

**DIAGNOSTICO Y OPTIMIZACION DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE,
MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL.**

JERSON HERNAN SAAVEDRA BOLIVAR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

**DIAGNOSTICO Y OPTIMIZACION DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE,
MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL.**

JERSON HERNAN SAAVEDRA BOLIVAR

**Proyecto de Grado
Modalidad Practica Empresarial para Optar al Titulo de
Ingeniero Civil**

**Director
JORGE ELIÉCER GOMEZ SANCHEZ
Ingeniero Sanitario**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

DEDICATORIA

Esta nueva etapa que hoy afronto en mi vida, es producto del esfuerzo de muchos años de dedicación en los cuales mis padres y hermanas, me apoyaron desinteresadamente para sacar adelante tan magnifico proyecto de ser profesional. Es a ellos que debo en gran parte el logro que estoy consiguiendo.

A mi tía Gabrielina, por la energía que me contagiaba para seguir adelante y culminar lo que siempre soñé.

A mis abuelas Faustina y Rita que siempre estuvieron pendientes de mi evolución y rendimiento académico.

A mis amigos Harvey, Javier, Mauricio, Franco, con los cuales compartí la mayoría de mi estancia universitaria y con los que aprendí a sortear las dificultades que aparecían en el diario vivir.

Jerson Hernán Saavedra Bolívar

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Al Ing. Jorge Gómez Sánchez por la orientación y colaboración para el desarrollo de este proyecto de grado.

Al gerente de EMSERPUNAL ESP, Ing. Víctor Fajardo por la ayuda prestada para el desarrollo de este proyecto, de igual forma resaltar la valiosa colaboración de las operadoras de la planta, por la información suministrada del estado de instalaciones y equipos.

A Ingrid Arce Mateus, jefe de laboratorio de ESBARBOSA ESP, por la colaboración y asesoría prestada para el desarrollo de los análisis de jarras.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1 GENERALIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	3
1.1 Visión	4
1.2 Misión	4
2 CONFORMACIÓN UNIDADES ACUEDUCTO Y PLANTA DE TRATAMIENTO	
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES	5
2.1.1 Quebrada Agua Blanca	5
2.1.2 Arrollo las Flores y Vivero	5
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO	5
2.2.1 Quebrada Agua Blanca	6
2.2.2 Arrollo las Flores y Vivero	6
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	8

2.3.1	Caudal de la Planta	8
2.3.2	Tipo de Planta	9
2.3.3	Descripción	9
2.4	ANALISIS CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA	11
2.4.1	Floculadores	11
2.4.2	Sedimentadores	12
2.4.3	Filtros	12
3	FINALIDAD PROCESOS DE OPERACIÓN, PLANTA DE TRATAMIENTO	14
3.1	CALIDAD DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO	14
3.1.1	Finalidad del Control de Calidad en cada Etapa de Tratamiento	14
3.2	CONTROLES RUTINARIOS DE OPERACIÓN	15
3.2.1	Calibración del Dosificador	15
3.2.2	Calibración del Vertedero	16
3.2.3	Proceso de Coagulación-Floculación	16
3.2.4	Proceso de Sedimentación	17
3.2.5	Proceso de Filtración	18
3.2.6	Proceso de Desinfección	20
4	DIAGNOSTICO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNIDADES Y EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	21

4.1	DOSIFICADOR DE SULFATO	21
4.1.1	Descripción	21
4.1.2	Función	22
4.1.3	Diagnostico	22
4.1.4	Recomendaciones	26
4.2	DOSIFICADOR DE CAL	27
4.2.1	Descripción	27
4.2.2	Función	28
4.2.3	Diagnostico	28
4.3	MEZCLA RAPIDA	29
4.3.1	Descripción	29
4.3.2	Función	30
4.3.3	Diagnostico	31
4.3.4	Recomendaciones	33
4.4	FLOCULACIÓN	34
4.4.1	Descripción	34
4.4.2	Función	35
4.4.3	Diagnostico	35
4.4.4	Recomendaciones	36
4.5	SEDIMENTADORES	37
4.5.1	Descripción	37
4.5.2	Función	38
4.5.3	Diagnostico	38

4.5.4	Recomendaciones	43
4.6	FILTROS	44
4.6.1	Descripción	44
4.6.2	Función	45
4.6.3	Diagnostico	45
4.6.4	Recomendaciones	51
4.7	CLORACIÓN	53
4.7.1	Descripción	53
4.7.2	Función	54
4.7.3	Diagnostico	54
4.7.4	Recomendaciones	55
4.8	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	56
4.8.1	Descripción	56
4.8.2	Función	57
4.8.3	Diagnostico	58
4.8.4	Recomendaciones	59
4.9	LABORATORIO	59
4.9.1	Descripción	60
4.9.2	Diagnostico	60
4.9.3	Recomendaciones	62
4.10	CUARTO DE BOMBAS	62

4.10.1	Descripción	62
4.10.2	Función	63
4.10.3	Diagnostico	63
4.10.4	Recomendaciones	64
4.11	SISTEMA ELECTRICO	64
4.11.1	Descripción	64
4.11.2	Función	65
4.11.3	Diagnostico	65
4.11.4	Recomendaciones	66
4.12	JEFATURA DE PLANTA	66
4.12.1	Funciones	66
4.12.2	Observaciones	67
4.13	RED DE DISTRIBUCIÓN	67
4.13.1	Descripción	67
4.13.2	Función	68
4.13.3	Diagnostico	68
4.15.1	MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	70
4.15.1.1	Descripción	70
4.15.1.2	Diagnostico	71
5	OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	73

5.1	PROYECCIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO	73
5.1.1	Determinación del Nivel de Complejidad	73
5.1.2	Descripción del problema	74
5.2	CÁLCULOS DE POBLACIÓN	74
5.2.1	Población Futura	74
5.2.2	Calculo de la Población Futura	75
5.2.3	Calculo de la Dotación Neta	76
5.2.4	Perdidas	78
5.2.5	Calculo de la Dotación Bruta	80
5.2.6	Calculo del Caudal Medio Diario	80
5.3	PROYECCION HIDRÁULICA DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO	81
5.3.1	Vertedero Rectangular	81
5.3.2	Floculador	84
5.3.3	Sedimentador de Alta Rata	92
5.3.4	Volumen del Tanque de Almacenamiento	96
5.4	DISEÑO ESTRUCTURAS DE CONCRETO	97
5.4.1	Muro Uno y Dos	98
5.4.2	Muro Tres	103
5.4.3	Viga de confinamiento de Muros	107
5.4.4	Canaleta de Recolección	108
5.4.5	Piso de Fondo Sedimentador	109
5.4.6	Piso de Fondo Floculador	109

6 APORTE TÉCNICO: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL 111

OBJETIVOS	111
Objetivo General	111
Objetivos Específicos	111
JUSTIFICACIÓN	113
PLAN DE TRABAJO	113
ALCANCE DEL PROYECTO	114
MARCO TEÓRICO	115
6.1 OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	121
6.1.1 CONCEPTOS	121
6.1.2 NORMA	123
6.1.3 PROCEDIMIENTO	124
6.2 MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES Y EQUIPOS	175
6.2.1 CONCEPTO	175
6.2.2 ORGANIZACIÓN	176
6.2.3 POLITICAS	176
6.2.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	177
6.2.5 PROCEDIMIENTO	179

CONCLUSIONES	199
BIBLIOGRAFÍA	204
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Panorámica de la Planta de Tratamiento	3
Figura 2: Bocatoma de Fondo	6
Figura 3: Rebose Sedimentador	7
Figura 4: Panorámica Sedimentador	7
Figura 5:Potencial de Producción de la Planta	12
Figura 6: Dosificador Volumétrico	22
Figura 7: Dosificador de Cal	28
Figura 8: Mezcla Rápida	30
Figura 9: Canal de Entrada	30
Figura 10: Floculadores Mecánicos	34
Figura 11: Sedimentadores Convencionales	38

Figura 12: Canal de Entrada al Sedimentador	38
Figura 13: Canaleta de Repartición	45
Figura 14: Válvulas Manejo de Filtros	45
Figura 15: Tanque de Almacenamiento	57
Figura 16: Tanque Elevado	57
Figura 17: Equipo de Laboratorio	60
Figura 18: Bombas Existentes	63
Figura 19: Grafica para Gradiente de Velocidad	85
Figura 20: Correlación de Log G Vs. Log T	88
Figura 21: Curva de Calibración del Vertedero	130
Figura 22: Dosis Optima (mg/l) aplicada a los (l/s) que entre a la Planta	137

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Frecuencia Turbiedad Agua Cruda	24
Tabla 2: Comparación de Dosis de Coagulante Aplicado	25
Tabla 3: Frecuencia de pH Agua Cruda	28
Tabla 4: Calibración del Vertedero	33
Tabla 5: Frecuencia pH Agua Sedimentada	42
Tabla 6: Turbiedad Agua Sedimentada	42
Tabla 7: Turbiedad Agua Filtrada	50
Tabla 8: Características de los Filtros	53
Tabla 9: Clasificación del Nivel de Complejidad	73
Tabla 10: Población Estimada por el DANE	74
Tabla 11: Características del Nivel de Complejidad	75

Tabla 12: Registro Histórico de Consumo Años 2002-2003	77
Tabla 13: Consumos Máximos Año 2003	81
Tabla 14: Gradientes de Velocidad, Jarras de 1 L	86
Tabla 15: Determinación del Tiempo de Floculación	86
Tabla 16: Determinación del Gradiente Optimo	87
Tabla 17: Datos de Correlación de Log G y Log T	89
Tabla 18: Gradiente a Partir de la Ecuación 1	89
Tabla 19: Gradientes de Diseño para el Floculador	89
Tabla 20: Dimensiones de Floculador	91
Tabla 21: Características Hidráulicas del Floculador	91
Tabla 22: Dosis de Coagulante a Aplicar en Diferentes Dosis	139
Tabla 23: Especificaciones de Lecho Filtrante Mixto	163
Tabla 24: Clasificación de un Lecho Filtrante según las Bolas de Barro	164

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Cuadros de Análisis de la Prueba de Jarras y Graficas para los Obtención de Parámetros Óptimos de Floculación

ANEXO B: Modelos de Tablas para Registro de Datos de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento

ANEXO C: Presupuesto para Optimizar la Planta de Tratamiento

ANEXO D: Planos arquitectónicos de las nuevas unidades de la planta de tratamiento.

GLOSARIO

1. Afluente: denominación que se le da al agua que proviene de la unidad anterior.
2. Carga Superficial: velocidad con la cual sedimenta la partícula crítica.
3. Carrera de Filtración: tiempo que transcurre entre lavado y lavado de una unidad de filtración.
4. Coagulante: sustancia química que induce el aglutinamiento de las partículas.
5. Coloide: sólidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie.
6. Cortocircuito: condición que ocurre en los tanques cuando parte del agua pasa a una velocidad mayor que el resto del fluido, disminuyendo el tiempo de residencia medio de la masa líquida en el reactor.
7. Cloro Residual Libre: concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto.
8. Demanda de Cloro: cantidad de cloro que reacciona y se consume en la oxidación de materia orgánica y sustancias químicas.
9. Desinfección: proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

- 10 Efluente: Agua que sale de la unidad respectiva.
- 11 Gradiente de Velocidad: máximo esfuerzo cortante que puede resistir el floc sin romperse.
- 12 Granulometría: técnica para la medida del tamaño de los granos o partículas y estudio de la distribución de los mismos en el medio poroso.
- 13 Lecho Filtrante: medio constituido por material poroso por el cual se hace percolar el flujo.
- 14 Optimización: acción de mejorar, procesos de operación o unidades, para lograr mejorar la calidad del agua.
- 15 Pérdida de carga: disminución de la energía de un fluido debido a la resistencia que encuentra a su paso.
- 16 Prueba de jarras: ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.
- 17 Rata de Filtración: velocidad con que pasa el agua a través del medio filtrante.

RESUMEN

El objetivo principal era observar el funcionamiento operacional y de mantenimiento que se maneja para cada unidad y equipo de la planta. La información respectiva, se recopiló siguiendo el recorrido del agua en la planta, mediante la observación subjetiva del funcionamiento de los equipos y unidades de tratamiento junto con la colaboración de las operadoras de turno que hicieron más preciso el informe con sus comentarios respecto de las actividades que deben sortear para realizar la clarificación del agua, debido al estado de la infraestructura existente.

En el diagnóstico se resaltaron las falencias y el estado del funcionamiento de cada una de las unidades de tratamiento y de los equipos utilizados para el normal proceso en la planta. De la información obtenida en la planta, se hacen las respectivas recomendaciones, con el fin de que se pongan en práctica para hacer la operación en la planta más técnica y con controles definidos que permitan siempre mejorar la calidad del agua producida y reducir los costos de producción.

La optimización de la planta comprende la proyección de unidades con funcionamiento hidráulico que reduzcan los costos de operación y retención hidráulica y que a la vez mejoren la calidad del agua final. De la mano con las nuevas unidades propuestas se incluye el manual de operación y mantenimiento que se debe ejecutar a diario y que a la vez sirve de consulta y capacitación de las operadoras en el desarrollo de los controles de las unidades de tratamiento y la solución de imprevistos que puedan ocurrir.

SUMMARY

The main objective was to observe the operational operation and of maintenance that is managed for each unit and team of the plant. The respective information, you gathers following the journey of the water in the plant, by means of the subjective observation of the operation of the teams and treatment units together with the collaboration of the shift operators that you/they made but I specify the report with their comments regarding the activities that should draw to carry out the clarification of the water, due to the state of the existent infrastructure.

In the I diagnose the falencias and the state of the operation they were stood out of each one of the treatment units and of the utilized teams for the normal process in the plant. Of the information obtained in the plant, the respective recommendations are made with the purpose of that put on in he/she practices to make the operation in the plant but technique and with defined controls that always allow to improve the quality of the produced water and to reduce the costs of production.

The optimization of the plant understands the projection of units with hydraulic operation that you/they reduce the operating costs and hydraulic retention and that at the same time they improve the quality of the final water. Of the hand with the new proposed units is included the operation manual and maintenance that it should be executed to newspaper and that at the same time it serves as consultation and the operators' training in the development of the controls of the treatment units and the solution of accidental that can happen.

INTRODUCCIÓN

Dentro del conjunto de necesidades que debe satisfacer el hombre, el uso y consumo de agua es uno de los más importantes tanto para la salud humana como para el bienestar de la comunidad. En su conjunto el abastecimiento de agua debe ser seguro y satisfactorio para las necesidades de uso domestico, comercial e industrial.

La necesidad de identificar los problemas de continuidad en la prestación del servicio de agua potable a los habitantes del municipio de Puente Nacional, centra el interés, en buscar mediante una observación externa, las falencias que están ocasionando que se preste un servicio regular de agua.

El cumplimiento de la vida útil de las unidades destinadas para el tratamiento, el estado físico de equipos e instalaciones y la necesidad de ampliar la cobertura, son algunas de las razones que forzan a generar soluciones económicas de ampliación que permitan satisfacer la demanda de líquido a futuro, regido por estrategias de control de operación en la producción de agua.

La práctica empresarial en EMSERPUNAL, tiene como principio, dar a conocer el estado actual de la planta y detectar las causas que generan, que no haya un funcionamiento homogéneo de la misma. Las deficiencias detectadas en equipos y operación, se resaltan dando una corrección al respecto con conceptos idóneos

propuestos, que han sido comprobados mediante la experiencia y que se implementaran para que la planta alcance el funcionamiento eficiente deseado.

La proposición de unidades nuevas que optimicen los procesos actuales, va dirigido a disminuir los costos de producción y mejoramiento de la calidad final del agua, con el propósito de evitar la propagación de enfermedades. Las unidades que se optimizaran van reseñadas con los procedimientos que se deben llevar a cabo rutinariamente para darle una correcta operación a la respectiva unidad y a los equipos dependientes de esta.

La razón de ser de una planta de tratamiento, es transformar el agua cruda en potable, apta para el consumo humano, en la cual cada proceso debe funcionar eficientemente. Por esta razón se debe pensar en dar el mejor manejo a la planta y funcionar siempre con controles de operación para dejar de lado un tratamiento rudimentario y pasar a realizar los procesos de forma más técnica y controlada.

Este libro propuesto servirá de consulta operacional para cualquier empleado que quiera dar cumplimiento a la misión de la empresa.

1 GENERALIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Topográficamente la planta esta situada sobre una cota promedio de 1660m y la zona servida esta comprendida desde 1655m en la parte mas alta (barrio Villa de Puente Real) hasta los 1630m (sector Agua Blanca).

La planta es de tipo convencional y tiene una capacidad promedio de tratamiento actual de 16 l/s. Les es difícil ofrecer un servicio continuo a los habitantes, especialmente en épocas de niveles bajos de caudal. En los registros de la planta no existen memorias de los diseños ni operación de las unidades.

Para satisfacer la demanda de agua del municipio, existen tres sistemas de toma de agua: Quebrada Agua Blanca, arroyo las Flores, arroyo el Vivero.

Fig. 1 Panorámica de la planta



La empresa EMSERPUNAL ESP., creada mediante acuerdo municipal N° 016 del 16 de septiembre de 1999, y puesta en operación el 1° de febrero del 2000, se encarga de la administración y prestación del servicio de acueducto, aseo y

alcantarillado. Cuenta para ello con diez funcionarios en la estructura operativa, cuatro operadoras de planta, dos fontaneros y un recorredor de línea. Dentro de la parte administrativa están: el gerente, el tesorero y una secretaria.

1.1 MISION:

Somos una entidad líder en la prestación de la administración pública eficiente y eficaz que proporciona la buena prestación de los Servicios Públicos Domiciliario de acueducto y alcantarillado altamente calificados y honestos y comprometidos en beneficio a la comunidad Pontanalina.

1.2 VISION:

La empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Puente Nacional EMSERPUNAL ESP. será el organismo rector que proporcionara un adecuado funcionamiento de los servicios públicos en las diferentes áreas, empleando sistemas administrativos, técnicos, y podrá intervenir en la formulación, preparación y ejecución de programas generales para su propia realización promoviendo su transparencia a través de servicios públicos altamente calificados, honestos y comprometidos en beneficio de toda la comunidad de Puente Nacional.

2 CONFORMACIÓN DE LAS UNIDADES DE ACUEDUCTO Y DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES:

2.1.1 Quebrada Agua Blanca: Nace en el páramo de Peña Blanca hacia el oriente respecto a la planta, con elevación máxima de 2230 m. El sentido del flujo de agua es sur-norte, con una pendiente moderadamente suave, con tendencia a ser meandrica y alta erosión en las zonas de cambio de dirección, como también hacia sus costados. Su sobresaliente cualidad es que transporta una gran cantidad de rocas, que se extraen como material para triturado. La cuenca tiene una calificación del terreno entre montañoso-escarpado, que por su pendiente, para época de invierno, sube el caudal bruscamente por la alta escorrentía.

2.1.2 Arroyo las Flores y Vivero: Nacen en la parte occidental respecto a la planta, en el sector conocido como el filo a 1720 m de altura promedio, distan la una de la otra alrededor de 700 m. El sentido del flujo de agua es oeste-este con una pendiente pronunciada caracterizadas por un caudal bajo en verano y una corta longitud de corriente de agua. Las fuentes de agua permanecen ocultas por los árboles, de los cuales caen y se depositan las hojas, generando acumulación sobre la rejilla, impidiendo el flujo y añadiendo coloración al agua debido al contacto y descomposición de las hojas en el sitio.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO:

2.2.1 Quebrada Agua Blanca:

➤ **Captación:** Por medio de bocatoma de fondo ubicada en el margen derecho, en el sentido de la corriente sur-norte, se capta el agua (en época de verano se suele reducir considerablemente), a través de una rejilla de 0.4*0.9m y una profundidad de 0.4m. Hace falta instalar una estructura de medición después de la captación que permita determinar exactamente el caudal captando.

La bocatoma se ve afectada en verano, por dos muros de protección, que se construyeron para evitar que las rocas arrastradas por la corriente, tapen la bocatoma. En el momento han ocasionado una división del flujo y una diferencia de nivel entre estos; ocasionando que en época de verano haya que canalizar el flujo desde aguas arriba, todos los días, para desviar el flujo hacia la parte superior, que es la que conduce el agua hacia la bocatoma, para aumentar la lamina de agua sobre la rejilla. La caída de hojas sobre la bocatoma afecta considerablemente, porque tapona, reduciendo el caudal a captar.

Fig. 2 Bocatoma de fondo



➤ **Sedimentador:** Esta ubicado a 200m de la bocatoma; es una estructura donde el paso hacia la cámara de quietamiento es sumergido. Tiene una profundidad máxima de 2.5m, con pendiente suave hacia el canal central mediante el cual se

desagua. Hacia la salida tiene un deflector de oleajes y un vertedero semejante al de la entrada. La estructura esta totalmente cubierta por láminas metálicas que impide entrada de viento y que caiga suciedad al agua.

El desarenador trabaja fuera de su capacidad, porque el flujo inunda por completo la estructura, y el tubo de excesos de 8", no da la capacidad de desalojar todo el volumen de agua, desbordándose por el perímetro. Además como el flujo llega con tanta velocidad, pasa por encima de la pantalla reductora de energía, hasta la zona de decantación perturbando la quietud a la masa de agua.

Fig. 3. Rebose desarenador



Fig. 4 Panorámica sedimentador



➤ **Aducción:** Tiene una longitud de 5.2 km en tubería PVC, en diámetro de 8" por 3 km, con una reducción y llegada a la planta en diámetro de 6" por 2.2 km, con cuatro "aéreos" sobre la quebrada, además cuenta con algunas ventosas en puntos altos como también válvulas de purga en los puntos bajos. A estas válvulas es poco el mantenimiento preventivo que les realizan.

Los cambios de dirección en la tubería son bruscos alcanzando más de los 90 grados en varios tramos especialmente los que están dentro del municipio; el trazado tiene un recorrido extenso que podía haber sido recortado evitando tantos cambios de dirección. En la actualidad no se cuenta con un plano detallado de la

topografía y nivelación de la tubería de aducción que ayude a analizar si son requeridas más válvulas de purga o ventosa y observar en que sitio se puede mejorar el trazado con el fin de optimizar el transporte del agua y reducir las pérdidas y los daños. La conducción en promedio, mensualmente tiene problemas de disminución de caudal, perdida total del flujo por algún tipo de daño etc.

2.2.2 Arroyo las Flores y Vivero.

➤ **Captación:** Por medio de bocatoma de fondo en rejilla metálica con dimensiones de 0.2*0.4 m y a través de tramos aproximados de 350m de tubería metálica de 6", que conducen el agua hasta el sedimentador, único para ambos flujos de agua. Estas bocatomas se ven afectadas por las hojas de los árboles, animales que se acercan a beber y conexión de alcantarillas de aguas lluvias de la carretera hacia Iroba, problema por el cual la turbiedad del agua el la planta se eleva bruscamente para época de invierno. Hay algunas viviendas cercanas que pueden ocasionar alguna contaminación.

➤ **Desarenador:** El agua llega a un pozo donde se unen ambas aducciones; entran a la unidad por el fondo de la pantalla, haciendo un recorrido en U. Se conduce hacia la planta por una tubería de 4" de 400 m de longitud.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

2.3.1 Caudal de la Planta:

- 1 Caudal de Diseño: 16 l/s (Dato estimado por el jefe de planta).
- 2 Caudal de Operación: 19 l/s

2.3.2 Tipo de Planta:

- a. La planta mixta: de tecnología apropiada y decantadores convencionales.
- b. Año en que se diseño: 1960

2.3.3 Descripción:

- **Medidor de Caudal:** Tipo vertedero triangular con descarga sumergida.

- **Mezcla Rápida:** Tipo: mecánica. Actualmente no hay mezcla rápida y la solución de coagulante no se aplica sobre toda la masa de agua.

- **Floculadores:** Tipo agitación mecánica.
 - a. Numero de Unidades: 1
 - b. Numero de Cámaras: 2
 - c. Ancho de la Unidad: 2.4 m
 - d. Profundidad Útil: 2.3 m
 - e. Largo de cada Cámara: 2.4 m
 - f. Tiempo de Retención del Proyecto: No existen datos al respecto.
 - g. Tiempo de Retención de Operación: 20 min. (Por el numero de cámaras).

- **Decantadores:** Tipo convencional.
 - a. Numero de Unidades: 2
 - b. Área de cada Unidad: 42.6 m²
 - c. Carga Superficial del Proyecto: No existe información al respecto.
 - d. Carga superficial de Operación: 18.2 m³/m²*d.

- **Filtros:** Tipo convencionales de tasa declinante.
 - a. Tipo de Lecho Filtrante. Mixtos.
 - b. Área de cada Filtro. 10.95 m²
 - c. Rata de Filtración de Diseño: No existen datos al respecto.
 - d. Rata de Filtración Promedio de Operación: 71 m³/m²*d

➤ **Dosificación**

Coagulación:

- a. Químico: Sulfato de Aluminio tipo B
- b. Equipo: Dosificador tipo volumétrico

Modificador de pH:

- a. Químico: Cal.
- b. Equipo: Dosificador tipo volumétrico (no se usa actualmente).

Cloración:

- a. Químico: Cloro líquido.
- b. Equipo: Dosificador de inyección al vacío.

2.4 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA

Permite determinar cómo está siendo utilizada la capacidad física de la planta. Durante este proceso, se asignaran tasas de diseño aceptables para los procesos de floculación, la sedimentación y la filtración.

2.4.1 Floculación:

Volumen Total: $2.4*2.4*2.4*2= 27.65 \text{ m}^3$

Tiempo de Retención: 20 min

Caudal (Q): Máximo caudal que puede tratar la unidad eficientemente.

$$Q = (27.65*1000) / (20*60) = 23 \text{ l/s}$$

Nota: El tiempo seleccionado (20 min), es el óptimo de la prueba de jarras, posiblemente no es el real de la unidad.

2.4.2 Sedimentadores Convencionales:

Área Total de las Unidades 85.2 m²

Profundidad Útil 2.5 m

Carga Superficial 22 m³/m²*d (operación precaria)

$$Q = (22*1000*85.2) / 86400 = 21.7 \text{ l/s}$$

Nota: La carga superficial que se adopto, es la que sugiere Arboleda Valencia para instalaciones pequeñas con operación precaria y sedimentadores convencionales.

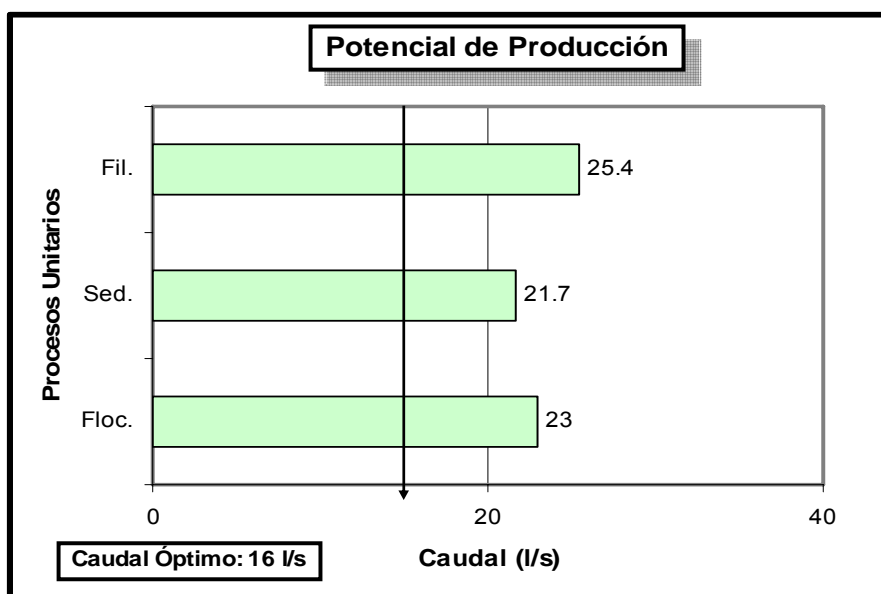
2.4.3 Filtros Convencionales

Área Filtrante Total $2 \cdot 10.95 = 21.9 \text{ m}^2$

Rata promedio de Filtración $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ (Taponamiento moderado por aire)

$$Q = (21.9 \cdot 120 \cdot 1000) / 86400 = 25.4 \text{ l/s}$$

Fig. 5. Potencial de Producción de la Planta



En la figura 5, se observa que para los parámetros hidráulicos propuestos para determinar la capacidad aproximada de la planta, se obtiene como resultado que estas son capaces de tratar aun el caudal de operación actual. Esta información resulta paradójica, puesto que la planta se esta operando actualmente por arriba

del caudal de diseño, lo que indica que se supero la capacidad, significando que las unidades fueron diseñadas con un alto factor de seguridad para la época.

De las unidades próximas a alcanzar la capacidad máxima de operación (floculador, sedimentador), la filtración es el proceso en el que sus instalaciones físicas permiten trabajar holgadamente por un buen tiempo, puesto que con solo mejorar el lecho filtrante a arena-antracita, permitirá aumentar la rata de filtración y por ende soportar mayor caudal.

A pesar de que aun tiene capacidad la planta, lo que se busca con la optimización es mejorar los procesos de tratamiento, la operación y mantenimiento y la reducción de costos mediante la implementación de procesos hidráulicos y de controles de operación rutinarios.

3 FINALIDAD PROCESOS DE OPERACIÓN, PLANTA DE TRATAMIENTO

3.1 CONTROL DE CALIDAD DE LOS PROCESOS:

3.1.1 Finalidad del Control de Calidad en cada Etapa de Tratamiento.

El control de calidad de los procesos de purificación del agua, además de hacerse para obtener un producto que se ajuste a las normas sanitarias, se hace para dar seguridad al usuario¹. Cada etapa del proceso de tratamiento debe ser controlado para obtener no solamente calidad sino también para obtener economía, en los productos químicos, en energía, en tiempo y consumo de agua ya tratada.

La operación constituye el conjunto de actividades y acciones que deben ser realizadas por el personal encargado de la misma, con el fin de conseguir que cada una de las unidades de tratamiento con intervención de recurso humano y materiales, cumpla con las normas de calidad del agua y de rendimientos específicos en el proceso.

Dentro de la operación existen controles rutinarios y necesarios para mantener en funcionamiento continuo y producción de buena calidad de agua, a menor costo.

¹ Curso sobre operación y mantenimiento SubModulo 5.2 Control de calidad

- Se detecto que dentro de la planta de tratamiento no existe ninguna metodología, como un manual de operación y mantenimiento que le permita al operador de turno, saber como sortear dificultades o como realizar controles a cada unidad con el animo de un funcionamiento eficiente.
- La operación diaria de cada operadora esta destinada únicamente a la toma de muestras de agua cada 2 horas para el registro en la hoja de control, de las propiedades organolépticas que tiene el líquido en ese instante y el control de la aplicación del sulfato. Adicional a esta actividad cada operadora entrega un reporte del funcionamiento de la planta a la operadora del turno siguiente.
- Dentro del registro diario deben quedar incluidos los datos tomados de la parte de control de cada proceso y que cada operadora debe estar en capacidad de realizar en cada turno o con la frecuencia que lo amerite, según sea, el tipo de control que se ejecute.

3.2 CONTROLES RUTINARIOS DE OPERACIÓN

A continuación se describen algunos de los controles más importantes que se deben realizar normalmente en la planta y los beneficios que se dejan de recibir en la operación al no contar con esta información, a fin de alcanzar una producción eficiente y económica de agua. Controles que permitirán estar al tanto de la operación y mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos. Los siguientes controles se reseñan porque ninguno se realiza ni se ha realizado en la planta a excepción de la corrección de dosificación. El procedimiento para realizar los ensayos se especifica en el manual de operación y mantenimiento propuesto.

3.2.1 Calibración del Dosificador:

El objetivo es conocer la posición del tornillo sinfín del dosificador para obtener una descarga específica. La curva que se obtiene, facilitara la dosificación especialmente en casos de elevación de la turbiedad porque se ajusta rápidamente a la posición del tornillo para la dosis requerida.

3.2.2 Calibración del Vertedero:

Esta operación tiene por objeto, mantener la precisión en el aforo del caudal que entra a la planta; la operación se realiza corroborando el caudal medido en la reglilla, con el obtenido de introducir la altura de la lámina de agua en la respectiva ecuación de calibración. Se debe tener en cuenta que para el desarrollo de esta actividad se debe comprobar la nivelación y firmeza de la reglilla respecto a la cresta del vertedero.

La medida exacta del caudal, permite la comprobación de los siguientes aspectos:

- Dosificación exacta de las sustancias de coagulante.
- Estimar las ampliaciones de la planta.
- Para determinar la capacidad real de la conducción.
- Para controlar las ratas de filtración.
- Para fines estadísticos y determinar costos.

3.2.3 Procesos de Coagulación-Floculación:

La coagulación-floculación constituye el proceso básico que determina en gran parte las condiciones de operación de la planta de tratamiento. La remoción de

turbiedad en los sedimentadores y en los filtros así como la calidad del agua que se obtenga en ellos, se relacionan directamente con la manera como las partículas sean desestabilizadas y la intensidad de las fuerzas que las aglutinan.

Con estas observaciones, el cuidadoso control del proceso de la coagulación-floculación, constituye la principal preocupación para la operación de la planta.

▲ **Determinación de la Dosis Óptima de Coagulante:** El objetivo de este ensayo es poder determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida y eficiente desestabilización de las partículas coloidales en la planta, y hace que se forme un floc compacto y pesado que decante fácilmente.

▲ **Determinación de la Influencia del pH en la Coagulación:** El objetivo de este ensayo es determinar el rango de pH óptimo que debe tener el agua cruda a la entrada, para que se obtenga gran efectividad en la remoción de las partículas coloidales en el proceso de coagulación.

▲ **Control de Floculación en la Planta:** Este proceso consiste en controlar visualmente, tomando una muestra de agua a la salida del floculador, el tamaño y velocidad de sedimentación del floc, para luego hacer las correcciones pertinentes en la dosificación o investigar problemas por operación relacionados con los parámetros óptimos como gradiente hidráulico y tiempo de retención, que afectan la formación del floc.

3.2.4 Proceso de Sedimentación:

La calidad de la sedimentación radica en la eficiencia de los procesos anteriores, que facilitaran la decantación del mayor número de partículas, resultado que saltara a la vista en la prolongación de las carreras de filtración.

▲ **Sedimentadores de flujo horizontal:**

1. Los vientos fuertes afectan la decantación debido a que la planta esta ubicada en una zona alta y desprotegida de árboles, por lo que el viento entra con toda facilidad, perturba el agua y ocasiona también el arrastre del floc, generando que la calidad en la sedimentación no sea buena.
2. Diagnostico estadísticos con los datos que se toman a diario, para clasificar como buena o mala la decantación de partículas en la unidad durante un año.
3. El estudio de lodos que permita observar la distribución de estos en el fondo, para identificar, corrientes de arrastre y zonas de mayor decantación, que debe esta siempre dentro del primer tercio del tanque para medir el volumen depositado y proceder a tareas de lavado si esta lo amerita.

3.2.5 Proceso de Filtración.

Es un proceso de cuidado debido a que las malas operaciones contribuyen al deterioro rápido del material filtrante junto con la calidad del agua final. Los controles especialmente en la acción de lavado, que permiten mantener un buen estado del lecho, junto con una operación económica son los siguientes:

▲ **Determinación del Caudal de Filtración:** Este ensayo permite verificar la rata de filtración de cada unidad, para controlar la producción de agua por parte del

filtro, a la vez también permite analizar si es recomendable el lavado del filtro, según el resultado obtenido.

La suma de la producción de los filtros debe coincidir aproximadamente con el caudal de entrada en el instante del ensayo, esto controla que no se desocupen los filtros durante su funcionamiento.

▲ **Determinación del Caudal de Lavado:** Permite conocer, cual es el caudal empleado para el lavado de una unidad de filtración, que da como resultado una mejor limpieza de los granos y el menor consumo de agua. La velocidad ascensional de lavado tiene que estar dentro del rango propuesto por CEPIS de (mínimo 0.6 m/min y máximo 0.8 m/min) para controlar la expansión del material y evitar la pérdida del mismo.

▲ **Determinación del Tiempo de Lavado:** Este ensayo tiene por objeto determinar el tiempo mínimo de lavado para el cual se reduce al máximo la turbiedad residual del agua de lavado que indica limpieza total de los granos, este tiempo varía según la época del año. Hay una regla que dice, por más que se prolongue el tiempo de lavado, hay un tiempo para el cual la turbiedad residual no varía drásticamente y no se justifica continuar con el lavado.

▲ **Expansión del lecho filtrante:** El objetivo es controlar la expansión que presenta el lecho durante el lavado. Este ensayo es importante porque lo que se busca es reducir la pérdida del material filtrante debido a exceso de la velocidad de lavado, se debe contar con el equipo necesario para hacer las mediciones correspondientes del ensayo.

3.2.6 Proceso de Desinfección.

Controlar la concentración de cloro residual en el agua dentro del rango de operación y estar pendiente a variaciones en el caudal.

En este proceso se tienen claras las instrucciones de operación por tratarse de un gas tóxico que puede ocasionar emergencias. Por esta razón siempre se debe poner atención a las anomalías que se presenten.

4 DIAGNOSTICO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNIDADES Y EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

4.1 DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO

4.1.1 Descripción:

Utilizan un dosificador de sulfato en seco, tipo volumétrico, comprendido por una tolva, donde se vierte los granos del coagulante, lo suficientemente inclinada para garantizar el rodamiento de las partículas; el químico cae sobre una lámina horizontal que está unida a un tornillo sinfín conectado a un motor mediante una excéntrica que impulsa e imparte una pequeña vibración con el fin de arrastrar un cierto volumen de coagulante para que este caiga. El sulfato caer al fondo de la cámara de solución se mezcla con agua a presión, luego pasar a la mezcla rápida.

En la zona donde esta ubicado el dosificador, hay suficiente área y su espacio sobrante se utiliza para guardar el sulfato de aluminio, contando con 5 m² para la colocación del químico y un volumen total para almacenamiento de 10 m³ para acomodar aproximadamente 70 bultos o más, suficientes para un mes, con alto consumo. Los bultos de sulfato de aluminio están aislados del suelo y paredes mediante formaletas en madera y de la exposición directa de los rayos solares. En días con turbiedades elevadas se gasta en promedio bulto y medio de sulfato.

EMSERPUNAL, en su mayoría de tiempo, se provee de sulfato de aluminio tipo B, con un peso neto de 50 Kg, producido por PRODUCTOS QUIMICOS PANAMERICANOS S.A de Medellín; en su respaldo reseñan el modo de uso y el tipo de protección que se debe utilizar para manipularlo, además describe la composición garantizada del producto así:

Aluminio (Al_3O_2)	13.2% min.
Hierro (Fe_2O_2)	2% máx.
Insolubles	8% máx.

Fig. 6 Dosificador volumétrico



4.1.2 Función:

Adicionar constante y controladamente, sulfato de aluminio a cada litro de agua que entre a la planta, para remover las partículas que causan turbiedad.

4.1.3 Diagnostico:

El aspecto físico es muy regular por la oxidación que le ocasiona el sulfato a la maquina, adicional al tiempo de servicio que lleva funcionando. La tolva tiene el

problema de que no puede ser llenada en su totalidad porque de inmediato, la maquina empieza a aumentar la dosificación y a frenarse por instantes de tiempo en los que deja de aplicar sulfato. El tornillo sinfín por la constante y deficiente manipulación con herramientas no adecuadas, presenta desgaste en su rosca, dificultando la graduación, para ajustar una dosificación correcta.

En la cámara de solución de coagulante, se observa que no hay mezcla eficiente de agua-coagulante, por el corto tiempo de contacto, que obedece a que la caída del químico esta muy cerca al desagüe de la cámara, disolviéndose las partículas finas y sedimentando las gruesas, tampoco se hace un control del agua que se debe aplicar para formar la solución. La baja eficiencia en la cámara para formar la solución, puede ser una razón del consumo elevado de químico.

Hasta el momento no se ha realizado ningún ensayo de prueba de jarras que permita saber la dosis exacta y la concentración económica de sulfato de aluminio que remueva determinada turbiedad. La dosificación se hace a ojo y criterio del operador, sin tener en cuenta el caudal de entrada ni los parámetros fisicoquímicos. Para corregir la dosificación, toman una muestra en un vaso precipitado a la salida del floculador para verificar la eficiencia; esta forma de dosificar ocasiona que el agua se “embarre” mientras se busca y corrige la dosificación cuando esta no es la precisa.

En la tabla 1, se representa el historial de turbiedades registradas a la entrada de la planta durante el año 2004, como medida para definir la concentración de partículas que más se remueve en el tiempo.

Tabla 1 Frecuencia turbiedad agua cruda

Intervalos		Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Porcentual (%)	Frecuencia Porcentual Acumulada
0.8	36.25	193	193	53.31	53.31
36.3	71.7	70	263	19.34	72.65
71.7	107.15	29	292	8.01	80.66
107.2	142.6	19	311	5.25	85.91
142.6	178.05	13	324	3.59	89.50
178.1	213.5	9	333	2.49	91.99
213.5	248.95	7	340	1.93	93.92
249.0	284.4	6	346	1.66	95.58
284.4	319.85	3	349	0.83	96.41
319.9	355.3	4	353	1.10	97.51
355.3	390.75	3	356	0.83	98.34
390.8	426.2	1	357	0.28	98.62
426.2	461.65	0	357	0.00	98.62
461.7	497.1	1	358	0.28	98.90
497.1	532.55	1	359	0.28	99.17
532.6	568	1	360	0.28	99.45
568.0	603.45	0	360	0.00	99.45
603.5	638.9	1	361	0.28	99.72
638.9	674.35	1	362	0.28	100.00
Total		362		100	

En la tabla 1, se puede observar que la turbiedad del agua cruda se presenta con turbiedad menor a 284.4 UNT en un 96% de tiempo, mientras que la mayor frecuencia se registra entre 0.8 y 71.7 UNT con un 72.5% del tiempo, demostrando que el agua mantiene baja concentración de partículas flotantes durante el año; representa también de alguna manera, que la cantidad de sulfato de aluminio utilizado debe ser bajo. Las elevadas turbiedades que se presenta, obedecen a contaminación del arroyo el vivero con agua lluvias de una carretera destapada.

Comparando los resultados de dosis optimas obtenidos en ensayos realizados en la prueba de jarras para diferentes turbiedades, se comparo estos resultados, con los aplicados en la planta de tratamiento para similares condiciones de turbiedad, en la siguiente tabla se hace la observación.

Tabla 2 Comparación en dosis de coagulante aplicado

Turbiedad Agua Cruda	Dosis Prueba Jarras (mg/l)	Dosis Planta (mg/l)
44	1	55
107	10	100
285	25	170
759	50	225

Según la tabla.2 se puede concluir que se esta gastando demasiado coagulante para decantar los coloides debido a las precarias condiciones de las unidades de tratamiento, con lo cual, lo único que se logra es encarecer la operación de la planta. Algunas de las razones del elevado consumo son:

- El no dosificar la cantidad para el caudal que esta entrando, hace que cada operadora adicione la cantidad que quieran sin ninguna restricción.
- La mezcla para la solución de coagulante es deficiente. La presión del agua de salida no ayuda a disolver el total de la dosis, por lo cual hay elevada acumulación de granos en la cámara.
- La deficiencia en los procesos de mezcla rápida, aplicación de coagulante y floculación, ocasionan que para que se logre obtener un resultado, se dosifique en exceso para que de alguna forma se supla estas anomalías.
- La falta de compromiso para encontrar una solución económica.
- Ocurre, que una vez se agota el pedido de químico, no se hace la reposición inmediata, quedando a la deriva la dosificación y la calidad del agua.

Las afecciones de alergias en algunas operadoras, por la manipulación del sulfato de aluminio, se derivan de la falta de protección cuando lo manipulan. La empresa

a suministrado caretas (una para todas las operadoras), aunque el estado no sea el óptimo, no se utilizan porque las “incomodan”, exponiendo la salud.

