

ASISTENCIA TÉCNICA EN LA DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE
OPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LA EMPRESA DE OBRAS
SANITARIAS DE PASTO EMPOPASTO S.A. E.S.P
PASANTIA.

ANDRÉS LIBARDO RIASCOS PINCHAO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2006

ASISTENCIA TÉCNICA EN LA DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE
OPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LA EMPRESA DE OBRAS
SANITARIAS DE PASTO EMPOPASTO S.A. E.S.P.
PASANTIA

ANDRÉS LIBARDO RIASCOS PINCHAO

Trabajo de Grado presentado como requisito
para optar al título de Ingeniero Civil.

Director
Ing. ALVARO MARTINEZ BURBANO
Jefe Sección de Operaciones de Empopasto S.A. E.S.P.

Codirectora
Ing. JANET OJEDA HIDALGO
Docente Universidad de Nariño

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2006

“Las ideas y conclusiones aportadas al trabajo de grado, son responsabilidad exclusiva de sus autores.”

Artículo 1° del Acuerdo No. 32 de octubre de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma del jurado.

Firma del jurado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme brindado la oportunidad de estudiar y de contar una gran familia que siempre me ha estado apoyando.

A mis padres, en especial a mi madre Aura Lucy, porque con su dedicación y entrega pudo guiarme por el mejor camino, brindarme todo su amor y lo que este a su alcance para formarme como una persona de bien, a mi padre Libardo quien a pesar de su trabajo no siempre estuvo cerca, pero se que sus pensamientos y su apoyo estaban conmigo.

A mis hermanos Oscar, Andrea, Johana y Nathaly, a mi abuelita Zoila, a mis tías Luisa, Nieves, Marta y a mi tío Luís, a Patricia y a Gloria mis primas, porque cuando lo necesité siempre me brindaron su apoyo incondicional, a mi abuelo Néstor, que ya no se encuentra con nosotros, pero sigue estando presente como una imagen a seguir, la cual me acompaña y me protege

A mis amigos Fercho, William y Catalina que siempre me brindaron su apoyo, me dieron ánimo y estuvieron conmigo en los buenos y malos momentos.

A mi director de pasantía el Ingeniero Alvaro Martínez Burbano, quien mas que un jefe es un amigo, que con sus enseñanzas y consejos me ayudó a desarrollar de la mejor manera mi trabajo de grado, aprendí muchas cosas de él y se que en el futuro serán de mucha ayuda tanto para mi vida laboral como personal.

A mi codirectora la Ingeniera Janet Ojeda Hidalgo por asesorarme y orientarme de la mejor manera en el desarrollo de la pasantía, así también por ser una excelente compañera de trabajo y amiga.

A todos los operadores, ayudantes de operación, y a todo el personal que labora en el Departamento de Producción de EMPOPASTO, los cuales me colaboraron en el desarrollo de mi trabajo de grado, en especial a Silvio, Carlos y Harold.

A mi universidad, a todos los docentes que de una u otra forma me brindaron sus conocimientos en el desarrollo de mi carrera y a todos mis compañeros que durante cinco años compartieron conmigo la maravillosa experiencia de ser estudiante de pregrado.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. ASPECTOS GENERALES	20
1.1 RESEÑA HISTORICA DE EMPOPASTO S.A. ESP	21
1.2 MISIÓN	23
1.3 VISIÓN	23
1.4 ORGANOS DE DIRECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN	23
1.5 DIVISION ADMINISTRATIVA DE LA EMPRESA	24
1.5.1 Departamento Administrativo y Financiero.	24
1.5.2 Departamento de Producción.	24
1.5.3 Departamento de Infraestructura.	24
1.5.4 Departamento Comercial	24
2. SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN ACERCA DE LOS EQUIPOS INSTALADOS EN LA PLANTAS.	26
2.1 SISTEMA DE MEDICIÓN EN LÍNEA DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA, INSTALADO EN LA PLANTA CENTENARIO (IQ SENSOR Net).	26
2.1.1 Descripción General del Sistema.	26
2.1.2 Componentes IQ SENSOR Net.	27
2.1.3 Características del sistema IQ net.	27
2.1.4 Sondas y accesorios.	28

2.1.5 Estado actual del sistema IQ Net.	29
2.2 SISTEMA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTES INSTALADO EN LA PLANTA CENTENARIO (STREAMING CURRENT)	29
2.2.1 Descripción general del sistema.	29
2.2.2 Componentes Streaming Current.	32
2.2.3 Características de los equipos instalados.	34
2.2.4 Manuales e información suministrada por el proveedor.	39
2.2.5 Estado actual del sistema Streaming Current.	39
2.3 SISTEMA DE MACROMEDICIÓN Y CONTROL DE NIVELES (SCADA) INSTALADO EN LAS PLANTAS CENTENARIO, MIJITAYO Y SAN FELIPE.	39
2.3.1 Descripción Del Sistema.	40
2.3.2 Arquitectura del sistema.	44
2.3.3 Generalidades del software.	47
2.3.4 Generalidades del hardware.	49
2.3.5 Beneficios del Sistema Scada Pegasys.	50
2.3.6 Estado actual del sistema de macromedición y nivel Scada instalado en las plantas de tratamiento de Centenario, Mijitayo y San Felipe.	51
3. EVALUACION DE LAS VARIABLES DE CONTROL Y MEDICIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS IMPLEMENTADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO.	55
3.1 PROCEDIMIENTO Y MANEJO DE DATOS.	56
3.1.1 Obtención de Datos.	56

3.1.2 Instrucciones para uso del Programa.	59
3.2 INFORMACION GENERADA APARTIR DEL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.	62
3.2.1 Presentación de resultados obtenidos.	66
4. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CENTENARIO DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO.	67
4.1 METODOLOGÍA UTILIZADA.	68
4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN.	68
4.3 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN.	69
4.3.1 Componentes Del Sistema De Filtración 1 (Lavado Por Fuente Externa).	69
4.3.2 Componentes Del Sistema De Filtración 2 (Autolavado). Este sistema de filtración	74
4.4 EFICIENCIA DEL PROCESO.	77
4.4.1 Análisis de las pruebas del agua previamente tratada.	77
4.4.2 Análisis de los resultados obtenidos antes y después del proceso de filtración.	79
4.5 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FILTRACIÓN (RESULTADOS OBTENIDOS)	80
4.5.1 Velocidad y caudal de filtración.	80
4.5.2 Velocidad de lavado del filtro.	88
4.5.3 Duración del proceso de lavado.	89
4.5.4 Bolas de Lodo (Estado del Medio Filtrante)	91
4.5.5 Profundidad y Expansión del Lecho Filtrante.	93

4.5.6 Calidad del filtrado inicial.	95
4.5.7 Espesor del medio filtrante.	96
4.5.8 Granulometría del medio filtrante.	99
4.6 CONCLUSIONES	103
4.6.1 Sistema de filtración 1 (lavado por fuente externa)	103
4.6.2 Sistema de filtración 2 (autolavado)	104
4.7 RECOMENDACIONES	104
5. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	107
5.1 GENERALIDADES	107
5.2 CARACTERÍSTICAS DEL MANUAL	107
5.2.1 Calibración de equipos.	107
5.2.2 Redacción del Manual	107
5.3 CONTENIDO	108
6. CONCLUSIONES	109
BIBLIOGRAFIA	110
ANEXOS	112

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Estado actual del sistema IQ Net	29
Tabla 2. Tabla de descripción de componentes Streaming Current.	33
Tabla 3. Macromedidores Instalados en el Sistema Centenario	45
Tabla 4. Sensores de Nivel Instalados en el Sistema Centenario	45
Tabla 5. Macromedidores Instalados en Mijitayo y San Felipe	46
Tabla 6. Sensores de Nivel Instalados en los Sistemas Mijitayo y San Felipe	46
Tabla 7. Electro-válvulas en Sistema Centenario y San Felipe	47
Tabla 8. Estado actual de Macromedidores del sistema Centenario.	51
Tabla 9. Estado actual de Sensores de nivel del sistema Centenario.	51
Tabla 10. Estado actual de Macromedidores del sistema Mijitayo y San Felipe.	52
Tabla 11. Estado actual de Sensores de Nivel del sistema Mijitayo y San Felipe.	52
Tabla 12. Estado actual Electro-válvulas.	53
Tabla 13. Estado actual de las comunicaciones del sistema.	53
Tabla 14. Capa de Soporte de Grava para Fondo Leopold.	73
Tabla 15. Capa de Soporte de Grava para Viguetas de Concreto Prefabricadas.	75
Tabla16. Caudales y velocidades de filtración (Sistema 1)	82
Tabla17. Caudales y velocidades de filtración (Sistema 2)	85
Tabla18. Caudales y velocidades de filtración (Segunda prueba sistema 2)	87
Tabla 19. Velocidad de lavado.	88

