (15.63 m²) por los 10 cm. de descenso. Con este volumen y el tiempo medido se pudo averiguar la velocidad de filtración. Este procedimiento se repitió 4 veces (40 cm) promediándose los valores. Los resultados obtenidos en este ensayo se indican en el cuadro N°8.18.

Cuadro 8.18: Determinación de la Velocidad y caudal de filtración

Etapa de operación del filtro N° 2	Área (m ²)	T (s)	Distancia (cm)	Q (l/s)	V _f (m ³ /m ² /d)
Antes del lavado	15.63	66.5	10	23.5	129.9
Después del lavado	15.63	35.5	10	44.0	243.4

Se puede verificar que luego del proceso de lavado la velocidad de filtración de esta unidad aumenta en un 87 %.

b. Pérdida de carga - Número de Mintz

Esta prueba también fue realizada en el filtro N°2 del módulo sur de la P.T.A.Chiclayo.

Para ello fue necesario la instalación de un piezómetro en la tubería de agua filtrada tomándose los valores de la pérdida de carga durante una carrera de filtración. En los gráficos 6.9 y 6.10 se muestra las curvas obtenidas al graficar los datos de la prueba de campo a lo largo del tiempo de una carrera de filtración.

Del análisis de la gráfica de pérdida de carga puede observarse que ésta presenta un trazo discontinuo con aumentos bruscos de la pérdida de carga, si comparamos esta curva con la de turbiedad vemos que estos puntos coinciden con los aumentos bruscos de turbiedad. Estos resultados nos indican que el medio filtrante se encuentra en mal estado. Rápidas variaciones de la pérdida de carga pueden significar que el lecho filtrante no se encuentra en buenas condiciones o que hay perturbaciones del flujo, que ocasionan el rápido traspaso de grandes cantidades de material previamente depositado en el lecho filtrante.

Del mencionado gráfico también puede obtenerse el Índice de Mintz.

De la curva de turbiedad vemos que a partir de las 15.5 horas el filtro empezó a producir agua de mala calidad por encima de 5 UT. , luego

$$T_1 = 15.5 \text{ Horas}$$

de la curva de pérdida de carga vemos que la máxima pérdida de carga se obtuvo a las 47 horas , es decir :

$$T_2 = 47 \text{ Horas}$$

$$\text{Índice de Mintz} = \frac{15.5}{47} = 0.33 \quad (T_1 < T_2) ,$$

Este resultado nos indica que se ha promovido la formación de un floculo muy débil, ocasionado por una dosis baja de coagulante utilizada (subdosificación), que el medio filtrante es muy fino siendo necesario aumentar la altura del lecho filtrante además de haberse realizado el tratamiento con bajos gradientes de velocidad de mezcla rápida y floculación.

Gráfico 6.9
Pérdida de carga entre dos procesos de lavado de filtro

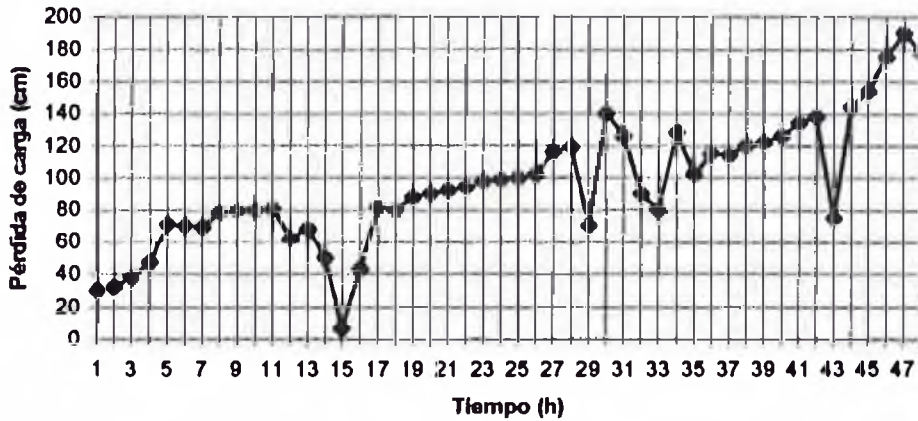
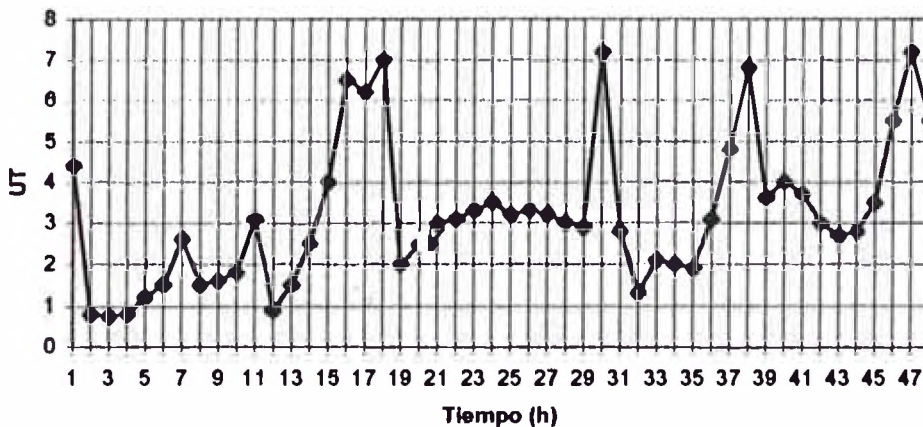


Gráfico 6.10
Turbiedad entre dos procesos de lavado de filtro



Durante el ensayo, el filtro produjo a lo largo de la carrera de filtración un 6.25 % de valores de unidades de turbiedad menores de uno; un 18.75 % mayores de cinco, un 81.25 % de valores menores de cinco y por consiguiente por debajo de los valores límites peruanos.

c. Calidad del filtrado inicial

Luego de terminado el proceso de lavado del filtro N°2, se inició el muestreo del agua midiéndose la calidad del agua filtrada a intervalos de un minuto durante 15 minutos, obteniéndose los resultados indicados en el cuadro N°8.19

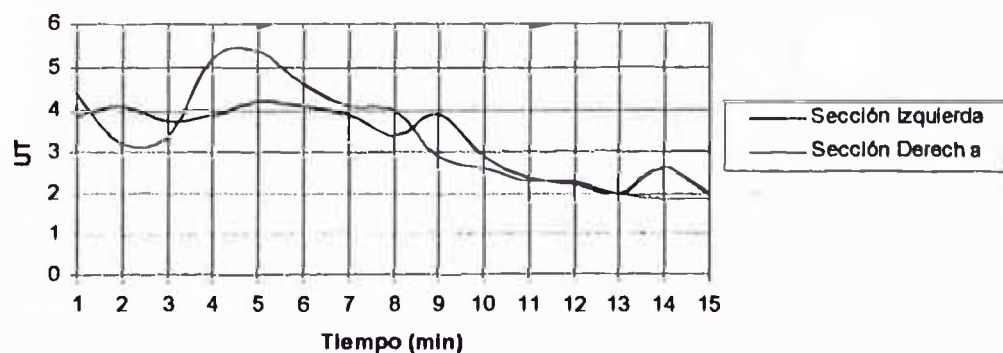
Cuadro 8.19 : Calidad del Filtrado Inicial luego del proceso de lavado.