4.1.4 Recomendaciones:

- ▲ Limpiar con más frecuencia los insolubles depositados en las unidades y evitar la formación de grandes volúmenes de espuma creada por la mezcla del coagulante en la cámara de solución.
- ▲ La falta de mantenimiento preventivo al dosificador de aluminio, maquina indispensable en la operación de la planta, a ocasionado el total deterioro.
- ▲ Determinar y aplicar la dosificación óptima (prueba de jarras) para determinada turbiedad. Tabular los datos para facilitar la dosificación, reducir desperdicio de coagulante y mejorar la operación de la planta.
- ▲ Tener presente los datos históricos (preferible los realizados en la prueba de jarras) con los mejores resultados, para utilizarlos en emergencias. Estos datos no son estándar, debido a la variación de las propiedades fisicoquímicas del agua y por tanto se debe tener la mayor información posible.
- ▲ Optimizar la formación de la solución de coagulante, mediante la agitación, que garantice que se disuelva el total de la dosis aplicada (no desperdiciar químico).
- ▲ Cada operadora debe estar pendiente a cambios bruscos en la turbiedad, para corregir la dosis y evitar que se ensucie el agua en la unidad siguiente.
- ▲ Observar la importancia que tiene la cantidad de agua utilizada para la formación de la solución de coagulante.
- ▲ Calibrar la maquina dosificadora de sulfato, por el promedio de descarga en unidad de tiempo, y conocer la posición exacta en que debe situarse el tornillo sinfín, que permite alcanzar una descarga determinada.

- ⤴ Las operadoras deben utilizar el respectivo equipo de seguridad (anteojos, mascararas contra polvo, guantes) como medida de seguridad y forma de prevenir posibles enfermedades derivadas.
- ⤴ No permitir humedad hacia los bultos de sulfato, gastar rápidamente los primeros bultos descargados y utilizar una altura promedio para almacenar el químico de 2 m para reducir la formación de terrones.
- ⤴ Mejorar la aplicación de solución de coagulante al agua mediante tubo perforado en su longitud (flauta) y ubicado sobre el resalto hidráulico, de tal forma que se garantice la adición y mezcla de sulfato a toda la masa de agua.
- ⤴ Realizar el análisis técnico-económico para implementar hidróxido de aluminio líquido, que de antemano ofrece menos desperdicio y más rendimiento por aplicación, en comparación al sulfato de aluminio granulado.
- ⤴ Tener en cuenta la posibilidad de dosificar solución de coagulante, por gravedad, como alternativa de ahorro de energía.
- ⤴ Mientras no este en uso el dosificador, este debe mantenerse limpio de residuos junto con la conducción de solución de coagulante.

4.2 DOSIFICADOR DE CAL:

4.2.1 Descripción:

Es una maquina similar al dosificador de sulfato con su respectiva tolva y tornillo sinfín y, el motor que imparte la vibración y el empuje; su estado físico es bueno y se conserva porque, el agua tiene buena alcalinidad y pH promedio, que hace innecesario adicionar cal. En la planta no se realiza ningún ensayo para determinar la alcalinidad

Fig. 7 Dosificador de cal



4.2.2 Función:

La aplicación de cal se utiliza para alcalinizar el agua y servir de sustancia amortiguadora de los descensos del pH al adicionar sulfato de aluminio al agua.

4.2.3 Diagnostico:

Respecto a su funcionamiento no se le puede hacer ninguna observación por lo que no esta trabajando; pero sin embargo la maquina esta completa y su aspecto físico y estructural esta bien conservado.

Tabla 3 Frecuencias pH agua cruda

Intervalos		Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Porcentual (%)	Frecuencia Porcentual Acumulada
6.1	6.3	3	3	1.03	1.03
6.3	6.5	6	9	2.07	3.10
6.5	6.7	13	22	4.48	7.59
6.7	6.9	9	31	3.10	10.69
7.1	7.3	75	106	25.86	36.55
7.3	7.5	45	151	15.52	52.07

7.5	7.7	62	213	21.38	73.45
7.7	7.9	45	258	15.52	88.97
7.9	8.1	30	288	10.34	99.31
8.1	8.3	2	290	0.69	100.00
Total		290		100	

Analizando una muestra de 290 datos de pH al agua cruda del año 2004 (tabla 3), se obtuvo que el 95.2% del tiempo entra el agua, con pH entre 6.5 y 8.1. Se observa en la tabla, que el pH se presenta, con mas frecuencia esta entre 7.1 y 7.9 con un total de 72.3% del tiempo. Esto significa que la fuente de agua durante la mayor parte del tiempo tiene buen pH

La observación hecha a la tabla 3, se hizo con el ánimo, de que la posible falta de alcalinidad en el agua debido a que cambia regularmente, puede afectar el pH final. Aunque hay buenos registros de pH, no hay análisis de alcalinidad que permitan hacer un seguimiento al aspecto químico del agua. Y es que la alcalinidad juega un papel importante, ya que actúa como amortiguadora de los cambios bruscos de pH, favoreciendo que la coagulación se realice eficientemente y evitando que el pH final disminuya y el agua se torne corrosiva. Sin alcalinidad al agregar sulfato de aluminio se baja el pH hasta impidiendo la formación del floculo.

4.3 MEZCLA RAPIDA:

4.3.1 Descripción:

El caudal que llega por las aducciones (quebrada Agua Blanca, arroyo Vivero y Flores llegan a la planta en diámetro de 6" y 4" respectivamente) a la planta de tratamiento para agua potable, lo hace en el sentido este-oeste con entrada

sumergida y regulación del caudal por una válvula, en un tanque de 1*0.8 m y altura de 2.8 m por el cual asciende el agua hasta alcanzar el canal en concreto de longitud 2.3 m y ancho de 0.55 m, sobre el cual el flujo de agua es totalmente uniforme. El canal no es del todo rectangular, tiene tendencia ser trapezoidal, por los taludes poco uniformes. La medición de flujo se hace mediante un vertedero triangular a 90° en acero con borde delgado; su punto más bajo esta a 0.05 m del fondo del canal, una altura total de 0.3 m y ancho igual al del canal.

Fig. 8 Mezcla Rápida



Fig. 9 Canal de entrada



El agua al pasar por el vertedero, choca con una pantalla que represa el flujo, y genera la pequeña agitación (para los caudales de invierno se pierde totalmente). El agua pasa sumergida hacia el tanque de mezcla mecánica que fue suprimido por daños en el motor. Una vez el agua pasa por la zona del mezclador mecánico, es conducida mediante un canal hacia los floculadores.

4.3.2 Función:

Medir el caudal de agua que se va a tratar, para registrar el volumen potabilizado diariamente y para adicionar la cantidad necesaria de sulfato de aluminio, para la

respectiva turbiedad de entrada. También aprovechar el resalto hidráulico aguas abajo, para que la mezcla de coagulante sea lo más homogénea posible.

4.3.3 Diagnostico:

La válvula que regula el caudal a tratar en la planta esta muy deteriorada, no es completamente hermética, tiene una fuga grande de agua, que se puede observar en el pozo de alcantarillado, haciendo falta que entre este flujo a la planta, debido al bajo caudal que asciende en época de verano. Es tal el deterioro que para un receso de planta, ha que maniobrar con cuidado para que no haya ningún falla estructural en la válvula que pueda impedir la reanudación del tratamiento.

El crecimiento acelerado de “lama” sobre la estructura del canal que crecen sobre las paredes, es permanente debido al normal transporte de minerales del agua, el problema es que esta suciedad originada por la lama, suele durar mucho rato en ser retirada hasta el punto que la superficie del canal queda cubierta por una densa capa, producto de no lavar con frecuencia, por falta de planeación y determinación para desarrollar la operación.

La caída de agua del vertedero al estar completamente ahogada, no produce agitación suficiente, haciendo falta resalto hidráulico para mezclar eficiente y homogéneamente la solución de coagulante. Además la adición de coagulante, se hace en el lugar incorrecto, porque no se adiciona sobre la poca agitación que se produce, sino que se hace justo sobre la caída de agua, igualmente no se puede garantizar la mezcla del químico con la totalidad de la masa de agua, porque este es adicionado en forma de chorro. Se puede definir que de entrada el proceso de tratamiento se esta realizando de forma regular por la falta de mezcla rápida.

En el canal que conduce a los floculadores, se instalaron tablas inclinadas, para realizar una pre-agitación, pero lo único que generan es represamiento del flujo que ocasiona alteraciones en la medida del caudal.

▲ **Medición del Caudal de Entrada:** La conformación metálica del vertedero, tiene ataque de corrosión, sobre la cara expuesta al coagulante, su cresta no es uniforme, presenta un corte en la lámina, de 5 cm a través de su altura y una leve curvatura. La posición de la reglilla respecto a su ubicación y nivelación del cero con la cresta del vertedero, son factores que afectan la medida exacta del caudal. A estas observaciones se le suma que la caída de agua, no es totalmente libre, por caer sobre un paso sumergido, que cubre un 50% de la altura del vertedero y el represamiento del flujo que se hace aguas abajo.

El caudal de entrada se mide mediante una reglilla metálica con numeración no muy clara e incomodidad, ubicada a 1.3 m antes del vertedero, que sobre pasa los 2.5 H ($H=0.3$ m) propuestos por la CEPIS, para vertederos.

Se realiza el proceso de aforo del vertedero, tomando alturas de la lámina de agua sobre la cresta del mismo. Aplicando estos valores de altura (H) en la ecuación general para vertederos triangulares, se determina el caudal que se compara con el indicado en la reglilla. Se realizaron las siguientes verificaciones:

- Angulo del vertedero.
- Lectura cero de la reglilla de medición.

Empleando la ecuación para calibración de vertederos triangulares con ángulo de 90° y distintos valores de H²:

$$Q = 1.25H^{(5/2)}$$

Tabla.4 Calibración vertedero

H (cm)	H ^(5/2) (m)	Q (l/s)	Qe leído (l/s)	% error
17.8	0.01336	16.71	15.1	9.6
18	0.01374	17.2	15.8.	8.1
18.5	0.01472	18.4	16.6	9.8
17.1	0.01209	15.11	13.4	11.2
16.8	0.01156	14.5	12.8	11.6

- El error es inducido porque la reglilla no esta debidamente fijada a la pared, con lo cual se altera el cero, respecto a la cresta del vertedero. El caudal se puede medir volumetricamente pero el deterioro de la válvula no lo permite.

4.3.4 Recomendaciones:

- ▲ Reducir la presencia de “lama” de rápido crecimiento en las estructuras, de las siguientes dos formas:
 - Hacer una precoloración a la entrada del agua.
 - Lavar mas a menudo las paredes del canal con hipoclorito
- ▲ Mejorar la estructura de medición debidamente calibrada, como vertedero de pared delgada, que no funcione ahogado y que genere aguas abajo resalto hidráulico suficiente para realizar una mezcla homogénea de la solución de coagulante sobre toda la masa de agua.

² Curso sobre operación y mantenimiento de plantas de tratamiento Modulo 5.2 Calibración equipos

- ▲ Mejorar la válvula de entrada de agua a la planta que deja escapar caudal útil para ser potabilizado. Además se esta en riesgo de que se dañe ocasionando que no se puedan hacer paradas de planta o que no pueda entrar agua planta.
- ▲ Tratar caudales no muy superiores a los 17 l/s porque la deficiencia en los procesos de coagulación-floculación no lo permite.
- ▲ Mejorar la mezcla rápida de la planta y la eficiencia de la misma.

4.4 FLOCULADOR:

4.4.1 Descripción:

La planta cuenta con dos cámaras de floculación de tipo mecánico accionados por motores eléctricos que transmiten torque a las aspas metálicas para producir la agitación del agua, soportados por una viga metálica y protegidos del agua mediante un tejado; las aspas cubren casi el total de la altura y el ancho del tanque de floculación, cada aspa se conforma de cinco láminas horizontales espaciadas verticalmente 0.5 m, conectadas al tubo del eje central. Adheridas a las laminas horizontales, hay también 2 laminas a cada extremo del eje central con una mayor superficie a las anteriores, y ubicadas en posición vertical y oblicua.

Fig. 10 Floculadores Mecánicos



Los tanques son de 2.4*2.4 m cada uno, y una profundidad de 2.6 m, son contiguos el uno del otro y se comunican entre si por una abertura sumergida de 0.5*0.5 m que favorece la entrada del agua y paso a la siguiente cámara, por el sentido de rotación que imparten las aspas a la masa de agua.

4.4.2 Función:

Permitir que los pequeños flocs formados por la desestabilización eléctrica de los coloides, colisionen y se agrupen mediante la agitación lenta del agua para permitir su crecimiento y, hacer que sedimenten más fácil.

4.4.3 Diagnostico:

Se encuentra por el momento en servicio la primera cámara de floculación. Este agitador es el encargado de funcionar con el mayor gradiente de velocidad que se proyectó aparentemente en el diseño, según la observación de la operaria la diferencia en la agitación que cada uno impartía, no se diferenciaba con claridad, además no está determinado el gradiente de velocidad con que se agita la masa de agua. La velocidad de agitación es constante, no puede ser modificada, porque el accionamiento es directo. El exceso de caudal a tratar aumenta el esfuerzo del motor, para agitar la masa de agua y no se adopta ninguna medida de mantenimiento para prevenir su deterioro.

En la cámara dos de floculación el motor se encuentra averiado, por lo que el proceso se está realizando en forma incompleta al ser reducido el tiempo y la

agitación del agua, necesaria para un óptimo aglutinamiento de las partículas que favorezca el aumento de su volumen. Además la válvula de desagüe para ambos compartimientos, esta en mal estado de maniobrabilidad y de hermetismo en el sentido de que al cerrarla quedan escapes.

Otro problema lo ocasionan los motores que para su funcionamiento no están firmes sobre su plataforma, permitiendo que vibren y la cadena pierda tensión. Hay aceite en la superficie del agua que se observa con claridad durante el tiempo que permanecen fuera de funcionamiento, combinado con la suciedad exterior y, la formación de algas en las paredes, generan un mal aspecto a la unidad.

El estado de las aspas es muy regular porque están afectadas por la corrosión por el bajo mantenimiento que reciben las estructuras de acero y, el aspecto que genera la acumulación de las algas.

Con el ánimo de reducir el consumo de energía eléctrica, cuando la turbiedad es inferior a aproximadamente 30 UNT, el motor del floculador no es encendido, limitando la agitación a las pocas tablas colocadas en el canal anterior a la entrada de la unidad de floculación, que como resultado causa, la abolición total del proceso mas una elevación de la turbiedad final de agua sedimentada que recorta el tiempo de la carrera de filtración, debido al exceso de partículas a remover.

4.4.4 Recomendaciones:

- ▲ Controlar que los motores no desprendan grasas sobre la superficie del agua, o retirarlas con trampa de grasas o remitir el equipo a mantenimiento.

- ⤴ No debe dejarse de encender los motores para floculación si la turbiedad no lo amerita porque este es uno de los procesos más importante junto al de mezcla rápida del que depende la calidad de los procesos posteriores.
- ⤴ Realizar siempre, un control de calidad al agua floculada debido a los antecedentes, de que la realización del proceso de dosificación de sulfato de aluminio y coagulación-floculación son de regular eficiencia.
- ⤴ Determinar el gradiente de velocidad y tiempo de agitación mediante prueba de jarras, como parámetros para proponer el diseño de un floculador hidráulico, que reduzca el consumo de energía y disminuya el costo de mantenimiento.

4.5 SEDIMENTADORES:

4.5.1 Descripción:

La planta cuenta con dos sedimentadores paralelos, que trabajan con flujo horizontal en sentido norte-sur, de dimensiones 3*14.5 m y una profundidad total promedio de 2.7m, con fondo de suave pendiente para la recolección de lodos dirigida hacia el centro del tanque, justo en ese sitio esta ubicado el desagüe de diámetro 6" que se opera desde un puente sobre los tanques. Hacia la entrada hay dos válvulas por unidad que controlan el flujo, con diámetro de 6" sobre un canal de 0.35 m de ancho y 0.4 de profundo ubicado en el sentido del flujo este-oeste, por donde se distribuye y entra el agua a la cámara de difusores.

El agua entra por la parte superior y cae en la cámara que regula y distribuye el flujo hacia el sedimentador a través de orificios rectangulares de 0.1*0.1 m, espaciados cada 0.2 m y distribuidos en 6 filas, conservando una altura prudente

entre la superficie y la primera fila (0.7m) para que no genere turbulencias. En la parte inferior, sobre la superficie del piso, cuenta con cuatro orificios de 0.2*0.2m que evitan, que dentro de la pantalla, se depositen lodos. Cada tanque sedimentador tiene su propia escalera tubular para acceso al fondo del mismo.

En la parte final esta el vertedero de rebose, que vierte el agua a una canaleta que regulan el paso hacia cada filtro.

Fig. 11 Sedimentadores convencionales



Fig. 12 Canal entrada al sedimentador



4.5.2 Función:

Remover las partículas con mayor densidad que el agua, que se formaron mediante el aglutinamiento de partículas en la floculación.

4.5.3 Diagnostico:

➤ **Sedimentador 1:** Ubicado en el costado este con flujo de agua en sentido sur-norte, es el primero en recibir el agua que sale del floculador, y entra al canal de

pendiente suave, en el cual, sobre la superficie del agua se observa una “nata” a la que, se le adhieren partículas desestabilizadas y suciedad del exterior.

Las válvulas cierran correctamente a pesar del deterioro, principalmente por la corrosión y la maniobrabilidad por las roscas rodadas que evidencia un mantenimiento nulo.

El desagüe del tanque se hace por una tubería de 6”, por la válvula ubicada en el centro del sedimentador a la que debe controlarse el cerrado que estrictamente debe ser por dos operadores debido a la esbeltez del vástago que no permite un descenso correcto dentro de su eje, para que esta cierre y ajuste herméticamente y no quede presente fugas debido a su desgaste. Las rejas de seguridad en la planta, están completamente deterioradas y a punto de caerse por la corrosión. Las paredes presentan desgaste normal producido por el trabajo continuo que han tenido, aunque la capa de recubrimiento es relativamente nueva. La pared de la cámara de orificios es en ladrillo y esta parcialmente frisada. El fondo tiene en su centro longitudinal un pequeño canal con una leve pendiente hacia el desagüe y una superficie en completo descascaramiento y coloración rojiza.

El agua fluye en calma debido a su baja rata de desbordamiento superficial que le genera al proceso, un tiempo de retención hidráulica de aproximadamente dos horas. La superficie del agua se ve afectada por los vientos que soplan sobre la planta, que alteran la quietud y la correcta sedimentación de las partículas, por no haber presentes en la unidad pantallas retenedoras de oleajes que eviten el arrastre del floc. La correcta sedimentación se afecta también por los bruscos cambios de temperatura especialmente en horas de la noche y madrugada por la densidad del agua en el tanque.

El vertedero de rebose tiene un estado físico muy regular, su cresta en concreto tiene superficie rugosa, por pérdida del recubrimiento, igualmente la pared está completamente desmoronadas por el golpeteo que genera el agua, a tal punto que el agregado pétreo es completamente visible, volviéndose el lugar perfecto para la formación de musgo al dificultarse el lavado por parte del operario. Sobre la cresta del vertedero se acumula toda la lama que es arrastrada y la que crece ahí, conformando una capa gruesa, que sumada al musgo que crece sobre las paredes por la alta porosidad, generan mal aspecto para esta zona de la planta.

En su costado izquierdo en sentido norte-sur, sobre la canaleta que recibe el agua decantada, esta ubicada la válvula que permite el paso hacia los respectivos filtro, a través de un conducto de 8" de diámetro; esta válvula consta de una lamina que se mueve verticalmente y la cual esta completamente atacada por la corrosión y sin ninguna protección de pintura, con maniobrabilidad regular por la rosca rodada, y falta de sujeción con el piso.

➤ **Sedimentador 2:** Ubicado en el costado oeste de la planta paralelo al sedimentador 1, allí finaliza el canal que transporta el agua desde el floculador y también es donde hay la mayor acumulación de grasa a la que se adhieren partículas desestabilizadas que dan apariencia de fango, además de la suciedad externa que se deposita. Esto, ocasionado por estanqueidad al estar fuera de servicio la ultima válvula por rotura de la base de apoyo del vástago creando hay una zona muerta.

Las válvulas de entrada de este sedimentador son las más deterioradas, una tienen su estructura de apoyo suelta de la superficie del canal, debido a que los tonillos que la sujetaban se desintegraron por la corrosión, ocasionando que la

maniobrabilidad se haga tediosa al no haber firmeza para girarla, además de las roscas rodadas. La segunda válvula fue retirada del todo y ahora el flujo es completamente libre hacia los difusores.

La válvula de desagüe debe controlarse el cerrado por dos operadores por la esbeltez del vástago, para que ajuste correctamente el tapón y no haya fugas debido a su desgaste. Esta válvula ocasiona retrasos en la puesta en funcionamiento de la unidad cuando no hay otro colaborador presente.

Las paredes presentan desgaste normal producido por el trabajo continuo que han tenido y por la capa de recubrimiento aplicada. El muro de la cámara de orificios es en ladrillo a la vista, conformado con la misma distribución de orificios a la del sedimentador 1. El fondo tiene las mismas características a la unidad anterior, descascaramiento y coloración rojiza. El muro derecho en sentido del flujo (norte-sur), tiene una fisura estructural a través de toda la altura, y escape leve de agua.

El vertedero de rebose tiene un estado físico muy regular, idéntico al de la unidad anterior. Sus paredes están completamente desmoronadas por la caída de agua sobre el canal que es uno solo para ambos sedimentadores con una pendiente suave que va desde el centro de este, hasta los respectivos costados favoreciendo el flujo hacia las válvulas. En su costado derecho en sentido norte-sur esta la válvula que consta de una lamina que se mueve verticalmente y permite a través de un conducto de 8" de diámetro el paso hacia el filtro. Esta válvula, se encuentran apoyadas sobre una placa en concreto que no esta anclada a ningún muro y cuando es maniobrada por la operadora, la placa se gira, sacando del eje, el vástago de la válvula, forzando y haciendo tediosa maniobrarlas.

En los siguientes cuadros se reseñan datos de operación del año 2004

Tabla 5 Frecuencia pH agua sedimentada

Intervalos		Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Porcentual (%)	Frecuencia Porcentual Acumulada
5.1	5.37	5	5	1.72	1.72
5.37	5.64	3	8	1.03	2.76
5.64	5.91	13	21	4.48	7.24
5.91	6.18	38	59	13.10	20.34
6.18	6.45	38	97	13.10	33.45
6.45	6.72	41	138	14.14	47.59
6.72	6.99	66	204	22.76	70.34
6.99	7.26	55	259	18.97	89.31
7.26	7.53	27	286	9.31	98.62
7.53	7.8	4	290	1.38	100.00
Total		290		100	

Para el agua sedimentada se analizo datos de pH (tabla 5), correspondiente a días en los que se aplico sulfato de aluminio, determinándose que para pH entre 6.45 y 7.8 se presenta en un 34.5% del tiempo, siendo mas constante entre 5.91 y 7.26 con un 82.1%, aunque mantiene una aceptable frecuencia entre 6.72 y 7.26 con un 47.8% como se puede observar en la tabla, indicativo de un buen pH final durante su jornadas de trabajo, la considerable presencia de datos por debajo de pH=6.45, en la mayoría de estos casos obedece tal vez a exagerada dosificación de químico, ayudado con posible carencia de alcalinidad en el instante, que contrarreste el descenso de pH.

Tabla 6 Turbiedad agua sedimentada

Intervalos		Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Porcentual (%)	Frecuencia Porcentual Acumulada
0.68	3.11	46	46	12.71	12.71
3.11	5.54	87	133	24.03	36.74
5.54	7.97	131	264	36.19	72.93
7.97	10.4	61	325	16.85	89.78
10.4	12.83	22	347	6.08	95.86
12.82	15.26	5	352	1.38	97.24

15.26	17.69	3	355	0.83	98.07
17.69	20.12	5	360	1.38	99.45
20.12	22.55	0	360	0.00	99.45
22.55	24.98	2	362	0.55	100.00
Total		362		100	

Se observa en la tabla 6, que la calidad de la turbiedad del agua sedimentada, se obtiene con menor a 10.4 UNT en un 89.78% del tiempo, produciéndose agua con mayor frecuencia entre 5.54 y 7.97 UNT con 36.19% del tiempo, aunque las turbiedades por encima de 10.4 UNT correspondan a tan solo un 10.22%, es indicativo que la turbiedad final es aun alta. También hay que indicar que el estado de operación de las unidades de mezcla rápida y floculación produce bajas calidades de agua que se registran en la salida de los sedimentadores.

4.5.4 Recomendaciones:

- La formación de algas es considerable sobre las paredes de las unidades, en lo posible mitigar la aparición.
- Hacer limpieza de la suciedad que se acumula en los puntos muertos del canal de entrada a la unidad, mediante recogedores perforados.
- Cambiar las válvulas deterioradas, resanar el muro del sedimentador 2 y aplicar frecuencias de mantenimiento preventivo para conservar los equipos.
- Reducir la carga superficial (disminuir el caudal), debido a la baja profundidad de la unidad con el fin de obtener mayor eficiencia en la decantación, a consecuencia de los antecedentes de la mezcla rápida y floculación.
- Nivelar el vertedero de rebose para hacer una extracción uniforme del flujo.
- Mejorar la unidad de decantación, con el fin de reducir el tiempo de retención hidráulica y hacer más eficiente el proceso mediante, sedimentador de alta rata.

- En la operación diaria, se debe tomar y registrar la turbiedad residual del sedimentador 2, para hacer comparativo de eficiencia entre ambos.
- Mejorar las rejas que son inestables en sus puntos de apoyo deteriorados por la corrosión, por baranda en tubo metálico para mayor seguridad.
- Bombear parte del agua sedimentada directamente a los filtros, cuando estos sean lavados, debido al elevado volumen de agua que se pierde.

4.6 FILTROS

4.6.1 Descripción:

Hay dos filtros que trabajan a rata declinante, por la sencillez de su operación. Funcionan con flujo descendente y dimensiones de 3*3.65 m y profundidad total de 2.7 m, con una altura promedio de lecho filtrante de 0.7m conformado por grava, arena y antracita. El falso fondo esta conformado por una placa dentro de la cual hay introducidos tubos, longitudinalmente espaciados cada 0.25 m centro a centro sobre los cuales están conectados los niples de PVC en posición vertical uno cada 0.25 m, por los cuales percola el agua; estos tramos de tubos se conectan al tubo central de 8" que recoge toda el agua filtrada y la conduce luego por un tubo de 6" al tanque de almacenamiento.

La altura libre entre el lecho filtrante y el nivel inferior de la canaleta es de 0.5 m y 0.67 m para los filtro 1 y 2 respectivamente; la canaleta tiene ancho útil de 0.45 m y una profundidad de 0.45 m con bordes redondeados y superficie porosa por el material de recubrimiento; la pendiente de la canaleta favorece la salida del agua de lavado. Cada unidad de filtración cuenta con su respectiva válvula de desagüe.

Fig. 13 Canaleta de repartición



Fig. 14 Válvulas manejo de filtros



Ambos filtros cuentan con tres válvulas, una central que permite el paso de agua del tanque elevado para el lavado, y en sus respectivos costados una de desagüe para evacuar el agua después de lavar el filtro que no alcanzó a caer a la canaleta, y una tercera que da el paso hacia los tanques de almacenamiento.

4.6.2 Función:

Remover las partículas y microorganismos objetables, presentes en el agua que no han quedado retenidos en el proceso de coagulación y sedimentación. Consiste en hacer pasar el agua con una determinada tasa de filtración a través de un medio poroso de material granular.

4.6.3 Diagnostico:

➤ **Filtro 1:** La canaleta de acceso que vierte el agua sobre el filtro, tiene hacia la entrada, rompimiento y desnivel de los bordes, que durante el lavado de la unidad ocasiona que el flujo tienda a salir todo por ese sector. La manera de iniciar la

filtración es completamente errónea puesto que se hace con el lecho seco, generando desalojo de material filtrante y acumulación de burbujas de aire dentro del material. Falta un colchón de agua mientras se alcanzan las pérdidas iniciales y para evitar el desacomodamiento del material.

Las paredes y el fondo de la canaleta presentan fisuras que dejan escapar el agua, como también un avanzado descascaramiento que junto a la corrosión del acero por las filtraciones, pone en juicio su estabilidad estructural.

Su material filtrante esta conformado por grava, arena y una pequeña porción de antracita que no alcanza a distribuirse como una capa sobre toda el área. El lecho filtrante ya esta muy deteriorado por su edad de funcionamiento y poco mantenimiento, su apariencia es opaca con baja porosidad debido a la acumulación de partículas entre sus granos que no son removidas. Hasta el momento, no se ha realizada una reacomodación, ajuste de capas y lavado del lecho como medida de mantenimiento. Por esta razón la rata de filtración actual es baja y el filtro se colmata en corto tiempo, generando taponamiento con facilidad, mas pronunciadamente durante el desagüe del agua de lavado, que retrasa considerablemente la puesta en marcha de la unidad. A lo anterior hay que agregar que la lama que se forma y acumula en la canaleta cae al lecho y no es removida por las operadoras, permitiendo la disminución del área filtrante, adicional al mal aspecto que genera.

El lavado se hace a criterio del operador, no se lleva control según el tiempo de funcionamiento entre lavado de cada filtro (carrera de filtración) y con frecuencia los operan como si fueran de tasa constante porque los lavan al tiempo, sin optimizar su funcionamiento. El procedimiento lo realizan abriendo la válvula del

tanque elevado, enjuagando el material filtrante por alrededor de seis minutos, tiempo hasta el cual, la capacidad del tanque es suficiente para mantener el lavado. La pérdida de material filtrante sin necesidad de recurrir a ensayo queda en evidencia sobre la canaleta, posiblemente debida a expansión exagerada del material o chorros de agua formados por desacomodamiento de la grava de soporte. De la operación anterior falta más compromiso para realizar controles, ya que en un buen lavado alarga la vida del material filtrante. Se observo un pequeño burbujeo alrededor de la canaleta después de un tiempo, de haber iniciado el lavado; posiblemente por aire acumulado dentro del lecho en la operación de inicio o por pequeños orificios formados (cavidades) dentro del material por la acumulación de barro debido a malos lavados que permite que el flujo entre directamente hasta la superficie. Otra anomalía es que la operadora no abre gradualmente la válvula, lo que ocasiona que el material se desacomode presentando estas consecuencias. Cuando se termina el lavado se observa el volumen de espuma acumulada, generada al parecer por las impurezas del químico y también el color amarillento del agua. El agua de lavado que no alcanza a evacuar por la canaleta, se deja filtrar y desagua a la alcantarilla, dejando considerables residuos de espuma y lodo sobre la superficie del lecho, dando aspecto de filtro sucio.

Tomando turbiedades durante el tiempo de lavado, esta no disminuye a menos de 250 UNT producto de una serie de malos lavados y de largos tiempos de funcionamiento; con frecuencia después del desagüe queda una capa espesa de barro sobre la superficie del material, motivo por el cual se ha recurrido a consideración de las operadoras a un nuevo enjuague sin conseguir mayor disminución de la turbiedad. El lavado superficial es importante por ayudar a mejorar la limpieza de los granos y como tal no se realiza frecuentemente durante los lavados.

La válvula del tanque elevado tiene una fuga de agua de alrededor de 2 l/s, que se comprobó cerrando las válvulas de entrada y salida de agua y midiendo el ascenso. La válvula de desagüe de la canaleta tiene problemas con el cierre por lo que se necesitan de dos personas para que ajuste bien e impedir las pérdidas, por lo cual el lavado de este filtro no es muy frecuente y generalmente ocasiona retraso, por ausencia de ayudante. La válvula que evacua el agua que queda sobre la superficie del lecho filtrante cierra correctamente comprobándose que no hay pérdidas en el pozo de alcantarillado. De la válvula que permite el paso hacia los tanques de almacenamiento no se puede verificar alguna falla porque la salida del tubo en el tanque de almacenamiento queda oculta, dificultando el monitoreo. Hay que resaltar que la maniobrabilidad de estas válvulas es engorrosa y en casos se bloquean cuando se intentan abrir, ocasionado por el nulo mantenimiento preventivo y hasta correctivo recibido.

➤ **Filtro 2:** Es un filtro que entro en operación al colocar en funcionamiento la segunda etapa de la planta, además se le efectuó cambio de material filtrante alrededor del año 2000. Tiene una canaleta en buen estado con paredes rugosas exteriormente y constituido por una pendiente longitudinal que favorece el desagüe del agua de lavado. Las paredes del filtro presentan un significativo desgaste por desprendimiento de una amplia porción de material de recubrimiento.

El lecho filtrante esta en mejores condiciones respecto al anterior, con un espesor menor de material en comparación al filtro 1. La rata de filtración actual es superior a la del filtro uno, indicando un mejor estado del material pero igualmente una regular operación. Este filtro esta conformado por una capa de grava, antracita y arena; no es claro el espesor que tiene cada capa de material. La capa de antracita esta ubicada sobre toda la superficie del lecho y es claramente superior a

la del filtro 1. De la misma forma que el filtro anterior, el mantenimiento del material filtrante no es frecuente.

Las válvulas de operación de los filtros presentan la misma sintomatología del filtro anterior, desajuste entre el cuerpo y cabeza de las válvulas, roscas rodadas y duras para maniobrar. El desagüe de este filtro se hace a un pozo distinto al del filtro uno, donde se puede verificar fugas. Respecto a la válvula de desagüe de la canaleta y la que controla la entrada de flujo afluente, están apoyadas sobre una placa que no esta anclada al muro, que ocasiona al maniobrarlas, que la placa se mueva y saque de su eje el vástago de la válvula, forzando y afectando el manejo de la misma. Particularmente la válvula que controla el paso del sedimentador hacia el filtro, no tapona completamente el flujo efluente por mas que se cierre, ocasionando perdidas, cuando se esta en proceso de lavado del filtro.

Para el lavado de este filtro se hace a decisión de la operadora de la misma manera como en filtro 1, también presentándose espuma en exceso. Se observa que entre los 4 y 6 min de lavado empieza a presentarse un burbujeo intenso, sin ninguna razón justificada que despide material filtrante que causa que se suspenda el lavado inmediatamente; a primera vista parece ser por una exagerada expansión del material, que crea orificios, facilitando el ascenso del agua con toda la presión, puede ocurrir también que se presento desalojo de la grava de soporte. Observando la superficie del lecho después del lavado, este queda con ondulaciones que no son normales pero que si evidencian que hay problemas en la grava de soporte del material filtrante o la perdida de los niples de distribución, producto de que las operadoras no abren lentamente la válvula, para garantizar una distribución uniforme del flujo sobre el material.

El volumen de agua del tanque elevado (75 m³) es suficiente para mantener la velocidad y tiempo óptimo de lavado, pero actualmente su capacidad esta subutilizada a 50 m³, lo que genera que no se pueda prolongar el tiempo de lavado sino hasta un máximo de 6 min.

Cuando se procede al lavado del filtro, el tiempo que dura esta operación y el volver a colocar en funcionamiento la unidad, se inundan las unidades anteriores a los filtros rápidamente, desmejorando la calidad del agua en el sedimentador por el arrastre de flocs que taponaran rápidamente el filtro. Falta pericia del operador para regular el caudal de entrada por lo menos durante el tiempo de lavado, para evitar desmejoramiento de la calidad del agua.

Tabla 7 Turbiedad agua filtrada

Intervalos		Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Porcentual (%)	Frecuencia Porcentual Acumulada
0	0.5	5	5	1.66	1.66
0.5	1	44	49	14.62	16.28
1	1.5	74	123	24.58	40.86
1.5	2	68	191	22.59	63.46
2	2.5	34	225	11.30	74.75
2.5	3	18	243	5.98	80.73
3	3.5	24	267	7.97	88.70
3.5	4	13	280	4.32	93.02
4	4.5	9	289	2.99	96.01
4.5	5	7	296	2.33	98.34
5	5.5	5	301	1.66	100.00
Total		301		100.00	

Se observa en la tabla.7, que los filtros producen buena calidad de agua, presentándose en mayor frecuencia entre 1 y 2 UNT en un 47.17% del tiempo y en un 93.02% con turbiedades inferiores a 4 UNT. Pero este monitoreo se ve afectado porque las muestras de agua para analizar se toman directamente del tanque de almacenamiento y en una zona alejada de los afloramientos de la

conducción de los filtros al tanque. Por esta razón, la calidad del agua producida por los filtros no es precisa al no tomarse directamente del tubo que aflora.

4.6.4 Recomendaciones:

- ▲ Aprovechar el total del volumen del tanque elevado, ya que actualmente solo se almacena dos terceras partes de su capacidad debido al ajuste del nivel automático de la motobomba, con el ánimo de poder prolongar el lavado si se requiere y mejorar la limpieza de los granos.
- ▲ Limpiar la arena y las algas sobre la canaleta que se depositan en el fondo. En la superficie del lecho filtrante hay que buscar la forma de remover las algas, que obstaculizan la normal percolación del agua.
- ▲ Hacer con frecuencia (una vez al año) la evaluación del estado del material filtrante para monitoreo de la acumulación de bolos de barro, ajuste de la grava revisión del sistema de distribución de agua de lavado, reconfiguración del lecho, determinación de la granulometría y espesores de capas.
- ▲ Abrir la válvula de lavado lentamente, para no desordenar el fondo del lecho y garantizar una distribución uniforme del flujo sobre todo el material.
- ▲ Tener especial cuidado con la operación de lavado de filtros a fin de obtener una limpieza efectiva del medio filtrante y evitar los problemas de: formación de bolas de barro, consolidación del lecho filtrante, desplazamiento de la grava de soporte, entrapamiento de aire o pérdidas de medio filtrante.
- ▲ Probar con diferentes caudales de lavado, pero siempre manteniéndose dentro del rango de velocidad ascensional para filtros mixtos, con el objetivo de hacer una mejor limpieza y menos pérdida de material, controlando también ahorro de agua mediante el tiempo de lavado, que se adopta en el que se produzca la menor turbiedad.

- ▲ Investigar internamente en el filtro durante alguna operación de mantenimiento el porque, la ocurrencia de burbujeos durante el lavado.
- ▲ Verificar, si hay aire dentro del lecho cerrando, la válvula del efluente por unos minutos. Si hay burbujeos esperar a que cesen para reanudar la filtración.
- ▲ Evitar iniciar la filtración con el filtro seco (hay que dejar después del lavado una capa de agua 0.5m sobre el lecho). Esta operación tiene por finalidad evitar la entrada de aire y el desalojo del material por la caída de agua de la canaleta.
- ▲ Efectuar el lavado de los filtros, teniendo en cuenta la carrera de filtración y el nivel de agua en el filtro. Tomar como registro la rata de filtración antes y después del lavado; como datos para el control de operación y mantenimiento.
- ▲ Mejorar las válvulas de control de lavado y desagüe por su mal estado físico y de maniobrabilidad y que además por ser tediosas no permiten hacer correctamente operaciones de regulación de caudales.
- ▲ Tomar la muestra para la turbiedad del agua filtrada, justo en la caída del efluente al tanque de almacenamiento, para hacer mas preciso un diagnostico de la calidad del agua producida.
- ▲ Hacer la rehabilitación estructural de la canaleta y muros que lo requieran.
- ▲ Realizar una estrategia de operación durante el lavado de un filtro, con respecto a un almacenamiento que evite que se inunden las unidades.
- ▲ Implementar tareas de operación para cumplimiento diario y esporádico con supervisión del jefe de planta, controles en las que las operadoras deben estar en condición de realizar, con el ánimo de conservar y optimizar las unidades.
- ▲ Suministrar los elementos necesarios para la realización de las operaciones.
- ▲ Realizar el respectivo mantenimiento en sus frecuencias, sin esperar a que los equipos o unidad falle para entrar a intervenirlo.
- ▲ Mejorar el falso fondo porque produce demasiadas perdidas que no permiten alcanzar la velocidad ascensional de lavado.

Tabla 8 Características de los filtros

Descripción de las Baterías de Filtros		
	Filtro 1	Filtro 2
Altura Total l Filtro (m)	2.7	2.7
Altura entre Lecho Filtrante y fondo de canaleta (m)	0.5	0.67
Espesor Material Filtrante (m)	0.75	0.65

4.7 CLORACIÓN (DESINFECCIÓN)

4.7.1 Descripción:

Se utiliza un clorador de solución al vacío, para dosificar el cloro que se almacena en su respectiva bala. A esta bala sobre su boquilla se conecta el regulador de presión, que controla la rata de dosificación requerida de gas cloro que se aplicara. En la unidad se ajusta manualmente la demanda de cloro (dosis) tal que se obtenga en el agua un residual de cloro dentro del rango especificado por la norma y que a la vez se conserve para que alcance a registrar en los puntos mas alejados de la red de distribución. El gas es succionado a través de una manguera por el inyector, en donde se mezcla con agua, para luego ser vertido en forma de solución de cloro en el tanque de almacenamiento. Del regulador sale una segunda manguera de exceso de cloro que es conducida hacia el tanque de almacenamiento, para aprovechar que este volumen de cloro no se desperdicie.

El cloro residual se determina tomando una muestra de agua de los tanques de almacenamiento T1 y T2, se vierte en un comparador de cloro y se agregan tres gotas de ortotolidina, reactivo que imprime coloración amarilla según la

concentración de cloro en el agua. Esta coloración se confronta con las tabuladas en el comparador, para determinar la concentración de cloro que hay en el agua.

4.7.2 Función:

La desinfección de las aguas para consumo humano, con la misión específica de matar, en forma selectiva, a aquellos microorganismos vivientes, que pueden difundir o transmitir infecciones a través del agua. La desinfección química (cloro) ofrece mayores éxitos en la eliminación de microorganismos patógenos hídricos.

4.7.3 Diagnostico:

El regulador de cloro esta en buen estado, debido a su relativo corto trabajo (3 años); la ubicación de la bala con cloro tiene una buena ventilación y la luz solar no es directa. Las subidas de concentración que ocurren esporádicamente por pérdida de la dosificación en el clorador debido al mal manejo o porque se presentan recesos en la planta o disminución en el caudal, y no están atentas las operadoras a corregir la dosis de cloro. Las operadoras nunca utilizan información de datos de operación, para realizar correcciones pero tampoco adquieren la pericia para dosificar fácilmente, de la misma manera no conocen bien el funcionamiento del equipo ni cuales son señales de emergencia. En algunos casos se sentía olor a cloro en el ambiente porque no le estaban aplicando la suficiente agua para la mezcla.

Este tipo de falla, por descuido, incurren en desperdicio del cloro, por ende se debe manejar en mas detalle para hacer el proceso lo mas económico que se pueda y con la mayor seguridad.

Cuando se instala la bala de cloro se hace una prueba con amoniaco para detectar fugas resultando positivas, indicativo del hermetismo y buen funcionamiento del clorador que tiene una vida de funcionamiento corta.

Cuando se agota el gas cloro en ocasiones se recurre a la dosificación con hipoclorito, sustancia en polvo que se disuelve en agua; que se torna difícil, para alcanzar una concentración y aplicación constante repercutiendo que en la red de distribución no alcance a registrar presencia de desinfectante.

4.7.4 Recomendaciones:

- ▲ Capacitar en la manipulación de la bala de cloro y en emergencias por escape o intoxicación con el gas.
- ▲ Garantizar que la mezcla sea rápida, uniforme y eficiente entre cloro y agua.
- ▲ Implementar un tanque de contacto con flujo pistón y donde se garantice el tiempo óptimo de contacto. El tanque de almacenamiento no se puede utilizar como tanque de contacto, porque el nivel del tanque esta variando constantemente y por tanto no retiene flujo durante el tiempo requerido para una buena desinfección.
- ▲ Tener cuidado en la operación con cloro, especialmente cuando se instala la bala y cuando hay paradas temporales de la planta, para cerrar debidamente las válvulas de paso de cloro y de agua que eviten el desperdicio.