Tabla 20. Clasificación de los filtros de acuerdo al porcentaje de bolas de lodo.	92
Tabla 21. Porcentaje de bolas de barro en unidades de filtración (Lavado por fuente externa)	92
Tabla 22. Porcentaje de bolas de barro en unidades de filtración (Autolavado)	93
Tabla 23. Expansión del lecho filtrante (Lavado por fuente externa)	94
Tabla 24. Expansión del lecho filtrante (Autolavado)	94
Tabla 25. Espesor del medio filtrante (Lavado por fuente externa)	96
Tabla 26. Espesor del medio filtrante (Autolavado)	98
Tabla 27. Porcentaje que pasa de Arena y Antracita. (Lavado Por Fuente Externa)	100
Tabla 28. Parámetros obtenidos a partir de la curva granulométrica de Arena y Antracita (Lavado por fuente externa).	101
Tabla 29. Porcentaje que pasa de Arena y Antracita. (Autolavado)	102
Tabla 30. Parámetros obtenidos a partir de la curva granulométrica de Arena y Antracita (Autolavado).	102
Tabla 31. Características del medio filtrante (1, 2).	105
Tabla 32. Tabla C.7.1 RAS 2000.	105

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Terminal Display del sistema IQ Net 2020.	27
Figura 2. Sonda de turbiedad, pH y temperatura ubicada en canaleta parshall.	28
Figura 3. Punto de aplicación de coagulante y Ubicación de Streaming Current Monitor (sensor) en la línea de placas.	30
Figura 4. Diagrama de instalación del Equipo.	31
Figura 5. Disposición de las dos líneas de tratamiento planta Centenario.	32
Figura 6. Configuración típica del sistema.	33
Figura 7. Disposición esquemática del sistema.	35
Figura 8. Disposición de bombas automatizadas para la dosificación de coagulante.	37
Figura 9. Configuración de control.	38
Figura 10. Parametrización de señales análogas.	38
Figura 11. Instalación sistema Scada planta Centenario.	42
Figura12. Ejemplo de flujo de información a través del sistema Scada para la planta Centenario.	43
Figura 13. Sensor electromagnético y electro-válvula.	44
Figura14. Entorno del software Pegasys 2.0	48
Figura15. Entorno general del sistema Pegasys 2.0	56
Figura 16. Base de datos general del sistema.	57
Figura17.Esquema de presentación de información.	57

Figura18. Selección y copia de datos.	58
Figura19. Datos copiados al programa Microsoft Excel.	59
Figura 20. Esquema de entrada de datos para utilización del programa.	60
Figura 21. Esquema de cambio de escala de la hoja de calculo GrafHor.	61
Figura 22. Datos de entrada hoja de calculo DatPro.	62
Figura 23. Datos hoja de calculo ProDia.	63
Figura 24. Datos hoja de calculo ProHora.	64
Figura 25. Datos hoja de calculo GrafHor.	64
Figura 26. Datos hoja de calculo DisHor.	65
Figura 27. Datos hoja de calculo ResHor.	66
Figura 28. Vista General Planta de Tratamiento Centenario.	68
Figura 29. Vista General Sistema 2 Batería de Autolavado.	69
Figura 30. Filtro de Lavado por fuente Externa	70
Figura 31. Sistema de Entrada de Agua Sedimentada a los filtros	70
Figura 32. Granulometría del Lecho filtrante	71
Figura 33. Granulometría del Lecho Filtrante colocado en 2002 Planta Centenario.	72
Figura 34. Canal de entrada de agua sedimentada a la batería de autolavado	74
Figura 35. Disposición inicial de los tablonés de cierre y su posterior retiro.	76
Figura 36. Vertedero general de salida filtros de autolavado.	76
Figura 37. Eficiencia de la remoción de turbiedad durante el 2004 en diferentes rangos.	77
Figura 38. Eficiencia de la remoción de turbiedad durante el 2004 en frecuencia Acumulada.	78

Figura 39. Eficiencia de la remoción de turbiedad en los sistemas de sedimentación durante el 2004 en frecuencia Acumulada.	79
Figura 40. Eficiencia de la remoción de turbiedad en los diferentes sistemas de tratamiento durante el 2004 en frecuencia Acumulada.	79
Figura 41 .Determinación del tiempo de Lavado (Lavado fuente externa)	90
Figura 42 .Determinación del tiempo de Lavado (autolavado)	91
Figura 43. Calidad del filtrado inicial (Lavado por fuente Externa)	95
Figura 44. Estado del falso fondo al intervenir el filtro No 4 (A); Variación de la superficie del lecho en el filtro No 4 (B).	97
Figura 45. Ilustra el caso extremo de desacomodo del medio filtrante, inicialmente debido a una mala distribución del agua de lavado y falta de velocidad de ascensión.	99
Figura 46. Curva Granulométrica del lecho filtrante (Lavado por fuente externa)	100
Figura 47. Curva Granulométrica del lecho filtrante (Autolavado)	102

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A Ejemplo de información generada por el programa para analizar los macromedidores y Cd-Rom con información completa	113
ANEXO B Imágenes de los ensayos realizados a los filtros de la planta Centenario	118

GLOSARIO

AGUA CRUDA: Agua superficial o subterránea en estado natural, que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

AGUA POTABLE: Es aquella que reúne los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos en las condiciones que reglamenta el decreto 475 del 10 de marzo de 1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

AGUA SEGURA: Es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad definidas en el decreto 475 de 1998, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana.

CANALETA PARSHALL: Es una unidad de mezcla rápida de tipo hidráulica que se utiliza generalmente para medir caudal y aplicar coagulantes.

COAGULACIÓN: Aglutinación de partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de diferentes sustancias químicas.

COAGULANTE: Sustancia química que induce el aglutinamiento de partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas (flocs).

COLOIDES: Sólidos finos (que no se disuelven), permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de carga eléctrica en su superficie.

COLOR: Propiedad producida por compuestos orgánicos, que generalmente son coloides hidrofílicos formados por moléculas grandes en solución. Su aparición en el agua puede deberse a varias razones como el contacto del agua producido con sustancias provenientes de madera, soluciones de la materia orgánica del suelo, y soluciones del producto de descomposición de maderas o la combinación de todos.

COLOR APARENTE: Es el valor que resulta de medir el Color del agua sin remover la Turbiedad, es decir, se debe a la presencia de material en suspensión.

COLOR REAL: Es el valor que resulta de medir el Color del agua cuando se ha removido toda la Turbiedad debido a la contribución de sólidos disueltos por medio de filtración o centrifugación para evitar que esta quede registrada como Color.

DOSIS ÓPTIMA: Concentración de una sustancia química que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS: son las instrucciones a los ingenieros participantes de las invitaciones públicas o privadas, para que realice el análisis de los precios unitarios de su propuesta. También sirven como guía en el proceso de ejecución de la obra.

EFICIENCIA DE TRATAMIENTO: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, se expresa en porcentaje y se refiere a un proceso o parámetro específico.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN: Efectividad de un proceso en la remoción de una sustancia específica.

FLOCULACIÓN: Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA: Depósito o curso de agua superficial o subterránea, natural o artificial, utilizada en un sistema de suministro de agua.

MEZCLA LENTA: Agitación suave del agua con sustancias químicas buscando favorecer la formación de los flocs.

MEZCLA RÁPIDA: Agitación violenta para producir dispersión instantánea de una sustancia química en la masa de agua.

NORMA DE CALIDAD DE AGUA POTABLE: Valores de referencia admisibles para las características presentes en el agua potable, convirtiéndose en la base para identificar su calidad (Decreto 475 del 10 de marzo de 1.998).

pH: Logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno en moles por litro. Expresa la condición básica o ácida de un líquido.

PLANTA DE POTABILIZACION: Sistema que incluye obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir las normas de calidad del agua potable.

POTENCIAL ZETA: potencial eléctrico generado al desestabilizarse los coloides en suspensión, este fenómeno sucede en el proceso de coagulación.

PRUEBA DE JARRAS: Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

REACTOR: Estructura hidráulica en la cual un proceso químico, físico o biológico se lleva a cabo.

RELÉ: Aparato destinado a producir en un circuito una modificación dada, cuando se cumplen determinadas condiciones en el mismo circuito o en otro distinto.

RTU: Unidad Terminal Remota. Para almacenamiento y proceso de datos.

SULFATO DE ALUMINIO LIQUIDO TIPO B: Sulfato de Aluminio grado comercial, es una sal de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3H_2O$ comúnmente usado en las plantas de tratamiento por su bajo costo y gran disponibilidad, es un líquido de color café.

TRATAMIENTO: Conjunto de operaciones y procesos realizados sobre una masa de agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas buscando un referente de calidad de agua.

TURBIEDAD: Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

RESUMEN

Se desarrollaron una serie de actividades encaminadas a determinar las condiciones de operación de las plantas de tratamiento de EMPOPASTO S.A. ESP, las cuales se encuentran a lo largo del trabajo en forma de capítulos. Inicialmente en los capítulos uno y dos, se plantea la justificación de este trabajo de grado y los aspectos generales de EMPOPASTO S.A. E.S.P. a nivel de empresa.