Filtro N°2 (Sección Derecha)		Filtro N°2 (Sección Izquierda)	
Tiempo (min.)	Turbiedad (UNT)	Tiempo (min.)	Turbiedad (UNT)
1	3.9	1	4.4
2	4.1	2	3.2
3	3.8	3	3.4
4	3.9	4	5.2
5	4.3	5	5.4
6	4.1	6	4.6
7	3.9	7	4.1
8	3.4	8	4.0
9	3.9	9	2.9
10	2.9	10	2.6
11	2.4	11	2.3
12	2.3	12	2.3
13	2.0	13	2.0
14	2.6	14	1.9
15	2.0	15	1.9

Estos resultados han sido llevados al gráfico 6.11, donde podemos deducir que por lo menos durante los 5 primeros minutos de filtración se está produciendo una baja calidad de agua (ligeramente menor de 5 UNT), debiendo desecharse la producción durante este tiempo.

Las unidades de turbiedad después del proceso de lavado al inicio de la siguiente carrera de filtración son obviamente altas. Inclusive luego de 15 minutos no se alcanza un valor menor que 1.0 UNT. (Ver Gráfico 6.11). Este comportamiento indica el mal estado del lecho filtrante.

Gráfico 6.11
Unidades de turbiedad al inicio de la Carrera de Filtración



d. Características del lecho filtrante

Para evaluar las características del lecho filtrante se procedió a tomar 02 muestras del medio filtrante (arena y antracita) de la sección derecha del Filtro N°2, dichas muestras se sometieron al análisis de granulometría.

La primera muestra analizada fue de la arena (capa inferior del lecho filtrante) y la segunda muestra fue antracita (capa superior). Los resultados están expuestos en los cuadros 8.20 y 8.21 y en el gráfico 6.12.

Cuadro 8.20 : Granulometría del medio Filtrante

Arena				Antracita			
Malla N°	Abert. (mm)	peso que pasa (%)	peso retenido (%)	Malla N°	Abert. (mm)	peso que pasa (%)	peso retenido (%)
4	5.64	100.00	0	4	5.64	100.00	0.00
8	2.36	100.00	0	8	2.36	86.23	13.77
16	1.18	99.35	0.65	16	1.18	16.46	69.77
30	0.60	9.43	89.92	30	0.60	0.99	15.47
500	0.30	0.00	9.43	500	0.30	0.00	0.99

Cuadro 8.21 : Resultados del ensayo de Granulometría

Material	D_E ¹⁾	D_{60} ²⁾	D_{90} ³⁾	C.U. (D_{60}/D_{10}) ⁴⁾	I_m ⁵⁾
Arena	0.60	0.72	0.9	1.20	
Antracita	1.05	1.70	2.7	1.62	2.25

El espesor del lecho filtrante según los planos con que cuenta la empresa es de 80 cm. El espesor real se encuentra entre 75 cm y 94 cm.

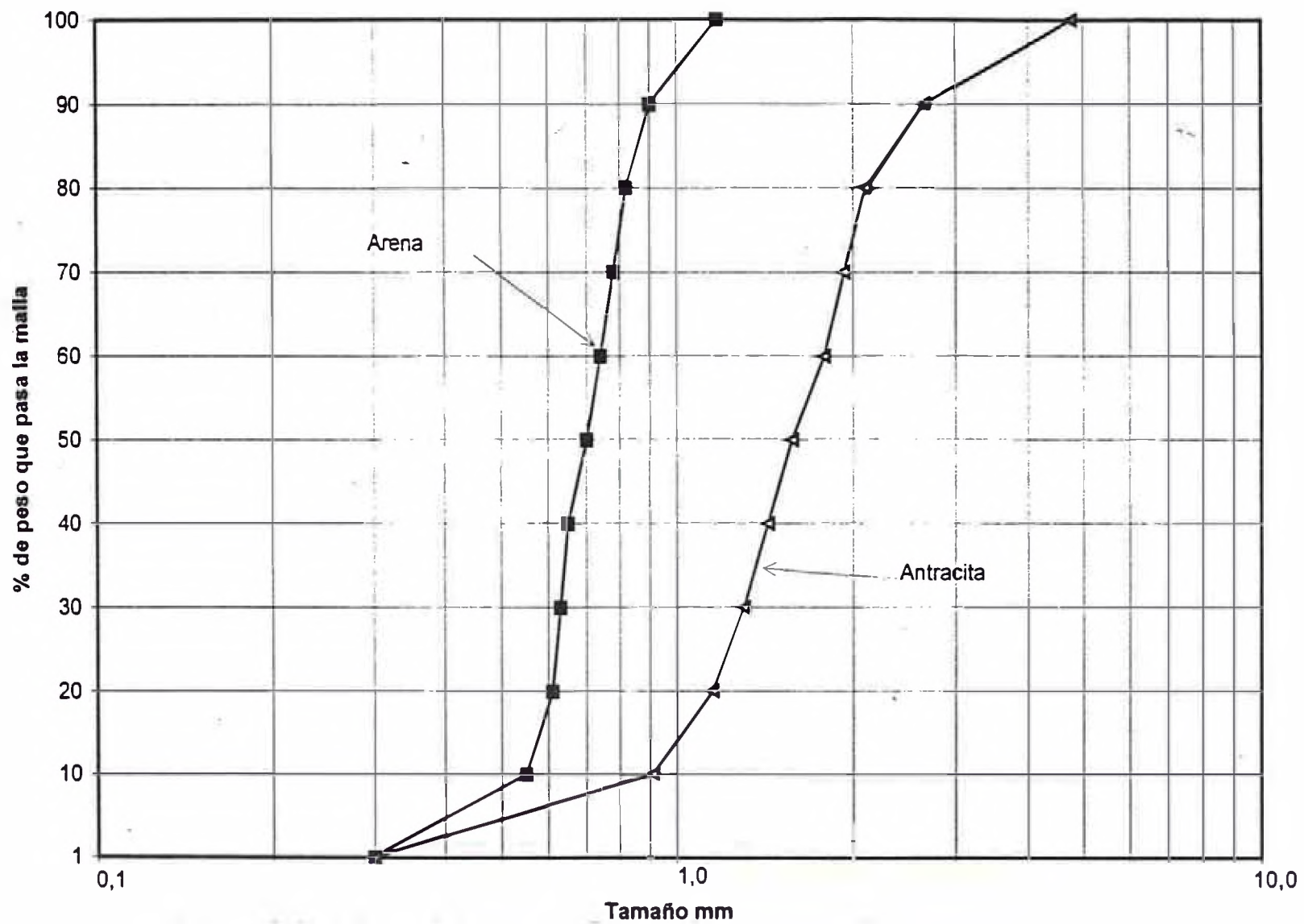
e. Velocidad del agua de lavado

El sistema de lavado de los filtros de la P.T.A.Chiclno se realiza con agua a presión, en sentido contrario a la filtración (Rotrolavado).

Antiguamente la presión del agua de lavado era proporcionada por medio de la carga hidráulica de un tanque elevado de 23m de altura ubicado dentro de las instalaciones de la Planta.

- 1) Tamaño efectivo
- 2) Tamaño en un 60 % de peso que pasa la malla
- 3) Tamaño en un 90 % de peso que pasa la malla
- 4) Coeficiente de uniformidad
- 5) Grado de intermezcla: d_{90} antracita / d_{60} arena

Gráfico 6.12
Granulometría del medio filtrante



Actualmente esta estructura tiene serias deficiencias en la operación de sus accesorios, no produciendo la presión necesaria para efectuar un proceso de lavado efectivo.