- ▲ El personal encargado debe utilizar la respectiva mascara contra cloro por posibles inhalaciones de gas que puedan ocasionar emergencias.
- ▲ Como control de operación se debe tomar nota del registro del consumo diario de cloro, mediante el control del peso del cilindro o anotando la dosificación aplicada por litro al agua.
- ▲ Reducir al máximo la turbiedad del agua efluente, porque esta reduce la efectividad de los desinfectantes debido a la absorción por parte del coloide y a la protección de las bacterias por estas partículas.
- ▲ Aplicar la dosis optima de cloro, controlando la producción de trihalometanos.
- ▲ Controlar que la contaminación patógena no este presente en la red de distribución.
- ▲ Verificar cualquier funcionamiento anormal en el equipo dosificador.
- ▲ Tener presente que la desinfección del agua, tiene mejores resultados en rango de pH acido. Hay que analizar si se justifica realizar esta operación, en caso de que se requiera mejor eficiencia en la desinfección.

4.8 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

4.8.1 Descripción:

Hay tres tanques denominados como T1, T2, Ta. El tanque T1 con capacidad de 400 m³ es al que se le aplica directamente el cloro, el que recibe el agua de los filtros y el encargado de llenar el T2 con capacidad de 350 m³. Con el tanque T1 se suministra líquido a la parte norte del municipio y este debe mantener siempre lleno para que se pueda almacenar agua en el T2, que esta más bajo que el tanque T1 y comunicado por un tubo de 6" por su parte superior. Cada uno de los tanques tiene su propia válvula para suspender el servicio a cada sector.

El tanque elevado Ta con capacidad de 75 m³ tiene una altura total desde la superficie del suelo de 13.7 m, se llena mediante el bombeo de agua del tanque T1 a través de una tubería metálica de 4" la cual se instaló hace unos pocos años. Esta agua se utiliza para el lavado de los filtros; la cual es conducida por una tubería en PVC de 8". Del agua de este tanque depende el funcionamiento interno de la planta y el abastecimiento para algunas casas contiguas.

Fig. 15 Tanque de almacenamiento



Fig. 16 Tanque elevado



Solo hay un macro medidor y esta destinado únicamente para registrar el volumen de salida del tanque T2. Actualmente este macro medidor esta fuera de servicio y las lecturas de consumo de agua que se registraron, nunca se han utilizado.

4.8.2 Función:

- Atender las variaciones del consumo de agua, almacenando ésta en los periodos en los cuales el suministro de agua al tanque es mayor que el consumo, y, suministrar parte del caudal almacenado, en los periodos en los cuales el consumo es mayor que el suministro, para suplir así la deficiencia³.
- Mantener las presiones en la red de distribución.

³ Acueductos, teoría y diseño Capítulo 6 Tanques reguladores

4.8.3 Diagnostico:

El tanque T1, es parcialmente enterrado mientras que el T2, lo esta completamente, las paredes son en friso liso, en buen estado con algo de color café sobre las mismas. El acceso a cada tanque se hace mediante pozos con sus respectivas escaleras, en varillas, que están en avanzado estado de corrosión; estas varillas a la vez guían al operador para saber que tan lleno esta, especialmente el tanque T2, que es la referencia para hacer receso o no de planta. Falta una reglilla que permita saber el volumen total almacenado y macro-medidores en cada red para saber el consumo que se este presentando. Adicional a estas observaciones, la válvula del T2 no suspende el flujo de agua completamente, por el deterioro y la edad de funcionamiento, tomando la medida siempre de racionar el sector que abastece el tanque 1. La válvula del tanque T1 esta en buen estado por su corta edad de instalación y trabajo, que obedece a una reestructuración de la red por parte del ingeniero de planta, para dividirla en dos partes y que cada tanque, abastezca a un sector en común. Según los operadores cuando se lavan los tanques, especialmente en el tanque T1, se han encontrado elevadas cantidades de arena de los filtros, que quedan allí depositados, producto del deterioro en los mismos. Cada tanque tiene sus respectivos respiraderos, algunos atacados por la corrosión de los cuales se han caído exponiendo al agua al contacto con la luz y la suciedad exterior.

En el tanque elevado, se detecto perdida del material de recubrimiento, que expone el refuerzo al agua y lo afecta estructuralmente, además hay coloración café en las paredes. Falta seguridad para el ascenso al tanque.

Las fluctuaciones de los tanques, motivo por el cual, regularmente se hacen racionamientos, obedece principalmente a fallas en la unidad de filtración y a bombeos muy frecuentes cada 20 min. Debido al deterioro del material filtrante se reduce la producción de agua efluente, que como consecuencia no permite recuperación del nivel del tanque a corto plazo. Los constantes bombeos también ocasionan que el nivel baje y se pierda la alimentación al tanque 2, llegando al punto que es difícil recuperar el nivel y se debe cerrar el paso hacia la red.

La capacidad de almacenamiento de los tanques, no tiene nada que ver con que fluctué el nivel, pues estos tiene el volumen suficiente para abastecer la comunidad, mejor se deben revisar los aspectos anteriores.

4.8.4 Recomendaciones:

- ▲ Instalar macro medidores para los tres tanques, porque es necesario tener un control preciso del volumen de agua entregado a la red de distribución. Estos elementos permitirán a los operadores entregar un análisis diario del volumen de agua potabilizada, con la total consumida.
- ▲ Controlar pérdidas por agua no contabilizada debido a fugas o fraudes.
- ▲ Cambiar la válvula de corte total del agua del tanque 2 por el mal estado.
- ▲ Realizar rehabilitación estructural al tanque elevado y evitar colapso.
- ▲ Analizar si se requiere ampliación del almacenamiento.

4.9 LABORATORIO

4.9.1 Descripción:

Es un sitio específico para realizar las labores destinadas al laboratorio, con una amplia área para un cómodo desarrollo de las actividades, con mesones buena luz y los equipos básicos para la determinación de parámetros organolépticos.

Fig. 17 Equipos de laboratorio



4.9.2 Diagnostico:

El ensayo es el de alcalinidad, parámetro que juega un papel importante en la coagulación, control de corrosión, incrustaciones y ablandamiento del agua. Si la alcalinidad del agua es baja, la reacción química con el sulfato de aluminio no se realiza completamente, dando como resultado, coagulación deficiente por la disminución del pH, teniendo que añadir alcalinidad al agua. La dureza, también origina incrustaciones y se controla más que todo por los efectos a nivel domestico, como exigir una cantidad mayor de jabón para el lavado. Estos análisis permitirán controlar y conservar aquellos elementos metálicos expuestos al contacto con el agua, especialmente válvulas, ante posibles disminuciones de pH

Los ensayos fisicoquímicos no los realizan con frecuencia mientras que los microbiológicos por tratarse de propagadores de enfermedades, se hace un control más a menudo casi ajustado al decreto 475/98. Los análisis son realizados comúnmente a las fuentes de agua cruda obteniendo buenos resultados, queda por hacer control del agua en la red de distribución, en las épocas del año.

Los resultados fisicoquímicos no son representativos para dar diagnóstico al agua, debido a la variación que se suele presentar cada parámetro y a la poca información recolectada al respecto.

A continuación se reseñan los equipos con que cuenta la planta:

- * Turbidímetro electrónico marca (Hach) en perfecto estado, junto con sus recipientes para toma de muestras.
- * Un pHmetro electrónico marca (Hach) que además toma temperatura y conductividad del agua. El estado es bueno y sus bornes de medida mantienen en óptimas condiciones de uso.
- * El color se determina por comparación visual. Aparato en estado regular con pequeños tubos de vidrio que están desportillados, es muy subjetiva la medida encontrada, además que solo determina hasta 100 UPC.
- * El cloro residual se determina mediante un comparador de cloro, el cual es un ensayo muy fácil de realizar utilizando la ortotolodina, reactivo indicado para determinar la concentración de cloro residual en la muestra.
- * Para destilar agua se usa una olla express, a la cual está conectada una manguera en su parte superior, por donde asciende el agua hasta el aparato refrigerante para luego pasar al termo donde es almacenado.
- * El laboratorio cuenta con buretas, pipetas, elenmeyer, bolones aforados, que están en buen estado, el único uso se les da a los vasos precipitados que suelen partirlos por mal uso.

4.9.3 Recomendaciones:

- ▲ Prueba de jarras que permita dosificar correctamente y hacer un mejor seguimiento a la planta para su funcionamiento óptimo.
- ▲ Capacitar a las operadoras para que ejecuten los ensayos fisicoquímicos necesarios para diagnosticar la calidad del agua. (alcalinidad y dureza) y poder corregir las deficiencias en las operaciones de clarificación.
- ▲ Ubicar un botiquín para primeros auxilios.
- ▲ La toma de datos de operación deben registrarse cada hora (según CEPIS)
- ▲ Como registro diario deben incluirse, además datos como: Rata de filtración, tiempo de la carrera de filtración por cada filtro, caudal de lavado para filtro, dosis de coagulante aplicada por litro de agua y turbiedad, volumen de agua tratada y entregada durante el día etc. que permitan al jefe de planta, desarrollar estrategias para mejorar la operación y optimizar el proceso.
- ▲ Como laboratorio debe encargarse de vigilar constantemente la calidad del agua en la red de distribución, mediante los respectivos análisis.

4.10 CUARTO DE BOMBAS

4.10.1 Descripción:

La planta cuenta con tres bombas ubicadas en la parte baja del edificio, en una amplia zona con buena luz y ventilación. Para bombear al tanque elevado hay disponibles 2 bombas (capacidad 320 gal/min), se utiliza una relativamente nueva y se deja la otra como repuesto; esta bombea a través de una tubería montante metálica de 4" y una longitud aproximada de 50 m, para vencer una cabeza

hidráulica de 14 m. La tercera bomba de menor capacidad (aproximadamente 2.5 l/s), se emplea para el lavado de la planta, bombea agua, desde el tanque de admisión de agua; a través de una tubería metálica de 2" y una longitud de 20 m para vencer la cabeza hidráulica de 4 m, hasta alcanzar las unidades.

Fig. 18 Bombas existentes



4.10.2 Función:

Las bombas tienen por tarea llevar agua hasta lugares como el tanque elevado a donde es imposible llegar por gravedad.

4.10.3 Diagnóstico:

Las bombas trabajan correctamente, con los controladores automáticos en buena posición evitando la succión de aire y desperdicio de líquido. Les hace falta más mantenimiento preventivo. La bomba destinada como de repuesto no funciona correctamente por el mal uso que recibió anteriormente y su uso no es frecuente, porque no hay alternación de trabajo con la otra bomba.

Las bombas son la única unidad a las que se les puede decir que se les practica, aunque no muy a menudo, un mantenimiento. Este abandono de tareas esta reflejado en el deterioro de las demás instalaciones de la planta.

4.10.4 Recomendaciones:

- ▲ Realizarles el respectivo mantenimiento tanto en la parte mecánica como eléctrica que se merezcan, para prevenir daños.
- ▲ Revisar que los respectivos accionadores automáticos, funcionen bien para prevenir succión aire o prolongación del bombeo por más tiempo pero sin desperdicio de líquido (llenar el total de tanque elevado).
- ▲ Realizar un estudio detallado del encendido de la planta que permita llevar a estrategias de optimización y ahorro de energía.
- ▲ La bomba de lavado debe ser movable para aprovechar en los lavados de planta el volumen de agua almacenado en los sedimentadores.
- ▲ Alternas el trabajo entre las bombas.

4.11 SISTEMA ELECTRICO

4.11.1 Descripción:

La parte eléctrica concerniente a la operación de la planta, esta conformada en primera instancia por un medidor trifásico y, el dispositivo de caja de automáticos ubicado a la entrada del edificio, de hay distribuye mediante circuito eléctrico hacia la caja de accionadores donde se manipula todo lo del encendido de las bombas.

Para una segunda caja ubicada en el segundo nivel donde esta ubicado el dosificador, hay destinados dos circuitos, uno que controla mediante una cuchilla el encendido del dosificador y otro que mediante accionadores controla el encendido de los motores de los floculadores, de estos circuitos se derivan las instalaciones para la iluminación interna del segundo piso y externa que permite observar el funcionamiento de los procesos en la noche. Para las dependencias administrativas y el taller hay un circuito independiente.

4.11.2 Función:

Mediante el suministro de fluido eléctrico, poner en funcionamiento las maquina y aparatos eléctricos necesarios para la operación de la planta de tratamiento.

4.11.3 Diagnostico:

Todos los circuitos eléctricos de la planta son muy antiguos, están desde la primera puesta en funcionamiento de la planta. La instalación nueva que se ha hecho a la planta hasta ahora, es la caja de automáticos que se modifico para modernizar los switch de protección y disminuir cargas en los circuitos, porque el diseño anterior no garantizaba la protección a las subidas de tensión. Las cajas de controles destinadas para la operación de motores y bombas cuentan con accionadores en regular estado, cableado cristalizado a la vista y con puntas sueltas y en completo desorden por derivación de circuitos alternos. Las cajas y tubería metálica, están deterioradas por el tiempo de instalados (40 años) y por el poco mantenimiento que han recibido. En las oficinas como en las conexiones de los motores de floculadores se observan muchas instalaciones eléctricas en cajas

de distribución y cableado, a la vista. La iluminación para la operación nocturna es aceptable con deficiencia de luz, mas que todo en los filtros.

4.11.4 Recomendaciones:

- ▲ Cambiar en lo posible el total de las instalaciones eléctricas (contactores, cableado y tuberías) y reasignar cargas a los nuevos circuitos.
- ▲ Realizar una correcta distribución de la carga eléctrica en los circuitos que sean necesarios para que no se presenten accidentes por subidas de tensión y que a la vez facilite el manejo (en caso de mantenimiento).
- ▲ Instalar equipos de contactares en sus respectivas cajas, para manejo de las bombas y dosificador de sulfato.

4.12 JEFATURA DE PLANTA

4.12.1 Funciones:

- Controlar que haya un funcionamiento continuo de la planta de tratamiento.
- Garantizar que siempre llegue el caudal de agua suficiente para el tratamiento.
- Verificar que la operadora de turno, desarrolle las actividades de tratamiento de agua con calidad y eficiencia.
- Observar que se hagan los controles respectivos de operación y mantenimiento a las unidades y equipos existentes en el cronograma establecido.
- Suministrar a las operadoras el material y equipos necesarios para el desarrollo de las actividades de operación.

- Aportar la suficiente y clara información, a la operadora de turno como guía para controlar los procesos unitarios y obtener un producto de buena calidad.
- Evaluar que el personal es idóneo para realizar el trabajo de operación.

4.12.2 Observaciones:

- Hace falta dedicación para comunicar e instruir a las operadoras, en los controles necesarios y rutinarios que se deben realizar para producir agua con calidad y eficiencia.
- Necesariamente para mantener la planta en optimas condiciones, hay que establecer controles de operación y mantenimiento de cumplimiento rutinario y cronológico que previamente se deben establecer y comunicar a las operadoras para que sean ejecutadas en las fechas establecidas.
- La operación de la planta de tratamiento debe dársele un enfoque más técnico y preciso tanto en producción de agua como en conservación de los equipos.
- Como jefe de planta debe controlar a diario que los parámetros de calidad del agua y los datos de producción siempre sean registrados y que se mantengan dentro de los estándares que estadísticamente es capaz de producir la planta.
- La reposición o mejora de las instalaciones ante eventuales daños debe ser de prioridad, para no afectar la calidad ni la producción. Este tipo de tareas no sea programado y ha ocasionado considerables perdidas de liquido que elevan el costo de la potabilización del agua.

4.13 RED DE DISTRIBUCIÓN

4.13.1 Descripción:

La red de distribución esta siendo dividida en dos sectores para asignarle a cada tanque de almacenamiento una de las dos zonas, norte o sur como se dividió el municipio para ser abastecido.

Actualmente se han realizado, trabajos para cambiar el total de la red, de asbesto-cemento a PVC, contando con un 75% de la red en este último material.

4.13.2 Función:

Sistema de acueducto que permite llevar mediante tuberías instaladas en las calles del municipio, llevar agua a cada una de sus usuarios.

4.13.3 Diagnostico:

Esta red tiene muchos años de construida, para la cual se utilizo principalmente asbesto-cemento, material que resulta difícil de manipular y con problemas por fisuración mas que todo a la inestabilidad del terreno producida por exceso de peso sobre las calles en las que el suelo es muy arcilloso ocasionando asentamientos. Los cambios bruscos de presión, también suelen deteriorar y a la larga ocasionan pérdidas de líquido.

Hasta el momento se ha implementado la toma de muestras en la red, para control de característica fisicoquímicas del agua producida y en especial el mantener la concentración de cloro residual, establecido por la norma, en aquellos puntos extremos. Y es que a pesar de que se aplica desinfectante (cloro) al agua, la

comunidad no confía de la calidad y se previene hirviendo el agua o utilizando equipos de ozonificación.

Se detecto que el agua que viene de la red y entra a los hogares respectivos y que se almacena en las albercas a simple vista es normal en muestras pequeñas pero después de un tiempo de sedimentación se observa el arrastre de partículas en el fondo. Se comento esta observación con el jefe de planta y se concluyó que la razón es que en los lugares en que aun existe tubería en asbesto-cemento, este por ser poroso acumula suciedad sobre sus paredes proveniente de los años de servicio, y que cuando se corta el suministro de agua y nuevamente sé reconecta, la presión arrastra y suspende nuevamente estos sedimentos. Es de aclarar que esto se hizo evidente en una alberca totalmente enchapada en cerámica que permitió observar este hecho.

Hay que analizar que debido al mal estado de los filtros, esto es una posible causa que justifica la alta concentración de partículas en los hogares, por el arrastre de de estas que se encuentran almacenadas en el lecho y que no se logran retirar.

Hasta este año se realizo un análisis bacteriológico y fisicoquímico en un punto extremo de la red con buenos resultados en cada una de las propiedades analizadas como control de calidad del agua tratada que quiere imponer el jefe de planta. A partir de la fecha se implementaran los controles organolépticos que son los únicos parámetros que se pueden determinar en la planta y, que serán registrados semanalmente tomando muestras en barrios definidos y consignados para registro de la planta. Quedan pendientes los análisis bacteriológicos, importantes por que son los que controlan la propagación de enfermedades.

4.15 MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

4.15.1 Descripción:

Las actividades de mantenimiento deben ser propuestas, adjudicadas y revisadas por el jefe de planta, quien debe exponer la metodología a utilizar para desarrollar cada tarea y las frecuencias con que estas se deben realizar, en lo posible que sean para mantenimiento preventivo.

La planta cuenta con un taller con las herramientas necesarias para realizar las correcciones o ajustes pertinentes que se presenten en algún equipo, además el personal encargado de realizar estas tareas maneja el tema con experiencia.

La adjudicación de una tarea de mantenimiento de equipos, no corresponde al seguimiento de un cronograma previamente propuesto, sino más bien a sucesos que se presentan esporádicamente y requieren la intervención inmediata. En este tipo de actividades hace falta mayor interés para el desarrollo de actividades de mantenimiento que se programen en un cronograma.

Con respecto a mantenimiento, este es adjudicado a operadoras y fontaneros, pero actualmente no se está concentrando esfuerzos en conservación de equipos. Actualmente se está manejando lo que corresponde al lavado general de las unidades de la planta, que se centra en la comunicación a las operadoras de las fechas de lavado de las respectivas unidades.

4.15.2 Diagnostico:

El establecimiento y ejecución de un mantenimiento preventivo necesario para la planta, obedece más que todo a factores económicos y de comunicación, que han afectado considerablemente la integridad de los equipos de trabajo de la planta.

Por la falta de mantenimiento preventivo que no se hizo a tiempo, hoy día las podemos clasificar, mejor como de mantenimiento correctivo por el estado en que se encuentran algunos equipos, necesarios para el trabajo diario de potabilización del agua. Con los siguientes equipos y aspectos, se reseñan las causas de las averías sufridas o por sufrir en cada uno.

- Las válvulas en general, equipo necesario para la operación de las unidades de tratamiento, deterioradas en su mayoría por la falta de aplicar pintura anticorrosiva, en su base de apoyo expuesta al agua, y otras casi destroncadas de su base por falta de apretar o adicionar tuercas faltantes. La falta de mantenimiento para engrasar o cambiar empaques de las válvulas genera que estas se pongan duras al maniobrarlas. El desajuste general del cuerpo y cabeza de las válvulas, deteriora el vástago porque lo raya y desgasta.
- La fundida del motor de la cámara de floculación dos y el de mezcla rápida son otros de los descuidos que llevaron a retirar del todo estos equipos por la falta de un mantenimiento que se obvió, cuando era necesario haberlo ejecutado. Las bombas y el dosificador, se revisan pero no con la frecuencia y técnica necesaria para conservarlos.
- Los filtros están muy descuidados a tal punto que tienen un mal aspecto, generado tanto por su estructura como por el del lecho filtrante en especial el del filtro 1 en el que su arena presenta una coloración oscura posiblemente de

la edad como también puede ser por lodo adherido a los granos y que ya no se remueve fácilmente con el lavado. La falta de una instrucción a las operadoras en el control del proceso de filtración llevo a que se deterioraran los lechos.

- Hace falta destinar mayor esfuerzo para el mantenimiento de equipos que son vitales para el control y operación de la planta.
- A raíz de que las labores de mantenimiento tiene costo en lo referente a repuestos necesarios, se puede considerar que la falta de intervención de los equipos correspondio a aspectos económicos.

5 OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

5.1 PROYECCIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO

5.1.1 Determinación del Nivel Complejidad

Para el mejoramiento del sistema de agua potable del municipio de Puente Nacional la norma RAS, expone la metodología para clasificar la prioridad de la ejecución de proyectos que ameriten, ampliar o construir nuevos sistemas de procesamiento y distribución de agua potable.

Para clasificar el proyecto en uno de estos niveles depende del número de habitantes proyectado al periodo de diseño y de su capacidad económica, de acuerdo con lo establecido en la tabla siguiente. Se determino el nivel de complejidad mediante la población, debido a que la capacidad económica es baja.

Tabla 9 Clasificación nivel de complejidad, norma RAS Titulo A

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios.
Bajo	<2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio-Alto	12501 a 60000	Media
Alto	>60000	Alta

NOTA: La población futura incluida la población flotante

5.1.2 Descripción del Problema:

EMSERPUNAL como entidad responsable de la potabilización presenta en forma concreta los problemas a abordar para justificar la ejecución de proyectos de agua potable, identificados en la norma RAS.

1. Prestación insuficiente del servicio objeto del sistema en cuanto a cobertura, continuidad y/o calidad⁴.
2. Deficiencia en la prestación del servicio causada por malas condiciones de la infraestructura existente. Debe cuantificarse físicamente la deficiencia en términos de variables como continuidad y/o cobertura⁶.

5.2 CALCULOS DE POBLACIÓN

5.2.1 Población Futura:

El censo actual de población urbana en el municipio, esta determinada por la que proyecta el DANE anualmente. Localmente no se tiene un censo que permita conocer exactamente el actual número de habitantes, ni una estimación de la población flotante. La población urbana estimada por el DANE es la siguiente:

Tabla 10 Población estimada por DANE

Año	2003	2004
Población urbana	5562	5666

⁴Norma RAS titulo A Capitulo A:4 Pag. 24

Adicional a esta población, hay que tener en cuenta, la población flotante. Puente Nacional se caracteriza por ser centro educativo del sur de Santander, en sus colegios Instecnico y Normal Superior le brindan servicio a aproximadamente unos 800 alumnos externos provenientes de municipios y veredas aledañas, de los cuales un 90% reside dentro del casco urbano. Una pequeña parte esta representada en turismo (no es el fuerte del municipio), con visitas muy puntuales para épocas de vacaciones y algunos nuevos habitantes no contabilizados que llegan a asentarse en el municipio.

Para la población actual y futura se estima que el municipio esta clasificado en un nivel de complejidad **medio**, según la tabla 9. Para este nivel de complejidad la norma RAS propone que se debe usar:

Tabla 11 Características del nivel de complejidad Norma RAS, títulos A y B

Nivel de Complejidad MEDIO	
Dotación neta (l/hab/día)	Min120 - Max175
Periodo de Diseño (años)	20
Cobertura de agua potable	90%
Métodos calculo de población	Aritmético, geométrico y exponencial
Perdidas máximas admisibles	30%

5.2.2 Cálculo de la población Futura⁵:

- **Método Aritmético:**

$$P_f = P_{uc} + (P_{uc} - P_{ci} / T_{uc} - T_{ci}) * (T_f - T_{uc})$$

P_{uc}: población ultimo censo.

P_{ci}: población censo inicial.

⁵ Norma RAS titulo B Capitulo B:2 Pag 31

$$Pf = 5666 + (5666 - 5562 / (2004 - 2003)) * (2024 - 2004) = 7746 \text{ Hab.}$$

- **Método Geométrico:**

$$Pf = Puc * (1+r)^{(Tf-Tuc)} \quad r = (Puc / Pci)^{1/(Tuc-Tci)} - 1$$

$$r = (5666 / 5562)^{1/1} - 1 = 0.0187$$

$$Pf = 5666 * (1 + 0.0187)^{20} = 8207 \text{ Hab}$$

- **Método Exponencial:**

$$Pf = Pci * e^{k*(Tf-Tci)} \quad K = (\ln Pcp - \ln Pca) / (Tcp - Tca)$$

$$K = (\ln 5666 - \ln 5458) / 2 = 0.0187$$

$$Pf = 5562 * e^{0.0187 * 21} = 8237 \text{ Hab.}$$

Se toma como la población futura, la calculada por el método exponencial. Adicionando una población flotante, que según datos obtenidos en colegios etc, se puede optar como población flotante un 15% de la población total.

$$Pf = 8237 * 1.15 = \mathbf{9480 \text{ Hab.}}$$

5.2.3 Cálculo de la Dotación Neta:

Corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

A pesar que hay razonamientos actuales de agua, estos son esporádicos, con mayor acentuación en las épocas de verano; en promedio se corta el suministro de agua (no con mucha frecuencia durante la semana) a los habitantes alrededor de 2 horas, en horarios de bajo consumo, esto obedece a que el volumen de agua que se trata es menor al que consume diariamente el municipio, porque se puede decir que el caudal promedio en la planta alcanza a penas para los habitantes que hay actualmente viviendo en el casco urbano, exceptuando la población flotante, quedando expuesto el consumo cuando aumenta la población que ocasiona que los tanque de almacenamiento fluctúen demasiado en su nivel y, se recurra a los racionamientos para poder volver a compensarlos.

El consumo histórico registrado en la planta se obtuvo por las lecturas mensuales de los micro medidores por usuario, dato único y aproximado para estimar la demanda por habitante, considerando que el estado de algunos micro medidores no es óptimo debido a su vida útil según afirmaciones del jefe de planta.

Cabe resaltar que la evaluación de la información utilizada es buena y encaja a los criterios propuestos en la norma RAS para la estimación de la dotación neta, además no se requiere corrección de la dotación por temperatura al contar con clima templado Según el registro histórico mensual para un año, facilitado por la empresa, se obtuvo una demanda aproximada, registrada en la tabla 12.

Tabla 12 Registro histórico de consumo del año. EMSERPUNAL 2002-2003

AÑO	2002			2003		
Mes	Consumo M3	Población	Dotación l/hab/día	Consumo M3	Población	Dotación l/hab/día
enero	15624	5458	95.42	17270	5562	103.50
febrero	20980	5458	128.13	18908	5562	113.32
marzo	16476	5458	100.62	16525	5562	99.04
abril	19615	5458	119.79	21929	5562	131.42
mayo	19062	5458	116.42	19154	5562	114.79

junio	18099	5458	110.53	17732	5562	106.27
julio	19768	5458	120.73	18496	5562	110.85
agosto	20646	5458	126.09	20715	5562	124.15
septiembre	17010	5458	103.88	16721	5562	100.21
octubre	17988	5458	109.86	19829	5562	118.84
noviembre	15061	5458	91.98	21246	5562	127.33
diciembre	21958	5458	134.10	18617	5562	111.57
Promedio			113.13			113.44

Como el caso de la planta obedece a ampliaciones de sistemas de acueducto, la dotación neta mínima se fija con base en el análisis de los datos de consumo del sistema sin incluir las pérdidas.

Como el promedio mensual encontrado de la dotación neta con los datos de registro de la planta (113 l/hab/día) son inferiores a los establecidos por la norma RAS (120 l/hab/día) se adopta este último dato como parámetro para el diseño.

5.2.4 Pérdidas⁶

▲ **Pérdidas en la aducción:** Debe establecerse un nivel de pérdidas en la aducción antes de llegar a la planta de tratamiento. Las pérdidas en la aducción, debe ser inferior al 5%. Por contar con una aducción de gran longitud y muchos cambios de dirección que generan considerables pérdidas, se adopta el 4% como valor de afectación.

▲ **Pérdidas en la Conducción:** Debe establecerse el nivel de pérdidas en la conducción expresa después de la planta de tratamiento y antes del comienzo de

⁶ Norma RAS título B Capítulo B:2 Población, dotación y demanda

la red de distribución. Esta cantidad debe ser un porcentaje del caudal medio diario, inferior al 5%.

▲ **Necesidades de la Planta:** Debe considerarse entre 3% y 5% del caudal medio diario para atender las necesidades de lavado de la planta de tratamiento. Se considero un 3% que resulta suficiente para la capacidad de la bomba empleada para el trabajo.

▲ **Perdidas Técnicas Sistema de Acueducto:** Las pérdidas técnicas corresponden a la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de la planta con el volumen entregado a la población y medido en las acometidas domiciliarias.

Comparando el agua que se produce, que en promedio es 17 l/s, que al año corresponden a 536112 m³, con un consumo medio diario (adoptando el valor mínimo establecido en la tabla 3 para la dotación a un sistema, de nivel de complejidad **medio**), de 120 l/hab/día, que al año corresponde a 283328 m³, se estiman unas perdidas aproximadas de un 47%; este porcentaje corresponde a la relación de volumen entregado por la planta y al registrado en las acometidas.

“Sin embargo a la luz del Artículo 6° de la Resolución 1795 de la CRA, todos los sistemas de acueducto están comprometidos a realizar esfuerzos para disminuir las pérdidas pues el nivel máximo de agua no contabilizada que se aceptará para el cálculo de los costos de la prestación del servicio de acueducto será del 30%”.

5.2.5 Cálculo de la Dotación Bruta:

Para el cálculo de la dotación bruta se tienen en cuenta, la dotación neta y el porcentaje de pérdidas máxima especificado por la norma RAS, tabla 11.

$$D_{bruta} = D_{neta} / (1 - \%P) = 120 / (1 - 0.3) = 172 \text{ l/hab/día}$$

▲ **Cálculo Caudal Medio Diario:** Corresponde al promedio de los consumos diarios en un periodo de un año. A este caudal se deben adicionar los porcentajes de pérdidas expuestos anteriormente.

Perdidas en aducción	4%
Perdidas en conducción	4%
Necesidades de la planta	3%
Total pérdidas	11%

$$Q_{md} = P_{ob} * D_{bruta} * \text{pérdidas} / 86400 = 9480 * 172 * 1.11 / 86400 = 21 \text{ l/s}$$

5.2.6 Cálculo Caudal Máximo Diario:

Consumo máximo registrado durante 24 horas en un periodo de un año.

▲ **Coficiente de consumo máximo diario K1:** Relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, registrados durante un año.

Tabla 13 Consumos máximos año 2003

Consumo máximo Diario M3	Consumo medio Diario M3
21929	18928
K1 = 1.16	

Se adopta K1=1.3 establecido por la norma RAS, al haberse hallado uno inferior

$$QMD = Qmd * 1.3 = 21 * 1.3 = \mathbf{27.3 \text{ l/s}}$$

Redondeando la cifra, se decide tomar como caudal de diseño **28 l/s**.

5.3 PROYECCIÓN HIDRAULICA DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO

5.3.1 Vertedero Rectangular

Datos

Caudal (Q)	2.80E-02 m ³ /s
Ancho (b)	0.55 m
Pendiente	0.005
n (manning)	0.013
Viscosidad a 20°C	1.01E-06m ² /s

1. Se calcula la altura crítica (Yc) y el tirante normal (Yn) para el canal

$$q = Q/b \quad 0.0509 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$$

$$Yc = (q^2/g)^{(1/3)} \quad 0.064 \text{ m}$$

Al aplicar la ecuación de manning, se despeja Yn

$$Q = \frac{A \cdot R^{(2/3)} \cdot S^{0.5}}{n} \quad (1)$$

Aplicando el método iterativo de Newton para resolver la ecuación (1)

$$Y_n = 0.066\text{m}$$

2. Se debe asumir $W > 4.5h$ para la altura del vertedero, tal que garantice un resalto hidráulico bien desarrollado. Para el cálculo a través de vertedero rectangular se tiene:

$$Q = 2/3 \cdot (2 \cdot g)^{0.5} \cdot \mu_r \cdot b \cdot h^{(3/2)} \quad (2)$$

$$\mu_r = \frac{[0.6035 + 0.813 \cdot (h + 0.0011)] \cdot [1 + (0.0011)/h]^{1.5}}{W} \quad (3)$$

μ_r : es el coeficiente de descarga de Rehbock para un vertedero rectangular

Si desea que este vertedero sirva adicionalmente como medidor del caudal que llega a la planta se debe cumplir según Rehbock que:

$$\begin{aligned} 0.01 < h < 0.8\text{m} \\ b > 0.3\text{m} \\ W >= 0.06\text{m} \\ h / W <= 1 \end{aligned}$$

Con dos ecuaciones anteriores (2) y (3) se determina W y h $W = 4.5 \cdot h$

$$\begin{aligned} Q(\text{caudal de diseño}) &= 0.028\text{m}^3/\text{s} \\ h(\text{Altura máxima lamina de agua}) &= 0.091\text{m} \\ W(\text{Altura del Vertedero}) &= 0.41\text{m} \end{aligned}$$

3. A continuación se calcula la energía, aguas arriba del vertedero (E1)

$$\begin{aligned} E1 &= Y1 + \frac{V1^2}{2 \cdot g} = W + h + \frac{g \cdot h^3}{(2 \cdot g \cdot (W + h))^2} \\ E1 &= 0.503\text{m} \end{aligned}$$

Considerando que no hay pérdidas antes y después del vertedero, $E1 = E2$

$$\begin{aligned} 0.5 &= Y2 + \frac{g \cdot Y2^3}{(2 \cdot g \cdot Y2^2)} \\ E2 &= 0.50\text{m} \\ Y2 &= 0.017\text{m} \end{aligned}$$

4. Calcular el valor de Froude para el flujo después del vertedero

$$Fr_2^2 = \frac{q^2}{g \cdot Y_2^3}$$
$$Fr_2^2 = 29.26$$
$$Fr_2 = 5.41$$

Para que el resalto hidráulico sea estable, Ven Te Chow recomienda que:

$$4.5 < Fr_2 < 9$$

5. Se halla la altura conjugada (Y_3) del resalto hidráulico aplicando la ecuación de cantidad de movimiento, que para un canal rectangular es:

$$Y_3 = \frac{1}{2} \left((1 + 8 \cdot Fr^2)^{0.5} - 1 \right) Y_2$$
$$Y_3 = 0.12m$$

6. Calculando las pérdidas de energía (ΔE) que ocurre en el resalto

$$\Delta E = \frac{(Y_3 - Y_2)^3}{4 \cdot Y_2 \cdot Y_3}$$
$$\Delta E = 0.135m$$

7. Se calcula la longitud del resalto

$$L_R = 6 \cdot Y_3$$
$$L_R = 0.71m$$

8. Se calcula la velocidad (V_2) y (V_3)

$$V_2 = q/Y_2 \quad V_2 = 3.08m/s$$
$$V_3 = q/Y_3 \quad V_3 = 0.43m/s$$

$$V = (V_2 + V_3)/2$$
$$V = 1.76m/s$$

9. Se calcula el tiempo de mezcla en el resalto (t_r)

$$t_r = L_R/V$$
$$t_r = 0.40seg$$

10. Se calcula el gradiente de velocidad (G) que se aplica al agua en el resalto

$$G = (g \cdot \Delta E / t_r \cdot \eta)^{0.5}$$
$$G = 1800.6 \text{seg}^{-1}$$

El valor determinado de (h) indica la altura de agua sobre el vertedero para un caudal de 28 l/s. Cada vez que se quiera saber el caudal que esta entrando a la planta se toma la respectiva altura de agua y se reemplaza este valor en las ecuaciones (2) y (3) descritas antes.

5.3.2 FLOCULADOR HIDRÁULICO (PLACAS PARALELAS)

▲ **Análisis de la Prueba de Jarras:** Estos análisis se realizaron, según lo propuesto por Arboleda Valencia en el capítulo control de la coagulación-floculación. Se tomo como parámetro de eficiencia, la turbiedad residual que resultaba de cada ensayo. Mediante los ensayos se logro determinar los parámetros óptimos de operación (gradiente de velocidad y tiempo de retención), para el diseño de floculadores hidráulicos.

Estos ensayos únicamente fueron realizados con el fin de encontrar los parámetros óptimos de floculación que permitan el mejoramiento de la unidad. Se sabe que la floculación es deficiente y por lo tanto afecta la calidad del agua tratada si la mezcla es insuficiente tanto en tiempo como en agitación, si se presentan fallas durante la dispersión en la mezcla rápida, y si ocurren cortó circuito en los reactores⁷.

⁷ Teoría sobre Plantas de Tratamiento, Capítulo II

- **Determinación de la Dosis Óptima de Coagulante:** Se realizaron ensayos en el agitador de jarras, aplicando diferentes dosis de solución de coagulante al agua en concentraciones del 10%, para determinar la dosis que da mejores resultados en cuanto a turbiedad residual. Se realizaron los ensayos para turbiedades características que se presentaron en la época. Los resultados se pueden observar en el anexo A.

- **Calculo del Gradiente de Velocidad:** Debido a que no existía el manual de operación del agitador, se recurrió a la grafica (ver figura 19) propuesta en: (www.sulfoquimica.com.co). En esta página se encontró propuesta una grafica para jarras de 1 litro, que se ajusta a las condiciones del ensayo realizado, dado que en las demás bibliografías únicamente hay propuestas para jarras de 2 litros que son poco comunes en nuestro medio. El agitador de jarras que se utilizo no tenía deflectores, y se determinaron los siguientes parámetros:

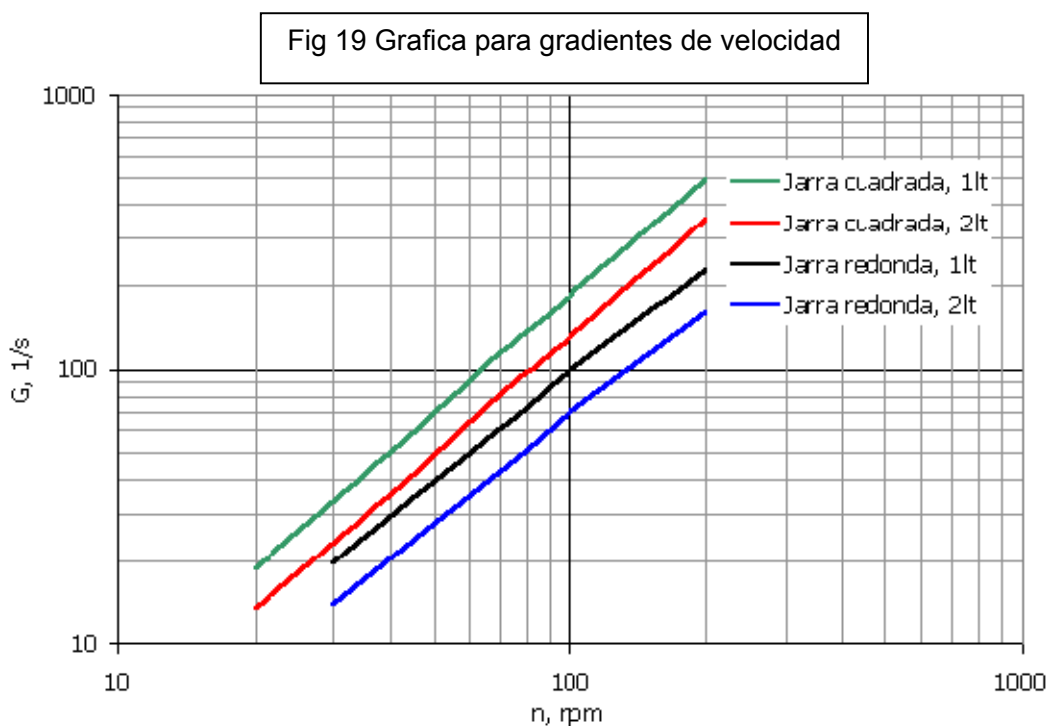


Tabla 14 Gradientes de velocidad, jarras de 1L

Velocidad de Agitación (R.P.M)	Gradiente de Velocidad (seg-1)
20	13
30	21
40	30
50	42

- **Determinación del Tiempo de Floculación:** El procedimiento se realiza, efectuando un ajuste a los datos analizados en las curvas de tiempo de floculación vs. Turbiedad residual (ver anexo A). La ecuación determinada, se deriva e iguala a cero para determinar el valor del tiempo óptimo de floculación, que da los mejores resultados de turbiedad residual; el procedimiento de cálculo se llevo a cabo mediante el método de mínimos cuadrados. Para cada ensayo realizado se determinaron los tiempos y se indican a continuación:

Tabla 15 Determinación del tiempo de floculación

	Turbiedad Agua Cruda				
	44	107	161	759	285
Gradiente	Tiempos Óptimos de Floculación				
13	22	16	18	25	21
21	22	20	18	25	19
30	15	15	15	25	20
42	23	19	19	22	19
Promedio	20	18	18	24	20

De los resultados anteriores se determino que el tiempo óptimo de floculación debe ser de 20 minutos. Se observa en la tabla 15, una amplia variación del tiempo respecto a cada gradiente de agitación en los correspondientes ensayos,

mientras que para un mismo ensayo los tiempos tienden a ser muy similares a pesar de los distintos gradientes.

La necesidad de más agitación en algunos casos, junto con mayor intensidad de agitación en otros son los factores que predominan en el resultado de alcanzar una buena turbiedad residual.

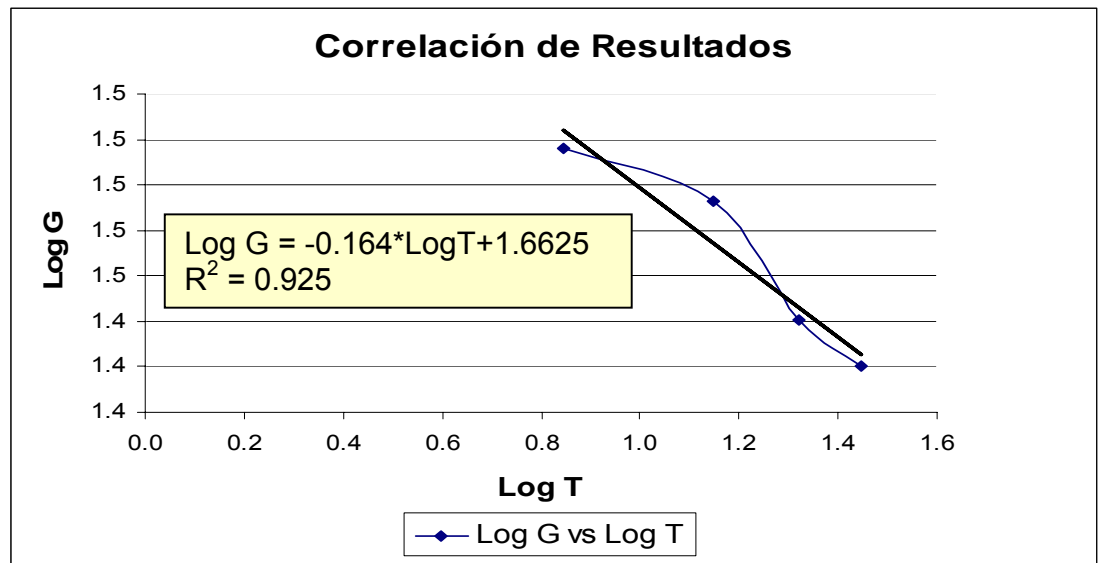
- **Determinación del Gradiente Óptimo:** Se realizaron las graficas de gradiente de Velocidad vs. Tiempo de floculación, de las cuales se determinaron sus respectivas ecuaciones, y se hallaron, los gradientes óptimos que para cada tiempo dieron la menor turbiedad residual.