Para el desarrollo del tercer capítulo se plantea la actividad denominada: “Sistematización de la información acerca de los equipos instalados en la plantas”, para la cual se describe el funcionamiento y estado de los diferentes equipos electrónicos de medición, tanto para macromedición (Scada), dosificación automática de coagulantes (Streaming Current) y medición de parámetros de calidad en línea (IQ-Net).

A lo largo del capítulo cuatro se desarrollan los aspectos relacionados con la evaluación de las variables de control y medición de los diferentes sistemas implementados en las plantas de tratamiento, para lo cual se desarrolló un programa en hoja electrónica que permite trabajar la información generada por el sistema Scada Pegasys utilizado para macromedición, con los resultados obtenidos se planea posteriormente obtener las curvas de demanda horaria para las diferentes zonas servidas, para realizar la modelación hidráulica con el uso de un software como WaterCad y Epanet.

La evaluación de los sistemas de filtración de la planta de tratamiento Centenario se trata en el capítulo cinco dentro del cual se desarrolla el estudio realizado a estos sistemas de filtración, en su parte final se encuentran conclusiones y recomendaciones para este capítulo.

Ya en el capítulo seis se encuentra la elaboración de los manuales de operación de las plantas de tratamiento para lo cual se adoptó la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS, esta información es de uso exclusivo de EMPOPASTO S.A. E.S.P., por tanto la documentación referente a los Manuales de Operación de la Plantas de Tratamiento, no se presentan debido a que su acceso sería restringido para el público.

ABSTRACT

A series of activities guided to determine the operation conditions of the treatment plants of EMPOPASTO S.A. E.S.P were developed; which are along the work in form of chapters. Initially chapters one and two, show the justification of this grade work and the general aspects of EMPOPASTO S.A. E.S.P at company level emphasizing a historical review, their mission, vision and the form like EMPOPASTO is organized.

For the development of the third chapter is exhibited the denominated activity: "Systematizing of the information about the equipments installed in the plants", which is describe the operation and state of the different mensuration electronic equipments: macromeasurement (Scada), automatic dosage of clotting (Streaming Current) and measurement of parameters of on-line quality (IQ-Net).

The four chapter develops the aspects related with the evaluation of the control and measuring variables of the different systems implemented in the treatment plants, and the development of a program in electronic leaf that allows working with the information generated by the Scada Pegasys system used for macromeasurement, and later on with the obtained results is planed obtain the curves of horary demand for the different served areas, to carry out the hydraulic modelling with the use of a software like WaterCad and Epanet.

The evaluation of the filtration systems of Centennial treatment plant is showed in the five chapter inside which is developed the study realized to these filtration systems.

Already in the six chapter, is the elaboration of the operation manuals of the treatment plants for which was adopted the methodology of the Pan-American Center of Sanitary Engineering and Sciences of the Atmosphere CEPIS, this information is of exclusive use of EMPOPASTO S.A. E.S.P., therefore the documentation about the Operation Manuals of the Treatment Plants, are not presented because their access would be restricted for the public.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desarrollo de las sociedades, se basa fundamentalmente en la construcción y mantenimiento de obras públicas y de infraestructura, que permitan a la población el acceso a distintos bienes y servicios necesarios para su bienestar y progreso; sin embargo, el bajo nivel de desarrollo del país y el alto volumen de necesidades insatisfechas, originan demanda por obras de diferentes usos, bienes y servicios; destacando de estos últimos la prestación de los servicios públicos domiciliarios.

En este sentido, el Estado, debe preocuparse por aumentar la cobertura y la calidad de los servicios públicos, regido por los mandatos de la constitución política colombiana; lo que obliga a las empresas de servicios públicos domiciliarios del país a buscar día tras día el mejoramiento en la calidad de los servicios que prestan.

Es así como la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A. E.S.P. la cual se dedica a la producción, comercialización de agua potable domiciliar y a la evacuación de aguas servidas, en su búsqueda por generar bienestar a la comunidad y mejorar el servicio que presta, realiza convenios institucionales, con diferentes entidades, destacando entre estas a la Universidad de Nariño, y en especial al programa de Ingeniería Civil, el cual se encarga de la formación de profesionales integrales de alto nivel, que cuentan con los conocimientos, habilidades y destrezas necesarias para afrontar cualquier reto relativo al desempeño del profesional de la Ingeniería.

El Departamento de Producción de EMPOPASTO S.A. E.S.P. es el responsable de la potabilización del agua para consumo de la población de la ciudad de Pasto, el cual en su afán por mantener altos estándares de calidad, y mejorar continuamente, ofrece prácticas profesionales encaminadas en este sentido a través del convenio Universidad-Empresa, que genera un beneficio mutuo: por una parte para el estudiante se llevan a cabo procesos de formación integral y complementaria en un ambiente adecuado a sus necesidades; y por otra la empresa a través de este departamento recibe todos los aportes que el estudiante realice en el desarrollo de sus actividades.

Es así, como en el desarrollo de la pasantía “ASISTENCIA TÉCNICA EN LA DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LA EMPRESA DE OBRAS SANITARIAS DE PASTO EMPOPASTO S.A. ESP”; se analizó las condiciones en las cuales se encuentran operando las plantas potabilizadoras de agua, determinándose la operación en cada una de ellas.

1. ASPECTOS GENERALES

El Municipio de Pasto, capital del Departamento de Nariño, se encuentra ubicado al sur de Colombia, tiene una extensión de 1.128,4 Kms², el área urbana es de 26.4 kms², cuenta con una población de 424.283 habitantes según proyecciones del DANE para el año 2005, de los cuales 381.712 pertenecen al sector urbano y 42.571 al sector rural.

La ciudad de San Juan de Pasto se encuentra emplazada en el Valle de Atriz, al pie del volcán Galeras a una altura sobre el nivel del mar de 2527 m. Esta bañada principalmente por el río Pasto que atraviesa la ciudad en el sentido sur-norte por el costado oriental, así como el río Chapal y otras fuentes que han sido canalizadas en las periferias de la ciudad.

La Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A. E.S.P. tiene como función la prestación del servicio público de acueducto y alcantarillado en la zona urbana del municipio de Pasto; el cuál se presta a través de tres sistemas de abastecimiento, denominados Centenario y Mijitayo y San Felipe. El sistema Centenario abastece al 77% de la población servida en tanto que Mijitayo cubre al 19% y la planta San Felipe abastece el 4% restante. El agua del río Pasto a la altura del sector Buesaquillo es captada para alimentar a la planta Centenario cuenta con una capacidad de optimización de 1.000 lps, pero que en la actualidad tiene una capacidad instalada de 700 lps y trata en promedio 522 lps que corresponde al 75% de la capacidad total del sistema. La planta Mijitayo es alimentada por la quebrada Mijitayo y la quebrada Miraflores, esta se diseñó para un caudal de 250 lps, actualmente trata 128 lps, ósea que utiliza el 51% de su capacidad. La planta de tratamiento San Felipe se diseñó para tratar un caudal de 50 lps pero en promedio trata un caudal de 28 lps, es decir que utiliza un 56% de su capacidad instalada..

Los sistemas de abastecimiento de Centenario y Mijitayo son complementados con el sistema de trasvase de agua del Río Bobo, cuya función es la de cubrir los déficit de agua que presenta las fuentes de agua superficiales tradicionales en época de verano. La capacidad total del sistema es de 616 lps .

En general se cuenta con una capacidad de almacenamiento es de 20.310 metros cúbicos que permiten el suministro de agua potable a la ciudad a través de las distintas zonas de presión existentes para cada sistema, como son: zona baja, media, alta y Cujacal para Centenario y zona alta y media para Mijitayo.

El sistema de distribución esta constituido por redes matrices o líneas de conducción y redes secundarias y menores en diferentes diámetros desde 2" a 24" con una longitud de 480 km.

1.1 RESEÑA HISTORICA DE EMPOPASTO S.A. E.S.P.

En el año de 1939 se inició la construcción del acueducto Centenario para la ciudad de Pasto; contrato llevado a cabo desde los diseños por la firma Lobo Guerrero & C.S. de Santamaría, tomando como principal fuente el entonces llamado río Buesaquillo, que más tarde sería denominado río Pasto, dada la topografía de las colinas del lado oriental, fué necesario ejecutar fuertes movimientos de tierra, logrando en 1941 la culminación de la Planta Centenario, con una capacidad nominal de 120 lps.

La segunda etapa fue ejecutada en 1967 y aumentó la capacidad nominal a 240 lps; a partir de 1977 se iniciaron las obras de optimización de la planta de tratamiento según el proyecto elaborado por la firma Rivera & Cardozo – Ingenieros Consultores, adecuando las instalaciones a 700 l/s en una primera etapa, ya en 1988 y dando paso a la segunda etapa de la optimización se construyó una nueva batería de filtración, para una capacidad total de 1000 lps.

En 1972, el desarrollo urbano de la ciudad hacia las laderas occidentales, hizo necesario la construcción de la Planta de Tratamiento Mijitayo, ubicada al occidente de la ciudad en la salida al corregimiento de Obonuco, esta planta contó originalmente con una capacidad nominal de 60 lps, la cual, en 1990 fué optimizada ampliando su capacidad a 250 lps, según lo contemplado en el proyecto de optimización desarrollado por la firma Rivera & Cardozo en el año de 1979.