La presión de salida del agua de lavado es proporcionada mediante una derivación de la línea de impulsión de agua tratada a la ciudad que sale de la planta por acción del conjunto de las 03 electrobombas de 200 H.P., el diámetro de esta derivación es de 16", obteniéndose teóricamente una velocidad de lavado de 1.15 m/min., además de limitar el proceso de lavado a las horas en que se proporciona el servicio de agua a la ciudad, que para no afectar notoriamente el abastecimiento a la población de Chiclayo en cuanto a caudal y presión, debe realizarse a partir de las 11.00 p.m., horario en que se presenta el mínimo consumo.

Para determinar la velocidad de lavado de los filtros de la P.F.R.Chiclayo, se tomó los tiempos en los cuales se alcanza el incremento de 0.10 m de altura para el área del filtro de 15.63 m², obteniéndose un tiempo promedio de 5.6 seg., de donde :

$$Q = 0,279 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 1,071 \text{ m}/\text{min.} = 64,3 \text{ m}/\text{h}$$

Siendo el rango de velocidad permisible para plantas de tratamiento con sistema de lavado con agua normalmente entre 0.60 y 0.80 m/min., por lo tanto la velocidad de lavado determinada en el filtro N°2 es aparentemente muy alta.

Para determinar si este valor es adecuado deben analizarse conjuntamente con el contenido de bolas de lodo, el porcentaje de expansión y el diámetro del material filtrante.

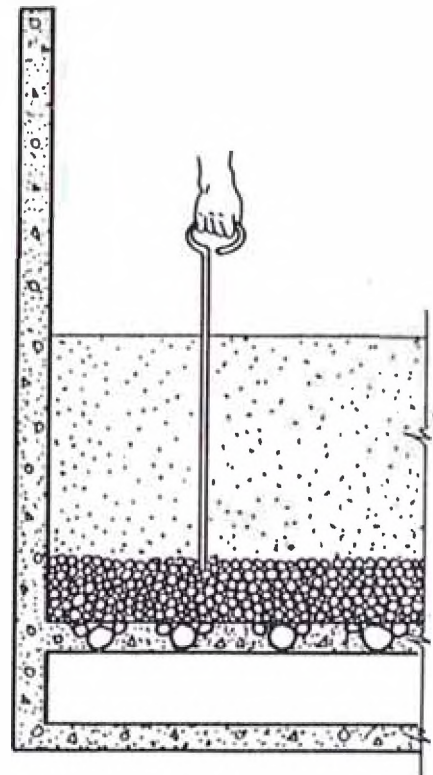
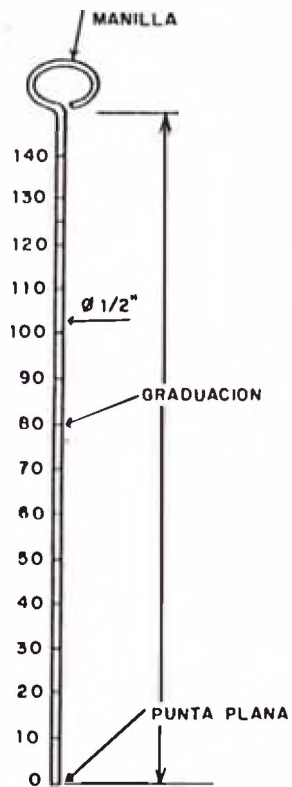
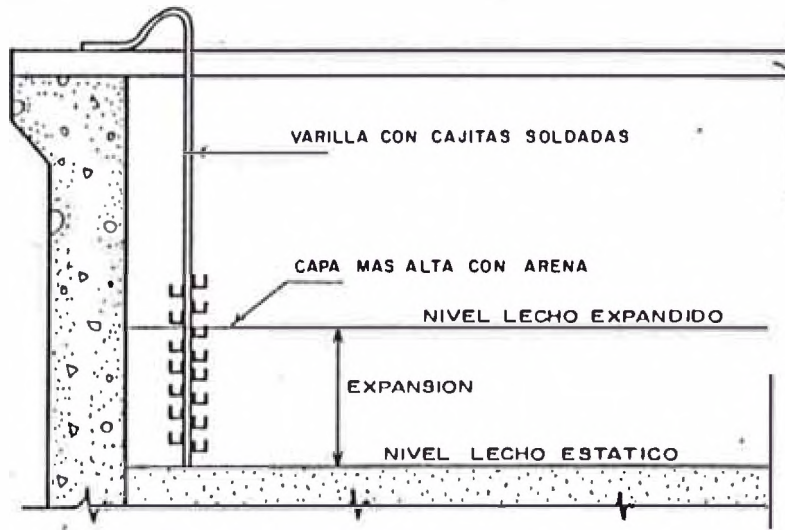
f. Expansión del lecho filtrante

Los valores de la expansión del medio filtrante se midieron mediante una varilla metálica de aproximadamente 2 m de largo con cajitas soldadas a una distancia de 5 cm. entre los bordes de las mismas. Los resultados de este ensayo se indican en el cuadro 8.22.

Cuadro 8.22: Expansión del lecho filtrante del Filtro N°2

Sección Izquierda			Sección Derecha		
Punto de prueba	Expansión	Porcentual	Punto de prueba	Expansión	Porcentual
Punto 1	15 cm	18,75 %	Punto 4	45 cm	56,25 %
Punto 2	15 cm	18,75 %	Punto 5	25 cm	31,25 %
Punto 3	5 cm	6,25 %	Punto 6	40 cm	50,00 %

INSTRUMENTOS PARA LA EVALUACION DE LOS FILTROS



Se puede apreciar que la expansión tiende a ser mayor al lado derecho del filtro, lo cual puede deberse a una desigual distribución del agua de lavado debido a que la resistencia al paso del agua es menor debido a que el drenaje está desacomodado y hay menos material filtrante que al otro lado o a que este es más fino.

En general se puede indicar que la expansión del lecho filtrante del lado izquierdo está siendo muy baja y la del lado derecho demasiado alta.

Como consecuencia, el material de la sección izquierda no se está lavando bien y en la sección derecha el material fino debe haberse perdido.