Los gradientes óptimos determinados para cada uno de los tiempos de floculación propuestos, se reseñan en la tabla siguiente:

Tabla 16 Determinación del gradiente óptimo

	Tiempo de Floculación (min)			
	7	14	21	28
Ensayo	Gradiente (seg-1)			
1	37.6	35.7	36.7	35.9
2	30	32.7	24	32.7
3	40	35.4	32	22
4	30.5	31.5	20	20
5	24.6	20.6	25.3	21
Promedio	32.8	31.1	27.6	26.3

Fig. 20 Correlación de Log G vs. Log T



Se puede apreciar en las graficas (ver anexo A) y en la tabla 16, que en los ensayos efectuados el gradiente óptimo de agitación vario considerablemente en los tiempos en que se dividió la prueba. Estos resultados permiten visualizar que se pueden alcanzar excelentes resultados de calidad de agua en la unidad de floculación, mientras que esta opere con los parámetros hidráulicos óptimos.

Para la correlación de resultados, se grafico los logaritmos del gradiente y del tiempo de floculación. Para encontrar la ecuación de la recta a estos puntos, se aplica la teoría de los mínimos cuadrados.

La ecuación para la regresión lineal, se debe transformar mediante antilogaritmos a la forma $G^n \cdot T = K$. Encontrando los antilogaritmos, la ecuación:

$$G = (1.37e10/ T)^{0.164} \quad (\text{ecuación 1})$$

Tabla 17 Datos de correlación de Log G y Log T

G (seg-1)	T (min)	Log G	Log T
32.8	7	1.56389	0.8451
31.1	14	1.52892	1.1461
27.6	21	1.49136	1.3222
26.3	28	1.47276	1.4472

G: Gradiente de velocidad en (seg.-1)

T: Tiempo de retención en minutos

Para el nuevo floculador se proyectan 3 cámaras, con un tiempo de retención total de 20 minutos determinado anteriormente. Se encontraron los gradientes mediante la ecuación 1, para los tiempos propuestos para cada cámara.

Tabla 18 Gradientes a partir de la ecuación 1

Gradiente (seg-1)	Tiempo (min.)
34.3	6
30.2	13
28.1	20

Se adoptan los siguientes gradientes para el diseño de la unidad en función a los expuestos anteriormente. Cada cámara tiene las siguientes características:

Tabla 19 Gradientes de diseño para el floculador

Cámara	G (seg-1)	Tiempo (min.)
1	40	6
2	30	7
3	22	7

- **Diseño:**

Cámara 1

Caudal	28 (l/s)
Tiempo Floculación total	20 min.
Velocidad	0.14 (m/s)
Tiempo Floc x cámara	6 (min.)
Altura libre placa	1.1 (m)

1. Longitud de los canales: $L1 = 0.14 \cdot 6 \cdot 60 = 50.4 \text{ m}$

2. Secciones de los canales: $A1 = 0.028 / 0.14 = 0.2 \text{ (m}^2\text{)}$

Colocando placas de asbesto cemento de 1.22*2.44 y dejando borde libre de 0.1m, la profundidad útil del canal es 1.1m. Para esta primera cámara se cortaran las placas en 10 cm (1.22*2.35 m) por cuestión de espacio.

3. Espaciamiento: $a1 = 0.2 / 1.1 = 0.18 \text{ (m)}$

4. Distancia entre borde del tanque y el tabique: $S1 = a1 \cdot 1.5 = 0.18 \cdot 1.5 = 0.3 \text{ m}$

5. Ancho del tanque: $l1 = 2.35 + 0.3 = \mathbf{2.65 \text{ m}}$

6. numero de tabiques: $N1 = 50.4 / 2.65 = 19$

7. Longitud del tanque: $C1 = 19 \cdot 0.18 = 3.4 \text{ m}$

Incluyendo (8 m.m) del espesor por tabique mas un canal adicional en la parte final del tanque

$$Lt1 = 3.4 + 19 \cdot 0.008 = 3.5m$$

A continuación se presenta los cálculos de diseño y dimensionamiento, realizados para las demás cámaras:

Tabla 20 Dimensiones del floculador

Características	Cámaras		
	1	2	3
Caudal (l/s)	28	28	28
Tiempo de Floc. (min)	6	7	7
Velocidad (m/s)	0.14	0.12	0.1
Altura libre de placa	1.1	1.1	1.1
Longitud canales (L1)	50.4	50.4	42
Sección canales (A1)	0.2	0.23	0.28
Espaciamiento (a1)	0.18	0.21	0.25
Ancho tanque (l1)	2.6	2.72	2.78
Numero tabiques (N)	19	19	15
Longitud tanque (C1)	3.4	3.9	3.8
Longitud total tanque (Lt1)	3.5	4	3.9

Tabla 21 Características hidráulicas del floculador

Cuadro de Perdidas			
Viscosidad absoluta a 20°C = 0.01 gr/cm*s	Cámaras		
	1	2	3
Velocidad (cm/s)	14	12	10
$H_2 = (3 \cdot N \cdot v^2) / 2 \cdot g$ (cm)	5.7	4.1	2.3
Área (m2)	0.2	0.23	0.28
Perímetro (m)	2.38	2.41	2.45
$R^{2/3}$ (m)	0.192	0.211	0.235

Pendiente (S)	7.67e-5	5.47e-5	3.05e-5
S*L = h1 (cm)	0.39	0.28	0.13
Ht= h2+h1 (cm)	6.04	4.36	2.44
Potencia	1.68e-2	1.04e-2	5.82e-3
Gradiente (seg-1)	40.6	31.9	23.9

H1: Perdidas en los tramos rectos

H2: Perdidas en las curvas

Ht: Perdidas totales en cada cámara

5.3.3 SEDIMENTADOR DE ALTA RATA

▲ Diseño:

Las placas se cortaran por la mitad (2.44*0.61 m), por cuestión de espacio y se colocaran separadores en los extremos y parte central para evitar el pandeo.

◆ Dimensionamiento de la Unidad

- Caudal por Modulo: 28 l/s = 2419.2 m³/día
- Carga superficial neta: 180 m³/m²/día
- Viscosidad cinemática (ν) a 20 °C : 1.01e-6 m²/s
- Espesor de la placa: 8 m.m.
- Espaciamiento entre placas (e): 0.03 m
- Velocidad entre placas (V_o) = $\frac{180}{\text{sen}60^\circ} = 207.8$ m/día
- Numero de reynolds (Nr) = $\frac{2*V_o*e}{\mu} = \frac{2*207.8*0.03}{1.01e-6*86400} = 143$

- Relación útil (Lu) = $\frac{L}{e} - 0.013 \cdot Nr = \frac{0.61}{0.03} - 0.013 \cdot 143 = 18.5$
- Velocidad crítica (Vsc) = $\frac{V_0}{(\text{sen}\theta + Lu \cdot \text{cos}\theta)} = 20.5 \text{ m/día}$
- Área total zona de placas = $\frac{2419.2 \cdot (1 + \frac{0.008}{0.03})}{178} = 17 \text{ m}^2$
- N° unidades: 1
- Área por unidad: 17 m²
- N° de compartimientos por decantador: 1
- N° hileras de placas por compartimiento: 1
- Ancho por compartimiento 2.44m
- Anchor por unidad: 2.44+ 0.31+0.25 = 3 m
- Longitud útil zona de placas: $\frac{17}{2.44} = 6.95 \text{ m}$
- N° espacios entre placas: $\frac{6.95 \cdot \text{sen}60}{0.03+0.008} = 159$
- Numero de placas por sector: 158

Contabilizando 0.25 m de espesor de muros mas 0.6 m de espacio libre para entrada al tanque.

Longitud total decantador: $6.95+2 \cdot 0.25+0.15+2 \cdot 0.6 = 8.3 \text{ m}$

La profundidad del decantador se distribuye de la siguiente manera:

Borde libre	0.2 m
Altura de agua sobre placas	0.4 m
Espacio vertical ocupado por las placas	0.61 m
Espacio libre por debajo de placas	0.55 m
Altura para tolva de lodos	<u>0.85 m</u>
Profundidad total libre	2.61 m

◆ **Sistema de Admisión de Agua Floculada:** Consiste en tubos colocados justo debajo de las placas, con orificios a través de toda su longitud, para distribuir uniformemente el flujo en la unidad.

1. Ducto de Distribución:

Se proyectan dos ductos en tubo de PVC de diámetro de 12" (0.305 m) para evitar el rompimiento del floc, con gradiente inferior al de la última cámara de floculación.

- Longitud de los ductos de distribución: 7.2 m.
- Caudal para cada ducto aproximadamente: 0.014 l/s
- Área del ducto: $\frac{\pi \cdot 0.305^2}{4} = 0.073 \text{ m}^2$
- Velocidad media de entrada: $0.014/0.073 = 0.192 \text{ m/s}$
- Gradiente de velocidad: $G = (f \cdot v^3 / (8 \cdot R_h \cdot \nu))^{0.5}$ donde:

G = Gradiente de velocidad en seg^{-1}

f : Coeficiente de fricción de la formula de Darcy-Weissbach

v : Velocidad en m/s.

R_h : Radio hidráulico = $0.3048/4 = 0.0762$

ν : viscosidad cinemática a 20 °C = $1.01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$G = (0.03 \cdot 0.192 / (8 \cdot 0.0762 \cdot 1.01 \cdot 10^{-6}))^{0.5} = 18.55 \text{ seg}^{-1}$

- En los ductos se instalaran válvulas de fondo de 12" (0.3 m) de diámetro.

2. Orificios de Distribución (por ducto):

- Se proyectaron 20 orificios de 4" (0.1 m) de diámetro cada 0.3 m entre centros.
- Area total de orificios: $20 \cdot \frac{\pi \cdot 0.101^2}{4} = 0.1621 \text{ m}^2$

- Velocidad media de paso por ducto: $\frac{0.014}{0.1621} = 0.0863$ m/s

- Gradiente de velocidad: $G = (f \cdot v^3 / (8 \cdot R_h \cdot \nu))^{0.5}$ donde:

G = Gradiente de velocidad en seg^{-1}

f: Coeficiente de fricción de la formula de Darcy-Weissbach

v: Velocidad en m/s.

Rh: Radio hidráulico = $0.101/4 = 0.0254$

ν : viscosidad cinemática a 20 °C = $1.01 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

$$G = (0.03 \cdot 0.0863 / (8 \cdot 0.0254 \cdot 1.01 \cdot 10^{-6}))^{0.5} = 9.7 \text{ seg}^{-1}$$

◆ **Sistema de Recolección y Descarga de Lodos:** Se proyecto una zona de lodos longitudinal al tanque sedimentador. El múltiple consta de un tubo longitudinal con extracción de lodos por el centro de este, para lograr que todos los orificios extraigan la misma cantidad de agua.

- Longitud total del múltiple: 6.6 m divididos en tramos de 3.3 m.
- Relación (R) inicial: 0.42
- Velocidad mínima de arrastre (v_a): 0.01 m/s
- Altura de columna de agua (h): 2.61 m
- Numero de orificios (n): 5
- Diámetro del múltiple (D) 6" (0.152 m).
- Diámetro del Orificio (d): $d = D \cdot (R/n)^{0.5}$

$$d = 0.152 \cdot (0.42/5)^{0.5} = 0.0442, \text{ se escoge un diámetro de } 0.04445 \text{ m (1 3/4")}$$

- Distancia horizontal (X) del fondo de la tolva de lodos:

$$X = 1.162 \cdot d \cdot (h^{0.5} / v_a)^{0.5}$$

$$X = 1.162 \cdot 0.04445 \cdot (4.3^{0.5} / 0.01)^{0.5} = 0.65 \text{ m}$$

◆ **Sistema de Recolección de Agua Sedimentada:** Se proyectan 6 tubos de PVC, espaciados cada 1.1 m centro a centro y con orificios de recolección laterales, con el fin de obtener mejores resultados.

- Caudal por Hilera de Tubo: $Q = 0.028/6 = 0.0047 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diámetro del tubo: $d = 1.25 \cdot Q^{0.4}$
 $d = 1.25 \cdot 0.0047^{0.4} = 14.64 \text{ cm (6")}$

Se proyectan 12 orificios por cada cara del tubo para un total de 24. Cada orificio tendrá una carga sobre este de 3 cm, por tanto el diámetro de cada agujero será de 2" espaciados cada 20 cm, centro a centro.

5.3.4 VOLUMEN TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Se verificara pese a la falta de información, la capacidad de los tanques existentes, para regular el consumo que se presentara por la población futura.

Se tendrá en cuenta para el análisis, que el almacenamiento no debe ser un alto porcentaje del caudal medio diario, puesto que la planta trabaja durante todo el día para poder suplir las variaciones de nivel de los tanques.

▲ **Capacidad de Regulación:**

El tanque debe tener capacidad de compensar las variaciones entre el caudal de entrada a la planta de tratamiento y el caudal de consumo en cada instante.

Como no existe información de la variación del consumo que permita hacer el análisis para la proyección de la capacidad de almacenamiento, hay que adoptar un porcentaje de la producción diaria para almacenamiento.

Se adopto con previa determinación debido a falta de información y a que el almacenamiento en una planta características de funcionamiento constante, es relativamente bajo, se toma como porcentaje de almacenamiento un 30% del caudal medio diario proyectado (28 l/s). Cabe resaltar que esta medida se revoca, en cuanto no funcione el sistema, pero se debe tener presente que si se requiere una ampliación a los tanque, esta no va ha ser de gran magnitud.

Volumen de almacenamiento (V) = $0.3 \cdot QMD \cdot 86.4$

$$V = 0.3 \cdot 28 \cdot 86.4 = \mathbf{725 \text{ m}^3}$$

Esto quiere decir que el almacenamiento actual, aun es suficiente para regular las fluctuaciones por consumo horario, indicando que no se debe realizar ninguna obra de ampliación de la capacidad de almacenamiento en la planta. Hay que observar también que a la planta llega caudal durante todo el día, por tanto esta condición hace que el almacenamiento se reduzca puesto que se esta produciendo agua durante las 24 horas, lo que permite recuperar el nivel de los tanque en los horarios de bajo consumo.

5.4 DISEÑO ESTRUCTURAS DE CONCRETO

En la suposición de diseño, se idealizan los muros del tanque como si estuvieran en voladizo, condición más desfavorable. Se proyecta una zarpa para apoyo y estabilidad del muro, al no tener un anclaje por la parte inferior.

◆ **Factores de Carga:**

D: Carga Muerta

L: Carga Viva

H: Carga debida a la presión lateral.

H: se considera carga viva sobre la cara del muro y se aplica el factor de 1.7.

5.4.2 Muro Uno y Dos (condición crítica el empuje del agua)

◆ **Diseño Preliminar:**

$$\text{Empuje activo del agua: } E_a = \frac{\gamma \cdot K_a \cdot H^2}{2}$$

$$\gamma = 10 \text{ Kn/m}^3$$

$$K_a = 1$$

$$H = 2.2 \text{ m}$$

$$E_a = \frac{10 \cdot 1 \cdot 2.2^2}{2} = 24.2 \text{ Kn/m}$$

Ubicación del empuje sobre la cara del muro:

$$h = 2.2/3 = 0.73 \text{ m}$$

Dimensionamiento del espesor del vástago del muro, para una longitud unitario de muro de $b = 100 \text{ cm}$:

$$M_u = 1.7 \cdot 24.2 \cdot 0.73 = 30 \text{ Kn} \cdot \text{m/m}$$

$$\rho_{\max} = 0.016$$

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi}$$

$$\Phi = 0.9$$

$$\rho_{\min} = 0.0018$$

$$\Phi$$

$$M_n = 30/0.9 = 33.34 \text{ Kn} \cdot \text{m/m}$$

$$\rho = \frac{1}{m} (1 - (1 - 2 * m * K))^{0.5}$$

$$m = \frac{F_y}{0.85 * f_c}$$

Tomando un $\rho = 0.002$ tenemos:

$$K = 0.082 = \frac{M_n}{B * d^2}$$

$$d = 20 \text{ cm.}$$

Colocando un recubrimiento en la parte externa del muro de 5 cm., el espesor del vástago queda en total de 25 cm.

◆ Cortante a una Distancia (d) por Encima de la Base del Muro:

$$d = 20 \text{ cm.}$$

$$h \text{ (columna de agua)} = 2.0 \text{ m.}$$

$$E_a = \frac{1 * 10 * 1 * 2^2}{2} = 20 \text{ Kn*m/m}$$

$$V_u = 1.7 * E_a * b = 1.7 * 20 * 1 = 34 \text{ Kn}$$

$$V_c = \frac{(21)^{0.5} * 1 * d * b}{6 * 10} = 152.75 \text{ Kn}$$

$$V_u / 0.85 = 40 < V_c \text{ Ok.}$$

◆ Espesor de la Base del Muro:

Longitud de la base del muro: 2/3 (long. Vástago) = 1.5 m. Se adopta 1.15 m.

Longitud zarpa posterior: 0.6 m.

$$W \text{ agua} = 10 * 2.2 * 0.6 = 13.2 \text{ Kn/m}$$

$$W \text{ zarpa} = 10\% W. \text{ agua} = 1.32 \text{ Kn/m}$$

Carga que debe resistir la zarpa: $W = 14.52$

$$M = \frac{W * L^2}{2} = \frac{14.52 * 0.6^2}{2} = 2.61 \text{ Kn*m}$$

$$M_u = 1.4 * 2.61 = 3.66 \text{ Kn*m}$$

Para una cuantía mínima de 0.0018:

$$K = 0.074 = \frac{M_u}{0.9 * b * d^2}$$

$$d = 7.5 \text{ cm.}$$

Espesor de la base del muro de $h = 30$ cm., que incluyen recubrimiento.

◆ **Cortante en la Zarpa a (d) del Borde del Vástago**

$$d = 23 \text{ cm.} \quad V_u = 14.52 \cdot 0.23 = 3.34 \text{ Kn.}$$

$$V_u / 0.85 = 3.93 \text{ Kn.}$$

$$V_c = \frac{(21)^{0.5} \cdot 1 \cdot 100 \cdot 23}{60} = 175.66 \text{ Kn} \quad V_u / \Phi < V_c \text{ Ok.}$$

◆ **Análisis de Estabilidad**

1. Por Deslizamiento

$$F.S = \frac{\sum F. \text{ Resistentes}}{\sum F. \text{ Actuantes}} > 1.5$$

2. Por Volcamiento

$$F.S = \frac{\sum M. \text{ Resistentes}}{\sum M. \text{ Actuantes}} > 3$$

a. Fuerzas Desestabilizantes:

$$E_a = 24.2 \text{ Kn/m}$$

b. Fuerzas Estabilizantes:

$$W_1 = 0.6 \cdot 0.4 \cdot 24 \text{ Kn/m}^3 \quad 5.76$$

$$W_2 = 0.25 \cdot 2.8 \cdot 24 \quad 16.2$$

$$W_3 = 0.3 \cdot 0.4 \cdot 24 \quad 2.16$$

$$W_4 = 0.6 \cdot 2.2 \cdot 10 \text{ Kn/m}^3 \quad \underline{13.2}$$

$$\Sigma = 37.32 \text{ Kn/m}$$

El ángulo de fricción entre la base del muro y la superficie de cimentación se considero de 45°, debido a que el muro se cimentara sobre una placa de concreto existente, mejorando la transmisión de fuerzas resistentes con respecto a las actuantes.

c. Momentos Resistentes:

M1 = 5.76*0.85	4.9
M2 = 16.2*0.43	6.97
M3 = 2.16*0.15	0.32
M4 = 13.2*0.85	<u>11.22</u>
	$\Sigma = 23.41 \text{ Kn*m/m}$

Factor de Seguridad al Desplazamiento:

$$F.S = \frac{37.32}{24.2} = 1.54 > 1.5 \quad \text{Ok.}$$

Debido a que cada muro del tanque queda confinado entre si, no se analiza el volcamiento por no ser un estado crítico de este.

◆ **Diseño del Vástago:**

Tomando la altura de agua de 2.2 m obtenemos los siguientes resultados para el diseño:

$$Ea = 24.2 \text{ Kn/m} \qquad y = 0.73 \text{ m}$$

$$Mu = 1.7 * 24.2 * 0.73 = 30 \text{ Kn*m/m}$$

$$Mn = Mu / 0.9 = 33.37 \text{ Kn*m/m}$$

$$K = 3337 / (100 * 20) = 0.0834$$

$$\rho = 0.002 > \rho_{\text{min.}}$$

$$As = 0.002 * 20 * 100 = 4.07 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

3 # 5 cada 45 cm.

◆ **Diseño de la Zarpa Posterior:**

$$W = 0.6 \cdot 2.2 \cdot 10 + 0.6 \cdot 0.4 \cdot 24 = 18.96$$

$$M_u = 1.4 \cdot 18.96 \cdot 0.6^2 / 2 = 4.78 \text{ Kn/m}$$

$$K = 0.000048$$

$$\rho < \rho_{\min}$$

$$A_s = 0.0018 \cdot 100 \cdot 33 = 5.94 \text{ cm}^2/\text{m} \quad 4 \# 5 \text{ cada } 30 \text{ cm.}$$

◆ **Refuerzo Vertical:**

Se llevara el refuerzo hasta el punto en donde se requiera, más la longitud de desarrollo de la barra, analizando los momentos flectores producidos por el empuje del agua.

$$A_s = 4.07 \text{ cm}^2/\text{m} \quad 3 \# 5 \text{ cada } 45 \text{ cm.}$$

Longitud de desarrollo de la barra # 5 = 47 cm.

Terminación en gancho estándar con longitud mínima de 20cm.

Se debe colocar del 50% al 66% del refuerzo vertical requerido para la cara externa del muro.

$$A_{s \text{ ext}} = 0.66 \cdot 4.07 = 2.68 \text{ cm}^2/\text{m} \quad 3 \# 4 \text{ cada } 45 \text{ cm.}$$

◆ **Refuerzo por Temperatura y Retracción del Fraguado:**

$$\rho = 0.0012$$

$$A_s = 0.0012 \cdot 100 \cdot 20 = 2.4 \text{ cm}^2/\text{m} \quad 4 \# 3 \text{ cada } 30 \text{ cm.}$$

El refuerzo por temperatura debe colocarse en la cara externa del muro.

◆ **Refuerzo Horizontal**

1. Vástago:

$$\rho = 0.002$$

$$A_s = 0.002 \cdot 100 \cdot 20 = 4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

4 # 4

As externa =

2 # 4 cada 35 cm.

As interna =

2 # 4 cada 35 cm.

2. Cimiento:

$$\rho = 0.0018$$

$$A_s = 0.0018 \cdot 115 \cdot 33 = 6.83 \text{ cm}^2$$

6 # 4 cada 20 cm.

5.4.2 Muro Tres (condición desfavorable el empuje del relleno y agua)

◆ **Diseño Preliminar:**

Se considera para el diseño el empuje del relleno y del agua.

$$E_a = \text{Empuje activo del agua: } E_a = \frac{\gamma \cdot K_a \cdot H^2}{2}$$

$$\gamma = 10 \text{ Kn/m}^3$$

$$K_a = 1$$

$$H = 1.1 \text{ m}$$

$$E_a = \frac{10 \cdot 1 \cdot 1.1^2}{2} = 6.05 \text{ Kn/m}$$

$$\text{Ubicación del empuje (y}_1) = 1.1/3 + 1.4 = 1.75 \text{ m}$$

Considerando la situación más desfavorable de que el suelo detrás del muro tenga un ángulo de fricción $\Phi = 0$, entonces el empuje será:

$$\text{Empuje activo de tierra: } E_a = \frac{\gamma \cdot K_a \cdot H^2}{2}$$

$$\gamma = 18 \text{ Kn/m}^3$$

$$\Phi = 0^\circ$$

$$K_a = 1$$

$$H = 1.4 \text{ m}$$

$$E_a = \frac{18 \cdot 1 \cdot 1.4^2}{2} = 17.64 \text{ Kn/m}$$

$$\text{Ubicación del empuje (y}_2) = 1.4/3 = 0.45 \text{ m}$$

$$M_u = 1.7 \cdot (6.05 \cdot 1.75 + 17.64 \cdot 0.45) = 31.5 \text{ Kn} \cdot \text{m/m}$$

$$M_n = M_u/0.9 = 35 \text{ Kn} \cdot \text{m/m}$$

Asumiendo una cuantía mínima $\rho = 0.002$

$$K = 0.082 = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \quad d = 20 \text{ cm}$$

Se asume un espesor de vástago del muro de 25 cm, con un recubrimiento mínimo de 5 cm.

◆ Cortante en la parte Inferior del Vástago:

$$d = 20 \text{ cm} \quad h(\text{columna de agua y suelo}) = 1.1 + 1.2 = 2.3 \text{ m}$$

$$E_{at} = 6.05 + \frac{1 \cdot 18 \cdot 1.2^2}{2} = 19 \text{ Kn/m}$$

$$V_u = 1.7 \cdot 19 \cdot 1 = 32.32 \text{ Kn}$$

$$V_n = V_u/0.85 = 38 \text{ Kn.}$$

$$V_c = \frac{(21)^{0.5} \cdot 1 \cdot 100 \cdot 17.5}{60} = 133.65 \text{ Kn} \quad V_u/\Phi < V_c \text{ Ok.}$$

◆ Espesor de la Base del Muro

Longitud de la base del muro: $2/3$ (long. Vástago) = 1.5 m. Se adopta 1.05 m.

Longitud zarpa posterior: 0.5 m.

$$W_{\text{agua}} = 10 \cdot 1.1 \cdot 0.5 = 5.5 \text{ Kn/m}$$

$$W_{\text{suelo}} = 18 \cdot 1.2 \cdot 0.5 = 10.8 \text{ Kn/m}$$

$$W \text{ zarpa} = 10\%(W. \text{ agua}+W. \text{ suelo}) = 1.63 \text{Kn/m}$$

$$\text{Carga que debe resistir la zarpa: } W = 17.93 \text{ Kn/m}$$

$$M = \frac{W \cdot L^2}{2} = \frac{17.93 \cdot 0.5^2}{2} = 2.24 \text{ Kn} \cdot \text{m} \qquad \qquad \qquad M_u = 1.4 \cdot 2.24 = 3.13 \text{ Kn} \cdot \text{m}$$

Para una cuantía mínima de 0.0018:

$$K = 0.074 = \frac{M_u}{0.9 \cdot b \cdot d^2} \qquad \qquad \qquad d = 9 \text{ cm.}$$

Se adopta un espesor de fondo de $h = 30 \text{ cm.}$, que incluye los 7 cm. de recubrimiento.

◆ **Cortante en la zarpa a (d) del borde del vástago:**

$$V_u = 21.52 \cdot 1 = 21.52 \text{ Kn}$$

$$V_u / 0.85 = 5.82 \text{ Kn}$$

$$V_c = \frac{(21)^{0.5} \cdot 1 \cdot 100 \cdot 23}{60} = 175.66 \text{ Kn}$$

$$V_u / \Phi < V_c \text{ Ok.}$$

◆ **Análisis de Estabilidad:**

a. Fuerzas Desestabilizantes:

$$E_a = 6.05 + 17.64 = 23.7 \text{ Kn/m}$$

b. Fuerzas Estabilizantes:

$$W_1 = 0.5 \cdot 0.4 \cdot 24 \text{ Kn/m}^3$$

$$4.8$$

$$W_2 = 0.25 \cdot 2.8 \cdot 24$$

$$16.2$$

$$W_3 = 0.3 \cdot 0.4 \cdot 24$$

$$2.16$$

$$W_4 = 0.5 \cdot 1.1 \cdot 10 + 0.5 \cdot 1.2 \cdot 18 \text{ Kn/m}^3$$

$$16.3$$

$$\Sigma = 39.46 \text{ Kn/m}$$

$$F.S = \frac{39.46}{23.7} = 1.66 > 1.5 \text{ Ok.}$$

◆ Diseño del Vástago

El vástago se diseña para dos cargas sobre la cara del muro que son las producidas por el agua y el relleno.

$$E_a (\text{agua}) = 6.05 \text{ Kn/m} \quad y_1 = 1.75 \text{ m}$$

$$E_a (\text{suelo}) = 17.64 \text{ Kn/m} \quad y_2 = 0.45 \text{ m}$$

$$M_u = (6.05 \cdot 1.75 + 17.64 \cdot 0.45) \cdot 1.7 = 31.5 \text{ Kn/m}$$

$$M_n = M_u / 0.9 = 35$$

$$K = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{3500}{100 \cdot 20^2} = 0.0875$$

$$\rho = 0.0021$$

$$A_s = 0.0021 \cdot 100 \cdot 20 = 4.27 \text{ cm}^2/\text{m} \quad 3 \# 5 \text{ cada } 45 \text{ cm.}$$

Se debe colocar del 50% al 66% del refuerzo vertical requerido para la cara externa del muro.

$$A_{s \text{ ext}} = 0.66 \cdot 4.27 = 2.82 \text{ cm}^2/\text{m} \quad 3 \# 4 \text{ cada } 45 \text{ cm.}$$

◆ Diseño de Zarpa:

$$W = 0.5 \cdot 1.1 \cdot 10 + 0.5 \cdot 1.4 \cdot 18 + 0.5 \cdot 0.4 \cdot 24 = 22.9 \text{ Kn/m}$$

$$M_u = 1.4 \cdot 22.9 \cdot 0.5^2 / 2 = 4.0 \text{ Kn/m}$$

$$K = 0.000048$$

$$\rho < \rho_{\text{min}}$$

$$A_s = 0.0018 \cdot 100 \cdot 33 = 5.94 \text{ cm}^2/\text{m} \quad 4 \# 5 \text{ cada } 30 \text{ cm.}$$

◆ **Refuerzo Vertical:**

$A_s = 4.07 \text{ cm}^2/\text{m}$ 3 # 5 cada 45 cm.

Longitud de desarrollo de la barra # 5 = 47 cm.

Terminación en gancho estándar con longitud mínima de 20cm.

◆ **Refuerzo por Temperatura y Retracción del Fraguado:**

$$\rho = 0.0012$$

$A_s = 0.0012 * 100 * 20 = 2.4 \text{ cm}^2/\text{m}$ 4 # 3 cada 30 cm.

El refuerzo por temperatura debe colocarse en la cara externa del muro.

◆ **Refuerzo Horizontal**

3. Vástago:

$$\rho = 0.002$$

$A_s = 0.002 * 100 * 20 = 4 \text{ cm}^2/\text{m}$ 6 # 3

As externa = 3 # 3 cada 35 cm.

As interna = 3 # 3 cada 35 cm.

4. Cimiento:

$$\rho = 0.0018$$

$A_s = 0.0018 * 115 * 33 = 6.83 \text{ cm}^2$ 6 # 4 cada 20 cm.

5.4.3 Viga de Confinamiento de Muros (Sedimentador):

Se idealizo la viga simplemente apoyada, con única carga, la de su propio peso y la cual debe anclarse a los muros laterales. Su situación crítica es cuando el tanque este vacío, además debido a la geometría de esta se analiza en dos secciones, para el acero de refuerzo en el centro del elemento y los apoyos es:

$$\begin{array}{lll} W1 = 2.52 \text{ Kn/m} & b = 15 \text{ cm.} & h = 70 \text{ cm} \\ W2 = 2.16 \text{ Kn/m} & b = 15 \text{ cm} & h = 60 \text{ cm.} \end{array}$$

$$M1 = \frac{2.52 \cdot 3.3^2}{2} = 13.72 \text{ Kn}^*\text{m} \quad \quad \quad Mu1 = 1.4 \cdot 13.72 = 19.21 \text{ Kn}^*\text{m}$$

$$K = 0.047 \quad \quad \quad \rho = 0.0011 < \rho_{\min} = 0.0033$$

$$As_{\min} = 0.0033 \cdot 15 \cdot 55 = 2.72 \text{ cm}^2 \quad \quad \quad 2 \# 5 \text{ en la parte central}$$

En los apoyos se coloca en $As_{\min} = 2.72 \text{ cm}^2$ (2 # 5).

$$M2 = \frac{2.16 \cdot 3.3^2}{2} = 11.76 \text{ Kn}^*\text{m} \quad \quad \quad Mu2 = 1.4 \cdot 11.76 = 16.46 \text{ Kn}^*\text{m}$$

$$K = 0.0602 \quad \quad \quad \rho = 0.0014 < \rho_{\min} = 0.0033$$

$$As_{\min} = 0.0033 \cdot 15 \cdot 45 = 2.23 \text{ cm}^2 \quad \quad \quad 2 \# 5 \text{ en el centro}$$

En los apoyos se coloca $As_{\min} = 2.23 \text{ cm}^2$ (2 # 5)

5.4.4 Canaleta de Recolección

La canal de recolección del agua sedimentada, se construirá junto con el muro según lo especificado en los planos. Se idealizo como una viga en voladizo, por metro de longitud de esta, con una pequeña carga de agua. Se toma como cuantía mínima $\rho = 0.0033$.

Se adopta un espesor de viga de 10 cm.

Carga de agua $h = 0.2 \text{ m}$

$$W = 0.2 \cdot 10 \cdot 1 + 0.1 \cdot 1 \cdot 24 = 4.4 \text{ Kn/m}$$

$$M = 4.4 \cdot 0.3^2 / 2 = 0.2 \text{ Kn} \cdot \text{m}$$

$$Mu = 1.4 \cdot 0.2 = 0.28 \text{ Kn} \cdot \text{m}$$

$$K = \frac{28}{100 \cdot 6^2} = 0.0077$$

$$\rho = 0.00018 < \rho \text{ min}$$

$$As \text{ min} = 0.0033 \cdot 100 \cdot 6 = 1.98 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$3 \# 3 \text{ cada } 45 \text{ cm.}$$

5.4.5 Piso de Fondo Sedimentador

Se idealiza como una viga simplemente apoyada sobre la longitud mas corta (L=0.4m). Se asume un espesor de placa de 15 cm., y recubrimiento de 7 cm. La cuantía mínima para trabajar será la que sugieren para vigas $\rho = 0.0033$.

$$W = 2.3 \cdot 10 \cdot 1 + 0.15 \cdot 24 \cdot 1 = 26.6 \text{ Kn/m}$$

$$M = 26.6 \cdot 0.4^2 / 8 = 0.53 \text{ Kn} \cdot \text{m}$$

$$Mu = 1.4 \cdot 0.53 = 0.74 \text{ Kn} \cdot \text{m}$$

$$K = \frac{74.2}{100 \cdot 8^2} = 0.0116$$

$$\rho = 0.0002 < \rho \text{ min}$$

$$As \text{ min} = 0.0033 \cdot 100 \cdot 8 = 2.64 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$3 \# 4 \text{ cada } 45 \text{ cm.}$$

En el sentido perpendicular al refuerzo principal se coloca refuerzo por temperatura con $\rho = 0.0018$.

$$As \text{ min} = 0.0018 \cdot 100 \cdot 8 = 1.44 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$3 \# 3 \text{ cada } 45 \text{ cm.}$$

5.4.6 Piso Floculador

El piso se idealizo como una viga simplemente apoyada, tomando como luz, la longitud mas corta (3.3 m.) y teniendo en cuenta el recubrimiento de 7 cm. porque

el concreto se debe vaciar sobre tierra. La cuantía mínima será la misma que para vigas con el fin de estar del lado de la seguridad $\rho = 0.0033$.

◆ **Diseño:**

Todo el análisis se hace por metro de losa.

Altura de agua: 1.1 m.

Suponiendo un espesor de 15 cm., $d = 8$ cm.

$$W = 10 \cdot 1.1 \cdot 1 + 0.15 \cdot 24 \cdot 1 = 11.48 \text{ Kn*/m}$$

$$M = 11.48 \cdot 3.3^2 / 8 = 15.62 \text{ Kn*m}$$

$$Mu = 1.4 \cdot 15.62 = 21.88 \text{ Kn*m}$$

$$K = \frac{2188}{100 \cdot 8^2} = 0.3418$$

$$\rho = 0.0091 > \rho \text{ min}$$

$$As = 0.0091 \cdot 100 \cdot 8 = 7.28 \text{ cm}^2/\text{m} \quad 4 \# 5 \text{ cada } 30 \text{ cm.}$$

En el sentido perpendicular al refuerzo principal se coloca refuerzo por temperatura con $\rho = 0.0018$.

$$As \text{ min} = 0.0018 \cdot 100 \cdot 8 = 1.44 \text{ cm}^2/\text{m} \quad 3 \# 3 \text{ cada } 45 \text{ cm.}$$

◆ **Chequeo por Cortante**

$$V = \frac{11.48 \cdot 3.3}{2} = 18.94 \text{ Kn}$$

$$Vu = 1.4 \cdot 18.95 = 26.52 \text{ Kn}$$

$$Vu / 0.85 = 31.2 \text{ Kn}$$

$$Vc = \frac{(21)^{0.5} \cdot 1 \cdot 100 \cdot 8}{60} = 61.8 \text{ Kn}$$

$$Vu / \Phi < Vc \text{ Ok.}$$

6. APORTE TÉCNICO: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Elaboración del manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento del municipio de Puente Nacional.

Objetivos Específicos:

- Desarrollar la metodología de los ensayos que se deben realizar en cada unidad de tratamiento, y que cada operador de turno debe conocer, con el fin de realizar la respectiva operación correctamente y de resolver acertadamente los inconvenientes de funcionamiento que se presenten.
- Reseñar los procesos que se deben desarrollar a diario o con la frecuencia necesaria, para el control de la calidad del agua en cada unidad.
- Poner al tanto a cada uno de los operadores de la función que cumple cada proceso en el tratamiento del agua y la necesidad que se tiene de mantener la

operación en óptimas condiciones de funcionamiento, para producir agua con calidad continuidad y economía.

- Resaltar la importancia que tiene la ejecución de tareas de mantenimiento, con el fin de conservar las instalaciones y equipos necesarios para la realización de las operaciones diarias.

JUSTIFICACIÓN:

La implementación de un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento, permite llevarles a cada uno de los operadores, los procedimientos precisos que se deben ejecutar para cada intervención de operación o mantenimiento en los equipos o unidades de tratamiento.

La descripción de los diferentes procedimientos que se puedan presentar en la operación diaria, da seguridad al operador en la ejecución de las actividades puesto que este le sirve como consulta, además le permite visualizar los aspectos que marcan la obtención de una buena calidad del agua, junto con el conocimiento de la finalidad que tiene cada proceso de tratamiento y el control que se le debe realizar rutinariamente para que cada una de estas unidades, siempre funcione en las mejores condiciones de eficiencia y calidad.

El manual pone en conocimiento al operador, sobre aquellos equipos o instalaciones que son susceptibles de sufrir deterioro por mala operación. Con esta metodología lo que se busca es hacer controles rutinarios precisos, que permitan mantener siempre en funcionamiento constante las instalaciones de la planta y así reducir los costos por intervención de los equipos o paradas de planta.

PLAN DE TRABAJO:

Consta de identificar las posibles anomalías que se estén presentando en la operación diaria de la planta y que se deben corregir o mejorar, con el fin de optimizar los procesos de tratamiento y los controles de producción de agua.

- En primera instancia se busco identificar los controles que realiza diariamente el operador para mantener o mejorar la calidad del agua de la mano con la conservación o manejo que se le da a los equipos utilizados.
- Se hizo un recorrido por cada una de las unidades de la planta, desde la entrada de agua hasta la distribución a la red, también se reseñan las unidades pertenecientes a la aducción. Para cada una de las unidades se diagnostico lo concerniente a la finalidad del proceso al estado físico de las instalaciones o equipos asignados a esta con el fin de identificar anomalías que no permiten que se desarrolle correctamente la actividad específica.
- Con base a lo identificado en la etapa de diagnostico, se implementaron las actividades necesarias que debe desarrollar a diario cada operador en cada una de las unidades para corregir la operación y alcanzar el funcionamiento óptimo de la planta de tratamiento mediante la implementación de controles de calidad.

ALCANCE DEL PROYECTO:

Este proyecto permitirá de cierta forma capacitar a los operadores y ponerlos al tanto de las actividades necesarias que se deben realizar a diario o rutinariamente y la forma como se deben ejecutar, siempre con la finalidad de mejorar la calidad del agua producida.

MARCO TEORICO⁸

a. COAGULACIÓN:

Es el proceso más importante en el tratamiento del agua, mediante el cual al agregar productos químicos (coagulantes) se logra desestabilizar en fracciones de segundo las cargas eléctricas de las partículas que causan color y turbiedad; una vez desestabilizadas estas partículas se agrupan en flóculos. La coagulación es un proceso complejo que comprende una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad, el pH etc.

La coagulación se realiza en tanques o vertederos los cuales deben asegurar una mezcla homogénea, casi instantánea, entre coagulante y la masa de agua.

Factores que Influyen en la Coagulación:

- ▲ El tamaño y carga eléctrica de las partículas coloidales.
- ▲ EL coagulante
- ▲ El pH
- ▲ La alcalinidad del agua.
- ▲ La intensidad y el tiempo de mezcla.

⁸ Teoría y práctica de la purificación del agua, Tomo I y II
Teoría sobre plantas de tratamiento

Tamaño y Cargas Eléctricas de las Partículas Coloidales: Se conocen como partículas coloidales a aquellas partículas discretas, demasiado pequeñas, que pueden ser agregado de átomos, moléculas y que poseen propiedades características. El término coloide describe un sistema en el cual las partículas de tamaño relativamente pequeño (la fase dispersa) están diseminadas en un medio homogéneo (el medio dispersante); para nuestro caso el agua. Estas partículas se mantiene en suspensión debido a dos factores importantes: la repulsión que existe entre ellas debido a cargas electrostáticas y a la hidratación del coloide.

Todos los coloides tienen cargas eléctricas repartidas sobre su superficie, estas pueden ser positivas o negativas y variar en magnitud de acuerdo a la naturaleza y composición del coloide. Estas cargas establecen un campo electrostático que es el principal factor que determina la estabilidad del sistema coloidal.

Cuando dos coloides de igual carga eléctrica se aproxima el uno al otro, sus capas o nubes difusas interactúan repeliéndose entre sí. Entre más se aproximen mayor será la fuerza de repulsión, sin embargo si se acercan lo suficiente, tal que traspasen la barrera de repulsión y predominen las fuerzas tractivas (fuerzas de Van der Waals), ellas se agrupan.

Los coloides son desestabilizados, mediante la adición de reactivos químicos que anulan las fuerzas repulsivas (proceso de coagulación), logrando que se aglomeren formando partículas más grandes y densas (proceso de floculación), para removerlas del agua por efecto de la gravedad (proceso de sedimentación).

El Coagulante: Es una sustancia química, que al agregarse al agua, induce el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas mas grandes y pesadas.

El pH: Todas las reacciones entre el coagulante metálico y el agua están involucrados los iones de H^+ y OH^- , debido a ello, todas estas reacciones son dependientes del pH. Para cada coagulante hay un rango de pH en el cual se produce una buena coagulación en un corto tiempo y con una dosis optima de coagulante. Lo cual nos permite concluir que la concentración de iones hidrogeno (pH) de la mezcla final entre el agua y los iones de aluminio o hierro es de fundamental importancia en la formación del floculo.

Alcalinidad del Agua: Si la alcalinidad del agua es baja, la reacción química del coagulante en este caso el alumbre, no se realiza completamente y por tanto la coagulación será deficiente. La alcalinidad actúa como una solución amortiguadora de los cambios de pH, favoreciendo que el proceso de coagulación se realice efectivamente y evitando que el agua se torne corrosiva.