Debido a la paulatina disminución del recurso hídrico en época de estiaje y a el aumento de la población en la cabecera municipal, en 1993 inició la construcción del sistema de alimentación de Río Bobo, realizando bombeo desde el embalse del mismo nombre, hasta el tanque satélite denominado Cruz de Amarillo, desde el cual se suministra el líquido a las diferentes plantas, este sistema inició sus operaciones en el año de 1995, con una capacidad máxima de 616 lps, la cual se usa según los requerimientos de consumo de agua de los sistemas abastecidos por las plantas de tratamiento Centenario y Mijitayo.

Ya en el año 2002 se culminó la construcción de la planta satélite denominada San Felipe, esta construcción se realizó por medio de un contrato de “llave en mano” con la firma PAVCO S.A., la cual entregó la totalidad de las estructuras existentes; esta planta tiene una capacidad nominal de 50 lps, y fué construida para sustituir el bombeo a los sectores altos del sistema Mijitayo, abasteciéndose por gravedad desde la misma, este hecho produjo una notable reducción de costos de operación y mantenimiento en la Planta Mijitayo, con un aumento en la eficiencia y capacidad de distribución de la misma.

La cobertura del servicio de acueducto actualmente es del orden del 89.4%, debido a lo cual existen acueductos como los del Barrio Popular y Arnulfo Guerrero que funcionan independientemente de las plantas de tratamiento mencionadas anteriormente.

A nivel institucional, a fines de 1.974 y con el apoyo del Insfopal se originó la separación de Acuanariño de la entonces llamada División Pasto, para constituir una entidad jurídica

independiente con autonomía organizacional y económica. La entidad se constituyó como sociedad de Economía mixta, con carácter de Sociedad Anónima, firmándose la escritura de constitución No. 2605 el 26 de septiembre de 1.974, en la Notaría Segunda de este circuito, con la denominación de “ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE PASTO S.A.” utilizando la sigla ACUAPASTO S.A. como razón social.

Posteriormente, con escritura pública No. 1439 del 26 de Mayo de 1977, ante la Notaría segunda del círculo de Pasto, se protocolizó una reforma estatutaria que entre otros aspectos importantes estipuló la transformación de la sociedad de Acueducto y alcantarillado de Pasto S.A. ACUAPASTO S.A. en una empresa industrial y comercial del ámbito municipal a la que se denominó “Empresa de Obras Sanitarias de Pasto, EMPOPASTO S.A. conforme al decreto 130 de 1976 y la ley 142 de 1994.

Hasta 1998, la Empresa no trabajaba sobre objetivos ni metas. Los únicos indicadores de gestión que se conocen son los que fueron suministrados por los organismos que regulan su acción, los cuales se definían por planeación, sobre los formatos enviados por estas entidades. Más que políticas de carácter institucional, se encontró proyectos particulares que respondieron a las propuestas administrativas de los gerentes o los programas de gobierno de los alcaldes.

Adicionalmente, la empresa carecía de políticas de desarrollo de personal que permitieran generar procesos de transformación interna encaminados al logro de mayor eficiencia. Hacia 1996 ante la situación de la Empresa, Planeación Nacional contrató un estudio a la firma “Deloitte Touche Tohmatsu” sobre participación pública privada. Cuando concluye este, proponen la participación privada de la Empresa, frente a lo cual la administración con un equipo de asesores, analiza las ventajas y desventajas que dicha situación traería, concluyendo que no sería beneficiosa para el municipio de Pasto. Por ello se propone un modelo de Gestión con la connotación de empresa pública, manteniendo la institucionalidad jurídica.

Así comienza una nueva etapa de desarrollo y se gesta el proceso de Modernización de EMPOPASTO, con la formulación del PLAN HACIA UNA EMPRESA RENTABLE Y GENERADORA DE BIENESTAR 2000- 2004, producto del trabajo conjunto de los miembros de la organización, quienes exploraron la realidad de la Empresa, obteniendo un diagnóstico de sus limitaciones y potencialidades para encaminarse al diseño y construcción del futuro de EMPOPASTO.

1.2 MISION

“ EMPOPASTO ES UNA EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, DE CARÁCTER PÚBLICO, CONSTITUIDA BAJO LA FORMA DE SOCIEDAD ANÓNIMA DEL ORDEN MUNICIPAL, DE SEGUNDO GRADO. DEDICADA A LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE AGUA POTABLE DOMICILIARIA, A LA EVACUACIÓN DE AGUAS SERVIDAS Y SU TRATAMIENTO MANTENIENDO EL EQUILIBRIO AMBIENTAL”

Todo su accionar esta encaminado a la generación de bienestar para los habitantes de la zona urbana del municipio de Pasto, actuando con responsabilidad social, calidad, competitividad y sentido de pertenencia”.

1.3 VISION

“UNA EMPRESA COMPETITIVA, AUTOSOSTENIBLE, COMPROMETIDA CON EL BIENESTAR DE SUS CLIENTES Y RECONOCIDA COMO INSTITUCIÓN A NIVEL NACIONAL.”

El establecimiento de una misión clara y coherente y una visión fundamentada en principios y valores corporativos marcan el derrotero de una Empresa cambiante hacia un horizonte promisorio.

La eficiencia en la operación y eficacia en el cumplimiento de la función social, permiten legitimar el derecho a pertenecer y a permanecer en un mercado competitivo.

1.4 ORGANOS DE DIRECCION Y ADMINISTRACION

La Asamblea General de accionistas la constituyen los socios inscritos en el registro de Accionistas o representantes, debidamente autorizados, reunidos conjuntamente y que representen el numero de acciones que establezcan el quórum según las condiciones previstas por los estatutos.

ACCIONISTA	REPRESENTADO POR	ACCIONES
Municipio de Pasto	Alcalde del Municipio	99.483546%
Departamento de Nariño	Gobernador del Departamento	0.000322%
Instituto Departamental De Salud	Director del Instituto	0.000322%
Telenariño	Gerente	0.483571%
Confonar en Liquidación	Gerente	0.322380%

1.5 DIVISION ADMINISTRATIVA DE LA EMPRESA

La Empresa de Obras Sanitarias de Pasto, EMPOPASTO S.A. E.S.P. cuenta con cuatro Departamentos, los cuales se encargan de realizar las principales actividades, garantizando el funcionamiento de la entidad.

1.5.1 Departamento Administrativo y Financiero. Este Departamento se encarga de hacer uso eficiente y racional de los recursos humanos, físicos, financieros y tecnológicos de la Entidad, para optimizar el funcionamiento interno de la empresa.

Dentro del Departamento Administrativo y Financiero se encuentran tres Secciones:

- Sección de Talento Humano
- Sección Financiera
- Sección Apoyo Logístico

1.5.2 Departamento de Producción. Se encarga de la administración, ensanche, operación y mantenimiento de los sistemas de producción del agua potable y evacuación de agua servida, manteniendo las condiciones ambientales de las cuencas para controlar la calidad del agua. Este Departamento cuenta con una sección:

- Sección de Operaciones

1.5.3 Departamento de Infraestructura. El Departamento es responsable de la coordinación, control y evaluación de los planes y proyectos de administración, ensanche, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. El Departamento de Infraestructura se encuentra conformado por tres secciones:

- Sección de Redes
- Sección de Diseños
- Sección de Interventoría

1.5.4 Departamento Comercial. La labor del Departamento Comercial esta encaminada a establecer, coordinar y supervisar planes, programas, proyectos de orden comercial, de tal forma que se logre la satisfacción del usuario mediante establecimiento de mecanismos y estrategia que permitan prestar una excelente atención y venta del servicio domiciliario.

En síntesis, dentro del departamento Comercial se realizaran cuatro actividades importantes como son:

- Atención al cliente

- Recaudo de cartera e ingresos por concepto de prestación de servicios
- Facturación
- Matriculas

Además la empresa cuenta con la OFICINA JURIDICA encargada de todo lo concerniente a los aspectos legales de la empresa, OFICINA DE PLANEACION encargada de supervisar la gestión y plantación de los diferentes proyectos y la OFICINA DE CONTROL INTERNO que vigila el desarrollo de los diferentes procesos.

2. SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN ACERCA DE LOS EQUIPOS INSTALADOS EN LA PLANTAS.

Las Plantas de Tratamiento durante los últimos cinco años han sido dotadas de instrumentos y equipos de medida que permiten el conocimiento en tiempo real y el análisis estadístico en conjunto o individualmente de los parámetros medidos, con el fin de prever operaciones oportunas, controladas y continuamente mejoradas, redundantes en la calidad del producto y del servicio, tomando como sustento la famosa premisa de Ishikawa “Lo que no se mide no se conoce, lo que no se conoce no se controla y lo que no se controla no se mejora”.

Entre las tecnologías aplicadas se encuentran:

- Macromedición, control de niveles, automatización y telemetría para los sistemas Centenario, Mijitayo y San Felipe.
- En Centenario se encuentra el sistema de medición de parámetros de calidad de agua en línea IQ-Net y el sistema de dosificación automática de coagulantes mediante tecnología Streaming Current.