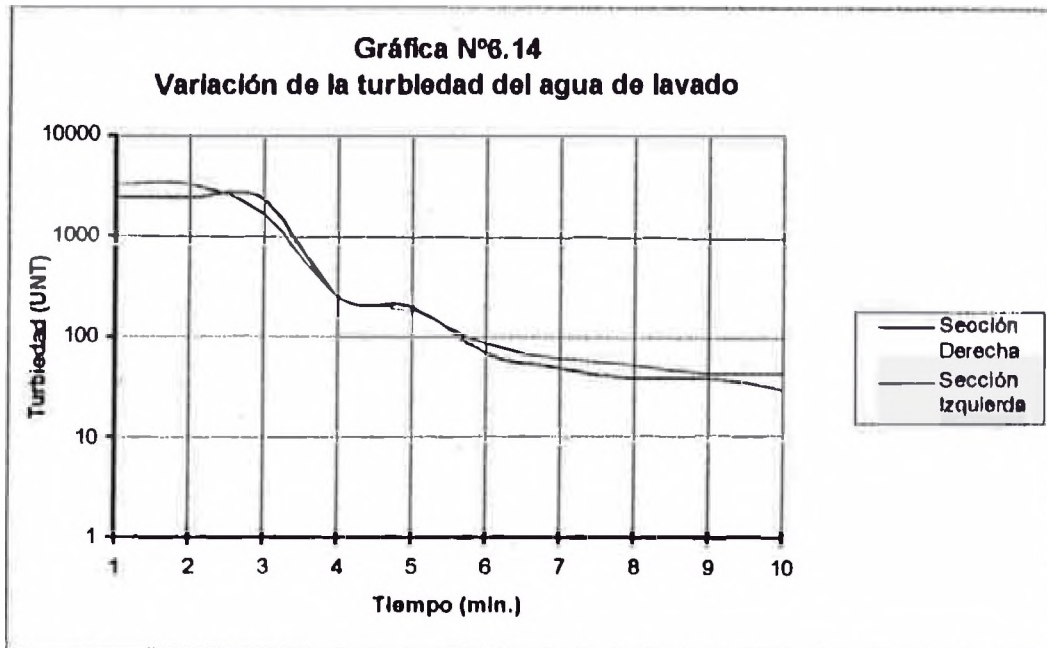
g. Turbiedad del agua de lavado

Para medir la eficiencia del proceso de lavado se tomaron muestras de agua en el canal de desagüe común a ambas secciones del filtro N°2, para luego determinar la turbiedad de las mismas. Los resultados del desarrollo de esta prueba se presentan en el cuadro 8.23.

Cuadro 8.23 : Unidades de turbiedad durante el proceso de lavado de filtro

Filtro N°2 (Sección Derecha)		Filtro N°2 (Sección Izquierda)	
Tiempo (min.)	Turbiedad (UT)	Tiempo (min.)	Turbiedad (UT)
1	2500	1	3300
2	2480	2	3300
3	2300	3	1650
4	250	4	250
5	200	5	180
6	70	6	85
7	50	7	62
8	40	8	53
9	40	9	45
10	30	10	45

Estos resultados han sido llevados al gráfico N° 6.14, donde se puede observar que el proceso de lavado en cada sección debe prolongarse hasta 10 minutos por lo menos (20 minutos en total), tiempo que no se cumple en el proceso operativo pues el lavado de ambas secciones se completa en un tiempo de 15 minutos.



h. Eficiencia del proceso de filtración

Para medir la eficiencia del Proceso de filtración se han reunido los datos históricos de Nov. 1994 a Octubre 1995 (Cuadro 8.24) y Octubre 1996 a Agosto 1997.

Cuadro 8.24: Eficacia del proceso de filtración

Año	Turbiedad		Año	Turbiedad	
	agua sedimentada (UNT)	agua filtrada (UNT)		agua decantada (UNT)	agua filtrada (UNT)
1994/1995			1996/1997		
Noviembre	13.0	5.2	Octubre	11.9	4.52
Diciembre	5.9	3.7	Noviembre	10.47	3.31
Enero	7.2	4.5	Diciembre	10.89	2.66
Febrero	4.3	2.5	Enero	7.24	2.03
Marzo	6.7	3.5	Febrero	10.58	3.27
Abril	7.8	3.2	Marzo	9.70	3.00
Mayo	8.9	4.5	Abril	8.98	3.71
Junio	7.4	3.8	Mayo	7.37	3.48
Julio	5.5	3.2	Junio	7.10	2.90
Agosto	5.5	2.5	Julio	5.80	2.70
Septiembre	6.7	2.9	Agosto	5.65	2.98
Octubre	11.9	4.5			

El proceso de filtración es ineficaz. En el cuadro se pone de manifiesto que cuando el agua decantada contiene una turbiedad de más de 13 UT, considerando que la máxima turbiedad con que debe llegar el agua decantada antes del proceso de filtración es de 10 U.T., los valores límites de agua filtrada de 5 UT no son alcanzados con estos filtros. Pero aún cuando el agua decantada llega con una turbiedad de 5 a 6 U.T., el agua filtrada alcanza valores de 2,5 a 3,5 U.T., lo que nos indica una vez más el trabajo deficiente de las unidades de filtración.

8.5.7 Evaluación del Proceso de Desinfección

Como se explicó en el capítulo anterior, las instalaciones de cloración cuentan con dos zonas : la de almacenamiento y la de dosificación.

La zona de almacenamiento es inadecuado, es una caseta pequeña donde se encuentra el cilindro en operación y la balanza para el control del peso de cloro dosificado, no tiene el ingreso apropiado para que la grúa pueda trasladar al cilindro de 1 Ton. desde la plataforma del camión a su ubicación final. Cada vez que se tiene que realizar el cambio de cilindro de cloro, lo ruedan hasta la puerta de la caseta para que la grúa lo pueda levantar y colocar sobre la balanza. De este modo, la grúa no se utiliza a su plenitud y la operación de los cilindros involucra mucho riesgo.

La zona de desinfección que se ubica en la galería de control de filtros cuenta con dos unidades de cloración del tipo solución en vacío, marca Wallace-Tieman con capacidad de 0 a 250 lbs./24 horas, ambos operativos.

a. Dosificación actual

De acuerdo al récord de consumo de cloro que se lleva en Planta se tiene que el consumo promedio medido desde el dosificador es de 136 Kg./día., de otro lado los récord obtenidos para cloro residual del agua a la salida de la Planta es de 1.5 mg/lit , y el cloro residual en el punto más alejado de la red es 0.5mg/l., valores que se encuentran dentro del rango recomendado para la desinfección.

b. Tiempo de Contacto

El tiempo de contacto se determinó utilizando como trazador al mismo cloro.

Se incrementó bruscamente la dosis, determinando simultáneamente el cloro residual a la salida. Los resultados de este ensayo están indicados en el cuadro 8.25.

Cuadro 8.25: Cloro residual

Tiempo (min.)	Cloro residual Cl ₂ mg/l
0	1.45
5	1.45
10	1.5
15	1.55
18	1.5
21	1.6
24	1.6
27	1.8
30	1.75

De estos resultados, se obtiene que el tiempo real de retención en la cisterna de almacenamiento de agua tratada es de 27 minutos.

9 Anteproyecto para la Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua de Chiclayo

9.1 Prólogo

La Planta de Tratamiento de Agua Potable de Chiclayo presenta múltiples deficiencias, las cuales han sido evaluadas y descritas en el Capítulo 8. Estas deficiencias conciernen tanto a la actividad operativa y de control, como al rendimiento, a la construcción y a la funcionalidad técnica de la Planta.

Cada etapa de tratamiento es considerada en sí como deficiente. Viendo esto, la Optimización de la Planta se logrará con un diseño completamente nuevo que tienda a incrementar la capacidad de producción, sin ampliar el área construida utilizando solamente un tramo del decantador existente en cada módulo.

El presente es el Anteproyecto para la Optimización de la Planta de Chiclayo, el mismo que podría profundizarse mediante el asesoramiento del CEPIS para el desarrollo, supervisión de las obras, puesta en marcha del sistema y capacitación del personal.

El Anteproyecto para la Optimización de la Planta de Chiclayo abarca el mejoramiento de la Planta para tratamiento de un mayor caudal captado que puede provenir desde las fuentes de captación las Lagunas Boró ó Chéscope de 1,000 l/s. distribuido uniformemente en ambos módulos de tratamiento norte y sur.