Intensidad y Tiempo de Mezcla: Las reacciones químicas entre el coagulante y el agua se llevan a cabo casi instantáneamente, razón por la cual se hace necesario realizar la mezcla lo más rápidamente posible para garantizar la completa desestabilización de los coloides mediante la hidrólisis del coagulante. El sitio de aplicación del coagulante debe ser donde se produzca la mayor turbulencia, de tal forma que se facilite el contacto casi instantáneo entre el coagulante y la masa de agua.

b. FLOCULACIÓN

Es un proceso semejante a la coagulación, pues ambos son acciones de mezcla, la diferencia esta en la intensidad de la agitación. La floculación es un fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores. Se lleva a cabo a gradientes de velocidad bajos ($10 < G < 100 \text{seg}^{-1}$) que permitan el movimiento lento de las partículas para que estas colisionen y se agrupen aumentando su tamaño y sedimenten mas rápido.

Las variables más importantes que influyen en la floculación y que pueden ser las más fácilmente controlables son:

Dosis de Coagulante: Fallas en la aplicación y dispersión de los coagulantes en el proceso de la mezcla rápida, deficiencias en la dosis del coagulante, utilización del coagulante no apropiado, son factores que afectan la calidad del agua tratada.

Intensidad de la Agitación: El gradiente de velocidad (G) esta limitado por el máximo esfuerzo cortante que puede resistir el floculo sin desintegrarse. A medida que transcurre el proceso de floculación el floculo va aumentando de tamaño.

Tiempo de Floculación: Debe ser suficiente para que la formación del floculo sea la mas adecuada.

c. SEDIMENTACIÓN

Se emplea para remover los sólidos con mayor densidad que el agua, que se encuentran en suspensión como las partículas floculadas. Las partículas a remover del agua son aquellas floculadas que cambian de tamaño, de forma y densidad a medida que van decantando, ya que la sedimentación de ellas es perturbada por la presencia de otras partículas que van sedimentando y que al encontrarse se aglomeran.

d. FILTRACIÓN

Tiene por finalidad remover las partículas y microorganismos objetables, presentes en el agua, que no han quedado retenidas en el proceso de sedimentación; consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso de material granular.

A medida que la filtración transcurre, aumenta la fuerza de cizallamiento sobre las partículas retenidas en la superficie del medio filtrante, estas se desprenden o rompen y son arrastrados, penetrando mas profundo dentro del lecho, hasta quedar removidas. La remoción en profundidad, depende de dos tipos de mecanismos: Primero se requiere de un mecanismo de transporte para aproximar las partículas, pequeñas presentes en el agua, hasta la superficie del lecho filtrante. Este mecanismo es afectado por fenómenos físicos como el tamaño del medio filtrante, la rata de filtración o velocidad del agua, la temperatura, la densidad y el tamaño de las partículas suspendidas. Segundo, cuando la partículas se aproximan a la superficie de los granos del medio filtrante o a los sólidos previamente depositados en ellos, se involucran interacciones electrostáticas, puente químico, que dependen de los coagulantes que se estén utilizando en el tratamiento y de las características químicas del agua y del lecho.

Durante la filtración, las partículas presentes en el agua quedan retenidas en los granos del medio filtrante. A medida que transcurre la filtración el lecho se ensucia por el material retenido y la velocidad del agua entre los poros va en aumento.

e. DESINFECCIÓN DEL AGUA

La desinfección del agua es un proceso físico y químico no biológico, para la destrucción de microorganismos patógenos hídricos, o sea aquellos que están presentes en el agua y que pueden causar enfermedades; ya que ninguna fuente puede considerarse enteramente segura para consumo humano a menos que este protegida adecuadamente por desinfección.

Un desinfectante del agua debe cumplir las siguientes condiciones:

1. Debe destruir los microorganismos patógenos causantes de enfermedades.
2. En las concentraciones requeridas, no debe ser tóxico al hombre, ni conferir sabor desagradable u objetable al agua.
3. Debe persistir en el agua desinfectada, con la concentración suficiente, para proporcionar protección residual razonable contra la posible recontaminación.

La concentración del desinfectante de acuerdo con su naturaleza, se determina por mediciones físicas o mediante análisis químicos, en tanto que su eficiencia desinfectante, se determina por la reducción de microorganismos indicadores (generalmente microorganismos coliformes) a valores que implican una seguridad estadísticamente aceptable contra una posible infección.

6.1 OPERACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

6.1.1 Conceptos:

- a) La operación constituye el conjunto de actividades y acciones que deben ser realizadas por el personal encargado de la misma, con el fin de conseguir que cada uno de los componentes del sistema de tratamiento y el sistema total trabaje cumpliendo adecuadamente la función para la cual fue establecido y produzca los resultados esperados dentro de los procesos.
- b) El sistema de tratamiento cumple la función de convertir agua cruda en agua potable, mediante la realización de procesos unitarios, adecuadamente planeados y controlados, efectuados a través de las instalaciones y equipos de la planta, con la intervención de recurso técnico y humano; obedeciendo a normas técnicas, controles y rendimientos específicos.
- c) La operación de la planta de tratamiento comprende tres grupos de actividades:
 1. Operación de Puesta en Marcha: Estas operaciones se ejecutan cuando la planta empieza a funcionar. Se repiten, aunque en forma más abreviada, cada vez que la planta sale de operación por labores de mantenimiento.

Las actividades que comprende la puesta en marcha de una planta son:

- Inspección Preliminar: Tiene por objeto evaluar el estado de las instalaciones y equipos antes de dar inicio (después de operaciones de mantenimiento a parada) al funcionamiento de la planta.

- Operaciones Iniciales: comprende las actividades que primeramente debe realizar el operador al iniciar su jornada como: análisis de calidad de agua en las respectivas unidades, ajuste de equipos (dosificador, clorador, válvulas o compuestas), a fin de mantener o mejorar la operación de la planta.
 - Llenado de Planta: comprende las actividades que se deben realizar cuando la planta sale de funcionamiento por lavado o mantenimiento. Esta operación se realiza en la frecuencia que estable el jefe de planta.
2. Operación Normal: Consta de desarrollar las actividades de operación, de las unidades y equipos necesarios, para tratar el caudal de diseño, produciendo agua con calidad, eficiencia y economía. En general la operación normal comprende cualquier actividad que no provoque la suspensión parcial o temporal de la planta.
 3. Operaciones Eventuales o de Común Ocurrencia: Este tipo de operación se produce como consecuencia de actividades de mantenimiento, daños menores, fallas de energía de corta duración y otras causas que impliquen una salida de operación total o parcial de la planta⁹.
- d) Los procedimientos son métodos de trabajo que indican, de manera ordenada y secuencial, la acción y modo de obrar. El fin es que los responsables por la operación dispongan de una guía para la ejecución y el control de las actividades a realizar diariamente para producción de agua de buena calidad, con eficiencia y economía.
- ▲ **Cuadro de Control de Operación:** en este cuadro se registra pH, cloro residual, turbiedad, alcalinidad, dosis de coagulante. El formulario de control se llena siguiendo el flujo de agua en la planta, tomando puntos la entrada el sedimentador y las respectivas salidas de los filtros.

⁹ www.cepis.ops-oms.org, Cap. 6

▲ **Libro de Control Diario:** en este libro (se puede utilizar el cuadro 8 o un cuaderno corriente) se consignan novedades o acontecimientos que no se registran en el cuadro de operación, pero que sirven de información al operador que recibe turno. Permite dar boletines de mantenimiento por daños que ocurran.

6.1.2 NORMAS

Las normas de calidad del agua son una prescripción legal de límites de contaminación, las cuales están establecidas por el ministerio de salud y son de obligatorio cumplimiento para el agua tratada en la planta.

a) Características Físicas

- Turbiedad: Máximo 5 UNT, ideal ≥ 2 UNT
- Color: Máximo 15 unidades platino-cobalto (UPC)

b) Características Químicas

- Alcalinidad Total: Máximo 100 mg/l
- pH: Entre 6.5 y 9 unidades
- Cloro Residual: Entre 0.2 y 1.0 mg/l

c) Características Bacteriológicas

- N.M.P Menor de 2.0

▲ **Laboratorio:** el laboratorio de la planta debe poseer los medios necesarios para controlar los procesos de tratamiento realizando las siguientes pruebas:

- Medición de la turbiedad

- Determinación del color
- Características de floculación (prueba de jarras)
- Demanda de cloro
- Concentración de cloro residual
- Determinación de pH
- Determinación de alcalinidad y dureza.
- Análisis microbiológicos

6.1.3 PROCEDIMIENTOS

Los procesos de tratamiento, que deben ser realizados en la planta con la finalidad de convertir el agua cruda en agua potable, serán desarrollados de acuerdo con los siguientes procedimientos:

- ▲ Control del funcionamiento del sistema de tratamiento
- ▲ Admisión de agua cruda
- ▲ Dosificación de coagulante
- ▲ Mezcla rápida
- ▲ Floculación
- ▲ Sedimentación
- ▲ Filtración rápida
- ▲ Desinfección (Cloración)
- ▲ Manejo de los tanques de distribución

- ▲ **Control del Funcionamiento Del Sistema De Tratamiento**

➤ **Finalidad:** el control de funcionamiento del sistema de tratamiento tiene por finalidad lograr que los procesos de tratamiento de agua y el funcionamiento de cada una de las partes del sistema, cumplan con la labor general de tratar el agua cruda para hacerla potable, con la calidad y condiciones de continuidad y costos establecidos para la operación de la planta de tratamiento.

➤ **Descripción:** el jefe de planta, quien debe dirigir y ser responsable de las actividades, tanto de operación como de mantenimiento y apoyo, que se realizan de acuerdo al plan de operación programado para que la planta funcione permanentemente con eficiencia y mínimo costo, en el tratamiento del volumen de agua necesario para satisfacer las necesidades de la población.

- El jefe de planta debe ejercer control, tomando como elementos informativos su propia percepción del funcionamiento de los procesos unitarios y de los resultados registrados en el cuadro de control de operación.
- Gestionar el suministro oportuno de las sustancias químicas y de otros materiales para la continua operación de la planta.
- Controlar y analizar las pérdidas de agua en cada unidad.
- Capacitar al personal (operadores) en las técnicas de tratamiento de agua, de conservación de las instalaciones, equipos y normas de seguridad.

El control se efectuara diariamente, o con la frecuencia conveniente para asegurar el adecuado funcionamiento del tratamiento, en relación a los siguientes aspectos:

✓ **Control de Operación**

- Abastecimiento de agua cruda y su correcta distribución a la planta

- Funcionamiento de las instalaciones y equipos de tratamiento y realización de los procesos de: Adición de coagulante, Mezcla rápida, Floculación, Sedimentación, Filtración, Desinfección.
- Eficiencia en la realización de cada uno de los procesos.
- Calidad del agua tratada que se envía a la red de distribución.
- Volumen de agua tratada durante el día.
- Registro de volumen de agua enviada a la red de distribución.
- Consumo de materiales químicos durante el día.
- Existencia de materiales químicos.

✓ **Control de Mantenimiento**

- Cumplimiento oportuno de las necesidades de mantenimiento preventivo establecidas en el programa respectivo.
- Existencia de elementos para desarrollar las actividades de mantenimiento preventivo (repuestos, herramienta etc).

✓ **Control de las Actividades de Apoyo**

- Suministro oportuno de materiales químicos
- Cuidado y protección de los materiales y equipos almacenados
- Cumplimiento de turnos de trabajo y asistencia de personal

▲ **Informes:** con base en el resultado de las inspecciones hechas al sistema de tratamiento, los registros de operación de tratamiento y de mantenimiento, se deben producir, para el jefe de planta, los siguientes informes:

➤ **Informe Semanal de Operación**

- Caudal medio de agua cruda que entra al día al sistema de tratamiento (l/s).
- Volumen diario y total de agua tratada (m³)
- Volumen diario y total de agua enviada a la red de distribución (m³).
- Cantidad de sulfato de aluminio y cloro gastado durante el día.
- Cantidad de energía eléctrica consumida cada día
- Acciones de mantenimiento ejecutadas.
- Observaciones sobre el funcionamiento de los sistemas de tratamiento.
- Lavado de las unidades de tratamiento.

➤ **Informe Mensual sobre Existencia de Insumos**

- Consumo y existencia de materiales químicos.
- Observaciones sobre la calidad de los materiales recibidos.
- Observaciones de inminente agotamiento de materiales.

⤴ **Admisión de Agua Cruda**

➤ **Finalidad:** dar entrada al caudal de agua cruda, necesario, que va a ser tratado en la planta para su potabilización.

➤ **Descripción:** el agua llega por las aducciones de la quebrada Agua Blanca y la de los arroyos Vivero y Flores. Hace su entrada sumergida, luego asciende por el tanque hasta alcanzar el canal rectangular de entrada.

➤ **Operación de Puesta en Marcha:**

1. Inspección Preliminar:

- Abastecimiento de agua por parte de las fuentes en forma continua y suficiente.
- Revisión de daños y funcionamiento en la válvula de entrada.
- Observar que la cresta y cuerpo del vertedero estén en buenas condiciones.
- Buen estado de funcionamiento y manejo de la aducción y accesorios instalados en ella como purgas y ventosas.
- Limpieza de la rejilla de la bocatoma y suficiente lamina de agua sobre esta, para que se capte el mayor caudal posible.
- Capacidad y eficiencia remocional de arenas en el sedimentador.

2. Operación de Iniciación

- Tomar la lectura correspondiente de la lámina de agua sobre el vertedero para determinar el caudal a tratar en la planta.
- Cotejar el resultado del caudal, con la curva de calibración y con el dato que se obtiene por medio de la ecuación de calibración.
- Determinación de los parámetros de pH, turbiedad, alcalinidad y color.
- Mirar que el cero de la regilla de medición, coincida con la cresta del vertedero.
- Verificar que la válvula de desagüe a la entrada este bien cerrada.

3. Llenado de Planta:

- Abrir lentamente la válvula de entrada y mantener durante un cierto tiempo el llenado con un 50% del caudal de trabajo, para evitar esfuerzos excesivos en las unidades posteriores que ocasionen daños.

En el caso de tener que suspender repentinamente la entrada de agua, se debe abrir la válvula de desagüe de entrada, que envía el flujo al arroyo las flores. De lo contrario, se debe dar aviso a la comunidad con anterioridad, el corte del servicio durante un lapso de tiempo (estimado por el jefe de planta). Por el tamaño de esta planta y la linealidad de los procesos, hacen que cualquier parada siempre sea general. El receso se hace muy esporádicamente, por alguna de estas causas:

- Cuando se efectúan labores de lavado, mantenimiento o alguna reparación en las unidades de tratamiento.
- Por suspensión de la energía eléctrica o daños en algún equipo.
- Daños en la conducción de agua cruda o en la red de distribución.
- Por imprevistos que debido a su gravedad conviene dar aviso a la comunidad.
- Por elevada turbiedad del agua cruda (> 900 UNT).

La parada de planta debe hacerse en lo posible en días de baja demanda (cuando son programadas) con el fin de causar las menores molestias a los consumidores.

➤ **Operación Normal:**

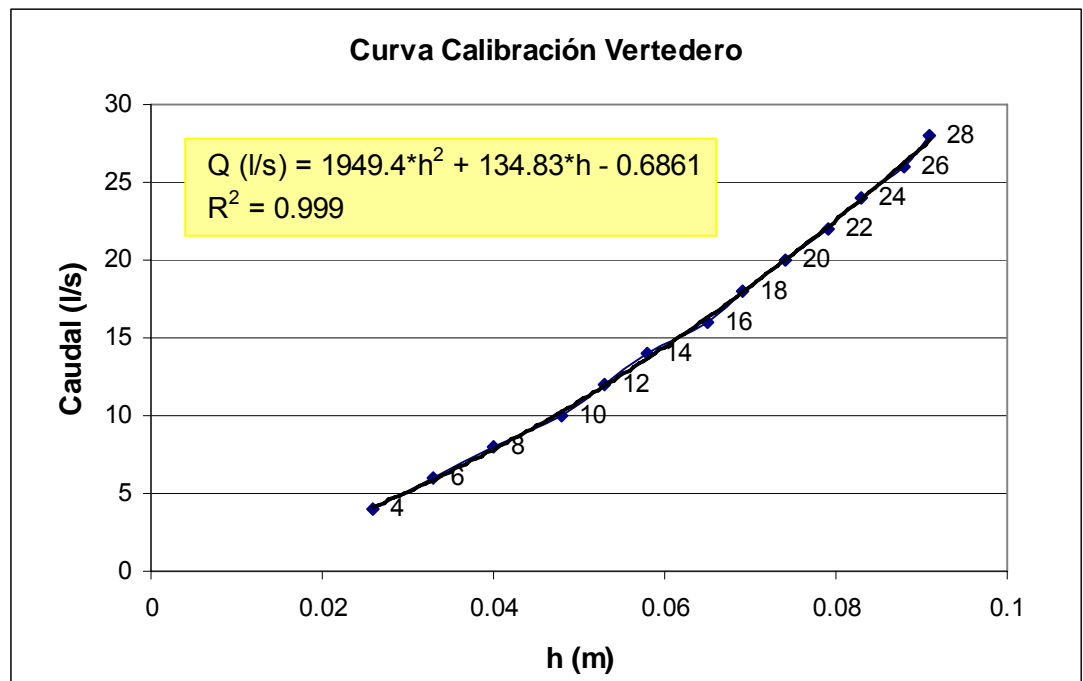
- Cada hora tomar la lectura de la lámina de agua sobre el vertedero y hallar el caudal de entrada, en la curva de calibración (Fig. 21); la altura (h) se mide (1 m) antes del vertedero. En el mismo instante, determinar las características fisicoquímicas del agua cruda. Anotar los datos en (anexo B cuadro 1).
- Revisar variaciones del caudal y cambios en las propiedades fisicoquímicas.

- Informar al jefe de planta sobre cualquier anomalía y registrarla, como información para mantenimiento.

➤ **Operaciones Eventuales o de Común Ocurrencia:**

- Disminución del caudal, por falta de operación de válvulas en la aducción.
- Suspensión total por mantenimiento de la aducción (previamente programado).
- Pequeña lamina de agua sobre la bocatoma

.Fig. 21 Curva de calibración del vertedero



➤ **Monitoreo**

Cada día el jefe de planta debe:

1. Comprobar las lecturas del operador en la hora de inspección.

2. Inspeccionar la correcta de admisión de agua y verificar su funcionamiento.
3. Atender las recomendaciones hechas por el recorridor de línea sobre la aducción y solicitar la corrección de las anomalías y daños presentados.
4. Programar actividades, según el informe reportado de daños

▲ **Dosificador de Coagulante**

➤ **Finalidad:** aplicar con continuidad, sulfato de aluminio en la dosis optima por litro de agua que entre a la planta para una optima coagulación-floculación.

➤ **Descripción:** con base en la información del caudal de entrada y la dosis óptima de coagulante para determinada turbiedad y características químicas obtenidas, mediante prueba de jarras, se determina la cantidad de gramos de coagulante a aplicar por minuto. (gr/min); y por medio de la curva de calibración del dosificador, previamente hecha, se encuentra la posición del tornillo sinfín que corresponde a la dosificación en (gr/min) requeridas.

➤ **Operación de Puesta en Marcha**

❖ **Inspección Preliminar:**

- Determinar que halla suficiente aprovisionamiento de sulfato de aluminio de buena calidad, para operar por lo menos durante el transcurso de un mes.
- Comprobar el estado de funcionamiento del equipo dosificador y de las líneas de aplicación de solución.

- Verificar la disponibilidad de agua, para formar la solución de coagulante.
- Suministro adecuado y continuo de energía eléctrica.
- Equipos en buenas condiciones para determinar la dosis óptima de coagulante (prueba de jarras) y las propiedades fisicoquímicas del agua.
- Observar que los orificios del tubo de aplicación de solución de coagulante (flauta) no se encuentren obstruidos.

❖ **Operación de Iniciación**

1. Ajustar la descarga del dosificador, según el caudal de entrada y la dosis a aplicar. Abrir la válvula de agua hasta la posición que me suministra el caudal necesario para formar la solución de coagulante con la concentración óptima.
2. Establecida la operación anterior, se da arranque al equipo dosificador.
3. Comprobar que halla coagulante en la tolva y que hay suficiente cantidad disponible para el consumo del día.
4. Limpiar del tanque de solución, todo el material de insolubles sedimentado y la espuma generada por las impurezas del coagulante.
5. Verificar que no hayan obstrucciones en la tubería que conduce la solución de coagulante hacia la mezcla rápida, ni en la tolva por formación de terrones.
6. Tener a la mano datos estadísticos con parámetros fisicoquímicos similares al agua de entrada, para dosificar mientras se realiza la prueba de jarras.
7. Verificar que la solución de coagulante, se aplique sobre el resalto hidráulico

❖ **Operación de Parada**

El proceso de dosificación puede suspenderse:

- Si no es necesario adicionar coagulante (turbiedad menor de 5 UNT).

- Cuando se hace receso de planta.

En este ultimo caso:

- a) Parar el dosificador
- b) Cerrara la entrada de agua al tanque de solución.
- c) Dejar completamente limpios los componentes del dosificador y la conducción.
- d) Informar al jefe de planta y registrar la parada.

➤ **Operación Normal**

- Registrar cada hora en el cuadro de operación la dosis de sulfato de aluminio aplicado, junto con el caudal y la turbiedad del agua a la entrada.
- Verificar que se disuelve correctamente toda la dosis de alumbre con el agua.
- Corregir la dosificación si hay cambios significativos en la calidad del agua, realizando nuevamente el inciso uno de operación de iniciación.
- Determinar la cantidad de sulfato de aluminio consumido durante las 24 horas.
- Remover con frecuencia, los residuos de coagulante (espuma o insolubles) que se forman en la cámara de solución durante el tiempo de operación. Esta espuma es producto de exceso de coagulante en la mezcla con el agua.
- Informar al jefe de planta sobre cualquier inconveniente y registrarla como actividad para mantenimiento.

❖ **Proceso**

1. Manejo del Sulfato de Aluminio:

- Diariamente, observar el estado del coagulante almacenado.

- Consumir el sulfato de aluminio de acuerdo al orden de llegada. Los sacos que llegan primero se deben gastar primero, a fin de evitar el endurecimiento o formación de terrones por la humedad.
- El operador debe protegerse del sulfato de aluminio con anteojos de protección y mascarar contra polvo.
- Acomodar los sacos sobre plataformas de madera para aislarlos del piso y no recargarlos a las paredes, para evitar que entre en contacto con la humedad.

2. Conducto de Solución

- Se debe mantener limpio después de que se suspenda la adición de solución de coagulante, dejando pasar agua limpia por uno pocos minutos.

3. Manejo de Datos Estadísticos

- Hacer uso de los datos históricos registrados, mediante tablas (ver anexo B cuadro 3) o gráficos, para el control de los procesos. Al comparar las propiedades similares del agua a la entrada, con la turbidez, color, pH y alcalinidad registrados anteriormente se puede tener una idea de las dosis aproximadas para diferentes condiciones.

➤ **Operaciones Eventuales o de Común Ocurrencia**

❖ **Variación Brusca de la Turbiedad del Agua**

- 1 Aumentar o disminuir la aplicación de sulfato de aluminio, según la dosis optima para la turbiedad que este entrando.
- 2 Si no se conoce la dosis, tomar muestra de agua y mediante prueba de jarras, determinar la apropiada. Se debe proceder con prontitud. Apoyarse en datos

- estadísticos mientras se realiza la prueba, para que no se afecte la calidad en las demás unidades debido al corto tiempo de retención hidráulica en cada una.
- 3 Colocar el tornillo sinfín en la posición que corresponda para la nueva dosis, según la curva de calibración del dosificador.

❖ **Obstrucción, Paso de Coagulante por la Tolva del Dosificador**

1. Parar el dosificador respectivo y pasar a operación alterna inmediatamente.
2. Destapar la tolva o con ayuda de una varilla desmenuzar el material hasta dejar libre el paso de material.

❖ **Suspensión del Suministro de Energía Eléctrica**

1. Verificar si la falla esta en el propio circuito de alimentación o en el suministro general hacia la planta.
2. Si el daño es prolongado y la turbiedad es alta, se procede a realizar, parada de planta (no funciona dosificador), para no afectar las demás unidades.
3. Si la turbiedad lo permite, el operador puede emplear la dosificación manual, controlando la calidad del agua en los procesos posteriores (esta operación queda a criterio del jefe de planta y operadoras).

❖ **Daño Parcial o Total en el Equipo Dosificador**

1. Para el equipo averiado
2. Pasar a la operación alterna

3. Solicitar inmediatamente al jefe de planta la reparación del dosificador.

❖ **Obstrucción por Insolubles en la Conducción de la Solución**

- Para el equipo dosificador y cerrar el suministro de agua.
- Remover el tubo perforado (flauta) y limpiarlo junto con el tubo de conducción.
- Ajustar e iniciar nuevamente la operación.

➤ **Operación Alternativa**

La operación alternativa consiste en utilizar el dosificador de cal, para la aplicación del coagulante o utilizar solución de coagulante dosificada por gravedad. En cuanto a iniciación, proceso y parada se procede de la misma manera que para el dosificador anterior. Estos equipos deben tener la calibración respectiva.

➤ **Monitoreo**

Cada día el jefe de planta debe:

- Comprobar que la solución de coagulante tenga concentración óptima.
- Verificar que la dosis se este aplicando según lo determinado en la prueba de jarras, ajustando el dosificador en la descarga correspondiente.

Cada día el operador de turno debe:

- Inspeccionar el estado de funcionamiento de los componentes del dosificador.
- Comprobar la existencia, el estado y el consumo de sulfato de aluminio.
- Solicitar a la jefatura de planta la reparación de daños encontrados.

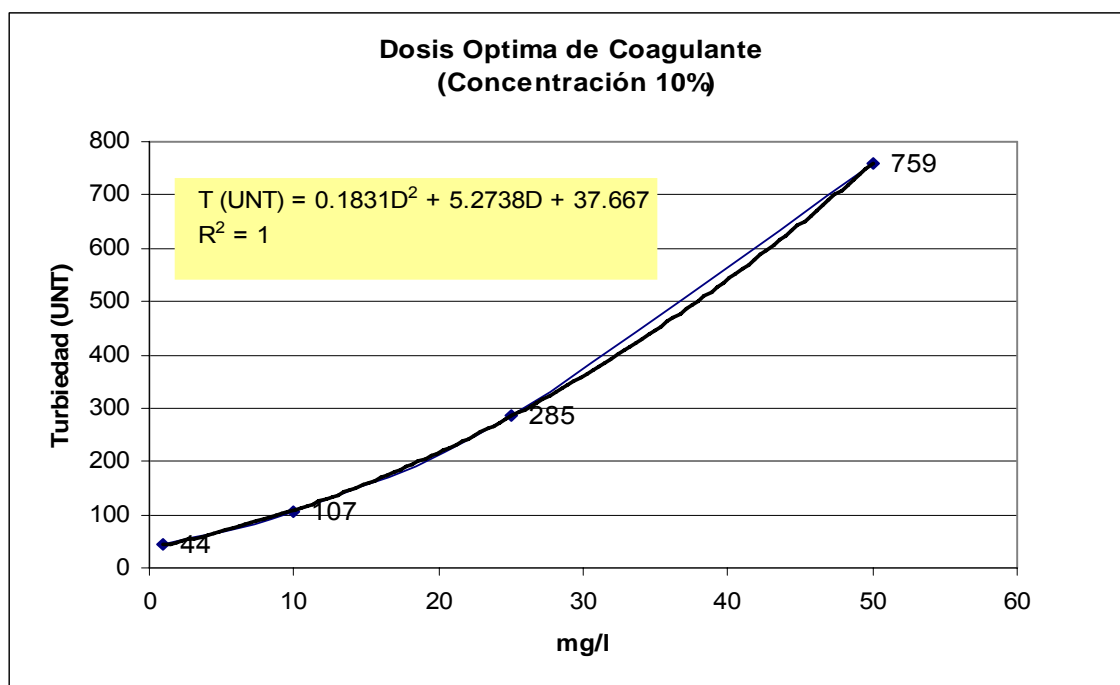
➤ Instrucciones Especiales

En la medida de que surjan incógnitas para el desarrollo de las actividades especiales, se debe recurrir inmediatamente a la orientación del jefe de planta.

❖ **Determinación de la Dosis óptima de Coagulante:** hay que tener en cuenta que las propiedades fisicoquímicas varían en el tiempo, y la dosis puede cambiar para una misma turbiedad (ver Fig. 22). Esta operación se realiza de la siguiente manera: el equipo y los reactivos necesarios para ejecutar la prueba de jarras son:

- a) Aparato de prueba de jarras y cristalería.
- b) Turbidímetro, comparador de color, medidor de pH.
- c) Dosis de sulfato de aluminio.

Fig. 22 Dosis óptima (mg/l) aplicada a los (l/s) que entran a la planta



Procedimiento:

- a. Determinar la temperatura del agua cruda, color, turbiedad, pH y alcalinidad.
 - b. Añadir la solución de coagulante en dosis progresiva a una buena profundidad en cada vaso precipitado al mismo instante, mientras se hace girar las paletas a 100 r.p.m durante un minuto. Una vez hecha la mezcla rápida se disminuye la velocidad de las paletas aun promedio de 40 r.p.m y se deja flocular el agua durante 15 min. Se suspende la agitación se deja sedimentar por un periodo no inferior a 10 min., para luego medirle al sobrenadante extraído de una profundidad constante mediante pipetas volumétricas, la turbiedad residual.
 - c. Los datos obtenidos se deben registra en forma grafica de la siguiente manera: mg/l (sulfato de aluminio) Vs Turbiedad agua cruda como en la figura 22.
- La grafica anterior, permite dosificar rápidamente ante variaciones en la turbiedad.

❖ **Determinación de la Concentración de Solución de Coagulante:** la concentración de la solución de coagulante influye en la eficiencia de la mezcla rápida, en el cambio de resultados en la coagulación y el ahorro de químico.

Procedimiento¹⁰:

- a Efectúese la prueba de jarras en forma convencional y determínese la dosis óptima. Para esto debe usarse la solución de coagulante al 1% (10 gr/l). Esto es disolver 1gr de sulfato en 100 ml de agua destilada.
- b Prepárese, a partir de una solución de 10% (100 gr/l), una solución de 5%, añadiendo 5 c.c de dicha solución a 5 c.c de agua destilada. De igual manera prepárese, a partir de la solución de 1% (10 gr/l), soluciones del 0.5% añadiendo a 5 c.c de agua destilada 5 c.c de dicha solución.

¹⁰ Arboleda Valencia Jorge, Teoría y practica de la purificación del agua Tomo I.

- c Se llenan los vasos de precipitado con el volumen de muestra (1000 ml) y se les agrega la dosis óptima encontrada, pero en concentraciones de 10, 5, 1, 0.5%; donde el volumen a aplicar de dicha solución se determinan así:

Una solución o suspensión del 1% (10 gr/l) tiene 10000 mg por 1000 ml, o sea que cada ml de esta tiene 10 mg de material. Por tanto:

1ml de solución \longrightarrow 10 mg/l de coagulante aplicado

Tabla 22. Dosis de coagulante a aplicar en diferentes concentraciones

Concentración (%)	1 ml de solución equivale
0.5	5 mg/l
1	10 mg/l
5	50 mg/l
10	100 mg/l

De esta manera para encontrar la respectiva dosis óptima a diferentes concentraciones, basta dividir la dosis (mg/l) en los (mg/l) de cada concentración equivalentes a 1 ml de solución.

- d Hecha la mezcla rápida, se procede a flocular y sedimentar el agua.
- e Tomar el sobrenadante y determinar la turbiedad y/o color residual. Graficar concentración de la solución (%) vs turbiedad residual (UNT) y encontrar la concentración óptima.

❖ **Calibración del Dosificador**

- Se llena la tolva correspondiente con el químico y se comprueba el funcionamiento normal del equipo dosificador. Si no se conoce la descarga máxima esta se debe determinar en primera instancia.
- Se ajusta el tornillo sinfín de dosificación en un punto que corresponda al 20% de su capacidad. Se coloca en funcionamiento el dosificador y se pesa el material que arroja en un minuto. Se repite la operación dos o más veces; al final se calcula el promedio de coagulante dosificado por minuto.
- Se ajusta el tornillo en otro punto que corresponda al 40%, 60%, 80% y 100%. Para cada posición se determina el peso de material dosificado por minuto.
- Con los datos obtenidos se establece la curva, graficando la descarga en (gr/min) vs la posición del tornillo sinfín. La curva debe ser semejante a la que propone el fabricante.

Este procedimiento de calibración se debe corroborar a menudo, si hay indicio de fallas en el dosificador.

❖ **Obtención Concentración Solución de Coagulante en la Planta.**

La concentración de la solución de coagulante es un parámetro importante para alcanzar excelentes resultados de calidad de agua. EL proceso es el siguiente:

- Tomar los datos del ensayo de prueba de jarras (descrito en el numeral 6.1.5.1.8.1) la dosis y concentración de coagulante óptimas.
- Se mide el caudal (volumetricamente) de agua para suministro al dosificador, para distintas aberturas de la válvula y se grafica % de abertura vs caudal.
- Para el caudal de entrada y la dosis optima de alumbre a aplicar, se suministra un caudal de agua en la cámara de solución para alcanzar la concentración óptima determinada en laboratorio. El caudal (q) se halla de la siguiente forma:

$$q = Q \cdot D/C$$

Q = caudal de entrada a la planta (L/s)

D = dosis optima (mg/L)

C = concentración de la solución (mg/L)

q = caudal de solución a aplicar (L/h).

▲ **Mezcla Rápida**

➤ **Finalidad:** agitar fuertemente para producir la dispersión instantánea del coagulante en toda la masa de agua.

➤ **Descripción:** el agua cae del vertedero y produce un resalto hidráulico sobre el canal. Justo en el punto donde este empieza a formarse (menor lamina de agua), se aplica la solución de coagulante mediante un tubo perforado (flauta).

➤ **Operación de Puesta en Marcha**

❖ **Inspección Preliminar**

- Determinar que halla suficiente caudal a la entrada para tratar.
- Comprobar que el dosificador de sulfato de aluminio, se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento y haya caída de solución de coagulante.
- Verificar la disposición de energía eléctrica suficiente.
- Comprobar que la válvula de entrada este bien cerrada.

❖ **Operación de Iniciación**

1. Poner en marcha el dosificador de sulfato e iniciar la adición de solución de coagulante.
2. Revisar posibles obstrucciones en el canal aguas abajo.
3. Comprobar si el resalto se ubica en la posición del punto de aplicación del coagulante. En caso contrario, reubicar la dosificación de manera que se distribuya de manera uniforme sobre el inicio del resalto.

❖ **Operación de Parada**

- Apagar el dosificador y suspender la aplicación de solución de coagulante.
- Abrir la válvula de entrada si la parada es general por algún motivo.

➤ **Operación Normal**

- Suministro adecuado de la solución de coagulante, en la concentración y dosis óptima, para el caudal y la turbiedad a tratar.
- Buena formación de resalto hidráulico y aplicación de solución de coagulante en el punto exacto de mayor turbulencia y sobre toda la masa de agua.

✓ **Proceso**

1. Verificar la eficiencia de la coagulación en el proceso de mezcla rápida, tomando una muestra de agua a la entrada de la unidad de floculación, en un vaso de 1000 c.c. Se continúa el proceso en la prueba de jarras, como se expone en el numeral 6.1.5.1.8.1, y verificar la calidad de agua que se obtiene.
2. Revisar la dosificación, el punto de aplicación de la solución de alumbre y la turbulencia del resalto hidráulico, si el ensayo anterior no es satisfactorio.
3. Observar la presencia de espuma amarillenta sobre la superficie del agua, que es indicativo de exceso de coagulante en la dosificación.

➤ **Operaciones Eventuales o de Común Ocurrencia**

✓ **Movimiento del Resalto Hidráulico**

1. Revisar que la altura del vertedero cumpla con la del diseño.
2. Observar que este entrando suficientes caudal que produzca agitación (turbulencia) del agua.
3. Comprobar las condiciones hidráulicas que dan estabilidad al resalto.
4. Colocar una grada justo donde el diseño indica que termina el resalto, con la altura especificada.

✓ **Monitoreo**

Cada día el operador de turno debe:

- Estar pendiente a reacomodar el tubo perforado, si hay movimiento del resalto.
- Comprobar que la coagulación se esta realizando eficientemente.
- Observar la suficiente agitación del resalto y la aplicación de la solución de coagulante sobre toda la masa de agua.

- Verificar que la solución de coagulante que se este aplicando sea la correcta.

▲ **Floculación**

➤ **Finalidad:** conseguir por medio de la agitación suave, el choque y aglomeración de partículas desestabilizadas, formando flocs pesados para una buena decantación.

➤ **Descripción:** el proceso se realiza haciendo pasar el agua con las partículas desestabilizadas, por canales formados en placas de asbesto-cemento, donde el flujo hace un recorrido de ida y vuelta. Consta de tres compartimientos, con su respectivo ancho de canal y pendiente de fondo. Cada cámara se caracteriza por impartir un gradiente el cual disminuye de la entrada hacia la salida de la unidad.

➤ **Operación de Puesta en Marcha**

✓ **Inspección Preliminar**

1. Verificar el funcionamiento del dosificador, el punto de aplicación de coagulante y la mezcla rápida, estén operando satisfactoriamente.
2. Comprobar que las placas de asbesto-cemento no estén rotas, mantenga la respectiva separación y se encuentren erguidas.
3. Observar que no halla ninguna obstrucción en los canales de la unidad.

✓ **Operación de Iniciación**

- Revisar el ajuste y estado de los separadores superiores e inferiores.
- Llenar la unidad lentamente (después de lavado) mientras se crea un colcho de agua, para evitar que las placas sufran algún daño por el choque del agua.
- Ejecutar la operación como se expone en el numeral 6.1.5.1.3.2.
- Verificar si faltan pantallas. Esto distorsiona el flujo dentro de la unidad, crea zonas muertas y pasos directos que afectan la formación del floculo.
- Informar al jefe de planta sobre cualquier anomalía presentada.

✓ **Operación de Parada**

- Apagar el equipo dosificador y cortar el suministro de solución de coagulante.
- Abrir la válvula de entrada. Si la parada es por largo tiempo se debe desocupar la unidad (opcional) para evitar que el floc se sedimente.

➤ **Operación Normal**

- Verificar la dispersión eficiente del coagulante en el sistema de mezcla rápida.
- Mantener el paralelismo y estabilidad de las placas, mediante ajuste o colocación de más separadores.
- Mantener lo mas constante posible el caudal de diseño, porque cuando aumenta el flujo, el agua pasa rápidamente y la floculación no es buena. Por el contrario la cantidad de agua disminuye, la velocidad también lo hace, el floculo no se forma bien y se produce sedimentación en la unidad. Ajustar las placas si

es necesario (indicios de mala floculación), para el caudal promedio que entra a la unidad, cuando este no es el de diseño.

- Comprobar que se este haciendo buena mezcla entre la dosis de coagulante con el agua, para formar la solución.
- Observar que el nivel en las cámaras no varié mas del 10% por arriba o por abajo del nivel de diseño (1.1 m).
- Revisar continuamente, que se este formando buen floc y que la dosis se la correcta tomando una muestra a la salida del floculador.
- Comprobar a menudo en que parte del floculador se esta formando el floculo. Lo ideal es que se forme en el primer tercio de la unidad.

✓ **Proceso**

A. Floculación

1. Verificar que el tiempo de contacto en la unidad, sea suficiente para permitir que los flóculos alcancen el tamaño y peso adecuado, lo cual también es función, de la dosis, la solución de coagulante y el gradiente de velocidad.
2. Analizar la eficiencia del proceso, tomando una muestra de agua, a la salida del floculador y determinar la calidad, tamaño y velocidad de decantación del floc formado.

B. Lavado de la Unidad

Para la realización de este proceso, es necesario parar toda la planta, por lo que se debe programar con tiempo, para lavar todas las demás unidades.

- Abrir la válvula de entrada y la de desaguar la unidad.
- Lavar con cepillos las placas de asbesto, retirándolas y teniendo cuidado de no golpearlas, para mejor resultados debido al reducido espacio de los canales.
- Enjuagar con hipoclorito, cerrar las respectivas válvulas y empezar a llenar.

➤ **Problema Eventuales o de Común Ocurrencia**

❖ **Mala Formación del Floc o Falta de Peso**

- Observación visual del agua floculada, para determinar tamaño del floc y velocidad de decantación.
- Mala dosificación o dispersión del coagulante.
- Presencia de elevadas velocidades que rompen el floc.
- La unidad no esta trabajando para el caudal de diseño. Si hay cambios bruscos de caudal, se presenta variación de la velocidad bien sea baja o alta, con consecuencia en la alteración del gradiente de velocidad de operación. Estas variaciones afectan la formación del floculo.

❖ **Monitoreo**

Cada operador debe:

- Verificar que la unidad trabaje para el caudal de diseño. Si se presentan malos resultados, solicitar la reacomodación de las placas.
- Verificar que el floc no se este sedimentando en la unidad.
- Registrar las observaciones pertinentes.
- Solicitar al jefe de planta la corrección de posibles anomalías encontradas.

⤴ **Sedimentación**

➤ **Finalidad:** Remover los flocs más pesados que se han aglutinado en el proceso de floculación, mediante la decantación sobre las placas.

➤ **Descripción:** Al sedimentador de placas planas paralelas, el ingreso de agua floculada, se hace por tubería PVC con orificios garantizando que se distribuye el agua debajo de toda la zona de placas. Los flocs se remueven por su propio peso y por el paso entre las placas de asbesto-cemento. El agua clarificada asciende a las canaletas con vertederos recolectores para sacarla de la unidad.

➤ **Operación de Puesta en Marcha**

✓ **Inspección Preliminar**

- Optimo desempeño de los procesos de coagulación-floculación en la formación de flocs pesados de alta calidad y fácil decantación.
- Observar (tanque vacío) en el ducto de distribución que los orificios no estén obstruidos, lo que crea gradientes elevados que rompen el floc. Además verificar que estén debidamente soportados.
- Nivelación precisa de los bordes de los vertederos de las canaletas recolectoras, para conseguir flujo de agua uniforme sobre estas.
- Válvula de sistema de descarga de lodos, en perfecto funcionamiento y registro de la última purga de sedimentos realizada.
- Separadores de placas, debidamente ajustados, que eviten “pegar” una a otra.
- Informar al jefe de planta sobre presencia de daños en la unidad.

✓ **Operación de Iniciación**

- Llenar la unidad con agua cruda (después de lavado), hasta el nivel de operación y dejarse en reposo como mínimo 30 minutos antes de iniciar la operación normal. Luego permitir la entrada de agua, para iniciar la operación. Esta operación es consiguiente al proceso de floculación.
- Retirar el material flotante con una espumadera.
- Comprobar que la turbiedad del agua decantada sea inferior a 5 UNT y preferiblemente a 2 UNT. El color debe ser entre 5-10 UPC.

✓ **Operación de Parada**

- Cerrar la válvula de entrada.
- Si la parada excede las 24 horas, aplicar 5 ppm de cloro residual o drenar los lodos de la unidad.

➤ **Operación Normal**

1. Verificar el correcto funcionamiento de los procesos de coagulación-floculación.
2. Determinar la calidad del agua (turbiedad) sedimentada. El agua debe permanecer siempre clara tal que se puedan ver bien las placas. El decantador debe ser capaz de remover el 90% o más de la turbiedad de entrada.
3. Observar el paralelismo y estabilidad de las placas, las canaletas de recolección y la maniobrabilidad de la válvula de entrada a la unidad y desagüe de lodos.
4. Vigilar la fermentación de lodos, observando si se elevan burbujas de aire.
5. Realizar la purga de lodos cada cuatro horas (para épocas de invierno) y cada 24 horas épocas de turbiedad promedio o bajas. La válvula de desagüe, se debe abrir lentamente para evitar turbulencia y se deja drenar agua hasta que el nivel en la unidad descienda 0.3m, previamente se impide el ingreso de agua

- floculada para evitar cortocircuito. Registrar en el libro de control la fecha y hora de la purga de lodos.
6. Revisar si hay placas rotas o caídas para pedir las y cambiarlas cuando se realicen las operaciones de mantenimiento.
 7. Observar que todas las canaletas extraigan la misma cantidad de agua.