En el desarrollo de este capítulo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Realización del inventario pertinente de todos los dispositivos de medición automáticos utilizados en las plantas de tratamiento como son: el sistema de medición en línea de parámetros de calidad de agua, instalado en la planta Centenario (IQ SENSOR Net); el sistema para la automatización de la dosificación de coagulantes instalado en la planta Centenario (Streaming Current) y el sistema de macro medición y control de niveles (Scada) instalado en las plantas Centenario, Mijitayo y San Felipe.
- Presentación del informe de los resultados obtenidos en el cual se consignó las descripciones de los sistemas instalados y el estado actual de funcionamiento, el cual se presenta en el desarrollo de este capítulo.

2.1 SISTEMA DE MEDICIÓN EN LÍNEA DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA, INSTALADO EN LA PLANTA CENTENARIO (IQ SENSOR Net)

2.1.1 Descripción General del Sistema. El sistema multiparamétrico de calidad en línea IQ Net es un equipo de medición online altamente innovador que abre las puertas a avances técnicos completamente nuevos, con capacidad de conectar hasta 20 sondas, que pueden medir diferentes parámetros de calidad de agua tanto cruda como tratada; los parámetros

que se miden en la planta Centenario son: pH, turbiedad, y temperatura. La información se visualiza a través de la Terminal Display del sistema IQ Net 2020, que es un monitor ubicado en el laboratorio de la planta de tratamiento (ver figura 1).

Figura 1. Terminal Display del sistema IQ Net 2020.



2.1.2 Componentes IQ SENSOR Net. IQ SENSOR Net consta de los siguientes componentes:

- Terminal Display del sistema IQ Net 2020.
- Controlador con interfaz RS-232 apta para módem.
- Fuente de poder IQ Net 90-264 AC. 18W.
- Módulo con tres salidas análogas para registro de 4-20 mA y tres salidas de relé para control..

2.1.3 Características del sistema IQ net. El sistema de medición multiparamétrico posee las siguientes características:

- Un solo controlador para todo el sistema, con capacidad de controlar hasta 20 parámetros de medición y será el responsable de toda la comunicación dentro del sistema.
- Un solo display en el cual se pueden visualizar hasta 20 parámetros de medición.
- Display móvil que permite cambiar su posición de forma aleatoria en el sistema durante su funcionamiento.
- Es posible integrar hasta 3 display en todo el sistema.
- El usuario puede seleccionar la presentación de los valores medidos, entre una presentación sencilla o múltiple, según el número de sondas conectadas.

- El display puede ser empleado como registrador de datos portátil con capacidad de almacenar más de 60000 valores de medición.
- Es posible a través de una interfaz offline leer los datos almacenados en la memoria.
- Protección del controlador y del display IP 66.
- Sonda de Turbiedad libre de calibración durante 3 años.
- Construcción de la sonda en acero Inoxidable.
- Sistema automático de limpieza que no contenga partes mecánicas.

2.1.4 Sondas y accesorios. Las sondas de turbidez y pH se encuentran instaladas a la entrada de agua a la planta aguas arriba de la canaleta parshall para medición de parámetros de calidad de agua cruda (ver figura 2) y en el tanque de la zona media y tanque gemelo para control de los parámetros de agua tratada, para un total de 3 sondas de turbiedad, tres sondas de pH. Las señales se capturan y transmiten a las pantallas MIQ T 2020 y al servidor del WebTrac; las características de las sondas se presentan a continuación:

- Sonda de turbidez Viso Turb 700 IQ, con sistema de limpieza por ultrasonido. Rango de medición de 0 – 4000 NTU con auto rango automático. Incluye cableado de conexión.
- Sonda para medición de pH SensoLyt que consta de electrodo SensoLyt GDA con rango de pH de 0 – 14 y armadura sumergible SensoLyt 700 IQ que incorpora sonda para medición de temperatura con rango de 0°C a 60°C. Incluye cableado de conexión.
- Módulo con tres salidas análogas para registro de 4 – 20 mA y tres salidas de relé para control de elementos externos.

Figura 2. Sonda de turbiedad, pH y temperatura ubicada en canaleta parshall.



2.1.5 Estado actual del sistema IQ Net. Se especifica el estado actual de funcionamiento en la siguiente tabla.

Tabla 1. Estado actual del sistema IQ Net

DISPOSITIVO	CANTIDAD	UBICACION	ESTADO ACTUAL
• Terminal Display del sistema IQ Net 2020.	1	Laboratorio	funcionando
• Controlador con interfaz RS-232 apta para módem.	1	Cuarto de control.	Funcionando
• Fuente de poder IQ Net 90-264 AC. 18W.	1	Sala.	Funcionando
• Módulo con tres salidas análogas para registro de 4-20 mA y tres salidas de relé para control..	1	Cuarto de control	Funcionando
• Sonda de turbidez Viso Turb 700 IQ	3	Canaleta parshall	Funcionando
		Tanque zona media	Dañado
		Tanque gemelo	Funcionando
• Sonda para medición de pH SensoLyt	3	Canaleta parshall	Funcionando
		Tanque zona media	Funcionando
		Tanque gemelo	Dañado

Actualmente no se ha determinado la necesidad de reemplazar los sensores dañados debido a la falta de recursos ya que existen otros proyectos con mayor prioridad como son el de mantenimiento del sistema de macromedición.

2.2 SISTEMA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTES INSTALADO EN LA PLANTA CENTENARIO (STREAMING CURRENT)

2.2.1 Descripción general del sistema. El sistema Streaming Current, incluye un sensor remoto localizado en el punto deseado, el monitor es un equipo que permite la medición de carga neta iónica y la carga superficial coloidal (positiva y negativa) de una muestra que esta fluyendo continuamente; la lectura del Streaming Current (SCV) esta relacionado con

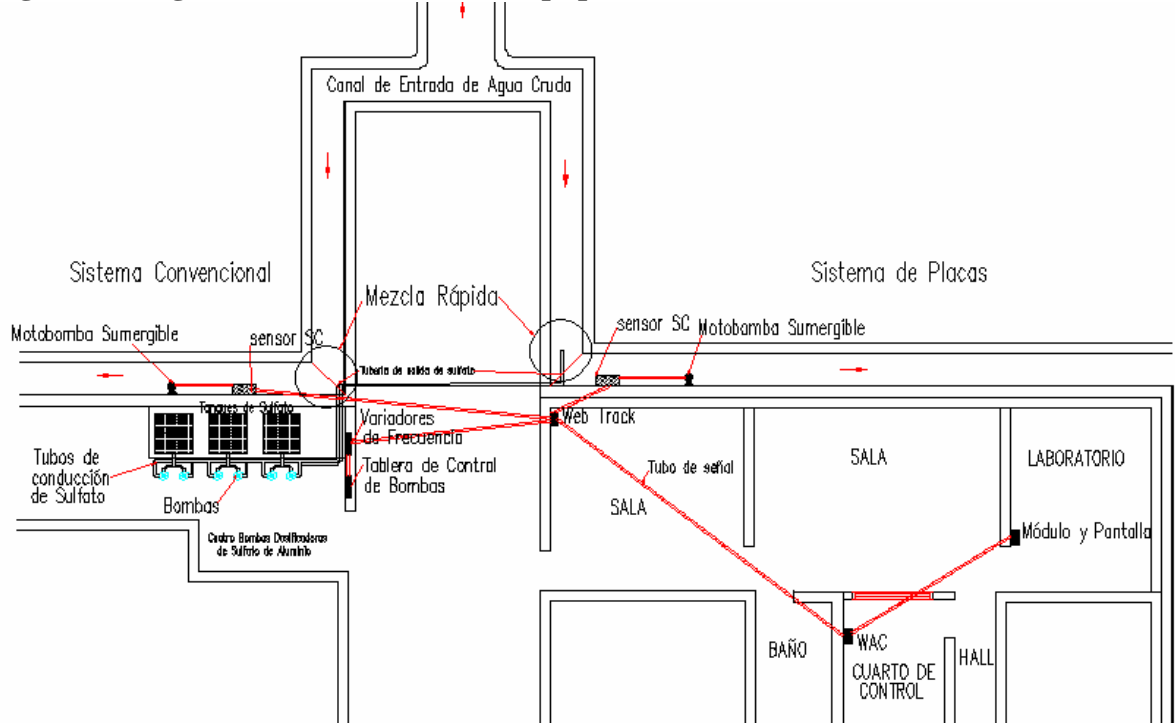
el potencial zeta, pero no es el mismo valor. El agua tratada ingresa al sensor donde es drenada dentro de la cámara de medición por la acción oscilante del pistón, las partículas contenidas en el agua son inmobilizadas sobre este y las superficies del cilindro, en la medida que el pistón se mueve de manera cíclica hacia arriba y hacia abajo las cargas eléctricas generan una corriente alterna, que se define como Streaming Current. Un selector de ganancia amplifica la señal al valor en el cual los resultados de cambios normales de dosificación causen una desviación deseada que en términos generales se busca que sea de 30 unidades, así el valor visualizado de Streaming Current debe ser considerado como un valor relativo ya que es una amplificación del valor inicial.