El anteproyecto abarca desde la etapa del almacenamiento de sustancias químicas, la unidad de mezcla rápida, la transformación de la unidad de floculación mecánica a unidad hidráulica, el mejoramiento de la unidad de decantación laminar y los filtros existentes con lecho doble de arena y antracita.

Se ha considerado un sistema compuesto de un difusor, un floculador de pantallas de flujo vertical con tres tramos, decantador laminar de placas paralelas y la renovación de los lechos filtrantes de arena y antracita.

Es conveniente señalar que el presente estudio de Anteproyecto está supeditado a la obtención de un mayor caudal (1,000 l/s), que únicamente se podrá obtener una vez que se ejecuten las obras del Plan Maestro para la ciudad de Chiclayo correspondientes al tendido de una nueva línea de conducción cuya capacidad está diseñada para conducir hasta 1 m³/s, que parte desde las Lagunas Boró hasta llegar finalmente a la planta de tratamiento donde 0.8 m³/s ingresarán a la nueva Planta de tratamiento de agua de patente Degremont y los 0.2 m³/s., serán derivados a la planta existente.

9.2 Anteproyecto para el Almacenamiento de las sustancias químicas

9.2.1 Almacenamiento de Sulfato de aluminio

Para que el sulfato de aluminio esté correctamente almacenado se hace imprescindible la construcción de un depósito adecuado.

La base (A) para el nuevo depósito se calcula de la siguiente manera:

$D = 35 \text{ mg/l}$	(Dosis Optima del Sulfato de Aluminio promedio)
$\delta = 964 \text{ kg/m}^3$	(Peso específico del sulfato de aluminio)

$T = 60$ días	(Período de almacenamiento en días)
$Q = 1000$ l/s = 86,400 m ³ /d	(Caudal)
$H = 1,8$ m	(Altura de almacenamiento)
$N = 4$	(Número de filas)
$B = 1,2$ m	(Ancho de fila [dos bolsas])

$$V = \frac{D * Q * T}{\delta * 1000} = \frac{35 \text{ mg/l} * 86400 \text{ m}^3/\text{d} * 60 \text{ d}}{964 \text{ kg/m}^3 * 1000} = 188,2 \text{ m}^3$$

$$A = \frac{V}{H} = \frac{188,2 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}} = 104,5 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A}{(N * B)} = \frac{104,5 \text{ m}^2}{(1,2 \text{ m} * 4)} = 21,7 \text{ m}$$

Si consideramos pasillos de 1 m. de ancho, entre una y otra fila, se obtendría un almacén de dimensiones 23.7 x 9.8.

El depósito necesita una plataforma que coincida con las de los camiones que transportan el material a la Planta. Ante todo debe prestarse atención a que el almacén se mantenga seco, evitándose el contacto directo con las paredes y superficies.

9.2.2 Dosificadores para el sulfato de aluminio

Los dosificadores de Sulfato de aluminio hay que restaurarlos completamente. Es decir realizar la reparación y puesta en operación del vibrador que se encuentra en el extremo de la tolva, de igual manera el agitador. El afluente del agua para la solución tiene que ser regulable y medible de una mejor manera. Además hay que calibrar los dosificadores con más exactitud y más a menudo.

La sala de dosificación se utiliza como oficina, lo cual es absolutamente inadecuado. Los escritorios deberían ser retirados inmediatamente.

9.3 Anteproyecto para la Optimización del Proceso de Mezcla Rápida

El problema de mayor relevancia de la Planta de Chiclayo se presenta en la unidad de mezcla rápida. Actualmente el agitador mecánico está fuera de servicio, otra desventaja la determinan los costos elevados de los repuestos y ya que los motores son productos importados no se ubican fácilmente, además el Gradiente de Velocidad proporcionado por este dispositivo no es suficiente para producir una eficiente coagulación. Por estos motivos se ha considerado cambiar la unidad de mezcla rápida del principio mecánico al hidráulico.

El anteproyecto prevé considerar un difusor en un canal de 1.10 m. de ancho dentro de la cámara de mezcla. La unidad está compuesta por una reja conformada por 14 barros ó tubos de distribución de $\phi 1''$ separados 6.2cms. del otro. En estas

condiciones al paso por la reja se producirá una pérdida de carga de 0.159 m. y un Gradiente de Velocidad de 800 s-1 .

Dentro de cada barrote de metal se ha considerado un tubo de PVC de $\varnothing 3/4$ " con 25 orificios de $1/2$ " de diámetro, espaciados en una longitud de 0.55 m. En estas condiciones el grado de segregación de la mezcla será 5% . El tiempo de retención asciende a 2 s. Los cálculos se encuentran en el **anexo 3**, los aspectos de la construcción se encuentran representados en el **diagrama 3.7-Anex.3** y un ejemplo similar en el plano N° **4-Anex.6**.

9.4 Anteproyecto para Optimización para el Proceso de la Unidad de Floculación

La unidad de Floculación presenta el mismo problema que la unidad de mezcla rápida, el sistema de paletas no proporciona el Gradiente necesario, además de estar la mayor parte del tiempo averiado. Por esta razón se justifica la necesidad de transformar la unidad mecánica al principio hidráulico. Otra desventaja existente consiste en posibles procesos de sedimentación a lo largo del recorrido del flujo en el ámbito inferior de los muros intermedios. En las condiciones actuales de la Planta esto no puede ser cambiado.

Ya que el parámetro de Gradientes de Velocidad ejerce una influencia decisiva sobre el proceso de Floculación, a esta unidad se le debe acondicionar para que operen con la calidad de agua cruda de un año. Eso implica que, para que las pruebas de jarras puedan determinar los parámetros ideales, estos ensayos deben ser realizados con diferentes calidades de agua cruda y durante todo un ciclo hidrológico. En el desarrollo del presente anteproyecto es importante tener en cuenta que no se pudo atender este hecho debido a la carencia de tiempo.

En el presente Anteproyecto se considera una unidad de Floculación hidráulica de pantallas de madera machihembrada de flujo vertical compuesta de tres tramos de 11.74m. de ancho y 9.80m. de longitud total. El tiempo de retención en los tres compartimentos de floculación asciende a 20,13 minutos ($t_1=4,89$ min. $t_2=5,28$ min. $t_3=7,41$ min.). Los Gradientes de Velocidad óptimos son de $G_1=53,84$ s-1; $G_2=38,02$ s-1; $G_3=20,77$ s-1. Los cálculos se encuentran en el **anexo 3**, los aspectos de la construcción se encuentran representados en el **diagrama 3.7-Anex.3** y un ejemplo similar en el plano N° **4-Anex.6**.