✓ **Proceso**

A. Sedimentación

1. Vigilar el proceso de decantación, midiendo la turbiedad en diferentes puntos del área superficial y determinar algún tipo de anomalías.
2. Determinar si el volumen de sedimento acumulado entre las placas es elevado, para programar el lavado de la unidad.

B. Lavado de la Unidad

La limpieza de la unidad completa debe programarse para época de verano, efectuando las siguientes acciones:

- Para totalmente la planta, abriendo la válvula de entrada.
- Abrir la válvula de desagüe de la unidad. El operador de turno deberá tener la unidad vacía para cuando se inicie la tarea.
- Lavar la zona de depósito de lodos y revisar el canal de desagüe.
- Lavar las placas usando agua a mediana presión. El lavado se hace de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo, cuidando de no pararse en las placas.
- Lavar las canaletas de recolección de agua sedimentada.
- Cerrar todas las válvulas una vez terminado el lavado.
- Enjuagar todas las paredes y placas con solución de hipoclorito.
- Informar al jefe de planta sobre cualquier anomalía que se presente.

➤ **Operaciones Eventuales o de Común Ocurrencia.**

❖ **Elevada Suspensión de Partículas en el Agua Efluente**

- Verificar que la coagulación-floculación se este desarrollando correctamente.
- Revisar en el mantenimiento, si el rompiendo del floc, es debido a obstrucción de los orificios, carencia de los mismos o turbulencia hacia la zona de lodos.

❖ **Obstrucción en la Remoción de Lodos por el Ducto de Desagüe**

- Parar el proceso de sedimentación cerrando la válvula de agua afluente.
- Vaciar el tanque empleando bombeo.
- Retirar los lodos remanentes, sacándolos en baldes.
- Introducir agua a presión por el ducto de desagüe y sondear para descartar la presencia de obstáculos.
- Revisar que la válvula de desagüe para determinar la ocurrencia del problema.

❖ **Monitoreo**

Cada día el operador de turno debe:

- Observar que el vertimiento de agua sobre las canaletas, sea uniforme.
- Verificar placas pandeadas, rotas o que perdieron el respectivo separador.
- Solicitar al jefe de planta la corrección de daños o anomalías.

▲ **Filtración Rápida**

➤ **Finalidad:** remover del agua impurezas y microorganismos que no quedaron retenidos en la sedimentación, mediante el paso a través de material granular.

➤ **Descripción:** el proceso se realiza en dos unidades de filtración, permitiendo la entrada de agua afluente mediante la regulación de la abertura de la válvula.

➤ **Operaciones de Puesta en Marcha**

✓ **Inspección Preliminar**

- Máxima remoción de partículas en el proceso de sedimentación.
- Disposición de volumen suficiente de agua para lavado de los filtros.
- Verificar el estado, la distribución uniforme y el espesor de las capas de material filtrante y grava de soporte.
- Disposición de elementos de medición de rata de filtración, caudal de agua y tiempo para lavado y expansión de la arena.
- Eficiente lavado del material filtrante, en las operaciones anteriores
- Limpieza de suciedad y posibles escombros sobre el lecho filtrante.
- Correcto funcionamiento de válvulas de admisión de agua efluente y desagüe.
- Observar que la superficie del lecho se encuentre totalmente uniforme sin presencia de lodos producto de no hacer un correcto desagüe.
- Verificar que la conducción de agua efluente al tanque de almacenamiento se encuentre libre de obstáculos.

✓ **Operación de Iniciación**

1. Cargar con agua la unidad de filtración así:

- Después de terminado el lavado, se introduce agua por el fondo a baja velocidad de ascenso, hasta que alcance la canaleta para formar una capa de agua que evite que se seque el filtro. Debido a la baja pérdida de carga después del lavado, el nivel de agua tiende a descender notablemente y permitir la entrada de aire al material que disminuye la carrera de filtración.
- Se cierra la entrada de agua de lavado.
- Se abre la válvula de entrada de agua afluyente.

2. Otro procedimiento válido es abrir la válvula de desagüe del lecho filtrante junto con la compuerta de agua afluyente; permitir el desagüe durante un tiempo (que debe ser controlado, 3 min.), tal que permita la normalización de la calidad del agua dejar la capa de agua suficiente sobre la superficie del lecho.

3. Abrir la válvula del efluente para iniciar la filtración, controlando el nivel de agua y la tasa de filtración, con la abertura que se le da a la válvula; con el fin de que siempre se mantenga una capa (0.6 m) de agua sobre el lecho al inicio de la carrera debido a las bajas pérdidas. La abertura de la válvula puede ir aumentando a medida que transcurre la carrera de filtración.

✓ **Operación de Parada**

A Generalmente se para el proceso de filtración en un filtro para:

- Para efectuar su respectivo lavado.
- Cuando disminuye o se para el total del caudal a tratar, al punto que no posible mantener un nivel suficiente de agua sobre la superficie del lecho.
- Cuando es necesario realizar una reparación, limpieza o reacondicionamiento del material filtrante y/o de gravas.

Para los dos primeros casos expuestos se procede así:

- Continuar la filtración hasta que el nivel de agua quede debajo de la canaleta.
- Cerrar la válvula de efluente.

Para el tercer caso (fuera de servicio):

- Cerrar las válvulas de afluente.
- Desaguar completamente el filtro abriendo la válvula de efluente.
- Registrar la parada y la reparación hecha en el cuadro de control de operación.

➤ **Operación Normal**

1. Monitorear, la calidad del agua afluente y efluente.
2. Restringir con la válvula la salida de agua filtrada, para que el nivel del agua en la caja del filtro se mantenga por encima del medio filtrante, ir abriendo lentamente para ir manteniendo el nivel, a medida que progresa la carrera.
3. Probar la maniobrabilidad de las respectivas válvulas de desagüe y lavado de la unidad y que todas queden bien cerradas.
4. Cada hora registrar en el cuadro de control de operación datos como:
 - Calidad (turbiedad) del agua producida por cada unidad (inferior a 2 UNT).
 - La rata de filtración final e inicial respectiva. La suma de las ratas de filtración de ambos filtros debe ser similar al caudal registrado a la entrada.
5. Cada mes hacer control de la expansión y altura del material filtrante.
6. Hacer el respectivo lavado de la unidad cuando este cumpla su carrera de filtración propuesta.
7. Observar que el filtro no trabaje por mucho tiempo después de que alcanza la máxima pérdida de carga o nivel de agua sobre el lecho.
8. Registrar en el cuadro de operación el filtro lavado, la hora y caudal empleado.

9. Registrar las anomalías observadas u ocurridas en el cuadro de operación y comunicar al jefe de planta.

➤ **Proceso**

A. Filtración

- Se debe controlar que siempre exista una capa suficiente (0.5 m) de agua sobre el material filtrante, para evitar presiones negativas.
- Vigilar la normal filtración de agua durante el tiempo de servicio.
- Observar que la turbiedad del agua sedimentada sea lo mas baja, para ahorrar agua de lavado, en el sentido en que se prolongan las carreras de filtración.
- Informar sobre cualquier mal funcionamiento de la unidad.

B. Lavado

1. El lavado de cada filtro se efectúa en alguno de los siguientes momentos:

- La rata de filtración comienza a disminuir o la perdida de carga es igual a la presión estática sobre el fondo del lecho. (nivel máximo de agua 1.8 m).
- La turbiedad del agua efluente es mayor a la establecida dentro de la operación.

2. Para iniciar el proceso de lavado se inicia de la siguiente forma:

- Observar que los filtros se laven en secuencia numérica que evite confusiones.
- Verificar la existencia de agua suficiente en el tanque elevado.
- Cerrar la válvula de afluente y dejar que continúe la filtración hasta que el nivel de agua llegue a la parte inferior de la canaleta.
- Cerrar la válvula de agua efluente.
- Abrir la válvula de desagüe de la canaleta.

- Lavar rápidamente, paredes y canaleta del filtro con agua a presión. Con frecuencia hacer lavado superficial utilizando un rastrillo largo. Se rasga de extremo a extremo el lecho filtrante (por 2 a 3 min.) y limpiar mejor los granos.
- Abrir la válvula de lavado lentamente para garantizar una distribución uniforme del agua en toda la superficie del filtro y evitar desordenar la grava.
- Controlar que la velocidad ascensional este dentro de: (55-75 cm/min.).
- Cerrar la válvula de lavado, después del tiempo óptimo de lavado ascensional (5-7 min.) o cuando el agua que cae sobre la canaleta, se vea clara.
- Cerrar la válvula de desagüe y abrir la válvula del efluente para iniciar una nueva carrera de filtración.
- Registrar en el cuadro de control de operación la hora de lavado de la unidad, el tiempo, la velocidad ascensional y el caudal empleado en el lavado.

3 Al efectuar la operación del lavado del filtro, este debe ser capaz de:

- Desprender la película que recubre los granos del lecho.
- Romper las grietas o cavidades en donde se acumula el material que trae el agua (cambiar la porosidad del lecho después del lavado).
- Transportar las partículas depositadas desde el interior del lecho hasta la canaleta de lavado.

C. Bombeo de Agua para Lavado

- Comprobar que las motobombas se encuentre funcionando bien y que el suministro de energía sea adecuado en voltaje.
- Alternar el funcionamiento de las bombas.
- Vigilar que los indicadores automáticos de nivel que accionan la motobomba en, estén bien calibrados, tal que no se exponga la integridad de la maquina.
- Tener presente el tiempo empleado para el bombeo y el instante justo en que se apaga la motobomba.

➤ **Operaciones Eventuales o de Común Ocurrencia**

❖ **Turbiedad Alta del Agua Efluente**

- Lavar cada uno de los filtros.
- Chequear la turbiedad del agua afluente.
- Formación del floc blando que se rompe dentro del lecho por deficientes procesos de coagulación-floculación.

❖ **Deficiente Funcionamiento del Sistema de Válvulas de Control**

- Hacer mantenimiento al mecanismo que conforma la estructura de la válvula.
- Proteger con pintura el ataque de corrosión.
- Cambiar la válvula cuando esta cumpla su vida útil o tenga daños graves.

❖ **Presencia de Burbujas de Aire en el Material Filtrante**

Esta anomalía se presenta porque se inicio la carrera de filtración o se mantuvo parado el filtro sin capa de agua sobre el lecho (filtro seco). Para corregir el inconveniente se procede de la siguiente forma:

- Interrumpir la filtración cerrando la válvula de agua efluente por unos pocos minutos, para permitir que el aire acumulado escape. Si el lecho esta totalmente

colmado de aire, se hace un breve lavado (2 min.) produciendo una expansión de 10 a 15% para ayudar a liberar las burbujas.

- Iniciar la filtración y medir la rata de filtración, para determinar la mejoría.

❖ **Pérdida y Desacomodamiento del Material Filtrante**

- Observar si superficie del lecho después del lavado tiene, hondonadas o montículos, señal de que sean producido fallas en el sistema de niples o en la grava de soporte de la arena, producto de un flujo turbulento a la entrada.
- Verificar burbujeo durante el lavado, debido a los chorros de agua a alta velocidad, que lentamente desalojan material, por rápida abertura de la válvula.
- Abrir la válvula de lavado lentamente, para hacer una distribución uniforme del caudal, que disminuya la turbulencia, que desordena exageradamente el lecho.
- Controlar la velocidad ascensional (55-75 cm/min.) del agua, que garantice una adecuada expansión del lecho y limpieza de los granos.

❖ **Falta de Agua para Lavado**

- Operar los filtros hasta el final de su carrera de trabajo y entonces pararlos, mientras se corrige la anormalidad.
- Revisar que se este bombeando agua normalmente y iniciar el lavado inmediatamente, termina el bombeo, para tener suficiente agua disponible, que permita hacer una correcta limpieza.

✓ **Monitoreo**

Cada día el operador de turno y jefe de planta deben:

1 Inspeccionar el sistema de filtración para observar:

- Estado estructural de la caja de filtración y las canaletas.
- Estado y funcionamiento de los mecanismos de control de filtración (válvulas, reglas de medición, etc.).
- Medir la altura del lecho filtrante para monitorear pérdidas de material.

2 Verificar que la filtración es normal en todas las unidades, constatando:

- La calidad del agua efluente (turbiedad, magnitud de flocs).
- El nivel de agua en los filtros.
- La rata de filtración en cada unidad.

3 Comprobar, en cada unidad filtrante (con cierta regularidad), que el lavado esta efectuándose de modo correcto, determinando:

- La velocidad de ascenso del agua (cm/min.). Abriendo gradualmente la válvula.
- El caudal de agua para lavado (l/s).
- La expansión del material filtrante.
- Tiempo de lavado, en función de la turbiedad del agua desaguada.

➤ **Instrucciones Especiales**

❖ **Instalación de la Tasa Declinante:** los filtros trabajan a tasa declinante, lo cual significa que la velocidad de filtración declina desde un valor alto cuando el filtro está limpio hasta un valor bajo cuando se encuentra colmatado, que es cuando requiere estar fuera de operación para lavarlo. El procedimiento que se debe seguir es el siguiente:

- Esta operación se realiza en un lapso de 24 horas. Como la batería consta de 2 filtros, se lava uno cada 12 horas, de la siguiente manera: se lava el filtro 1 primeramente, luego de 12 horas se procede a lavar el filtro 2. A partir de este momento la tasa declinante esta instalada.
- Después de lo anterior, el filtro 1 se vuelve a lavar cuando la altura de agua sobre el lecho, alcance el nivel estático de la planta.

❖ **Determinación de la Rata de Filtración:**

- Cerrar la válvula del afluente.
- Permitir normalmente la filtración. Determinar el tiempo que tarda en descender el agua (0.3 m medidos en la regla). La regla su ubica sobre una de las paredes del filtro, con su respectiva escala que sea totalmente visible.

Para determinar el caudal real filtrado en la unidad se utiliza la siguiente expresión:

$$Q = D \cdot A \cdot 1000 / t$$

Q= Caudal real filtrado (l/s).

D= Descenso del nivel de agua (m).

A= Área superficial de la unidad de filtración (10.95m²).

Durante el día se determina la rata de filtración en ambas unidades, que sumadas debe se aproximadamente igual al caudal registrado a la entrada de la planta.

❖ **Determinación de la Velocidad de Lavado:** la velocidad ascensional de lavado debe estar dentro del rango propuesto por CEPIS de (mínimo 55 cm/min y máximo 75 cm/min) para controlar la expansión del material y la pérdida del mismo. El ensayo se realiza de la siguiente manera:

- Se abre lentamente la válvula para el lavado para que limpie normalmente.
- Normalizado el flujo, se mide el tiempo que tarda en ascender una determinada altura (0.3 m) medidos en la regla.
- Antes de iniciar el lavado del filtro se debe verificar que el bombeo hacia el tanque elevado haya finalizado; esto para iniciar el lavado con el tanque lleno.
- Se puede modificar la velocidad de lavado, mediante la abertura que se le da a la válvula, cuando esta no sea correcta.

$$V = H/t$$

V= Velocidad de Lavado (cm/min).

H= Ascenso del nivel de agua (cm).

A= Área superficial de la unidad de filtración (10.95m²)

El caudal de lavado se obtiene multiplicando la velocidad por el área del filtro.

❖ **Determinación del Tiempo de Lavado:** para determinar el tiempo óptimo de lavado de los filtros se realiza la prueba para diferentes caudales de lavado (cuando se busca un mejor caudal para lavado) que se generaran con diferentes aberturas de la válvula, con el objetivo de determinar, con cual hay una mejor limpieza del material filtrante. El tiempo de lavado varia según la época del año.

- Tomar muestras de agua que caen sobre la canaleta de lavado a intervalos de tiempo de 1min, hasta un tiempo entre 8-10min, pues hay una regla que dice que por mas que se prolongue el tiempo de lavado, hay un tiempo para el cual la turbiedad residual no varía drásticamente y, no se justifica seguir el lavado.
- Graficar tiempo de lavado vs. turbiedad residual para determinar el tiempo que produjo la menor turbiedad. Este ensayo se puede realizar variando la velocidad de ascenso pero siempre manteniéndola dentro del rango, para observar que flujo de agua produce mejores resultados y más economía.

❖ **Expansión del lecho filtrante:** la expansión del lecho, parámetro básico que debe observarse cuidadosamente durante el lavado. El lecho filtrante tenderá a expandirse, según la velocidad con la cual se inyecte el agua de lavado y el tamaño del medio granular.

Los filtros mixtos de arena y antracita según la CEPIS recomiendan una expansión del lecho filtrante, entre un 20% y 30%. La expansión exagerada, no beneficia al lavado, pues impide el roce o frotamiento de unos granos con otros, evitando el desprendimiento de la película adherida a ellos durante el proceso de filtración. El ensayo se realiza de la siguiente manera:

- Abrir muy lentamente la válvula para lavado.
- Colocar y mantener firme sobre la superficie del lecho, una varilla que en sus costados tiene vasos debidamente ajustados, colocados en alturas progresivas (5 cm.), que permitan recoger material durante el lavado.
- Suspender el lavado, medir la distancia (diferencia de altura) entre la superficie del lecho y el vaso mas alto que tenga arena. Esta será la expansión.

$$\% \text{ Expansión} = \frac{\text{Diferencia de altura}}{\text{Espesor capa de arena}} * 100$$

❖ **Desplazamiento de la Grava:** el objetivo es determinar los movimientos que puedan presentarse en la capa de grava haciendo por sondeos el levantamiento topográfico. Dichos desplazamientos son causados por mala distribución del agua de lavado, o por aberturas muy rápidas de la válvula para lavado o por entrada de aire a los drenes del filtro. El procedimiento es el siguiente:

- Márquese en el filtro puntos a lo largo y ancho.
- En los puntos identificados clávese una varilla puntiaguda de 2 m graduada cada 10 cm., hasta tocar la grava: Como nivel de referencia, se toma la superficie del lecho, si esta nivelado o la superficie del agua, dejando esta, a unos 10 cm por encima del lecho. Se determina la altura de la capa de grava según la diferencia de nivel que se mida en la varilla.
- Los datos tomados se dibujan curvas de nivel de 2 en 2 cm. Puede así estudiarse la posición exacta que tiene la grava dentro del filtro.

✓ **Operaciones Opcionales:** de las siguientes operaciones, apenas se hace un señalamiento de su existencia como medida ante eventuales evaluaciones de la composición y estado del material filtrante. No se proponen como operación para realizarlos en la planta debido a falta de instrumentos necesarios para la realización. Se deja opcional al jefe de planta contratar estos ensayos con un laboratorio certificado.

❖ **Granulometría del Lecho Filtrante:** el material dispuesto para los filtros debe cumplir las siguientes especificaciones:

Tabla 23. Especificaciones de lecho filtrante mixto

Características	Arena	Antracita
Profundidad del lecho (m)	0.15-0.3	0.45-0.6
Tamaño Efectivo (De) (m.m)	De: 0.5-0.6	De: 0.8.1.1
Coeficiente Uniformidad (Cu)	< 1.5	< 1.5
Tamaño mas Fino (m.m)	0.42	0.6
Tamaño mas Grueso (m.m)	1.41	2.0

❖ Bolas de Barro

Producidas a través de los malos lavados realizados a los filtros, permite determinar las condiciones de estado en que se encuentra el material filtrante.

Tabla 24. Clasificación de un lecho filtrante según las bolas de barro

% de Volumen de bolas de lodo	Condiciones del medio filtrante
0-0.1	Excelente
0.1-0.2	Muy Bueno
0.2-0.5	Bueno
0.5-1.0	Regular
1.0-2.5	De regular a mal
2.5-5.0	Mal
7.5	Muy malo

▲ Desinfección (Cloración)

➤ **Finalidad:** adicionar al agua en tratamiento, la cantidad de cloro necesaria para destruir los microorganismos patógenos presentes en el agua, que pueden difundir o transmitir enfermedades, y entregar en cada domicilio agua potable.

➤ **Descripción:** se utiliza cloro líquido en su respectiva bala de almacenamiento. Sobre su boquilla, se conecta el clorador, que controla la rata de dosificación requerida de gas cloro. Se aplica la cantidad de cloro que sea capaz de efectuar la desinfección del volumen de agua tratada y de mantener un valor de 0.2-1.0 mg/l de cloro residual libre, a la salida y en los puntos mas alejados de la red.

➤ **Operaciones de Puesta en Marcha**

❖ **Inspección Preliminar**

- Provisión suficiente de cloro en el cilindro.
- Correcto funcionamiento del equipo clorador y del analizador de cloro residual.
- Conocimiento del caudal de agua tratada.
- Disponibilidad de agua a suficiente presión, para la mezcla con el cloro.
- Adecuado material para recoger las muestras de agua a analizar.
- Disposición de botella con amoníaco y mascarar para gas cloro (emergencia).

❖ **Operación de Iniciación**

- Antes de abrir el suministro de cloro, se debe dar paso al suministro de agua y verificar que el inyector haga succión. Se prueba la magnitud de la succión colocando la mano en el orificio de la manguera de conducción hacia el inyector
- Abrir y cerrar inmediatamente la válvula del cilindro. Revise fugas aplicando amoníaco alrededor del empaque de plomo y la válvula del cilindro.
- Ajustar la dosificación de cloro calculada, por medio de la perilla de control.
- Verificar que la “bolita” se mantenga (no fluctué) en la concentración ajustada.

❖ **Operación de Parada**

A Por periodos cortos

- Cerrar el suministro de cloro en la válvula del cilindro.
- Cerrar el suministro de agua al inyector.

B Por periodos largos (críticos)

- Cerrar el suministro de cloro, cerrando la válvula del cilindro y la del clorador.
- Operar el inyector hasta que descienda la “bolita”. Suspender el agua al inyector, dando vuelta al reset, la bandera debe caer hasta mostrar rojo.

➤ **Operación Normal**

- Comprobar que la tubería de solución esta totalmente destapada y que su salida extrema en el punto de aplicación se encuentra sumergida en el agua.
- Probar el estado de la válvula del cilindro de cloro y la de suministro de agua.
- Chequear que todas las conexiones estén bien ajustadas.
- Verificar que en todo el sistema de cloración no hay escapes de cloro. Es necesario corregir cualquier escape antes de iniciar la operación.
- Registrar cada hora, en el cuadro de control de operación los datos sobre:
 - Dosis de cloro aplicado.
 - Concentración de cloro residual en los tanques de almacenamiento.
- Determinar la cantidad de cloro consumido durante las 24 horas.

➤ **Proceso**

- Vigilar continuamente el estado de funcionamiento de todos los componentes del sistema de cloración (suministro de cloro, conexiones, línea de conducción al punto de aplicación). Como practica rutinaria debe probarse contra escapes las conexiones de la unidad de cloración una vez al día.

- Determinar cada hora el residual de cloro en la muestra de agua y ajustar si es necesario la dosificación, cuando varía el caudal para que se mantenga un residual de 0.2-1.0 mg/l.
 - Proceso para cambio de cilindro de cloro:
 1. Cerrar la válvula del cilindro y quitar el sistema de cloración, taponando inmediatamente la entrada de aire a la línea de cloro, para evitar problemas de corrosión cuando el aire húmedo se mezcla con el cloro seco.
 2. Instalar y abrir la válvula del nuevo cilindro que se coloque en servicio.
 3. No reutilizar el empaque de plomo porque se pueden presentar fugas.
- Informar al jefe de planta cualquier anomalía y registrar la información.

➤ **Operaciones Eventuales o de Común Ocurrencia**

❖ **Escape Excesivo de Cloro**

Cualquier escape de cloro, aunque sea pequeño, debe corregirse, porque en vez de disminuir siempre se empeorará, si no se elimina. Para eso:

- Cerrar la válvula del cilindro y ventilar el lugar para remover el gas escapado.
- Protegerse mediante máscara adecuada y preferentemente no actuar sólo.
- Nunca usar agua, porque así se contribuirá a aumentar el escape a causa de la acción corrosiva de la mezcla de cloro y agua.
- Verificar cantidad suficiente de agua hacia el eyector.

Cuando el escape se presenta en un cilindro:

- Si está alrededor del vástago de la válvula, ordinariamente el escape se para apretando la estopa. Si no cesa debe cerrarse la válvula.
- Si no se logra corregir el escape en el cilindro, procederse a vaciarlo, sacando el cloro como gas y pasándolo por una solución alcalina (soda cáustica)

- El cilindro debe mantenerse siempre parado o inclinado con salida de gas.
- Al controlar la emergencia, se reabre el suministro al dosificador, ya sea simplemente abriendo las válvulas o reemplazar por un cilindro bueno.

❖ **Daño en el Equipo Dosificador**

- Suspender la dosificación y proceder a repararlo.

➤ **Monitoreo**

Cada día el operador de turno debe:

- Inspeccionar el sistema de cloración para observar que:
 1. El estado de los cilindros, la existencia y cantidad de cloro disponibles.
 2. Estado y ajuste de tuberías, conexión y suministro de agua.
 3. Estado y funcionamiento del clorador.
 4. Presión suficiente de agua hacia el inyector.
 5. Correcta mezcla de agua-cloro en el inyector.
- Verificar la concentración del cloro residual.
- Garantizar el tiempo de contacto entre el cloro-agua.
- Solicitar a la jefatura de planta la corrección de las anomalías encontradas.

➤ **Instrucciones Especiales**

1. Precauciones:

El cloro gaseoso primordialmente es un irritante respiratorio. En suficiente concentración el gas irrita las membranas mucosas, el sistema respiratorio y la

piel. En casos extremos, la dificultad para respirar puede aumentarse hasta el punto de que ocurra la muerte por sofocación.

El característico olor penetrante del cloro, da una alarma de su presencia en el aire. Su color amarillo-verdoso lo hace visible en alta concentración. Tan pronto como haya una indicación de la presencia de cloro en el aire, inmediatamente debe procederse a corregir la anomalía. Las causas más comunes de fugas son:

- Reuso de empaques. Esto no se debe permitir.
- Uniones mal enroscadas. Debe hacerse con mucho cuidado y además usar cinta de teflón, para obtener sellamiento efectivo.
- Carencia de agua hacia el inyector de cloro.

Es importante mantener limpias todas las partes del sistema de cloración, porque el cloro reacciona violentamente con aceite, grasa u otro material extraño.

2. Manejo de los Cilindros

El cloro se envasa en cilindros a presión y dentro de ellos se encuentra en estado líquido. Se gasifica al pasar directamente al clorador o a través de evaporadores. Los cilindros deben manejarse evitando darles golpes y no deben almacenarse en sitios donde están expuestos a los rayos solares por largos periodos de tiempo. Se deben movilizar con la capsula de protección de las válvulas. Cualquier defecto en un cilindro de cloro debe ser informado al jefe de planta.

▲ **Tanque de Distribución**

➤ **Finalidad**

- Atender las variaciones del consumo de agua, almacenando ésta en los periodos en los cuales el suministro de agua al tanque es mayor que el consumo, y, suministrar parte del caudal almacenado, en los periodos en los cuales el consumo es mayor que el suministro, para suplir así la deficiencia.
- Mantener almacenada cierta cantidad de agua para atender situaciones de emergencia como incendios, o interrupciones por daños en bocatoma, aducción, desarenador o conducción.
- Mantener las presiones en la red de distribución.

➤ **Descripción:** se cuenta con dos tanques de almacenamiento, con capacidad total de 750 m³. Cada uno abastece una red en particular del municipio. El tanque elevado abastece a una pequeña población y el consumo interno de la planta.

El proceso de manejo de los tanques, se realiza dando admisión al agua tratada, en la cantidad necesaria para que pueda mantenerse un nivel máximo de agua durante la mayor parte del tiempo, mientras se abastece adecuadamente la red.

➤ **Operaciones de Puesta en Marcha**

❖ **Inspección Preliminar**

- Suficiente suministro de agua cruda y eficiencia en los procesos unitarios.
- Sistema de medición (regla graduada) de volumen almacenado en los tanques.
- Medidores del volumen de salida de agua, al sistema de distribución.

- Buen estado físico de los tanques de almacenamiento y de los dispositivos de medición de flujo (macro medidores) de salida.

❖ **Operaciones de Iniciación**

- Dar entrada de agua procedente de los filtros, abriendo la válvula efluente.
- Dar salida del flujo a la red de distribución con 50% de almacenamiento.

❖ **Operación de Parada**

El funcionamiento de los tanques de distribución se puede suspender por:

1. El lavado general de la unidad, o reparación de válvulas de salida, o instalación o mantenimiento a los respectivos macro medidores.
 2. Niveles bajos dentro del tanque, por insuficiente caudal de entrada.
- Registrar el tiempo y observaciones de la parada en el cuadro de control.
 - En caso de programar una parada muy extensa se debe avisar a la comunidad con antelación, la fecha del corte de agua.

➤ **Operación Normal**

- Verificar mediante la inspección, que no hay presencia de material extraño, de lodo, y que no haya fuga por los muros o placas de fondo.
- Comprobar el buen estado de los macro medidores de salida.
- Revisar la maniobrabilidad de las válvulas de salida.
- Observar el nivel y determinar el volumen de agua almacenada.

- El operador de turno debe registrar datos de operación sobre:
 1. Altura de agua en el respectivo tanque (medido en la regla).
 2. Volumen de agua, entregado a cada una de las redes.
- Cada día se determina el total de agua producida y la entregada a cada red.

➤ **Proceso**

- Vigilar continuamente la entra de agua en suficiente cantidad al tanque.
- Observar continuamente, la altura de agua en los tanques y los volúmenes de agua de salida registrada en los medidores.
- Registrar cada hora en el cuadro de operación el volumen almacenado y la respectiva lectura de líquido entregado a la red.

➤ **Operaciones Eventuales o de Común Ocurrencia**

❖ **Traba de las Válvulas de Control de Salida de Agua**

- Parar el funcionamiento del tanque o realizar la reparación cuando se lave el tanque si esta no es muy grave.
- Diagnosticar su estado para proponer un cambio.
- Revisar que no se estén operando las válvulas como reguladoras de caudal.
- Reiniciar el llenado y operación normal del tanque.

❖ **Fluctuaciones Excesivas de Nivel de Agua en el Tanque**

- Regular la salida de agua hacia las redes o hacer el corte total.
- Baja eficiencia en la producción de agua efluente por parte de los filtros.
- Analizar el consumo presentado en la semana (posibles fugas en la red).
- Recurrir al estudio de una ampliación de la capacidad de los tanques, mediante al análisis de los datos de consumo máximo diario.

➤ **Monitoreo**

Cada día el operador de turno debe:

- Inspeccionar el flujo de agua de entrada proveniente de los filtros, nivel de almacenamiento y salida de líquido a las redes.
- Tomar la altura de agua en los tanques y en consecuencia, con asesoría del jefe de planta, decidir la regulación del volumen enviado a las redes.
- Solicitar al jefe de planta la corrección de anomalías y la reparación de daños.

❖ **Instrucciones Especiales**

1. Nivel de Agua en los Tanques: los tanques de almacenamiento cumplen una función reguladora del caudal diario de abastecimiento al sistema de distribución, el cual debe atender adecuadamente las variaciones del consumo. El caudal de agua a tratar debe ser suficiente para que no se presenten variaciones considerables en el nivel del agua.

2. Lavado de los Tanques: es necesario hacer un lavado de muros y piso por lo menos una vez al año, aplicando solución de hipoclorito, a fin de garantizar la asepsia de los tanques y evitar la formación de depósitos de lodos.

▲ **Red de Distribución**

➤ **Finalidad:**

- Distribuir en los domicilios de todos los usuarios, en agua potable producida en la planta de tratamiento.
- Garantizar que el líquido llegue completamente aséptico (libre de contaminantes externos) a cada uno de los puntos de la red de distribución.

➤ **Descripción:** conjunto de tuberías distribuidas a través de todo el municipio. Estas redes se conforman por tubería en asbesto cemento en un 25%, las cuales tienen más de 40 años de instaladas y generan pérdidas apreciables por fugas no visibles. Lo restante de la red (75%) ya se ha cambiado a tubería PVC, mejorando el servicio a los usuarios por reducción de daños y reparaciones.

➤ **Operación de Puesta en Marcha**

❖ **Operación Normal**

- Realizar análisis organolépticos y fisicoquímicos en la red. Se deben tomar mínimo 8 muestras cada 4 días en puntos estratégicos de la red (artículo 19 decreto 475/98). En el cuadro 2 de anexos se describe la información a recolectar y los puntos de la red donde se deben tomar cada muestra.
- Realizar 10 análisis microbiológicos (artículo 27 decreto 475/98) cada 3 días en los puntos extremos de la red.

- Efectuar un análisis anual (artículo 21 decreto 475/98) para determinar la presencia de sustancias tóxicas (metales pesados, pesticidas etc.).

6.2 MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES Y EQUIPOS

6.2.1 CONCEPTOS

Mantenimiento: Es el conjunto de acciones internas que se ejecutan en las instalaciones o equipo, para prevenir daños o para repararlos cuando ya se hubiere presentado, con el fin de lograr el buen funcionamiento.

Mantenimiento Preventivo: Es el conjunto de acciones de mantenimiento que se aplican a las instalaciones o equipos para evitar que se presenten fallas en ellos que pueden ocasionar funcionamiento defectuoso o una parada forzada.

Mantenimiento Correctivo: Es el conjunto de acciones que se ejecutan para restablecer el funcionamiento de un equipo o las condiciones de estabilidad o estado de una instalación, cuando ha llegado a una parada forzosa o al deterioro.

Procedimiento de Mantenimiento: Son rutinas preestablecidas, encaminadas a cumplir con la finalidad última del mantenimiento, que es la de garantizar el perfecto estado de funcionamiento o conservación de los equipos e instalaciones de los sistemas a los cuales se aplica.

Inventario Técnico: Es el registro individual de todas las instalaciones y equipos existentes en los sistemas de agua, que permiten conocer unos y otros con detalles prácticos, datos técnicos y suficiente información general.

6.2.2 ORGANIZACIÓN

▲ **División Técnica:** Es la unidad o cabeza de los sistemas de operación y mantenimiento (tarea que asume el jefe de planta).

▲ **Funciones de la Sección de Mantenimiento**

1. Programar, coordinar y supervisar la elaboración del inventario técnico de instalaciones y equipos.
2. Mantener permanentemente actualizado el inventario técnico.
3. Ejecutar la clasificación, conteo e identificación de instalaciones inventariadas.
4. Elaborar programa de mantenimiento preventivo.
5. Colocar la ejecución de mantenimiento preventivo en relación con las labores de mantenimiento correctivo.
6. Coordinar las labores de los servicios de mantenimiento de la planta, bajo su responsabilidad (s. de mantenimiento electromecánico, s. mantenimiento de obras civiles, s. mantenimiento de equipos de control).

6.2.3 POLITICAS

El mantenimiento se efectuara atendiendo a las siguientes políticas:

1. Se realizaran acciones de mantenimiento sobre las instalaciones y equipos de la planta, para cumplir con el objetivo de mantener el funcionamiento correcto con adecuada operación.
2. Las acciones de mantenimiento buscaran un equilibrio técnico-económico entre las de tipo preventivo y aquellas correctivas que sean necesario aplicar cuando

se han producido fallas o paradas forzosas. La experiencia indica que el equilibrio citado, se obtiene cuando las intervenciones de mantenimiento preventivo llegan al 80% de todas las acciones aplicadas a lo largo de un año. En consecuencia, si al finalizar un año estas intervenciones superan ese porcentaje, el programa del siguiente año deberá considerar un mayor espaciamiento de las frecuencias establecidas a fin de mantener la relación 80% mantenimiento preventivo y 20% mantenimiento correctivo.

3. Se dotara del recurso humano, financiero y de operación, necesarios para su adecuado funcionamiento.
4. Hacer control con base en la recolección, registro y procesamiento de la información obtenida.
5. Contar con personal adiestrado, para realizar las acciones de mantenimiento.
6. Utilizar talleres de confianza cuando se requiera acciones especializadas.
7. Disponer de unidades de suplencia en las unidades cuya falta afecte el funcionamiento de la planta en alto grado, especialmente:
 - Motor para dosificador de alumbre
 - Motobomba para agua de lavado de filtros.

6.2.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO

El sistema de mantenimiento debe funcionar para lograr que todas las instalaciones y equipos estén siempre en condiciones adecuadas, de operación permanente y eficiente, para así cumplir correctamente la función que les corresponde dentro de cada unidad de tratamiento.

El buen funcionamiento dependerá fundamentalmente de la existencia de una organización para planear, dirigir, ejecutar y controlar las actividades de

mantenimiento, en la cual se tenga precisamente definidas las funciones y los responsables de cumplirlas.

En el sistema de mantenimiento interviene principalmente los siguientes sujetos:

- a Jefe de Mantenimiento (mecánico de la planta).
- b Jefatura de Planta.
- c Taller de la empresa o externo.

Mediante cuya acción conjunta, eficiente y coordinada, podrán lograrse resultados efectivos de las intervenciones de mantenimiento y, por consecuencia, buen funcionamiento de las instalaciones y equipos.

Las actividades del sistema de mantenimiento se desarrollan de acuerdo al siguiente proceso:

1. Elaboración del programa de mantenimiento preventivo para la planta, conjuntamente entre la jefatura de planta y jefe de mantenimiento, previa constancia de las condiciones de funcionamiento de instalaciones y equipos.
2. El jefe de mantenimiento producirá de acuerdo con el programa, ordenes de servicio, dirigidas a los integrantes del sistema, según el nivel de responsabilidad de la acción a aplicar. El jefe de planta, se debe enterar de las órdenes de servicio que se produzcan.
3. Los ejecutores son: mecánico de la planta, cuadrilla de mantenimiento y taller.

En cada unidad, para cada orden de servicio se hará:

- Ejecución de la orden de servicio.
 - Registro de los servicios prestados.
4. Con base en los informes, la jefatura de planta y de mantenimiento, controlaran el desarrollo del programa.

5. La cuadrilla de mantenimiento y el taller ejecutaran las órdenes de servicio de mantenimiento correctivo producidas en la sección de mantenimiento, debidamente conocidas por la jefatura de planta.

6.2.5 PROCEDIMIENTOS

Los procedimientos que conforman el manual son:

- ▲ Elaboración del Inventario Técnico
- ▲ Elaboración del Programa de Mantenimiento Preventivo (P.M.P).
- ▲ Elaboración de Procedimientos de Ejecución de Mantenimiento y Establecimiento de Frecuencias.
- ▲ M.P de Dosificadores.
- ▲ M.P de Unidades Eléctricas.
- ▲ M.P del Clorador.
- ▲ M.P de Tanques en concreto y Válvulas de Control.

Los procedimientos considerados, corresponden a las instalaciones y equipos propuestos para la optimización de la planta.

▲ **Elaboración del Inventario Técnico**

- **Finalidad:** reunir y mantener actualizadas disponibles todas las informaciones necesarias para programar y llevar a cabo el mantenimiento de las instalaciones y equipos de la planta de tratamiento.

➤ **Descripción:** consiste en diligenciar las fichas diseñadas para tal efecto, siguiendo una secuencia lógica de inventario, agrupando por clases los equipos e instalaciones, clasificándolas e identificándolas para formar el inventario técnico.

➤ **Requisitos**

- Tener presente todas las instalaciones y equipos de la planta.
- La información que se incorpore debe ser lo mas completa y precisa.
- La fuente de información son: el personal que ha manejado el equipo, la investigación de las características.
- Disponer de fichas adecuadas, organizadas y archivadas de manera que permitan su fácil manejo y consulta.
- Incorporar en la respectiva ficha la instalación o cambio de un equipo.

➤ **Desarrollo del Procedimiento**

1. Elaboración de Fichas Técnicas

- Programar la secuencia o ruta de levantamiento de datos que deben consignarse en las fichas. La ruta, debe corresponder al del flujo de agua.

2. Clasificación de las Instalaciones y Equipos

- A Bombas Centrifugas de eje Horizontal
- B Motores Eléctricos de Eje horizontal
- C Válvulas
- D Vertedero de Aforo
- E Dosificador
- F Floculador

G	Sedimentador
H	Filtros Rápidos
I	Clorador
J	Tanques de Almacenamiento
K	Macro medidores
L	Instrumentos y Equipos de Laboratorio

Con la utilización de letras indicadas, se codifican los equipos e instalaciones en grupos que requieren similares acciones de mantenimiento.

▲ **Elaboración del Programa de Mantenimiento Preventivo (P.M.P).**

➤ **Finalidad:** obtener el programa de mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos que se aplicaran en la planta.

➤ **Descripción:** son las acciones organizadas que se realizan para lograr los objetivos del mantenimiento preventivo (M.P), fijando las fechas y acciones a realizar en cada una de las diversas unidades.

➤ **Requisitos:** para que el programa de (M.P) pueda ser factible, su metodología de elaboración deberá cumplir ciertas condiciones básicas o requisitos, así:

- Las intervenciones de frecuencia diaria o semanal, no se incluyen dentro del programa de M.P que se elabora cada año, pero serán objeto de instructivos especiales para los operadores de planta.

- El programa M.P considera un año calendario completo y en tal virtud aquellas intervenciones que deban aplicarse con frecuencias mayores, solamente se programaran en el año en que van a ser aplicadas.
- El M.P con frecuencia de un mes en adelante, será atendido por las cuadrillas de M.P de la empresa. Las intervenciones anuales de alta especialidad, podrán contratarse con talleres externos, con supervisión de la jefatura de planta.
- Las intervenciones de M.P para los diversos elementos de una misma parte o conjunto no deben programarse en forma separada, con el fin de realizar el servicio en varias oportunidades. Esto significa que las intervenciones deberán programarse simultáneamente para todas las partes del conjunto.
- Teniendo en cuenta que cuando se inicia en forma un programa de M.P no todos los equipos se encuentran funcionando en buenas condiciones e inclusive tales condiciones son disímiles para equipos de la misma clase, se recomienda que la programación considere lo siguiente:
 - * M.P de frecuencia anual, equipos con más de 2 años y menos de 7 de uso.
 - * M.P para equipos con menos de dos años de uso y para aquellos que teniendo más de dos años hubieran sido reparados recientemente.
 - * Para equipos fuera de la situaciones indicadas, no se programa M.P, simplemente las cuadrillas de mantenimiento reportan su estado de funcionamiento cuando se aplique el M.P a los demás equipos. Las cuadrillas y los operadores podrán permanecer alerta respecto a esos equipos, para detectar los síntomas de próximas fallas, para retirarlos de su servicio y someterlos a reparación completa.
- Si al realizar la programación resulta que a un mismo equipo deben aplicarse dos o mas intervenciones de M.P en la misma fecha, se programara y aplicara la de frecuencia con mayor lapso. Así por ejemplo, si en un mismo día coinciden los servicios de M.P mensual y semestral para un determinado equipo, se programara y aplicara la intervención de frecuencia semestral.

- Deben proveerse varias semanas libres a lo largo del programa, para que las cuadrillas de mantenimiento preventivo, puedan realizar las tareas de mantenimiento correctivo.

➤ **Desarrollo del Procedimiento**

Con base en los requisitos expuestos anteriormente. Con los procedimientos de ejecución que se presenta mas adelante y las frecuencias establecidas, se procede a preparar la programación de mantenimiento preventivo (ver cuadro 4).