La amplitud de Streaming Current y su polaridad son una función de la localización del punto de toma de muestras en el proceso de tratamiento, en la planta Centenario se ubican dos sensores: el primero se localiza en la planta que tiene el sedimentador convencional y el segundo se encuentra en la planta del sedimentador de placas, ubicados después de la mezcla rápida y antes de la mezcla lenta (ver figura 3 y figura 4).

Figura 3. Punto de aplicación de coagulante y Ubicación de Streaming Current Monitor (sensor) en la línea de placas.



Figura 4. Diagrama de instalación del Equipo.



Después de realizada la lectura a través del sensor Streaming Current, el sistema ajusta automáticamente la dosis de coagulante a través de los variadores de frecuencia los cuales se encuentran ubicados en las bombas de dosificación, para que el agua coagulada modifique sus características y se genere eficiencia en su tratamiento. (ver figura 3).

En el sistema utilizado en la planta Centenario existen dos líneas de tratamiento (ver figura 4 y 5): Línea de tratamiento convencional, la cual utiliza un sensor Streaming Current y un sedimentador convencional y la línea de tratamiento acelerado, la cual utiliza un sensor Streaming Current y un sedimentador de placas; después del proceso de sedimentación las líneas se unen en un canal para seguir al proceso de filtración.

Figura 5. Disposición de las dos líneas de tratamiento planta Centenario.



• **Principio de medición del Streaming Current.** Usa un pistón moviéndose a 4 Hertz dentro de un electrodo ensamblado en una celda de medición, la distancia entre el pistón y las paredes de la celda es de 0,010 pulgadas, el moviendo del pistón hace que el agua se mueva rápidamente dentro de la celda y los iones son despojados de la partícula y son puestos en movimiento, es así como se genera el potencial de Streaming Current; este valor puede ser positivo o negativo el cual se hace mas positivo si decrece la turbiedad, color, flujo, pH, la cal, soda cáustica y la dosis de polímeros aniónicos e incrementa el coagulante, los polímeros y el cloro, y es mas negativo cuando sucede todo lo contrario.

2.2.2 Componentes Streaming Current. En la tabla 2 se relacionan cada uno de los componentes del sistema, así como los equipos suministrados e instalados.

Los equipos e instrumentos se encuentran instalados y en comunicación con el sistema de calidad IQ-Net, a través de registros en tiempo real y archivo en base de datos.

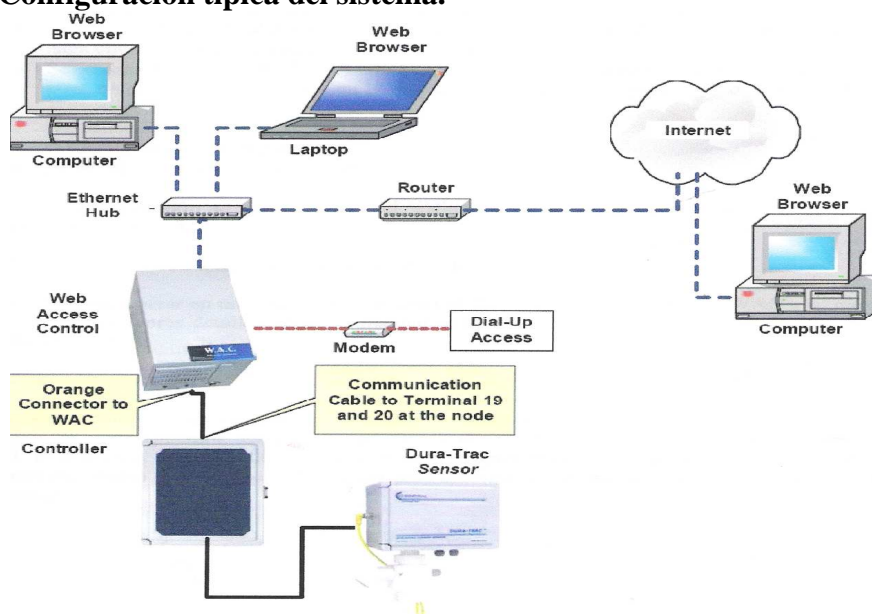
La instalación de los equipos e instrumentos que conforman el sistema de dosificación automático de coagulantes se realizó desde el 7 de enero de 2004, fecha a partir de la cual se llevó a cabo la puesta en marcha y el período de pruebas para su recibo a satisfacción (ver figuras 6 y 7).

Tabla 2. Tabla de descripción de componentes Streaming Current.

Descripción	Cantidad	Serial
1. Nodo de comunicación RTU Marca Chemtrac	3	WAC-I/O03L002 WAC-I/O03L003 WAC-I/O03L004
2. Sistema de monitoreo y control WEBTRAC marca Chemtrac	1	AO3110011
3. WAC o Controlador de Proceso PLC incluye disco duro y carcasa para ambientes agresivos	1	AO3110011
4. Pantalla Dell 17", CPU, mouse y teclado.	1	CN-OP0151-64180-397-36SP
5. Streaming Current Monitor (sensor) Duratrac Marca Chemtrac	2	WAC-DT03L002 WAC-DT03L003
6. Bombas de dosificación de Cavidad Progresiva Marca Netzch con capacidad de 150 litros / h a 60 Hz.	2	346036/2003 346035/2003
7. Variadores de Frecuencia, Referencia Altivar 28, marca Telemecanique	4	824903040178 832503040169 833103040141 834603040166

Fuente. Informe final de contrato No. 513 de 2003.

Figura 6. Configuración típica del sistema.



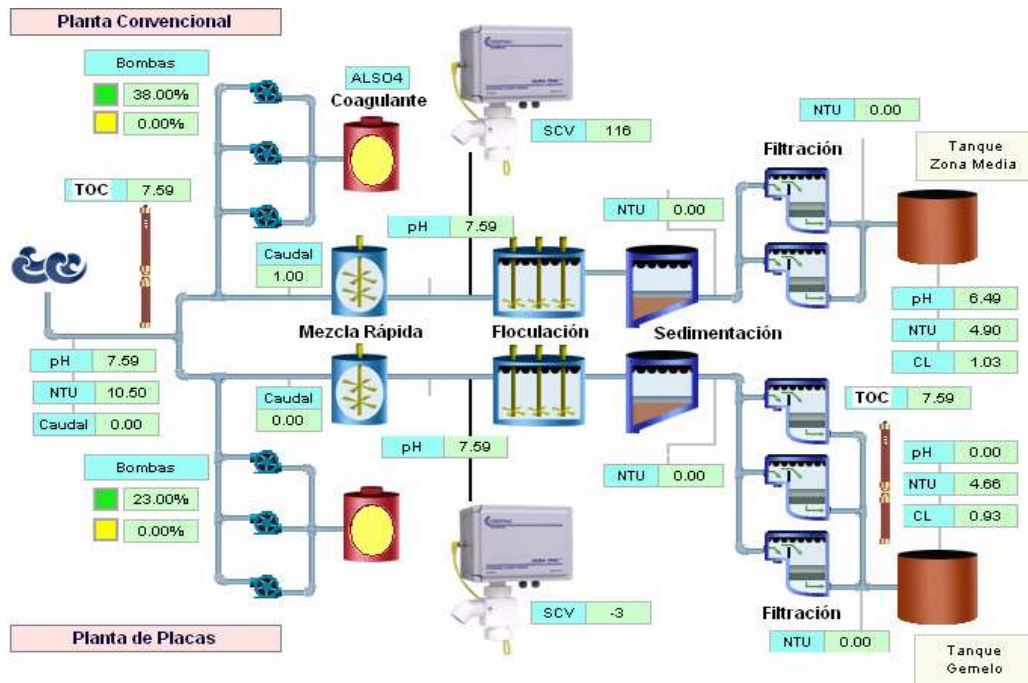
Fuente. Informe final contrato No.513 de 2003

2.2.3 Características de los equipos instalados.

- Rango de medición: +/- 1000 unidades de Streaming Current (SCV)
- Set point: 4 dígitos
- Exactitud: +/- 0.5 % a escala total
- Ajuste de Ganancia: 1 a 20 veces de amplificación de señal
- Tiempo de respuesta: 1 segundo del sensor, +/- 10 segundos del sistema.
- Rata de flujo: 5 – 10 GPM
- Tipo de celda: Fácil desmonte para mantenimiento o reemplazo
- Abastecimiento de energía: 110 VAC, 1 A, 60 Hz.
- Protección (carcaza): tipo NEMA 4X.
- Temperatura de operación: 0° a 48°C (32 – 120 °F)
- Repuesto de pistón y celda: Entregados por el contratista para cada uno de los sensores
- Sensor de flujo: Configuración en la página de alarmas como opcional
- Módulo de mantenimiento: Señal habilitada.
- Sensores conectados a un sistema central de control y monitoreo localizado en la sala de operaciones de la Planta Centenario.
- Distancia entre pistón y paredes del receptáculo del pistón = 0.01 pulgadas.
- Sistema de Monitoreo y Control (Unidad Terminal Remota) Webtrac
- Almacenamiento de información en el Wac de los equipos de campo: IQ_Net
- Visualización del menú tendencias en el ambiente del Webtrac para SCV (valores del Streaming Current), porcentaje de apertura de las bombas 1 y 2, caudal de entrada a la Planta y caudal de alimentación a cada línea de tratamiento (señales habilitadas para posterior conexión cuando se cuente con los instrumentos primarios de medida), pHs de

agua cruda y tratada, turbiedad agua cruda, agua tratada y agua sedimentada (la última no aplica por no contar con el sensor de medición), y cloro libre (ver figura 7).