9.5 Anteproyecto para la Optimización del Proceso de Decantación

La unidad de decantación actual presenta su principal problema en la "forma de U" que recorre el flujo de agua, así como el mal estado en que se halla el sistema patentado de Angotubos.

a. Decantador de alta tasa

Una alternativa para solucionar la problemática de la "forma de U" de esta unidad, es concluir con la fase de decantación, antes que el flujo de agua dé el cambio de dirección (giro de 180°). Esto se puede conseguir construyendo dos unidades laminares con placas paralelas en un ángulo de inclinación de 60° en el espacio restante precediendo a la "forma de U". Los cálculos se encuentran en el **anexo 3**, los aspectos de la construcción se encuentran representados en el **diagrama 3.7-Anex.3** y un ejemplo similar en el plano N° **4-Anex.6**.

b. Estructura de entrada o de distribución de agua floculada

Consistente en dos canales laterales de 1.0 m de ancho y uno central de 2.0 m de ancho. Los canales serán de altura variable entre 2.60m. y 0.50m. al final, con 53 orificios de $\phi 6''$ espaciados a 0.50m. centro a centro en toda su longitud. En estas condiciones, la desviación de caudal entre el primero y el último orificio será de 5.78% y el gradiente de velocidad al paso por los orificios de $7.64s^{-1}$. En la parte superior el agua sedimentada se dispersa en la filtración. Los cálculos se encuentran en el **anexo 3**, los aspectos de la construcción se encuentran representados en el **diagrama 3.7-Anex.3** y un ejemplo similar en el plano **Nº 4-Anex.6**.

Se puede considerar dos tipos de sistema de recolección mediante canaletas o tubos perforados. En el primer caso será necesario instalar 36m. de canaletas con bordes dentados similares a las existentes en el tramo laminar o bien tubos de P.V.C. de $\phi 6''$ con 34 orificios de $\phi 1/2''$ espaciados a 0.10m. en cada tubo. El sistema se instalará a 0.30m. del extremo superior del muro, de tal modo que los orificios tengan una carga de agua de 0.10m.

c. Sistema de extracción de lodos

Se considera el mismo sistema existente.

9.6 Anteproyecto para la Optimización del Proceso de Filtración

Un mejoramiento efectivo de la filtración se logra solamente con el intercambio de medio filtrante. Aquí se sugiere el empleo de un filtro de dos capas con arena y antracita. La granulometría está representada en gráfico 7.1. Se sugiere aumentar el caudal determinante de $0.36 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$. La razón para ello, es la eventual ampliación de la planta con respecto al caudal de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$. La ampliación de la misma fracasaría momentáneamente debido a que el afluente de la toma Chéscope o bien de las lagunas de Boró está limitado. De este caudal resulta la velocidad del filtro de 14.4 m/h. La velocidad de lavado asciende a 50.4 m/h. Con ésta se logra una expansión del medio filtrante de 27 % (arena) o bien de 33 % (antracita), según el método de cálculo del Cepis. Los cálculos se encuentran en el **anexo 3**.

10 Conclusiones y Recomendaciones

10.1 Resumen

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos a lo largo de la evaluación realizada a las unidades de la planta de tratamiento de Chiclayo.

a. Calidad de agua

Analizando los archivos de planta, se puede observar que cuando se capta agua cruda proveniente de la Toma Chéscope, el 50% del tiempo, la turbiedad del agua decantada es superior a 10 UNT., alcanzando hasta 16 UNT., y el agua filtrada varía entre 2.2 y 5.3 UNT. Cuando el agua cruda es captada de las lagunas Boró, la turbiedad promedio del agua cruda varía entre 5.2 y 18 UNT., el agua sedimentada entre 4.2 y 11.9 UNT., y la filtrada entre 2.4 y 4.5 UNT.

b. Evaluación de la Dosificación y Almacenamiento de sustancias químicas.

- No se cuenta con bodega de recepción, la bodega de transferencia se utiliza a la vez como bodega de almacenamiento. El almacén improvisado cuenta con un espacio reducido, prácticamente las sustancias químicas se almacenan a la intemperie expuestas a la humedad del ambiente, ocasionando la formación de grumos que obstruyen la salida de la tolva hacia el dosificador, los dispositivos de agitación y vibrador de los dosificadores están inoperativos. No se cuenta con plataformas de recepción, ni sistema de transporte para las sustancias químicas.
- El grado de exactitud del dosificador es de 70-85% y el de la concentración es de 68.7%, la concentración proporcionada por los dosificadores es solamente de 1.37%, siendo la óptima del 2%. La dosificación de coagulante se realiza en forma deficiente y a niveles muy por debajo de lo requerido, los dosificadores trabajan con el máximo caudal, por eso el tiempo de retención en la cámara de solución es mínimo (1.98 min.), lo cual es insuficiente. Con un caudal medio de 0.4 l/s se logra un tiempo de retención de 8,75 min., esto correspondería a una concentración de 3,02 %. Este valor es más alto que el óptimo de 2 % (exactitud = 66.2 %), sin embargo una concentración mayor es más favorable.

c. Evaluación de la unidad de mezcla rápida.

- La mezcla rápida es el problema principal de la planta de agua de Chiclayo, lo que hace que esta interferencia se arrastre a lo largo del proceso de tratamiento.
- Al analizar la curva resultante obtenida del ensayo de trazadores se ha determinado que el periodo de retención real es de 60s. que está dentro de los límites recomendados para este tipo de unidades
- Actualmente el gradiente de velocidad en esta unidad se genera únicamente hidráulicamente, ya que la velocidad debido a energía mecánica no existe por la inoperatividad del elemento mecánico, aún cuando este estuviera operativo únicamente se alcanzaría una gradiente de 2.9 s^{-1} totalmente deficiente ya que su trabajo sería prácticamente nulo, por lo que finalmente el gradiente de velocidad en esta unidad es de 160 s^{-1} , que es sumamente bajo en relación a los parámetros recomendados.

- El proceso de mezcla rápida en esta unidad es desfavorable, el peligro de ocurrir cortos circuitos es muy elevado, además los errores que se cometen en el proceso de mezcla rápida son difíciles de corregir en las siguientes etapas del tratamiento. Aún cuando las mismas se cumplan efectivamente, el tratamiento en general será deficiente si la desestabilización de las partículas causantes de la turbiedad es defectuosa por la deficiente aplicación de sustancias químicas.
- Asimismo, la unidad no tiene una compuerta que permita independizarla del resto de la planta, lo cual obliga a bajar el nivel de agua de todo el módulo de tratamiento para vaciar esta unidad, además no existe un dispositivo de by pass entre la mezcla rápida y los filtros para la época de bajas turbiedades.

d. Evaluación del canal de ingreso al floculador.

- El canal de ingreso a la unidad de floculación está construido deficientemente, no permitiendo una distribución uniforme del caudal que ingresa a la unidad, tiene un porcentaje extremadamente alto de "espacios muertos", casi la mitad del agua cruda se desplaza hacia el final del canal, contrariamente al inicio del mismo se desplaza sólo un 22.8 %, mientras que la parte central el 30.7%.

e. Evaluación de la unidad de floculación.