1. En la primera columna, se colocan los equipos e instalaciones agrupadas por componentes o procesos unitarios, siguiendo el recorrido del agua en la planta.
2. Se señalaran las columnas correspondientes a días no hábiles (feriados, domingos etc.) mediante coloreado, de manera que al final de este paso se dispongan de las columnas correspondientes a los días hábiles del año.
3. En sentido horizontal, para cada unidad se indicara con un código numérico (mensual = 1; trimestral = 3; semestral = 6; anual = Φ), los servicios de M.P que correspondan, colocando en las fechas respectivas y durante el numero de día previstos para ejecutar cada servicio. El diligenciamiento del cuadro se inicia con la primera unidad, programando para ella todos los servicios que se le deban aplicar a lo largo del año. Solo cuando se haya terminado este primer renglón y se le hayan hecho los ajustes recomendados antes (intervenciones anuales, semestrales etc.), se pasara al programar los servicios de M.P para la segunda unidad y así sucesivamente.
4. La anterior programación se realizara teniendo en cuenta, que se realizaran todos los servicios hasta que la cuadrilla quede completamente copada. Si esto llega a ocurrir se programan tareas para una segunda cuadrilla.

5. Por ultimo para tener completamente diseñado el programa M.P se elaborara el calendario, el cual será conformado por los documentos básicos siguientes:

- Calendario General:

El periodo de programación será de un mes, y esta dirigido a la cuadrilla de mantenimiento, que es el nivel de responsabilidad de ejecución para estos servicios. Los datos se diligencian en el formato respectivo, así (ver cuadro 7):

- Se referenciará el sistema de tratamiento.
- Se anotara el mes y año correspondiente a la programación.
- En la siguiente columna (código de equipo) se listan todos los equipos que deben recibir servicio en esta fecha.
- Se identifica el sitio donde están ubicados cada uno de los equipos que recibirán servicio ese día.
- Se anota en la ultima columna el servicio que se les debe dar (frecuencia).

Cuando se haya terminado con el primer día hábil del año. Se iniciara el mismo proceso para el siguiente, y así sucesivamente.

- Secuencia Diaria

Para las intervenciones diarias o semanales, que son responsabilidad del mecánico de mantenimiento, se usara el formato “frecuencia diaria”, (ver cuadro 8) en el cual se colocara la fecha, se listaran los equipos que deben tener una intervención diaria, colocados en una secuencia lógica. En la tercera y cuarta columna, el mecánico anotara si el equipo se encuentra en funcionamiento normal o en caso contrario, la anomalía que presenta. En la quinta columna se indicara el servicio dado; en la sexta se hará constar que anomalía fue reportada y por ultimo el nombre de la persona ejecutora del servicio.

▲ **Elaboración de Procedimientos de Ejecución de Mantenimiento Preventivo y Establecimiento de Frecuencias**

➤ **Finalidad:** establecer rutinas a seguir para elaborar los procedimientos de ejecución de M.P para cada grupo de instalaciones o equipos.

Teniendo en cuenta que el manual es dinámico y siempre deberá estar actualizado, esto es, que cada vez que se incorporen equipos pertenecientes a grupos de procedimientos de M.P contenidos en este manual, la empresa deberá elaborar el procedimiento correspondiente, siguiendo la rutina aquí establecida.

➤ **Descripción:** el procedimiento consiste en relacionar las acciones que debe aplicarse a las instalaciones o equipos para efectuar su mantenimiento preventivo, determinando la frecuencia de aplicación, la duración estimada y el responsable de la intervención, así como los materiales, elementos y repuestos necesarios para realizar las acciones.

➤ **Requisitos:** para elaborar un procedimiento de ejecución de M.P y establecer las frecuencias de aplicación, debe disponerse de:

1. Las características del equipo consignadas en:

- Memorias técnicas de proyecto.
- Catálogos de fábrica.
- Lista de partes
- Fichas de inventario.

2. Instructivo de montaje, operación y mantenimiento suministrada por la firma fabricante o representante.
3. Información sobre funcionamiento de equipos similares a otras entidades.
4. Previsión de horas diarias de trabajo.
5. Análisis de frecuencias de la intervención.

➤ **Desarrollo del procedimiento:** para desarrollar el procedimiento, se seguirá una secuencia lógica que permita establecer cada una de las partes que lo componen, así:

✓ **Definición de Responsabilidad:** identificar el responsable por la intervención o servicio, de acuerdo con los criterios expuestos antes, que establecen básicamente cuatro niveles de responsabilidad.

- Mecánico de Mantenimiento de Planta: para intervenciones de frecuencia diaria o semanal.
- Cuadrilla de M.P: Intervenciones de frecuencias entre un mes y un año.
- Taller de la empresa: para intervenciones de alta especialidad o que requieren instalaciones de taller.
- Talleres o técnicos ajenos a la Empresa. para intervenciones de mano de obra calificada a las instalaciones o equipos.

✓ **Determinación de las Intervenciones o Servicios**

1. Hacer un listado que contenga todas las intervenciones recomendadas por el fabricante del equipo.

2. Revisar cada una de las intervenciones recomendadas, escoger las de más fácil aplicación al equipo.
3. Establecer el mejoramiento del listado de intervenciones aplicables a los equipos, complementando el personal de mantenimiento de la empresa.

✓ **Establecimiento de Frecuencias de Intervención:** casi siempre se dan por horas de funcionamiento y pocos equipos disponen de (horómetros) como elemento de norma. Eso hace difícil establecer con precisión el tiempo real de funcionamiento del equipo.

1. La solución adoptada para establecer la frecuencia de intervención que permita una programación acorde con lo estipulado, es la de utilizar una frecuencia única para todos los equipos de las mismas características, que será el promedio ponderado del número de equipos de cada marca y el número de días de funcionamiento entre dos intervenciones de mantenimiento. El número de días que arroje será la frecuencia única a emplear en este tipo de equipos.
2. La utilización de tiempos medios de funcionamiento de los equipos, cuando se cuenta con diferentes marcas de estos, conduce a fijar para una primera fase de ejecución del mantenimiento, una fecha para aplicar determinada intervención que no coincidirá exactamente con la recomendada por el fabricante. De esa forma, algunos equipos recibirán mantenimiento antes de la fecha recomendada y otros después.
3. Propender por la estandarización de las marcas de manera que en la planta no se tengan más de dos marcas de cada clase de equipos. Cuando esto se logre, las frecuencias de las intervenciones serán prácticamente coincidentes.

▲ **M.P de Dosificadores**

➤ **Finalidad:** mantener en condiciones óptimas de funcionalidad el equipo dosificador instalado.

➤ **Descripción:** el procedimiento describe las intervenciones que son necesario hacer, en la respectiva frecuencia para mantener en buen estado el dosificador y el motor de accionamiento.

➤ **Requisitos:** para aplicar cada una de las intervenciones o servicios, es necesario cumplir con los siguientes requisitos.

- Disponer de los equipos, herramientas, elementos y repuestos necesarios para la intervención, tanto en lo referente al dosificador como a los motores.
- Contar con fichas técnicas de cada uno de los equipos.

➤ **Mantenimiento de Frecuencia Diaria**

→ **Responsabilidad:** será del operador de turno y cuando lo amerite, el mecánico de mantenimiento de la planta.

➤ **Intervención o Servicios**

1. Verificar estado de remaches, tornillos y tuercas de sujeción de las tolvas del dosificador. Cambiar los tornillos defectuosos y ajustar tornillos flojos.
2. Revisar si el tornillo sinfín esta girando libremente y que el ajuste de la escala no sea tedioso, en caso de obstrucciones eliminarlas.
3. Revisar que no hayan sedimentos sobre la tolva del dosificador.
4. Revisar estado de las conexiones eléctricas al equipo.
5. reportar las anomalías al jefe de planta, que se consideren de la intervención de mecánico de mantenimiento.

➤ **Mantenimiento de Frecuencia Semestral**

→ **Responsabilidad:** será del mecánico de mantenimiento de la planta.

➤ **Intervención o Servicios**

1. Realizar toda la intervención de frecuencia diaria
2. Cambiar totalmente la lubricación de los rodamientos de los motores.
3. Remover grasa de las partes móviles y agregar grasa nueva.
4. Limpiar con cepillo metálico las partes que tengan adherido alumbre seco y remover los residuos con paño.
5. Lavar y cepillar perfectamente la cámara de solución de alumbre.
6. Calibrar nuevamente el equipo.

➤ **Mantenimiento de Frecuencia Anual**

→ **Responsabilidad:** la responsabilidad en estas intervenciones será de la cuadrilla de mantenimiento.

➤ **Intervención o Servicios**

• Dosificador de Alumbre:

1. Revisar la estructura de la tolva.
2. Desmontar, limpiar y ajustar nuevamente la tolva.
3. Limpiar a fondo la cámara de solución, remover residuos y enjuagar.
4. Revisar que el mecanismo de dosificación de alumbre, no tenga ninguna obstrucción. Ajustar, acoples y conexiones de agua y sondear la conducción de solución para eliminar residuos.
5. Calibrar el equipo para la operación, después de que se haya realizado el mantenimiento respectivo.
6. Pintar todo el equipo, incluyendo la tolva, con pintura anticorrosiva.

• Motor Eléctrico de Accionamiento:

1. Revisar y ajustar el soporte de fijación del motor al dosificador.
2. Revisar el estado del elemento de transmisión motor-tornillo sinfín.
3. Desmontar completamente el motor, observando y clasificando el estado de las piezas.
4. Examinar y limpiar escobillas, portaescobillas, bobinas, rodamientos etc.
5. Observar desgastes anormales en los ejes y cambiarlos.
6. Comprobar continuidad de las bobinas y recubrir con dieléctrico.
7. Realizar el montaje del motor, verificando ausencia de material abrasivo.
8. Lubricar adecuadamente todas las partes que corresponda, usando el tipo de lubricante recomendado por el fabricante o similares.
9. Pintar exteriormente el motor.

La información se registra en el informe de servicio ejecutado (ver cuadro 7).

➤ **Control del Programa de M.P**

- El jefe de planta, con base en los informes de servicio ejecutados y los reportes del jefe de mantenimiento, debe controlar el cumplimiento del programa de M.P. y coordinar con la sección de mantenimiento los ajustes necesarios.

➤ **M.P de Circuitos Eléctricos**

→ **Finalidad:** mantener en perfecto estado de funcionamiento y adecuadas condiciones de seguridad, todos los dispositivos e instalaciones eléctricas hacia cada una de los equipos disponibles en la planta.

→ **Descripción:** la planta cuenta con una caja de distribución de circuitos eléctricos a diferentes puntos de la edificación, en los cuales están instalados los dispositivos de control de arranque de bombas y motores.

→ **Requisitos**

- Aplicar cada vez que la máquina que comanda reciba una intervención o servicio que implique su parada.
- Disponer de los repuestos y elementos necesarios para corregir la avería.

→ **Responsabilidad:** será de la cuadrilla de mantenimiento salvo en ocasiones que se requiera la presencia del mecánico de mantenimiento.

➤ **Inspección, Reparación o Servicio**

1. Detectar presencia de oxido carbonado o “sulfatación” en los contactos. Remover y limpiar la parte afectada. Si se observa disminución puntual del espesor del cable, debe removerse.
2. Corregir puntas de cable, sueltas en las cajas de distribución.
3. Cambiar fusibles quemados.
4. Verificar que no hayan cortocircuitos, por presencia de cables pelados.
5. Inspeccionar, la conexión de los terminales de los equipos al flujo eléctrico.
6. Revisar cuchillas y automáticos de la caja de distribución. Limpiar y ajustar nuevamente las piezas de sujeción.
7. Revisar las instalaciones eléctricas internas de los equipos para prevenir que fallen mas adelante por falta de contacto o cortocircuito.
8. Revisar que los circuitos no estén funcionando sobrecargados.

➤ **Control**

- Registrar las acciones ejecutadas en el informe de servicios ejecutados. Además se deben informar sobre las condiciones de funcionamiento del equipo.
- La sección de mantenimiento controla el cumplimiento del programa de M.P y coordina con el jefe de planta los ajustes necesarios, en caso de requerirse el servicio de mantenimiento correctivo.

➤ **Instrucciones Especiales**

- Cerciorarse que el circuito en que trabaja no este energizado.

- No tener puesto elementos metálicos mientras realiza las intervenciones,
- Toda derivación debe quedar debidamente aislada.
- Utilizar herramienta adecuada para trabajar con electricidad.
- No colocar alambres como fusibles.
- Evitar trabajar con escaleras o bancos metálicos mientras se opera con conductores o elementos eléctricos.

➤ **M.P del Clorador**

➤ **Finalidad:** mantener en perfecto estado de funcionamiento, a fin de evitar posibles fugas, que expongan la integridad de los trabajadores.

→ **Descripción:** el equipo de cloración que consta de: dosificador, inyector, conexiones etc, hay que mantenerlo bien ajustado para tener una mayor duración.

→ **Requisitos**

- Disponer de los catálogos, lista de partes y esquemas de montaje del clorador.
- Comprobar que se dispone de los elementos necesarios para llevar a cabo la respectiva intervención.
- Observar la posición de las válvulas antes de iniciar la intervención.

➤ **Mantenimiento de Frecuencia Diaria**

→ **Responsabilidad:** el responsable por esta operación es el operador de turno

➤ **Intervención o Servicio**

1. Localizar fugas de cloro con solución de amoníaco-agua. La boca de la botella se coloca junto a todas las uniones. La aparición de humo blanco indica la fuga de gas cloro.
2. Las fugas de agua, detectadas por inspección, se corrigen de inmediato, al igual que las de cloro.
3. Operar las válvulas del equipo (abrir y cerrar), fijándolas nuevamente en la posición de operación. Esto tiene por objetivo evitar que los depósitos de impurezas bloqueen la válvula.
4. Limpiar con paño seco, la parte interna del dosificador de cloro, para evitar la corrosión por presencia de humedad.
5. Reportar al jefe de planta la presencia de gotas traslucidas (humedad) o amarillo-verdoso (cloro) dentro del rotámetro del dosificador.

➤ **Mantenimiento de Frecuencia Mensual**

→ **Responsabilidad:** la responsabilidad por la ejecución de este servicio será del mecánico de planta.

➤ **Intervención o Servicio**

1. Revisar los reportes hechos por los operarios y buscar corregir sus causas.

2. Si se ha detectado repetidamente gotas amarillo-verdoso; Revisa y buscar mantener en el dosificador de cloro una temperatura mayor o por lo menos igual a la de la tubería de alimentación en el punto de salida del cilindro.
3. Medir la presión del agua y el vacío del dosificador de cloro, ajustar las válvulas para obtener la presión, contrapresión y vacío recomendado por el fabricante, para la rata de aplicación necesaria.
4. Revisar el sistema de tubería (agua, cloro, solución), corregir fugas, ajustar o cambiar válvulas o registros de corte, acoples, etc.
5. Aplicar vaselina a las tuberías y partes metálicas que no pueden recibir pintura.
6. Revisar cuidadosamente los acoples del cilindro cuando se esta instalando y determinar melladuras en la rosca, cambiar si este no es seguro.

➤ **Mantenimiento de Frecuencia Anual**

→ **Responsabilidad:** este servicio será ejecutado por la cuadrilla de mantenimiento.

➤ **Intervención o Servicio**

1. Reemplazar los empaques de válvulas de paso.
2. Lavar con agua todas las tuberías y secarlas correctamente.
3. Revisar las tuberías flexibles y cambiar aquellas que tengan grietas.
4. Instruir a los operadores sobre el uso de herramientas adecuadas para no ocasionar daño a roscas y cuadrantes, lo mismo que respecto a la colocación de los empaques de plomo, en caso de que haya defectos en ellos.

El registro de toda acción ejecutada se debe hacer en el informe de servicios ejecutados (ver anexo B cuadro 9). Además se debe informar sobre las condiciones de funcionamiento del equipo. El jefe de planta debe verificar la información registrada en el informe de servicios ejecutados y solicitar los servicios de mantenimiento correctivo que correspondan.

➤ **M.P de Unidades en Concreto, Mampostería y Válvulas**

→ **Finalidad:** mantener en perfecto estado la conformación estructural asignada a cada proceso unitario de tratamiento y a los respectivos elementos que hacen posible el control de su operación.

→ **Descripción:** la planta esta conformada por muros estructurales en concreto, que dividen cada proceso unitario y además controlado por válvulas metálicas útiles para que haya buena comunicación entre unidades.

➤ **Requisitos**

1. Verificar la programación de M.P que recibirá cada elemento con anterioridad.
2. Estudiar, la forma de realizar la respectiva tarea en el menos tiempo.
3. Disponibilidad de todos los elementos necesarios para realizar la intervención.

➤ **Mantenimiento de Frecuencia Semanal**

→ **Responsabilidad:** será de responsable por este servicio el operador de turno y en caso necesario el mecánico de la planta.

➤ **Intervención o Servicio**

1. Inspeccionar en los pozos de desagüe algún flujo anormal que se presente.
2. Verificar que los respiraderos de los tanques de almacenamiento estén en su sitio y buen estado, junto con la protección que impide la entrada de insectos.
3. Verificar el estado de la rosca del vástago de las válvulas y el engrase del mismo si hace falta. Proteger con pintura anticorrosiva, las partes expuestas al agua constantemente.
4. Observar el hermetismo de las válvulas en su cierre, la maniobrabilidad y el estado estructural en que se encuentran.
5. Detectar fugas en las estructuras de concreto debido a grietas o fisuras.
6. Proteger los soportes de las placas en el floculador contra la corrosión.
7. .Cambiar aquellas placas de asbesto que hayan sufrido algún tipo de avería (rompimiento, deflexión excesiva, etc.).
8. en general buscar que siempre todos los elementos que se utilizan diariamente para hacer posible la potabilización del agua, permanezcan es optimas condiciones de funcionamiento.

➤ **Mantenimiento de Frecuencia Semestral (o en cada lavado)**

→ **Responsabilidad:** el responsable por esta intervención es el personal de mantenimiento de la empresa.

➤ **Intervención o Servicio**

- Detectar grietas o fisuras en las estructuras de concreto. Corregirlas aplicando mortero con aditivos que aceleren su fraguado.
- Revisar estado de recubrimiento y reparar los sitios en que sea necesario, utilizando aditivos que no retrasen la puesta en marcha de la planta.

Las intervenciones efectuadas se registran en el informe de servicios ejecutados. El jefe de planta debe revisar los informes y comprobar la información registrada. Presentar solicitud de mantenimiento correctivo que correspondan.

Nota: este manual debe ser sometido a cambios, cuando se adquieran nuevos equipos o se mejoren o cambien las unidades de tratamiento. También cuando se prueben nuevas estrategias de operación, que lleven a mejorar la eficiencia y costos, estos deben adicionarse respectivamente.

La información reseñada para mantenimiento en este documento es simplemente una información necesaria para establecer operaciones de mantenimiento, por tanto queda a juicio del jefe de planta aplicar esta metodología o establecer de manera individual la forma como se desarrollaran las actividades de mantenimiento respectivo.

Los cuadros propuestos para control de operación y registro de información de mantenimiento, son a modo de ejemplo, de manera que pueden ser modificados en la forma que sea más conveniente para el manejo de la información por parte de la empresa y de los empleados.

CONCLUSIONES

- ◆ El jefe de planta como director de la misma debe establecer controles para alcanzar la eficiencia en la producción de agua. Además el personal debe estar debidamente instruido para el desarrollo de las actividades de operación.
- ◆ La calidad del agua sedimentada se ha visto afectada, por la falta de los procesos iniciales más importantes en el tratamiento de agua como son la coagulación-floculación por ausencia o daños en la unidad.
- ◆ Se deben aumentar las frecuencias de aseo rutinarias en los canales para evitar la acumulación exagerada de musgo y algas que puedan generar mal aspecto a las instalaciones.
- ◆ Como la función primordial de la planta es producir el volumen necesario de agua para el consumo, este se debe alcanzar junto con la implementación de controles de operación que permitan mantener siempre una producción de agua de buena calidad y a bajo costo.
- ◆ Se le deben facilitar a los operadores los registros históricos debidamente clasificados y graficados si es necesario, tal que cada operador pueda sortear dificultades ante calidades de agua similares en las que se haya obtenido buenos resultados.
- ◆ La poca instrucción y la falta de elementos (mascaras etc.) necesarios para el manejo de los productos químicos que se manipulan en la planta, genera accidentes y enfermedades a las operadoras.

- ◆ Se deben trazar y priorizar estrategias que permitan poco a poco implementar los controles de operación y mantenimiento en la planta.
- ◆ Se debe revisar la maniobrabilidad de las válvulas, mediante tareas de mantenimiento, para descartar algún tipo de daño o hacer la reposición respectiva de los repuesto o accesorios que requiera.
- ◆ La calidad del agua de entrada es buena en cuanto a la baja turbiedad durante el año, que se afecta considerablemente en el invierno por la erosión aledaña a las fuentes. El pH también es bueno, con mayor tendencia a ser neutro.
- ◆ Con un mejor rediseño de la aducción se lograra aprovechar toda la capacidad de la tubería, junto con la obtención de un aumento del caudal de entrada a la planta, afectado seriamente por el trazado que tiene esta.
- ◆ Los consumos excesivos de insumos, se pueden reducir, como es el caso de la dosificación de coagulante mientras que se cuente con la instrucción y equipos necesarios para la estandarización de la dosis, para cada calidad de agua.
- ◆ La dosificación a ojo, ocasiona que se desmejore la calidad del agua en las unidades mientras la operadora corrige y encuentra la dosis satisfactoria. Adicional a este problema, la estructura de mezcla rápida es deficiente y no se obtienen buenos resultados por la nula agitación a la hora de homogenizar la solución de coagulante con el agua.
- ◆ El represamiento del flujo en el canal aguas abajo, altera la medida del caudal de entrada, aumentándolo hasta en 2 l/s. La calibración de esta unidad es importante porque este dato, orienta la operación de cada unidad.

- ◆ Establecer controles de operación y mantenimiento, con compromiso de las partes (jefe de planta-operadoras), debe ser la tarea prioritaria a desarrollar dentro de la planta para la conservación de las instalaciones y el mejoramiento en la calidad del agua mediante la implementación de equipos y procesos de producción y control.
- ◆ La ausencia de los procesos de coagulación-floculación a recargado el trabajo a las unidades posteriores especialmente a los filtros. Estos últimos operan a turbiedades elevadas que deterioran el lecho filtrante.
- ◆ Se debe implementar un punto específico para tomar la muestra de agua filtrada, para cada filtro, que permite dar un concepto individual de la calidad que esta produciendo cada unidad.
- ◆ El mal estado de los lechos filtrantes por formación de bolas de barro y burbujas de aire, debido a falta de controles de operación, son causa de que el flujo hacia los tanques se reduzca y por ende estos fluctúen con facilidad.
- ◆ La implementación de una cámara de cloración, permite dar seguridad de que el agua almacenada en ambos tanques tuvo una eficiente desinfección.
- ◆ La implementación de un lecho filtrante de arena-antracita, permitirá disminuir el tiempo de producción a la vez que se aumenta el volumen a tratar, con significativa mejoría en la calidad del agua final, de la mano con la implementación de controles rutinarios de operación y mantenimiento.
- ◆ La optimización de la planta es fundamental, puesto que permitirá aumentar la capacidad de producción de agua, renovar las unidades y equipos para hacerla más eficiente y económica.

- ◆ Para la optimización de la planta se pensó primordialmente en implementar unidades con funcionamiento hidráulico, que se ajusten a la disponibilidad de espacio existente. Es decir las unidades necesarias se dimensionaran de la forma que se realizara la menor obra civil.
- ◆ La implementación de la prueba de jarras junto con el kit de prueba de alcalinidad para el laboratorio es fundamental para el control de calidad, control de consumo de productos químicos y para caracterizar fisicoquímicamente el agua de entrada a la planta, conformando un historial completo de datos.
- ◆ La optimización de la planta junto con el manual de operación y mantenimiento debe formar un conjunto sólido que es el que llevara a la conservación y prolongación de buenas calidades de agua finales.
- ◆ El proyecto de optimización de la planta de tratamiento y la configuración dada a las unidades permitirá que se adecue las instalaciones para operar 20 años mas, a la vez que queda espacio para una segunda ampliación paralela ante un aumento en la demanda de agua.
- ◆ La propuesta del vertedero rectangular obedece a que funciona como unidad de aforo y además genera turbulencia suficiente para realizar el proceso de coagulación, con el cual no se cuenta. La propuesta de vertedero rectangular se debe al mejor comportamiento hidráulico aguas abajo, para caudales pequeños.
- ◆ La configuración del floculador esta concebida para hacer el proceso netamente hidráulico y mejorar la eficiencia, obteniéndose una reducción de costos por operación y mantenimiento.
- ◆ El sedimentador de alta rata tiene como ventaja utilizar una menor área superficial con un aumento en la eficiencia remocional de partículas.

- ◆ Las unidades de los filtros no requieren ningún tipo de ampliación, por el contrario tiene suficiente capacidad para una ampliación mas a futuro. Lo que si se requiere es un mantenimiento riguroso de las válvulas de control y de los procesos de operación de los mismos.

- ◆ En los tanques de almacenamiento, no se requiere aumentar la capacidad, puesto que el volumen actual es capaz de hacer una buena regulación del consumo. Por el contrario es necesario la instalación de macromedidores para el control del volumen entregado a la red y el conocimiento de las posibles fugas o perdidas que se estén presentando.

BIBLIOGRAFIA

- ARBOLEDA, Valencia Jorge, Teoría y Practica de la Purificación del Agua Tomo I y II, Ediciones McGraw Hill.
Bogota 2001
- Curso sobre Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento, Universidad Industrial de Santander, Modulo 5
Bucaramanga 1982
- GOMEZ, Sánchez Jorge, Teoría Plantas de Tratamiento (conferencia de clase)
Bucaramanga 2003.
- GONZALEZ, Martha Liliana, Tesis de Grado. Mejoramiento de los Procesos de Tratamiento de Agua del Acueducto de San Gil
Bucaramanga 2001
- Norma RAS Títulos A y B respectivamente
- [www. cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org), Teoría y manuales sobre operación de las unidades
CEPIS 2004

ANEXO A

- **CUADROS DE ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE JARRAS Y**
- **GRAFICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS OPTIMOS DE FLOCULACIÓN**

Ensayo 1: DETERMINACION DE GRADIENTE Y TIEMPO DE FLOCULACIÓN ÓPTIMO.

Fecha: 19 Noviembre de 2004

Turbiedad Inicial (T_0): 44 [UNT]

Color Inicial: < 150 U.P.C

Dosis optima de coagulante: 1 mg/l

Velocidad mezcla rápida: 100 r.p.m

Tiempo de sedimentación: 10 min

Tf: Turbiedad residual.

		VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN							
		20 r.p.m		30 r.p.m		40 r.p.m		50 r.p.m	
Jarra Numero	Tiempo de Floculación [min]	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To
1	7	18.1	41.1	16.3	37.0	8.1	18.4	10.7	24.3
2	14	13.2	30.0	8.2	18.6	1.1	2.5	6.6	15.0
3	21	8.2	18.6	5.5	12.5	3.4	7.7	3.9	8.9
4	28	5.8	13.2	6.7	15.2	3.8	8.6	4.8	10.9

Ensayo 2: DETERMINACION DE GRADIENTE Y TIEMPO DE FLOCULACIÓN ÓPTIMO.**Fecha: 19 Noviembre de 2004**

Turbiedad Inicial (T_0): 161 [UNT]
Color Inicial: < 150 U.P.C
Dosis optima de coagulante: 20 mg/l
Velocidad mezcla rápida: 100 r.p.m
Tiempo de sedimentación: 10 min.
Tf: Turbiedad residual.

		VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN							
		20 r.p.m		30 r.p.m		40 r.p.m		50 r.p.m	
Jarra Numero	Tiempo de Floculación [min]	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To
1	7	3.3	7.5	4	9.1	2.3	5.2	4.8	10.9
2	14	1.6	3.6	1.5	3.4	1.3	3.0	2.5	5.7
3	21	1.2	2.7	1.2	2.7	1.8	4.1	1.5	3.4
4	28	2.5	5.7	2.2	5.0	3.4	7.7	6.1	13.9

Ensayo 3: DETERMINACION DE GRADIENTE Y TIEMPO DE FLOCULACIÓN ÓPTIMO.

Fecha: 4 Diciembre de 2004

Turbiedad Inicial (T_0): 107 [UNT]
Color Inicial: < 150 U.P.C
Dosis optima de coagulante: 10 mg/l
Velocidad mezcla rápida: 100 r.p.m
Tiempo de sedimentación: 10 min.
Tf: Turbiedad residual.

		VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN							
		20 r.p.m		30 r.p.m		40 r.p.m		50 r.p.m	
Jarra Numero	Tiempo de Floculación [min]	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To
1	7	2.5	5.7	3.5	8.0	2	4.5	8.6	19.5
2	14	1.1	2.5	1.5	3.4	1.1	2.5	2.1	4.8
3	21	1.5	3.4	1.1	2.5	1.5	3.4	1.5	3.4
4	28	3.7	8.4	2	4.5	3.7	8.4	5.2	11.8

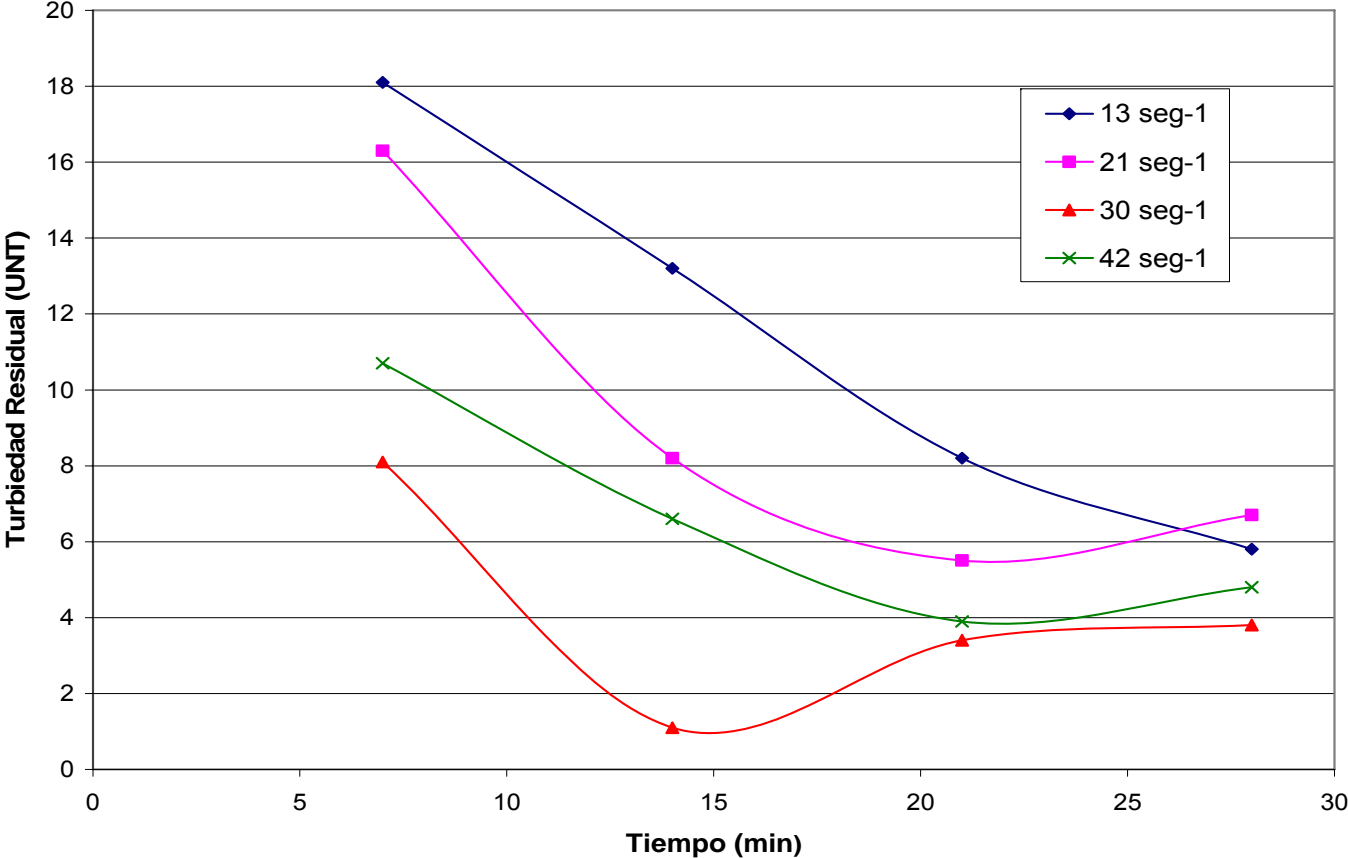
Ensayo 4: DETERMINACION DE GRADIENTE Y TIEMPO DE FLOCULACIÓN ÓPTIMO.

Fecha: 11 Diciembre de 2004

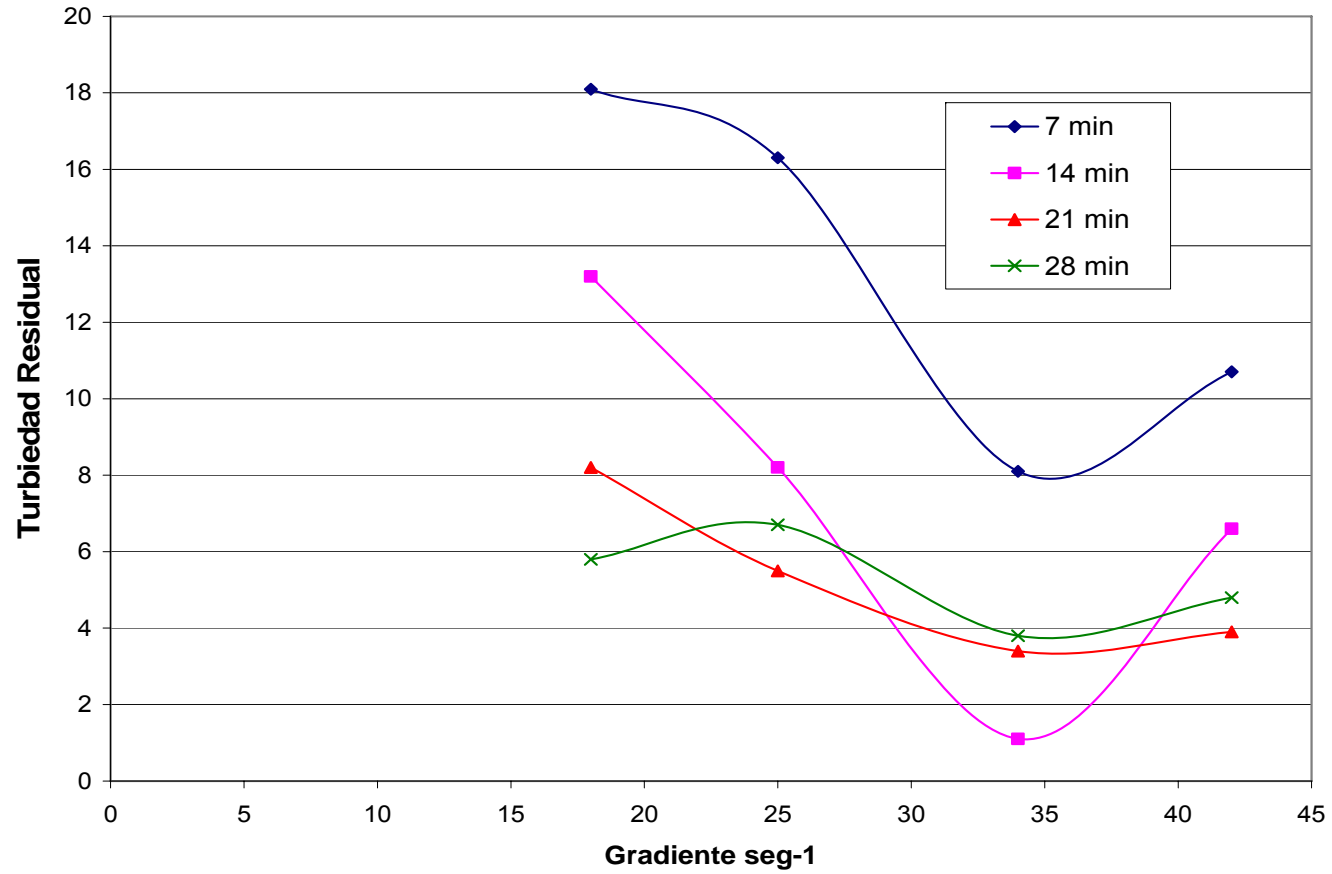
Turbiedad Inicial (T_0): 759 [UNT]
Color Inicial: < 150 U.P.C
Dosis optima de coagulante: 50 mg/l
Velocidad mezcla rápida: 100 r.p.m
Tiempo de sedimentación: 10 min
Tf: Turbiedad residual.

		VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN							
		20 r.p.m		30 r.p.m		40 r.p.m		50 r.p.m	
Jarra Numero	Tiempo de Floculación [min]	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To	Tf [UNT]	Tf*100 To
1	7	9.6	21.8	11.6	26.4	8	18.2	5.4	12.3
2	14	8.3	18.9	7.1	16.1	2.8	6.4	3.2	7.3
3	21	4.6	10.5	3.5	8.0	2.1	4.8	2	4.5
4	28	3.5	8.0	1.8	4.1	2.5	5.7	1.5	3.4