Figura 7. Disposición esquemática del sistema.



- Exportación de datos por medio de un archivo CSV (valores separados por comas) para ser usados bajo excel, a través de la opción reportes en el menú del Webtrac, con comunicación por línea telefónica.
- La interface gráfica con cada una (3) de las RTU se configuró y puede modificarse según requerimientos a través del menú entradas análogas en el Webtrac.
- Acceso a RTU mediante acceso directo telefónico, red LAN, o Internet Explorer.
- La visualización desde terminales remotas no requiere instalación de ningún software y solamente requiere internet explorer.
- Plataforma para PC compacta con disco duro integral:
- PLC con protección tipo industrial, dotado con tarjeta de red 10 BASE T, MODEM, y tarjeta de recepción de datos bajo protocolo Lonworks.
- Sistema Operativo: Windows NT

- Comunicaciones: Ethernet (10 BASE-T), Lonworks 78KB FTT-10^a, 2 puertos seriales (pantalla e impresora)
- Software: Webtrac
- Modulo Remoto I/O
- Tres (3) Unidades RTU con las siguientes características:
 - Ocho (8) entradas análogas universales: 0 – 5 VDC; 0 –10 VDC; 0 – 20 mA
 - Ocho (8) salidas digitales de relé 24 VAC por cada nodo
 - Consumo: 85 – 265 VAC, verificable por el consumo sobre la UPS
 - Ocho (8) entradas digitales contacto seco o TTL
 - Cuatro (4) salidas análogas por cada nodo: 0 –10 VDC; 4 – 20 mA (600 Ohms)
 - Suficiente capacidad para ampliar recepción de equipos de campo.
- Bombas dosificadoras. Dos (2) bombas de cavidad progresiva, con motor de giro nominal de 850 rpm a 60 Hz., de flujo continuo, sin restricción mínima en el NPSH, con capacidad de trabajo para flujo reversible, para un caudal de 150 l/h a 60 Hz. Control de caudal a través de dos (2) variadores de frecuencia que permiten manejo de 0 – 400 Hz, parametrizados entre 5 y 90 Hz.
- Bombas automatizadas (4) cuatro. Existen dos (2) bombas automatizadas con un variador de frecuencia, las otras dos (2) bombas están operando en modo manual como soporte para administrar cualquier contingencia que se presente por la salida de operación del sistema en modo automático (ver figura 8).
- Se establecieron señales de alarma en modo visual, configuradas en estado en la pantalla “Estado SCM” en el Webtrac.
- Inclusión de señales del Sistema de Monitoreo de calidad de agua en la Planta Centenario. Se conectaron, configuraron y parametrizaron las señales provenientes de las sondas de pH, turbiedad y cloro libre del sistema IQ-Net.

Figura 8. Disposición de bombas automatizadas para la dosificación de coagulante.



El mímico de proceso se incluye en la pantalla “Proceso”; La bitácora del sistema se encuentra en la opción “Bitácora” del Webtrac y las alarmas se encuentran configuradas en la pantalla “Alarmas”, y “Estado SCM”.

Se encuentran instalados tres (3) filtros a la salida de cada tanque de almacenamiento de coagulantes para retención de sólidos contenidos en estos.

El sistema está operando en modo automático y la salida de cada una de las bombas dosificadoras en funcionamiento se registra gráficamente en el sistema de control “configuración Control” para establecer los parámetros de control automático o manual en lo referente al sensor de Streaming Current y la bomba dosificadora utilizada (ver figura 9).

Existe la opción que permite parametrizar para señales que el equipo reciba por medio de los nodos y provienen de instrumentación diferente, en el caso de la planta Centenario esto se refiere al sistema de medición de calidad en línea que mide pH, turbiedad y color residual; al lo largo del proceso la pantalla que aparece es como la mostrada en la figura 10 y tiene tres opciones dado que se dispone de tres nodos en este sistema.

Figura 9. Configuración de control.

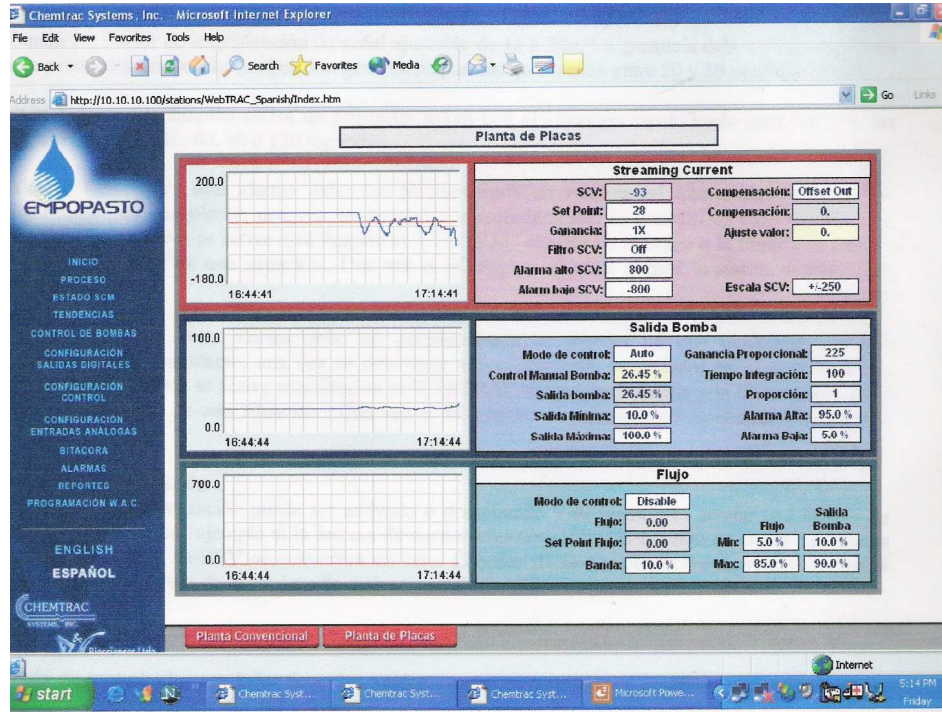
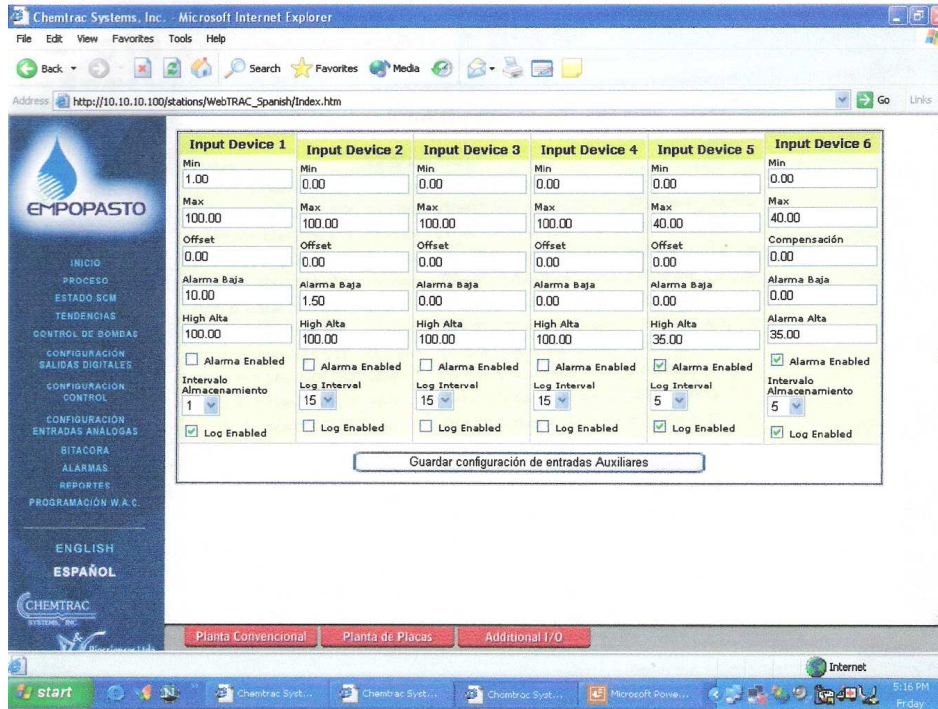


Figura 10. Parametrización de señales análogas.