- El periodo de retención teórico calculado mediante el volumen de la unidad de Floculación es de 20.7 min, el periodo real determinado mediante el ensayo de trazadores fue de 9 minutos, el mismo que se encuentra por debajo del parámetro teórico y óptimo, este resultado nos indica la existencia de cortocircuitos en la unidad de floculación, además después de sólo 3 minutos de aplicado el trazador, la variación de la conductividad del agua aumentó hasta 355 (μS) /cm., es decir 25(μS) /cm., más que la conductividad inicial que fue de 330(μS) /cm.
- Se ha determinado que el gradiente de velocidad de la unidad de floculación que se promueve en los dos compartimentos con las paletas mecánicas del floculador operando es de solamente 20.4 s^{-1} , esto ocasiona la formación de un flóculo muy débil y voluminoso, que posteriormente se rompe realizar el cambio brusco de dirección en la unidad de decantación. Los dos equipos de floculación mecánicos del módulo de tratamiento trabajan siempre a velocidad constante, lo que es una causa más que no se produzca el gradiente de velocidad adecuado.
- Debido a la falta de un desarenador, cuando se capta aguas cruda directa de río a través de la Toma Chéscope la unidad de floculación se arena hasta niveles de por lo menos 1.0 m. de altura desde el fondo de la unidad, cuando esto suceda, el trabajo de las paletas mecánicas se interrumpe, además ocasiona constantes paralizaciones para proceder a la limpieza de estas unidades.
- Utilizando la teoría de Wolf-Resnick, el porcentaje de flujo pistón en la unidad es de 16.1%, y el de flujo mezclando es de 83.9%

- De la observación visual realizada, el índice de Willcomb de los flóculos formados durante el proceso, es 4 (disperso, bien formado pero uniformemente distribuido, sedimenta muy lentamente o no sedimenta). En laboratorio, en cambio, se consiguió un flóculo con índice de Willcomb 8 (bueno, flóculo que se deposita fácil pero completamente).
- La eficiencia de esta unidad es muy baja, debido a las grandes deficiencias de diseño que ocasionan grandes espacio muertos, grandes cortocircuitos, tiempos de retención muy bajos (9 minutos, en lugar de 20.7 minutos), por debajo del óptimo y la lógica disminución del volumen útil de la unidad que no permite la formación del un buen floc. La baja eficiencia de esta unidad se debe también a los problemas ya citados de un mal proceso de coagulación.

f. Evaluación de la unidad de decantación.

- El problema principal de esta unidad de decantación proviene desde la elección misma diseñar la estructura del reactor de decantación convencional en forma de U. Visualmente se observar que gran parte de los flóculos se encuentra en la segunda parte del decantador convencional, los mismos que al pasar por el angosto canal de cambio de dirección se rompen debido a la turbulencia provocando su aparente levantamiento en la etapa final de la decantación pasando muchas veces hasta los filtros. Asimismo, la ubicación de los reactores no es la adecuada, provocando gran cantidad de "espacios muertos" (28%), presentando un alto porcentaje de flujo mezclado (58%), que originan que el periodo de retención real (96 min.) sea muy inferior al teórico (157 min.), disminuyendo la capacidad útil de la unidad y aumentando su carga de trabajo.
- Asimismo, en el decantador es notorio los efectos de la deficiencia de los proceso de coagulación y floculación, lo cual contribuyo a disminuir la eficiencia de esta unidad.

g. Evaluación de las unidades de filtración.

- Se puede verificar que luego del proceso de lavado del lecho filtrante la velocidad de filtración de las unidades aumenta en un 87 %.(de 129.9 a 243.4 m³/m²xdía)
- El Índice de Mintz ($0.33 < 1$) determinado al filtro N°2, nos indica que se ha promovido la formación de un flóculo muy débil, ocasionado por una dosis baja de coagulante utilizada y que el medio filtrante se encuentra en mal estado o es muy delgado, siendo necesario aumentar su altura, además indica que se ha realizado el tratamiento del agua con bajos gradientes de velocidad de mezcla rápida y floculación.
- Luego de terminado el proceso de lavado por lo menos durante los 5 primeros minutos de filtración se produce agua de baja calidad (ligeramente menor de 5 UNT), debiendo desecharse la producción durante este tiempo. Las unidades de turbiedad después del proceso de lavado al inicio de la siguiente carrera de filtración son altas, luego de 15 minutos no se alcanza un valor menor que 1.0 UNT. Este comportamiento indica el mal estado del lecho filtrante.

- El espesor real del medio filtrante determinado fluctúa entre 75 y 94 cm. lo que indica que hay un excesivo desnivel.
- Siendo el rango de velocidad permisible para plantas de tratamiento con sistema de lavado con agua normalmente entre 0.60 y 0.80 m/min., por lo tanto la velocidad de lavado determinada en el filtro N°2 de 1.15 m/min es aparentemente muy alta, además el proceso de lavado está limitado a las horas en que se proporciona el servicio de agua a la ciudad.
- La diferencia entre los porcentajes de expansión determinados a las dos secciones del filtro N°2 evaluado (sección izquierda 56% max. y sección derecha 18.75%max.), nos indica que hay una desigual distribución del agua de lavado debido a que la resistencia al paso del agua es menor debido a que el drenaje está desacomodado y hay menos material filtrante que al otro lado o a que este es más fino. La expansión del lecho filtrante del lado izquierdo es muy baja y la del lado derecho demasiado alta. Como consecuencia, el material de la sección izquierda no se está lavando bien y en la sección derecha el material fino debe haberse perdido.
- El proceso de lavado en cada sección del filtros debe prolongarse hasta 10 minutos por lo menos (20 minutos en total), tiempo que no se cumple en el proceso operativo pues el lavado de ambas secciones se completa en un tiempo de 15 minutos.
- El proceso de filtración es ineficaz.. El agua decantada contiene una turbiedad de más de 13 UNT, siendo la máxima con que debe llegar el agua decantada antes del proceso de filtración es de 10 UNT., aún cuando el agua decantada llega con una turbiedad de 5 a 6 UNT., el agua filtrada alcanza valores de 2,5 a 3,5 U.T., lo que nos indica que el material filtrante se encuentra en mal estado.
- Respecto a la galería de tuberías ubicada en el sótano de la planta, esta adolece de una serie de problemas :
 - * No cuenta con un acceso apropiado, el desplazamiento en este lugar es incómodo y sumamente riesgoso.
 - * Las tuberías de agua filtrada presentan un recorrido complicado, y grandes cantidades de accesorios, que hacen de esta zona un lugar difícil de controlar.
 - * No existe interconexión entre la tubería de agua filtrada y la de desagüe que permita desechar el primer filtrado.
 - * El funcionamiento de la mayoría de válvulas es defectuoso.
 - * Existen tuberías que han quedado en desuso como las de lavado superficial.
 - * Los paneles están inoperativos y no existen controladores de niveles de pérdida de carga.

h. Evaluación del proceso de desinfección

- La zona de almacenamiento de los envases de cloro es inadecuado, no tiene ingreso apropiado para que la grúa pueda trasladar al cilindro de 1 Ton. desde la plataforma del camión a su ubicación final, la grúa no se utiliza a su plenitud y la operación de los cilindros involucra mucho riesgo para el personal operativo. La zona de desinfección cuenta con dos unidades de cloración del tipo solución en vacío, ambos operativos.
- El consumo promedio medido desde el dosificador de cloro gas es de 136 Kg./día., con lo que se obtiene un cloro residual del agua a la salida de la planta de 1.5 mg/lit , y en el punto más alejado de la red de 0.5mg/l., valores que se encuentran dentro del rango recomendado para la desinfección, El tiempo real de retención en la cisterna de almacenamiento de agua tratada es de 27 minutos.