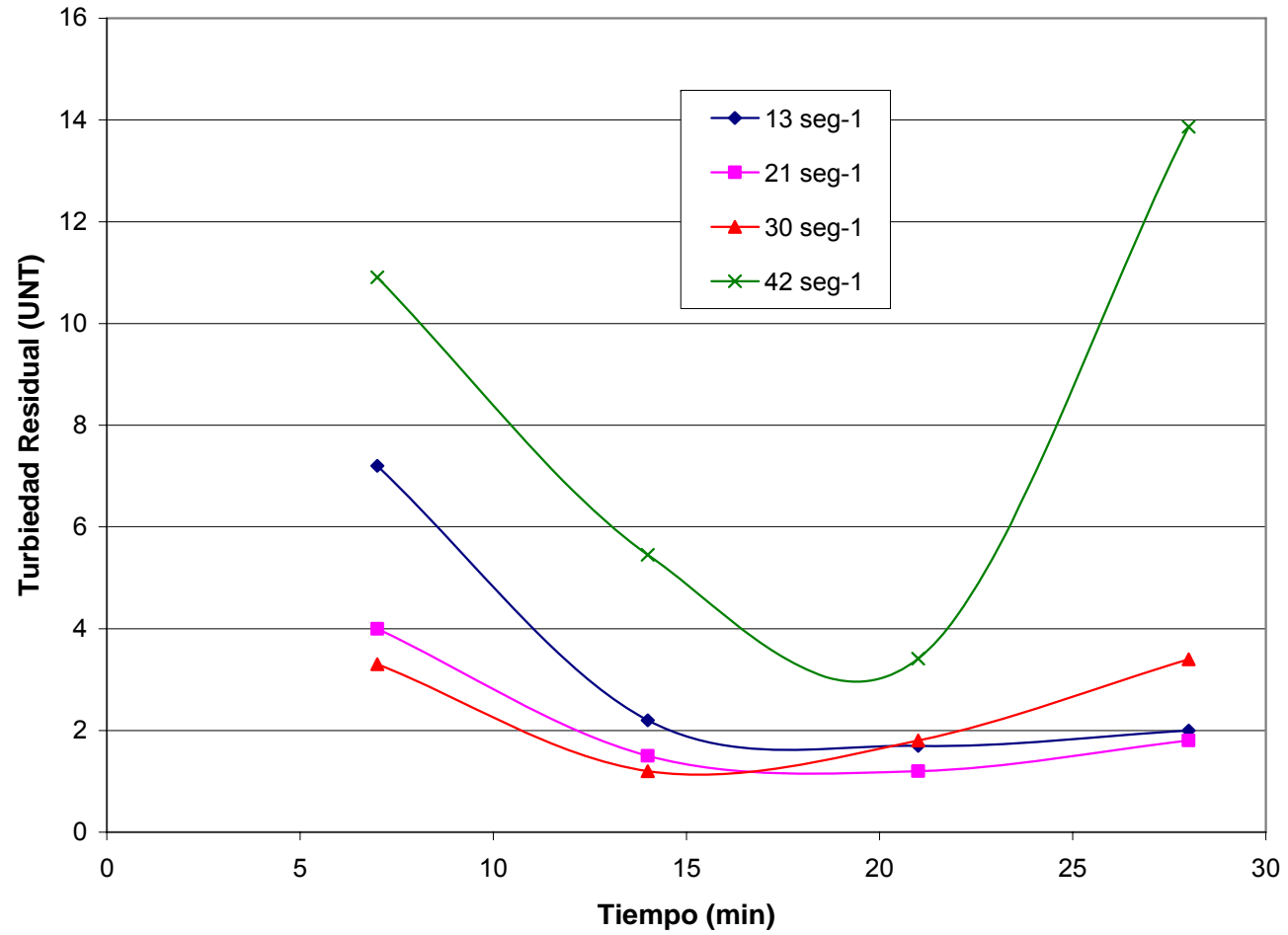
Ensayo 1 , To = 44 UNT



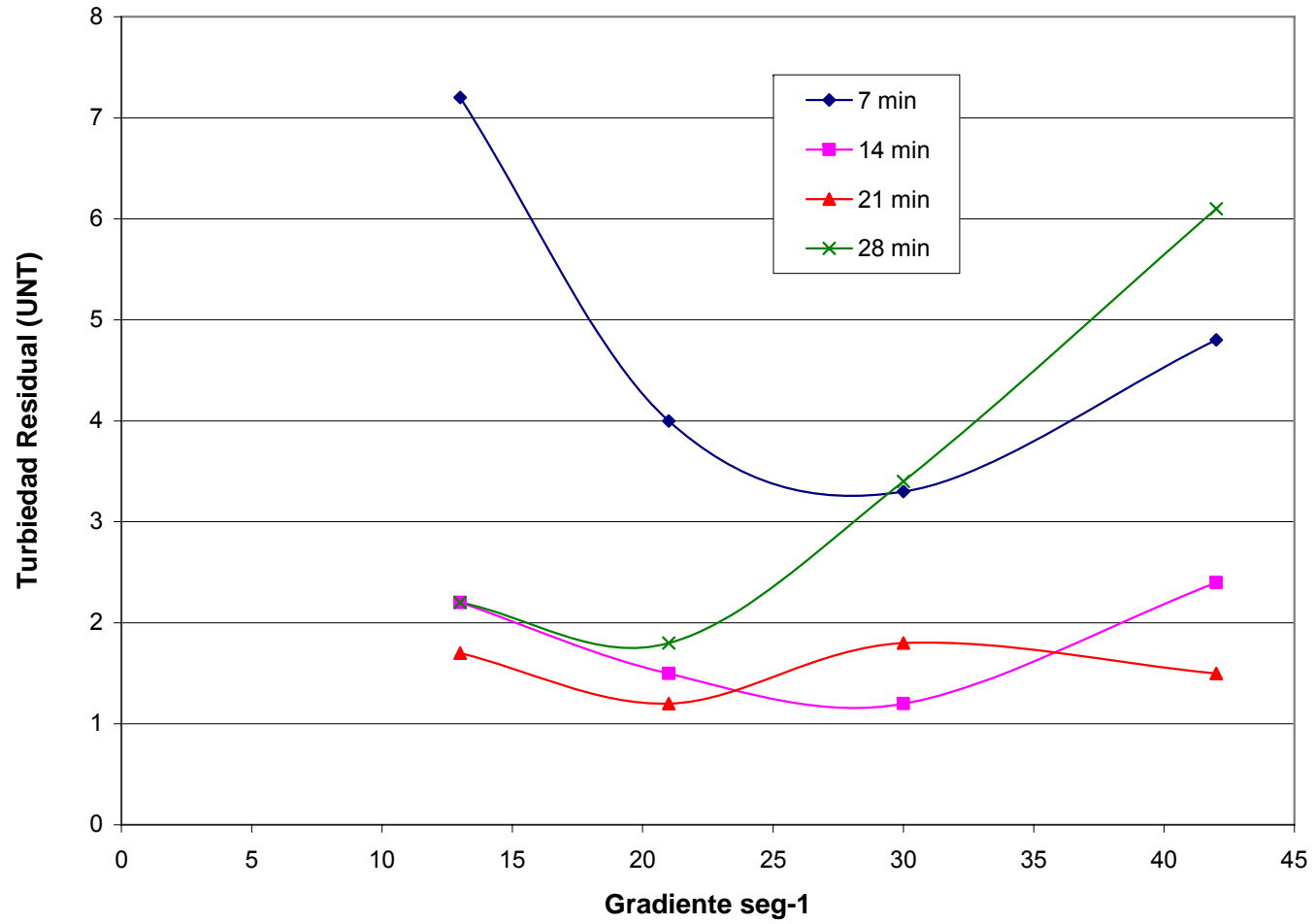
Ensayo 1, To = 44 UNT



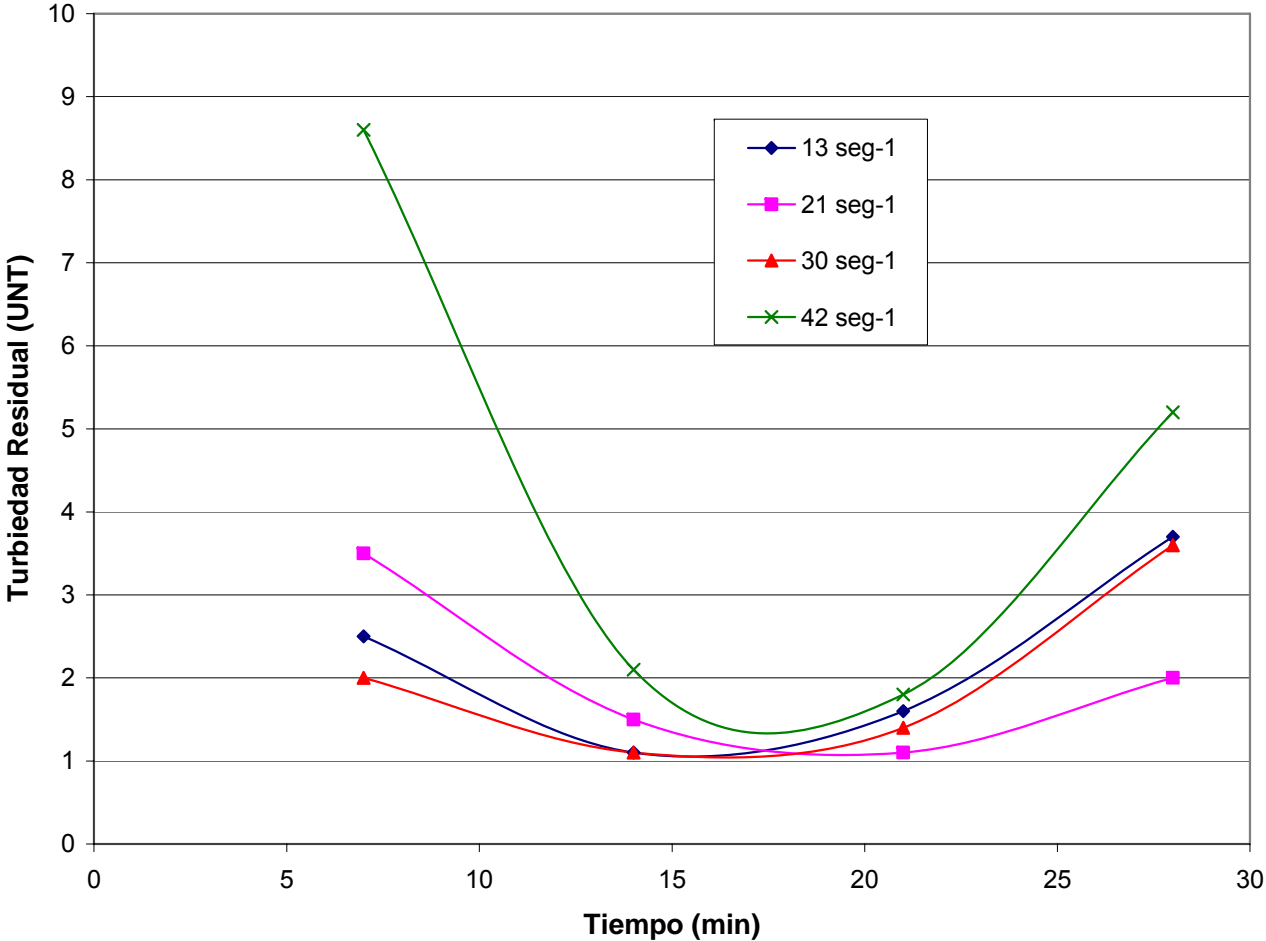
Ensayo 2, $T_o = 161$ UNT



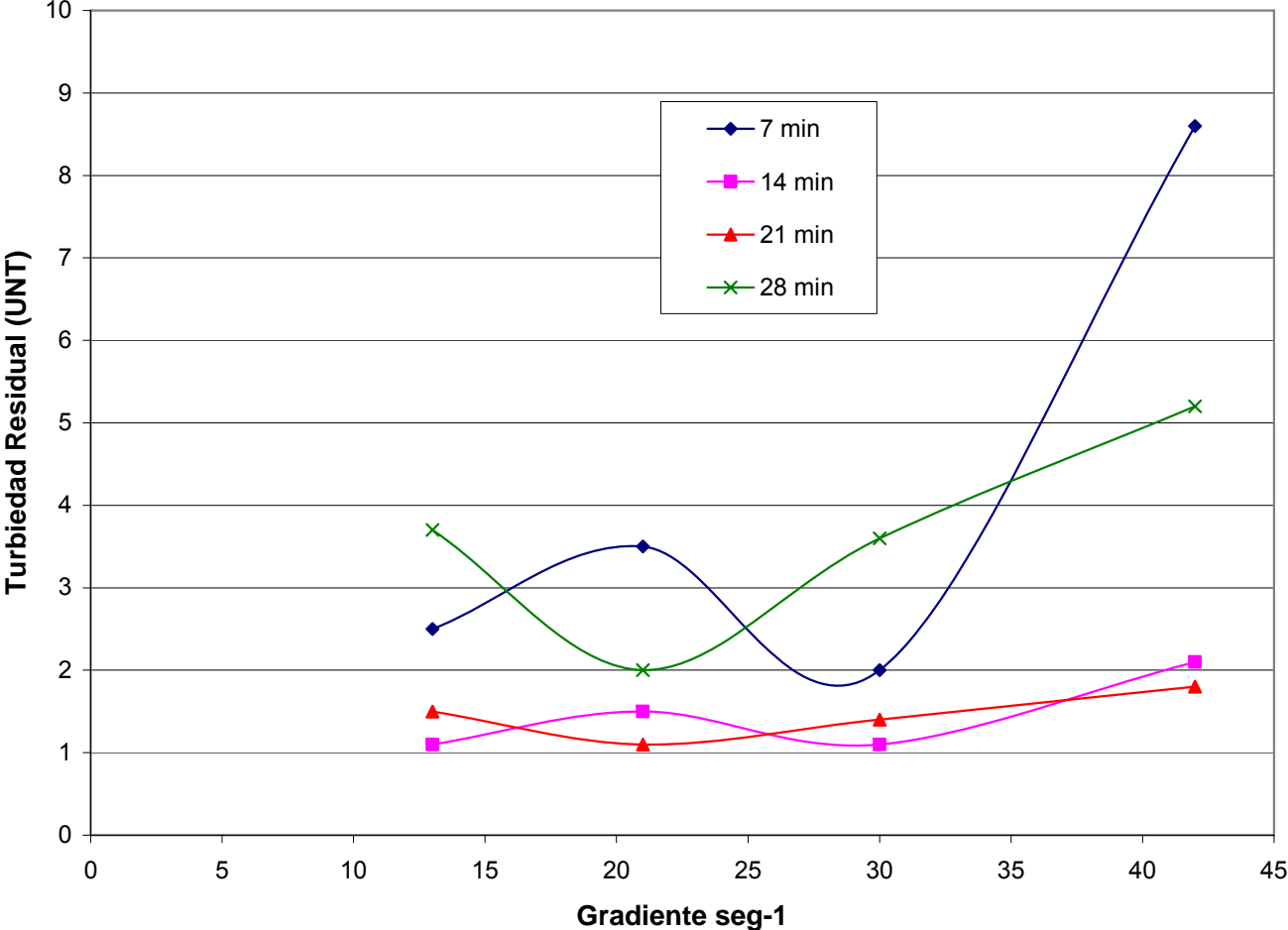
Ensayo 2, To = 161 UNT



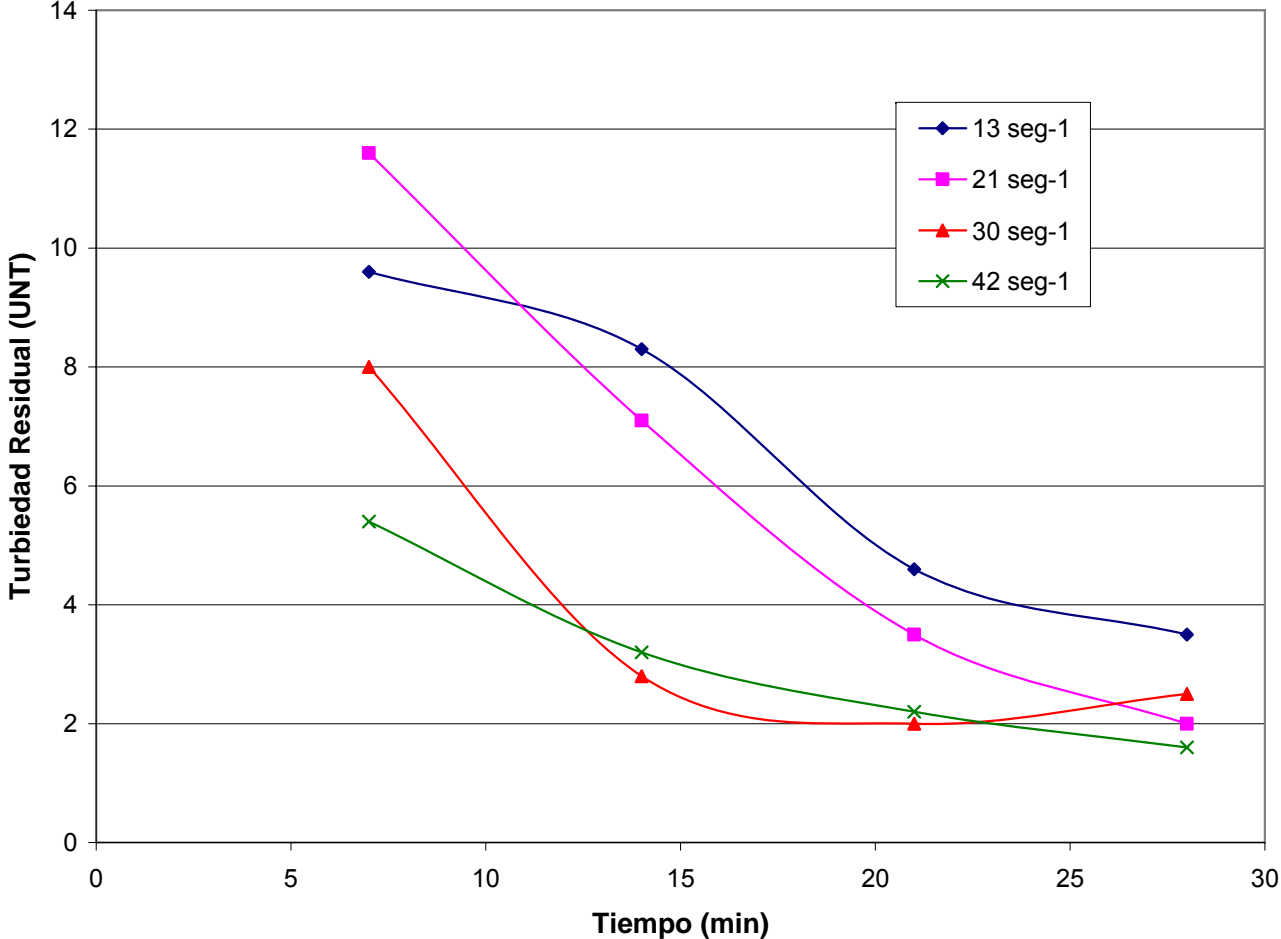
Ensayo 3, To = 107 UNT



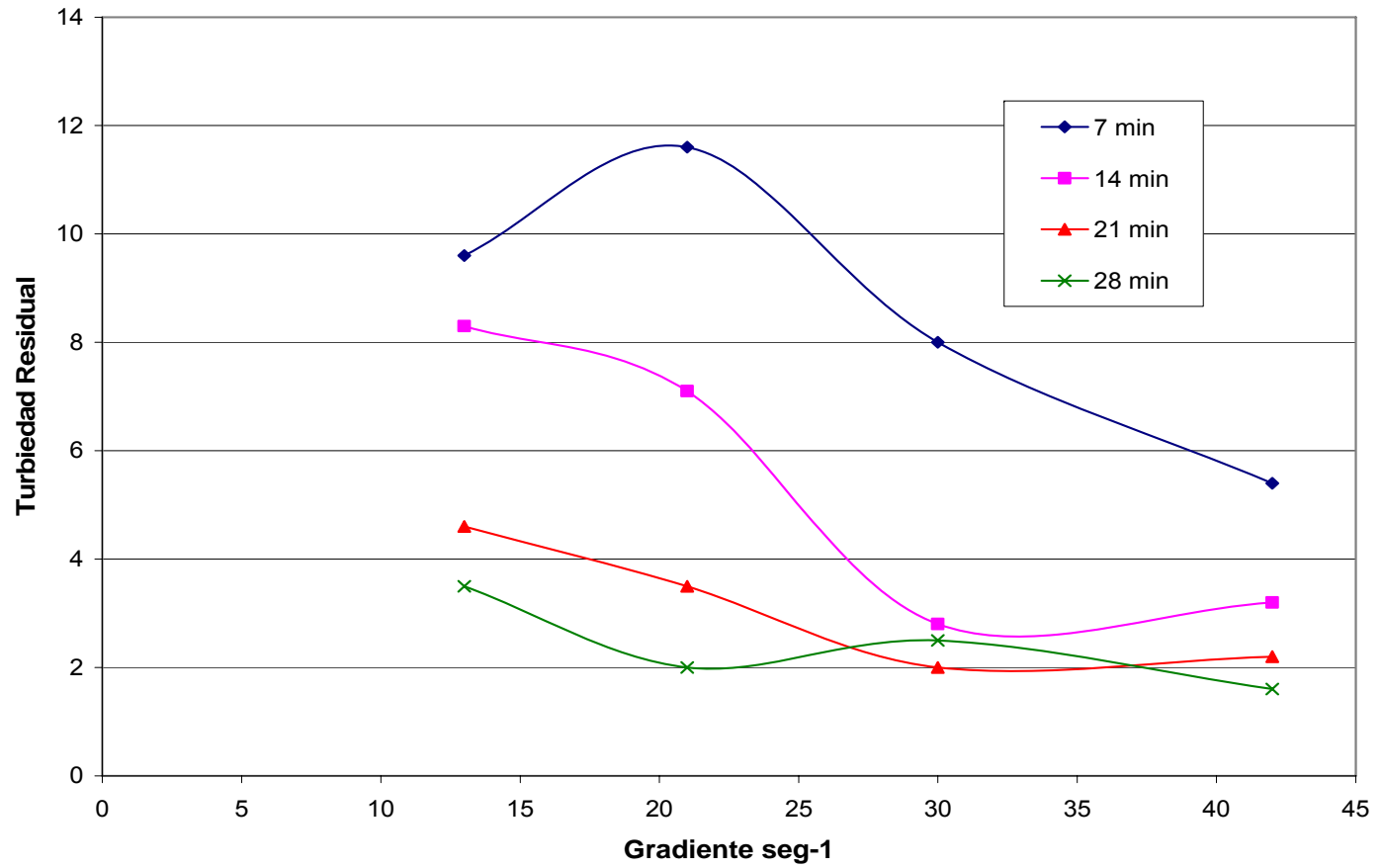
Ensayo 3, To = 107 UNT



Ensayo 4, To = 759 UNT



Ensayo 4, To = 759 UNT



ANEXO B
MODELOS DE TABLAS DE REGISTRO DE DATOS DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO

PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUENTE NACIONAL EMSERPUNAL ESP
CONTROL DIARIO DE OPERACIÓN

Cuadro 1

Fecha:																					
Nombre:																					
Parámetro	Unid	Hora 6:00					Hora 8:00					Hora 10:00					Hora 12:00				
		Potable			Alcal.		Potable			Alcal.		Potable			Alcal.		Potable			Alcal.	
		F1	F2	TE	Sedi	Cru	F1	F2	TE	Sedi	Cru	F1	F2	TE	Sedi	Cru	F1	F2	TE	Sedi	Cru
Turbiedad	UNT																				
pH																					
Temperatura	°C																				
Potencial	mv																				
Color	UPC																				
Cl Residual	mg/l																				

Nombre:																					
Parámetro	Unid	Hora 14:00					Hora 16:00					Hora 18:00					Hora 20:00				
		Potable			Alcal.		Potable			Alcal.		Potable			Alcal.		Potable			Alcal.	
		F1	F2	TE	Sedi	Cru	F1	F2	TE	Sedi	Cru	F1	F2	TE	Sedi	Cru	F1	F2	TE	Sedi	Cru
Turbiedad	UNT																				
pH																					
Temperatura	°C																				
Potencial	mv																				
Color	UPC																				
Cl Residual	mg/l																				

Nombre:																					
Parámetro	Unid	Hora 22:00					Hora 00:00					Hora 02:00					Hora 04:00				
		Potable			Alcal.		Potable			Alcal.		Potable			Alcal.		Potable			Alcal.	
		F1	F2	TE	Sedi	Cru	F1	F2	TE	Sedi	Cru	F1	F2	TE	Sedi	Cru	F1	F2	TE	Sedi	Cru
Turbiedad	UNT																				
pH																					
Temperatura	°C																				
Potencial	mv																				
Color	UPC																				
Cl Residual	mg/l																				

PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUENTE NACIONAL EMSERPUNAL ESP
CONTROL DIARIO DE OPERACIÓN

Turno 1	Caudal de Entrada		Nivel Tanques		Volumen Salida		Cantidad Cloro	Sulfato Agregado	Filtro lavado N°	
			N°1	N°2	MC-1	MC-2			C. Filtración	Hora lavado
Hora	H (m)	(l/s)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(gr/h)	(mg/l)		
06:00									Control Lavado	Vel (cm/min)
08:00								R. Final		
10:00								R. Inicial		
12:00								Gasto (m3/s)		

Observaciones:

Turno 2	Caudal de Entrada		Nivel Tanques		Volumen Salida		Cantidad Cloro	Sulfato Agregado	Filtro lavado N°	
			N°1	N°2	MC-1	MC-2			C. Filtración	Hora lavado
Hora	H (m)	(l/s)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(gr/h)	(mg/l)		
14:00									Control Lavado	Vel (cm/min)
16:00								R. Final		
18:00								R. Inicial		
20:00								Gasto (m3/s)		

Observaciones:

Turno 3	Caudal de Entrada		Nivel Tanques		Volumen Salida		Cantidad Cloro	Sulfato Agregado	Filtro lavado N°	
			N°1	N°2	MC-1	MC-2			C. Filtración	Hora lavado
Hora	H (m)	(l/s)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(gr/h)	(mg/l)		
22:00									Control Lavado	Vel (cm/min)
00:00								R. Final (m/día)		
02:00								R. Inicial (m/día)		
04:00								Gasto (m3/s)		

MC: Macromedidor

H: Altura de agua vertedero

Alcal: Alcalinidad agua cruda (ppm)

C. Filtración: Tiempo que trabajo el filtro

R. Final: velocidad de filtración antes del lavado

Gasto: Caudal de agua utilizado en lavado

F: Filtro

Cl: Cloro

PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUENTE NACIONAL EMSERPUNAL ESP
CONTROL DIARIO DE OPERACIÓN

Cuadro 2:

PARAMETRO	UNIDAD	DECRETO 475/98	Entrada Planta	Salida Planta	FECHA				
					RED DE DISTRIBUCIÓN				
					Nº 1 Punto cercano	Nº 2 Punto intermedio	Nº 3 Punto extremo	Nº 4 Punto extremo	Nº 5 Punto lejano
Cloro Residual	mg/l Cl ₂	0.2 - 1							
Turbiedad	UNT	<= 5							
Color	UPC	<= 15							
pH	Unidad	6.5 – 9							
Sólidos Totales	mg/l	<=5							
Dureza Total	mg/l CaCO ₃	160							
Calcio	mg/l Ca	60							
Magnesio	mg/l Mg	36							
Cloruros	mg/l Cl ⁻	250							
Hierro	mg/l Fe	03							
Alcalinidad	mg/l CaCO ₃	100							
Sabor		Aceptable							
Olor		Aceptable							
Sustancias Flotantes		Ausente							
Conductividad	Microh/cm	50 - 1000							

Nº 1 Barrio (Antonia Santos)

Nº2 Barrio (Centro)

Nº3 Barrio (Chico)

Nº4 Barrio (Boca Puente)

Nº5 Urbanización Portales de Saravita

PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUENTE NACIONAL EMSERPUNAL E.S.P.
CUADRO REGISTRO MENSUAL DE CONSUMOS

Cuadro 4:

Planta: EMSERPUNAL E.S.P							Mes:			Año:	
DIA	Vol. Salida (m3)			Vol. Salida (m3)			Caudal Entrada (l/s)			Consumo Sulfato (Bultos)	Saldo Sulfato (Bultos)
	MC-1			MC-2							
	Máx.	Min	Prom	Máx.	Min	Prom	Máx.	Min.	Prom.		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											

MC-1: Macromedidor del tanque N°1

MC-2 Macromedidor del tanque N°2

ANEXO C
PRESUPUESTO PARA OPTIMIZAR LA PLANTA DE TRATAMIENTO

PRESUPUESTO DE OBRA

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Parcial
1	Preliminares				
1,1	Demoliciones	Gl		\$ 52.600,00	\$ 52.600,00
2	Estructuras de Concreto				
2,1	Muros concreto f'c 3000 psi	m3	14,81	\$ 323.181,39	\$ 4.786.316
2,2	Piso de Fondo f'c 3000 psi e = 0,15 m	m2	51,2	\$ 50.404,53	\$ 2.580.712
2,3	Vigueta (0,1*0,11)	ml	6	\$ 8.321,57	\$ 49.929,40
2,4	Columneta (0,1*0,11)	ml	3,9	\$ 8.221,57	\$ 32.064,11
2,5	Acero Fy = 420 mpa	Kg	965	\$ 4.651,67	\$ 4.488.858
3	Relleno compactado	m3	57,7	\$ 57.943,75	\$ 3.343.354
4	Mamposteria				
4,1	Muro en Ladrillo 22*11*7 cm	m2	7,8	\$ 57.720,08	\$ 450.216,62
	Mortero 1:3 para friso e = 0,02 m	m2	74,3	\$ 13.052,79	\$ 969.822,30
5	Accesorios y Equipos				
5,1	Placas fibrocemento 1.22*2.44m.e = 8 m.m.	Unid	148	\$ 42.258,33	\$ 6.254.233
5,3	Válvula fondo Φ 6" sello elastico Ext-Liso vastago no ascendente	Unid	2	\$ 2.245.631,25	\$ 4.491.263
5,4	Válvula de compuerta sello elastico Ext-liso Φ 6" vastago no ascendente, junta hidraulica	Unid	1	\$ 2.103.416,67	\$ 2.103.417
5,5	Compuerta circular deslizante sello bronce Φ 12"	Unid	2	\$ 2.687.631,25	\$ 5.375.263
5,6	Válvula compuerta ext-brida Φ 6", (sin rueda de manejo (SRM)	Unid	1	\$ 1.376.416,67	\$ 1.376.417
5,7	Tubo PVC Φ 12" RDE 41, tipo 1, grado 1	Unid	3	\$ 501.258,33	\$ 1.503.775
5,8	Tubo PVC Φ 6" RDE 41, tipo 1, grado 1	Unid	10	\$ 136.258,33	\$ 1.362.583,33
5,9	Codo PVC de 90º Φ 6" RDE 41, tipo 1, grado 1	Unid	2	\$ 194.000,00	\$ 388.000,00
5,12	Lamina acero (vertedero) 55*40 cm.	Unid	1	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
	Barandas metalica (Tubo Φ 2" e = 2 m,m)	ml	11	\$ 55.000,00	\$ 605.000,00
	Separador en perfil cuadrado	ml	29	\$ 12.000,00	\$ 348.000,00
5,11	Agitador de jarras + 4 vasos de 1L	Unid	1	\$ 2.500.000,00	\$ 2.500.000,00
5,12	Prueba de alcalinidad (montblack 0-150 ppm) para 200 ensayos	Unid	1	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
5,14	Macromedidores Φ 6" Ext brida (Wolman)	Unid	2	\$ 991.400,00	\$ 1.982.800
5,15	Macromedidores Φ 3" Ext brida (Wolman)		1	\$ 546.500,00	\$ 546.500,00
6	Material Filtrante				
6,1	Arena	m3	4,4	\$ 60.000,00	\$ 264.000,00
6,2	Antracita	m3	9,86	\$ 75.000,00	\$ 739.500,00
6,3	Grava de soporte	m3	4,4	\$ 45.000,00	\$ 198.000,00

Total costo directo **\$ 46.902.623,6**

Total costos indirectos (A.I.U=30%) **\$ 14.070.787,1**

Total costos **\$ 60.973.410,7**

Valor IVA (16%) **\$ 9.755.745,71**

Total Proyecto **\$ 70.729.156,4**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A.P.U. ITEM: DEMOLICIÓN

UNIDAD: GL

OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal

FECHA:

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto ml/hr	Tarifa/día	Vr Parcial
Herramientas Menores	Gl	1	\$ 100,00	\$ 100,00
subtotal				\$ 100,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal		Vr Unitario
Ayudante (2)	\$ 15.000,00	\$ 52.500,00		\$ 52.500,00
subtotal				\$ 52.500,00
costo total directo				\$ 52.600,00

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A.P.U. ITEM: MURO CONCRETO F'c = 3.000 Psi UNIDAD: M3
 OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal FECHA:

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Cemento	Kg	420	\$ 200,00	\$ 84.000,00
Triturado	M3	0,67	\$ 45.000,00	\$ 30.150,00
Arena	M3	0,67	\$ 60.000,00	\$ 40.200,00
Agua	Ltr	200	\$ 12,00	\$ 2.400,00
Impermeabilizante	kg	17	\$ 4.000,00	\$ 68.000,00
Desperdicio	Un	0,03		\$ 6.742,50
subtotal				\$ 231.492,50

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rendimiento	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Mezcladora	Hr	0,9	\$ 10.000,00	\$ 11.111,11
Elevador	Hr	0,9	\$ 10.000,00	\$ 11.111,11
Herramientas Menores	Gl	1	\$ 200,00	\$ 200,00
Formaleta	m2	4	\$ 7.108,33	\$ 28.433,33
subtotal				\$ 50.855,56

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto m3 / dia	Vr Unitario
Maestro	30000	52500	4,8	\$ 10.937,50
Oficial	22000	38500	4,8	\$ 8.020,83
Ayudante (6)	15000	157500	4,8	\$ 32.812,50
subtotal				\$ 40.833,33

costo total directo \$ 323.181,39

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
A.P.U.	ITEM: FORMALETA	UNIDAD: M2	
OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal		FECHA:	

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Tiempo (días)	15			
tablones, cerchas, paraes	m2	1	\$ 100,00	\$ 100,00
subtotal				\$ 100,00

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/día	Vr Parcial
Andamio	seccion	4	\$ 600,00	\$ 2.400,00
Tablones	Un	2	\$ 350,00	\$ 700,00
subtotal				\$ 3.100,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto m2 / dia	Vr Unitario
Maestro	30000	52500	30	\$ 1.750,00
Oficial	22000	38500	30	\$ 1.283,33
Ayudante (1)	15000	26250	30	\$ 875,00
subtotal				\$ 3.908,33

costo total directo \$ 7.108,33

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
A.P.U.	ITEM: PLACA PISO CONCRETO F'c = 3.000 Psi	UNIDAD: M2	
OBRA :	Planta Tratamiento Pte Nal	FECHA:	

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Cemento	Kg	63	\$ 200,00	\$ 12.600,00
Triturado	M3	0,1	\$ 45.000,00	\$ 4.500,00
Arena	M3	0,1	\$ 60.000,00	\$ 6.000,00
Agua	Ltr	30	\$ 12,00	\$ 360,00
Impermeabilizante	kg	2,52	\$ 4.000,00	\$ 10.080,00
Desperdicio	Un	0,03		\$ 1.006,20
subtotal				\$ 34.546,20

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto m2/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Mezcladora	Hr	6	\$ 10.000,00	\$ 1.666,67
Elevador	Hr	6	\$ 10.000,00	\$ 1.666,67
Herramientas Menores	Gl	1	\$ 100,00	\$ 100,00
subtotal				\$ 3.433,33

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto m2 / dia	Vr Unitario
Maestro	30000	52500	20	\$ 2.625,00
Oficial	22000	38500	20	\$ 1.925,00
Ayudante (6)	15000	157500	20	\$ 7.875,00
subtotal				\$ 12.425,00

costo total directo \$ 50.404,53

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A.P.U. ITEM: VIGUETA (0,1*0,11)

UNIDAD: ML

OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal

FECHA:

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Cemento	Kg	5	\$ 200,00	\$ 1.000,00
Arena	M3	0,01	\$ 60.000,00	\$ 600,00
Triturado	M3	0,01	\$ 45.000,00	\$ 450,00
Agua	Ltr	2,5	\$ 12,00	\$ 30,00
Desperdicio	Un	0,03		\$ 62,40
subtotal				\$ 2.142,40

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto ml/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Herramientas Menores	Gl	1	\$ 200,00	\$ 200,00
subtotal				\$ 200,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto ml / dia	Vr Unitario
Maestro	\$ 30.000,00	\$ 52.500,00	24	\$ 2.187,50
Oficial	\$ 22.000,00	\$ 38.500,00	24	\$ 1.604,17
Ayudante (2)	\$ 15.000,00	\$ 52.500,00	24	\$ 2.187,50
subtotal				\$ 5.979,17

costo total directo \$ 8.321,57

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
A.P.U. ITEM: COLUMNETA (0,1*0,11)	UNIDAD: ML
OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal	FECHA:

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Cemento	Kg	5	\$ 200,00	\$ 1.000,00
Arena	M3	0,01	\$ 60.000,00	\$ 600,00
Triturado	M3	0,01	\$ 45.000,00	\$ 450,00
Agua	Ltr	2,5	\$ 12,00	\$ 30,00
Desperdicio	Un	0,03		\$ 62,40
subtotal				\$ 2.142,40

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto ml/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Herramientas Menores	Gl	1	\$ 100,00	\$ 100,00
subtotal				\$ 100,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto ml / dia	Vr Unitario
Maestro	30000	52500	24	\$ 2.187,50
Oficial	22000	38500	24	\$ 1.604,17
Ayudante (2)	15000	52500	24	\$ 2.187,50
subtotal				\$ 5.979,17

costo total directo \$ 8.221,57

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
A.P.U. ITEM: ACERO	Fy=420 mpa	UNIDAD: Kg	
OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal		FECHA:	

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Acero	Kg	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Alambre N° 18	Kg	0,05	\$ 3.200,00	\$ 160,00
				\$ 2.160,00

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto m2/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Herramientas Menores	GL	1	\$ 100,00	\$ 100,00
subtotal				\$ 100,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto Kg / dia	Vr Unitario
Maestro	\$ 30.000,00	\$ 52.500,00	60	\$ 875,00
Oficial	\$ 22.000,00	\$ 38.500,00	60	\$ 641,67
Ayudante (2)	\$ 15.000,00	\$ 52.500,00	60	\$ 875,00
subtotal				\$ 2.391,67

costo total directo \$ 4.651,67

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
A.P.U.	ITEM: MORTERO 1:3 (para friso)	UNIDAD: M2	
OBRA :	Planta Tratamiento Pte Nal	FECHA:	

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Cemento	Kg	8,4	\$ 200,00	\$ 1.680,00
Arena	M3	0,013	\$ 60.000,00	\$ 780,00
Agua	Ltr	4	\$ 12,00	\$ 48,00
Impermeabilizante	kg	0,34	\$ 4.000,00	\$ 1.360,00
Desperdicio	Un	0,03		\$ 116,04
subtotal				\$ 3.984,04

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rendimiento	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Herramientas Menores	Gl	1	\$ 100,00	\$ 100,00
subtotal				\$ 100,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto m2 / dia	Vr Unitario
Maestro	30000	52500	16	3281,25
Oficial	22000	38500	16	2406,3
Ayudante (2)	15000	52500	16	3281,25
subtotal				8968,8

costo total directo 13052,79

Nota: Se incluyeron prestaciones por el 75% del jornal

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
A.P.U. ITEM: RELLENO COMPACTADO	UNIDAD: M3
OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal	FECHA:

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Material Prestamo	M3	1,8	\$ 20.000,00	\$ 36.000,00
			subtotal	\$ 36.000,00

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto m3/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Rana compactadora	m3	1	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00
Herramientas Menores	GL		\$ 100,00	\$ 100,00
			subtotal	\$ 12.100,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto m3/día	Vr Unitario
Ayudante (3)	\$ 15.000,00	\$ 78.750,00	8	\$ 9.843,75
			subtotal	\$ 9.843,75

costo total directo \$ 57.943,75

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
A.P.U. ITEM: MURO LADRILLO	UNIDAD: M2
OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal	FECHA:

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Cemento	Kg	16	\$ 200,00	\$ 3.200,00
Arena	M3	0,025	\$ 60.000,00	\$ 1.500,00
Agua	Ltr	8	\$ 12,00	\$ 96,00
Ladrillo	Un	42	\$ 270,00	\$ 11.340,00
Desperdicio	Un	0,03		\$ 484,08
subtotal				\$ 16.620,08

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto m2/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Herramientas Menores	Gl	1	\$ 100,00	\$ 100,00
subtotal				\$ 100,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto m2 / dia	Vr Unitario
Maestro	30000	52500	3,5	\$ 15.000,00
Oficial	22000	38500	3,5	\$ 11.000,00
Ayudante (2)	15000	52500	3,5	\$ 15.000,00
subtotal				\$ 41.000,00

costo total directo \$ 57.720,08

Nota: Se incluyeron prestaciones por el 75% del jornal

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
A.P.U. ITEM: VALVULA FONDO Φ 6"	UNIDAD: UN
OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal	FECHA:

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Vastago Φ 3"	ML	4	\$ 231.000,00	\$ 924.000,00
Columna-rueda manejo	UN	1	\$ 391.000,00	\$ 391.000,00
Valvula Fondo Φ 6"	UN	1	\$ 861.000,00	\$ 861.000,00
subtotal				\$ 2.176.000,00

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto m3/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Herramientas Menores	GL		\$ 100,00	\$ 100,00
subtotal				\$ 100,00

TRANSPORTE

Descripción	Unidad	Cantidad		Vr Parcial
Acarreo	UN	1		\$ 50.000,00
Subtotal				\$ 50.000,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto Un/día	Vr Unitario
Oficial	\$ 70.000,00	\$ 130.000,00	8	\$ 16.250,00
Ayudante (1)	\$ 15.000,00	\$ 26.250,00	8	\$ 3.281,25
subtotal				\$ 19.531,25

costo total directo \$ 2.245.631,25

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		
A.P.U. ITEM: VALVULA COMPUERTA EXT. LISO Φ 6"	UNIDAD: UN	
OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal	FECHA:	

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Vastago Φ 2"	ML	4	\$ 231.000,00	\$ 924.000,00
Columna-rueda manejo	UN	1	\$ 391.000,00	\$ 391.000,00
Valvula compuerta Φ 6"	UN	1	\$ 784.000,00	\$ 784.000,00
subtotal				\$ 2.099.000,00

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto m3/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Herramientas Menores	GL		\$ 100,00	\$ 100,00
subtotal				\$ 100,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto Un/día	Vr Unitario
Oficial	\$ 22.000,00	\$ 38.500,00	15	\$ 2.566,67
Ayudante (1)	\$ 15.000,00	\$ 26.250,00	15	\$ 1.750,00
subtotal				\$ 4.316,67

\$
costo total directo 2.103.416,67

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
A.P.U. ITEM: COMPUERTA LATERAL Φ 12"	UNIDAD: UN
OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal	FECHA:

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Vastago Φ 3"	ML	3	\$ 231.000,00	\$ 693.000,00
Columna, Rueda Manejo	UN	1	\$ 391.000,00	\$ 391.000,00
Compuerta Φ 12"	UN	1	\$ 1.534.000,00	\$ 1.534.000,00
			subtotal	\$ 2.618.000,00

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto m3/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Herramientas Menores	GL		\$ 100,00	\$ 100,00
			subtotal	\$ 100,00

TRANSPORTE

Descripción	Unidad	Cantidad		Vr Parcial
Acarreo	UN	1		\$ 50.000,00
			Subtotal	\$ 50.000,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto Un/día	Vr. Parcial
Tecnico	\$ 70.000,00	\$ 130.000,00	8	\$ 16.250,00
Ayudante (1)	\$ 15.000,00	\$ 26.250,00	8	\$ 3.281,25
			subtotal	\$ 19.531,25

costo total directo \$ 2.687.631,25

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		
A.P.U. ITEM: VALVULA COMPUERTA EXT. BRIDA Φ 6"		UNIDAD: UN
OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal		FECHA:

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Valvula ext, brida Φ 6"	UN	1	\$ 1.322.000,00	\$ 1.322.000,00
			subtotal	\$ 1.322.000,00

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto m3/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Herramientas Menores	GL		\$ 100,00	\$ 100,00
			subtotal	\$ 100,00

TRANSPORTE

Descripción	Unidad	Cantidad		Vr Parcial
Acarreo	UN	1		\$ 50.000,00
			Subtotal	\$ 50.000,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto Un/día	Vr Unitario
Oficial	\$ 22.000,00	\$ 38.500,00	15	\$ 2.566,67
Ayudante (1)	\$ 15.000,00	\$ 26.250,00	15	\$ 1.750,00
			subtotal	\$ 4.316,67

costo total directo \$ 1.376.416,67

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
A.P.U. ITEM: TUBO PVC Φ 12"	UNIDAD: UN
OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal	FECHA:

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Tubo PVC Φ 12"	UN	1	\$ 499.000,00	\$ 499.000,00
			subtotal	\$ 499.000,00

EQUIPOS

Descripción	Unidad	Rto m3/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Herramientas Menores	GL		\$ 100,00	\$ 100,00
			subtotal	\$ 100,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto Un/día	Vr Unitario
Oficial	\$ 22.000,00	\$ 38.500,00	30	\$ 1.283,33
Ayudante (1)	\$ 15.000,00	\$ 26.250,00	30	\$ 875,00
			subtotal	\$ 2.158,33

costo total directo \$ 501.258,33

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
A.P.U. ITEM: TUBO PVC Φ 6"	UNIDAD: UN
OBRA : Planta Tratamiento Pte Nal	FECHA:

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Parcial
Tubo PVC Φ 6"	UN	1	\$ 134.000,00	\$ 134.000,00
subtotal				\$ 134.000,00

EQUIPOS

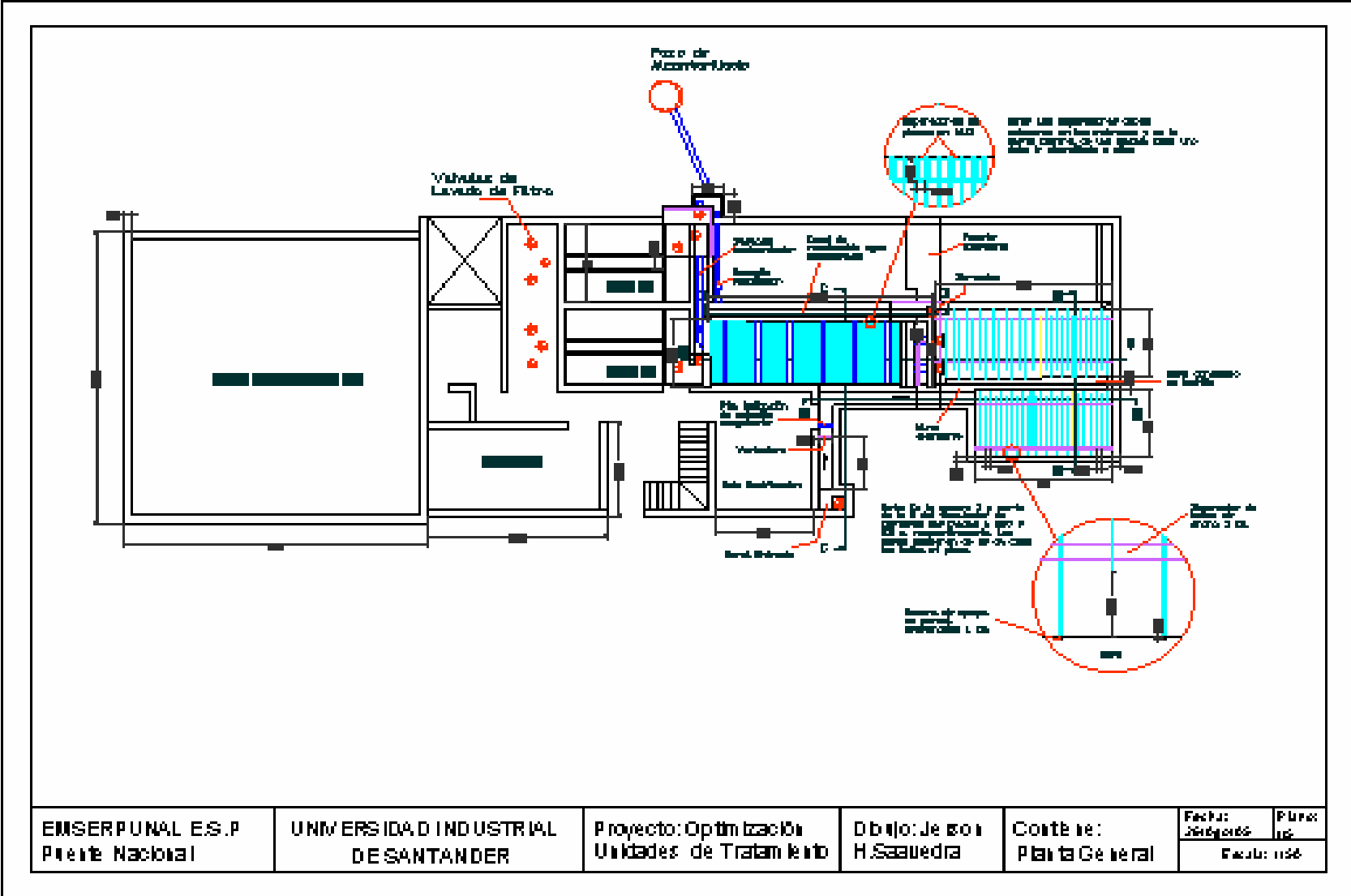
Descripción	Unidad	Rto m3/hr	Tarifa/Hora	Vr Parcial
Herramientas Menores	GL		\$ 100,00	\$ 100,00
subtotal				\$ 100,00

MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Total Jornal	Rto Un/día	Vr Unitario
Oficial	\$ 22.000,00	\$ 38.500,00	30	\$ 1.283,33
Ayudante (1)	\$ 15.000,00	\$ 26.250,00	30	\$ 875,00
subtotal				\$ 2.158,33

costo total directo \$ 136.258,33

ANEXO D
PLANOS ARQUITECTÓNICOS DE LAS NUEVAS UNIDADES DE LA PLANTA
DE TRATAMIENTO



EMSERPUNAL E.S.P
Puerto Nacional

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL
DE SANTANDER

Proyecto: Optimización
Unidades de Tratamiento

Dibujo: Jeison
H.Saavedra

Contiene:
Planta General

Fecha: 2016/06/06	Planos: 01
Escala: 1:50	