10.2 Conclusiones

- En general la planta presenta signos evidentes de deterioro, mezclador rápido y floculador, módulos de decantación rotos, etc.. Asimismo, se pueden apreciar problemas de diseño en el floculador, decantadores e instalaciones de cloración. Hace falta un desarenador en la toma Chéscope que evite la acumulación de arena en el floculador.,
- Analizando los datos de calidad de los tres tipos de fuentes de captación : Chéscope, Boró I y Boró II, se ha determinado que si se normalizara la operación de las laguna Boró, sólo se requerirá de tratamiento por medio de filtración directa ; esto es solo coagulación y filtración. De la información analizada, el efluente de la laguna Boró II, es ideal para operar con filtración directa el 100% del tiempo.
- La coagulación se realiza en forma deficiente, ya que no se está agregando la cantidad requerida de sulfato de aluminio.
- El almacenamiento de productos químicos adolece de problemas de espacio y acondicionamiento.
- El proceso de mezcla rápida se efectúa en forma deficiente, debido a una mala coagulación originada por la poca cantidad de coagulante que se agrega en relación a la dosis óptima requerida. La gradiente de velocidad de la mezcla rápida es generado únicamente por energía hidráulica ya que el dispositivo de mezcla rápida esta inoperativo, aún cuando estuviera trabajando su aporte sería prácticamente nulo, además la unidad presenta un alto porcentaje de flujo mezclado lo que indica presencia de cortocircuitos, que originan una disminución del periodo de retención real en relación con el teórico, aún cuando el periodo de retención real encontrado está dentro de los límites recomendados para este tipo de unidades es sumamente bajo en relación a los parámetros óptimos requeridos.
- La unidad de floculación no está cumpliendo con la finalidad para la cual fue diseñada de promover la formación del floc, por tener gradientes de velocidad insuficiente y período de retención casi nulo, muy por debajo de lo requerido.
- La unidad de decantación presenta una eficiencia sumamente baja con el agravante que en la unidad de decantación laminar se nota el deterioro de la calidad del agua decantada en el primer tramo del decantador convencional.

- El área de los decantadores existentes constituye un gran potencial disponible, para incrementar la capacidad de producción del sistema sin ampliar el área construida, solo optimizando la capacidad instalada. El estudio indica que la planta podría pasar a producir 1.0 m³/s, utilizando solamente el primer tramo del decantador convertido a laminar y los filtros existentes con lecho doble.

10.3 Recomendaciones

10.3.1 Soluciones a corto plazo

En este aspecto se plantean una serie de medidas correctivas que deberán ser implementadas en forma inmediata a fin de lograr aumentar a corto plazo la eficiencia de la planta.

- Se debe controlar la dosificación de sulfato de alúmina, mediante la correspondiente prueba de jarras y regular el equipo dosificador en base a la dosis óptima obtenida. Asimismo se debe calibrar los equipos con mayor frecuencia y los equipos operativos a labores de reparación y mejoramiento de sus dispositivos de agitación y vibración.
- Deberá brindarse mantenimiento preventivo a los equipos mecánicos por personal especializado y solucionar los problemas de fugas de agua existentes a través de los ejes de giro de los mismos; además de ser posible, instalar un mecanismo de variación de velocidad de giro de las paletas.
- El cambio del lecho filtrante debe cambiarse inmediatamente, y realizar los estudios para la instalación de un sistema de lavado en base al monitoreo de pérdidas de carga y tiempos de carreras de filtración. Asimismo, la empresa debe considerar un programa de sustitución de válvulas y accesorios de control de los filtros.

10.3.2 Soluciones a mediano plazo

- Como la calidad del agua no requiere de modificadores de pH. Los dos dosificadores de cal nunca son empleados; por ello, se les debe acondicionar mediante reparaciones mecánicas de tableros y dispositivos de vibración y agitación para ser utilizados como dosificadores de sulfato de aluminio en stand by.
- Es necesario evaluar con más detenimiento las características del agua cruda y el grado de tratamiento requerido cuando las aguas son claras y cuando están turbias, además, sería recomendable estudiar a nivel piloto la longitud de carreras de filtración que se podría obtener y las características del efluente cuando el agua cruda proviene de la laguna Boró II, para la determinación de los parámetros óptimos de dosificación para tratamiento con filtración directa.
- Se deberá abrir una conexión entre la cámara de mezcla rápida y el canal de ingreso a los filtros, donde se instalarán dos compuertas: una en el canal de ingreso a los floculadores y la segunda a la altura del canal de ingreso a los filtros, esto permitirá independizar la cámara de mezcla rápida del resto de unidades componentes del módulo además de permitir establecer un by-pass que comunique la cámara de mezcla rápida con los filtros y así tener un sistema flexible para el trabajo de la planta según sea el tipo de fuente empleado; es decir, filtración rápida completa con agua proveniente de la toma Chéscope ó Boró I y filtración directa con agua proveniente de la laguna Boró II.

- Es necesario efectuar obras de rehabilitación que involucren la solución de los defectos de diseño identificados.
- Realizar con el asesoramiento de entidades de prestigio tal como el Cepis los estudios propuestos correspondientes para la optimización de la planta de tratamiento de Chiclayo, cuyo Anteproyecto se presenta en el capítulo 9 del presente Informe de Ingeniería, para que su ejecución no demande mayor tiempo logrando su ejecución a mediano plazo y que el sistema optimizado entre en operación en cuanto se culmine las obras del Plan Maestro correspondientes al tendido de la nueva línea de conducción, donde 0.2 m³/s de agua cruda serán derivados hacia la planta de tratamiento existente.
- Debe construirse un almacén para los envases de cloro, y dotar al personal de sistema de transferencia manual tales como carritos basculantes y carretillas para transporte de sustancias químicas envasadas, y un transporte de carga (pato) para disminuir el riesgo que involucra la operación de cambio de cilindros de cloro de 1ton.

10.3.3 Soluciones a largo plazo

El estudio efectuado también indica que la planta podría aumentar aún más su capacidad de producción optimizada, pudiendo llegar hasta 1.5 m³/s, convirtiendo cada módulo de tratamiento, utilizando ambos tramos del decantador convencional para convertirlos en dos módulos de tratamiento completos con unidad de mezcla rápida, decantador laminar de alta tasa con su correspondiente batería de cuatro filtros cada uno.

Claro está que este proyecto demandará la construcción de una unidad de mezcla rápida, una batería de 04 filtros cada una y una derivación de una nueva línea de agua cruda al ingreso de cada uno de los módulos norte y sur de la planta existente; además de estar supeditado a la ejecución de grandes obras tales como considerar una nueva línea de conducción para doblar la capacidad de conducción actual y así lograr el abastecimiento de agua cruda a las Plantas de tratamiento de Agua para la ciudad de Chiclayo para satisfacer la demanda de una población futura proyectada al año 2020.

Referencias Bibliográficas:

- Pérez Carrion, Jose; Richter, Carlos y Cánepa de Vargas, Lidia:
Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente;
Programa regional HPE/OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano;
Ciclo: Tratamiento, Serie: Filtración rápida:
Manual I: El agua - calidad y tratamiento para consumo humano
Manual II: Criterios de selección
Manual III: Teoría
Manual IV: Evaluación
Manual V: Diseño;
Lima, 1992
- Salas, Henry y Martino, Paloma:
Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente,
Programa regional CEPIS/HPE/OPS 1981-1990;
Metodologías simplificadas para la evaluación en lagos cálidos tropicales, Lima 1981;
- Plan Maestro de Chiclayo, Chiclayo 1989
- Arboleda Valencia, Jorge - "Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación de Agua ;Serie Técnica N°13 - Cepis
- Estudio de Factibilidad para el abastecimiento de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Chiclayo. Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua. Informe de Avance, Lima 1984.

Anexo 1
Láminas