El sistema se encuentra instalado para trabajar con cualquiera de los coagulantes especificados (sulfato de aluminio líquido tipo B y policloruro de aluminio PAC), tanto el sistema de dosificación como las bombas dosificadoras que operan de acuerdo a los requerimientos de calidad de agua.

2.2.4 Manuales e información suministrada por el proveedor.

- Manual de Operación del Webtrac y de los Sensores de Streaming Current (Duratrac).
- Manual de Operación y Mantenimiento de las Bombas de Cavidad Progresiva. Características y Especificaciones Técnicas
- Manual de Operación de los Variadores de Frecuencia, Características y Especificaciones.
- Informe Final de Ingeniería.
- Maestro de Nombres de Usuario, Claves de Acceso y Niveles de Autoridad y Seguridad del Sistema Webtrac.
- Protocolos de funcionamiento de sensores y Pruebas de Campo.
- Protocolo de verificación de funcionamiento de sensores y bombas sumergibles en campo.

2.2.5 Estado actual del sistema Streaming Current. Hasta la fecha este sistema a presentado un desempeño adecuado, y no se han presentado fallas notables en el mismo, sin embargo recientemente se han presentado deficiencias en el sistema eléctrico de la planta Centenario que son ajenas al funcionamiento del Streaming Current, pero que en ocasiones afecta su operatividad. El departamento de producción en el desarrollo de su política esta implementando un proyecto para renovar y adecuar la instalación eléctrica de todos los sistemas electrónicos instalados en la planta de tratamiento, para aislarlos del sistema general que parece ser la causa probable de los trastornos en el fluido eléctrico que llega a estos sistemas.

2.3 SISTEMA DE MACROMEDICIÓN Y CONTROL DE NIVELES (SCADA) INSTALADO EN LAS PLANTAS CENTENARIO, MIJITAYO Y SAN FELIPE.

El objetivo de la implantación del sistema de macromedición se centra en la reducción de las pérdidas técnicas de agua mediante la implementación del sistema de telemedida y control, atendiendo lo estipulado en la Ley 373 de 1997 “Programa Uso Eficiente y Ahorro de Agua”.

Es así como la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto, EMPOPASTO S.A. E.S.P. desde el año 2001 implementó el sistema de Telemetria y control en las Plantas de Tratamiento de Agua, a través de los contratos No. 394 de 2000 y 306 de 2002 suscritos con la firma INPEL LTDA, cuyo objeto fue la instalación y puesta en funcionamiento de los siguientes equipos a los cuales se les deberá efectuar en su totalidad el mantenimiento preventivo, y correctivo en los casos que así el mantenimiento preventivo lo demande.

2.3.1 Descripción Del Sistema. En la concepción de la instrumentación de los sistemas se tiene en cuenta la implementación de tecnologías que permiten la medición y el control de variables incidentes en la operación y tratamiento de las aguas con destino a consumo humano.

El sistema de macromedición, control de niveles, automatización y telemetría fue implementado en el mes de marzo de 2001 en Centenario y en el año 2003 en las Plantas Mijitayo y San Felipe, para la medición de caudales influentes al sistema y los efluentes a través de las líneas de conducción que salen de los diferentes tanques de almacenamiento que alimentan a las distintas zonas de presión como son:

Para el sistema Centenario (ver figura 11 y 12):

- Zona Alta: alimentada desde un tanque de 6000 m³ de capacidad de la cual parten 3 líneas de distribución hacia los sectores conocidos como Sur orientales, Corazón de Jesús, lavado de filtros, alimentación cloradotes.
- Zona Media: alimentada por un conjunto de cuatro tanques con capacidad total de 6000 m³, con dos líneas expresas que alimentan al centro de la ciudad y a los establecimientos ALKOSTO y Agua Brisa ubicados en predios donde hasta hace poco tiempo funcionaba la fábrica Bavaria y por último desde este tanque se alimenta por gravedad al tanque de la zona baja.
- Zona Baja: dispone de un tanque con capacidad de 2400 m³ para el abastecimiento del sector bajo de la ciudad.
- Zona Cujacales, la cual cuenta con dos tanques remotos ubicados en las cotas 2706 m.s.n.m y 2728 m.s.n.m con capacidades de 2000 y 1000 m³ que distribuyen hacia Aranda y parte del Corazón de Jesús por medio de dos líneas de distribución de 12" y 6" respectivamente y al sector de Sindagüa y alrededores contando con dos líneas en 6".

Para el sistema Mijitayo:

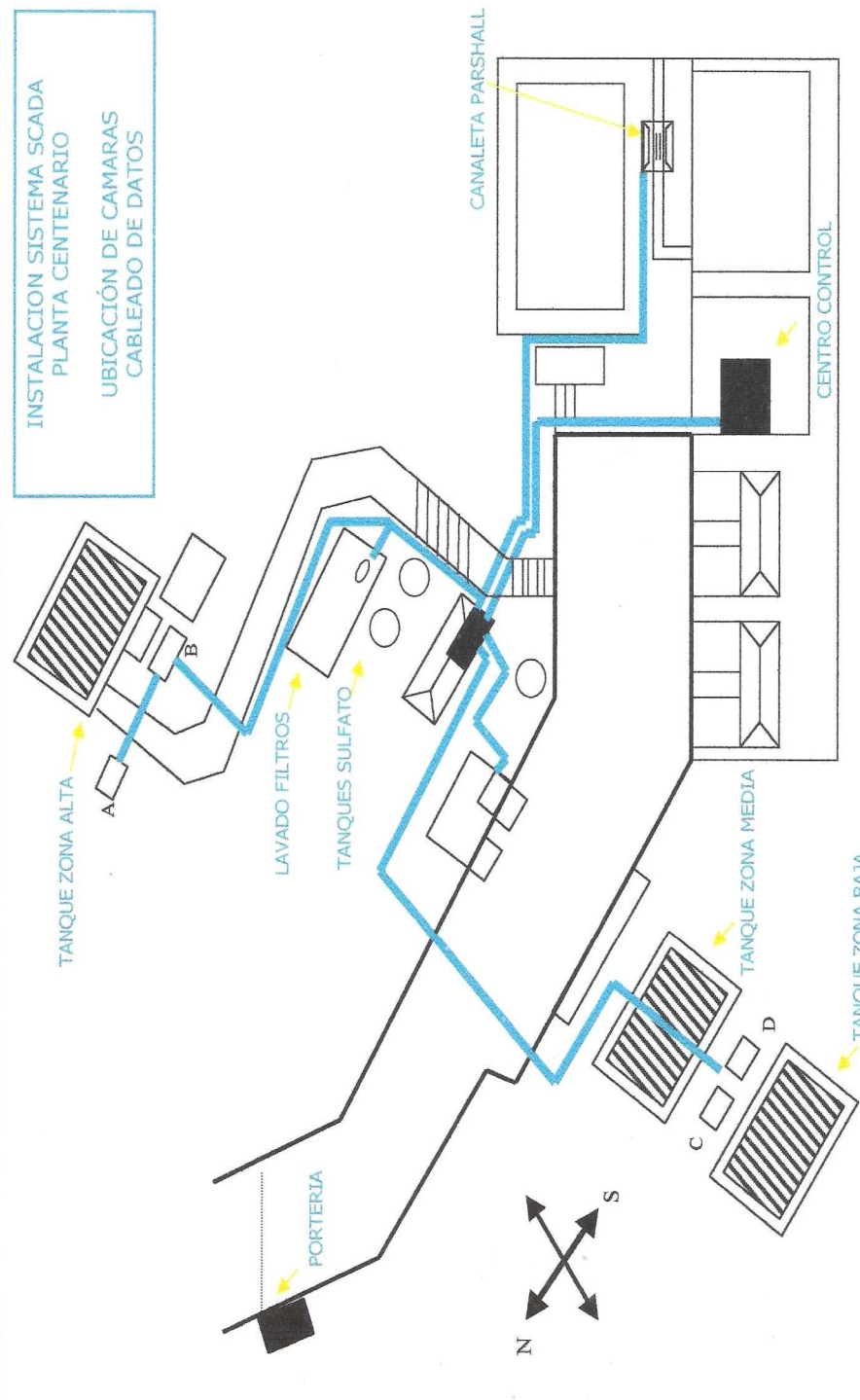
- Zona Media alimentada por un tanque de capacidad de 1200 m³ de la cual parten tres conducciones a sectores denominados: Principal, Tamasagra y San Vicente.

Para el sistema San Felipe:

- Se presenta la particularidad de que este abastece a la antigua Zona Alta Mijitayo y Tanque de lavado de filtros Mijitayo que hasta el año 2003 se alimentaba por bombeo desde la Planta Mijitayo. Esta zona sirve a los sectores nororientales de la ciudad de Pasto a través de una conducción de 6" en PVC y adicionalmente se cuenta con una línea expresa hacia el Centro Administrativo Municipal, CAM; A través de la conducción que sale del tanque de almacenamiento de San Felipe se surte de agua igualmente a los sectores conocidos como Villa de los Ríos, Altamira, La Cruz-La Palma y Frigovito. En los últimos tres sectores se cuenta con tanques de almacenamiento remotos alimentados directamente de la conducción.

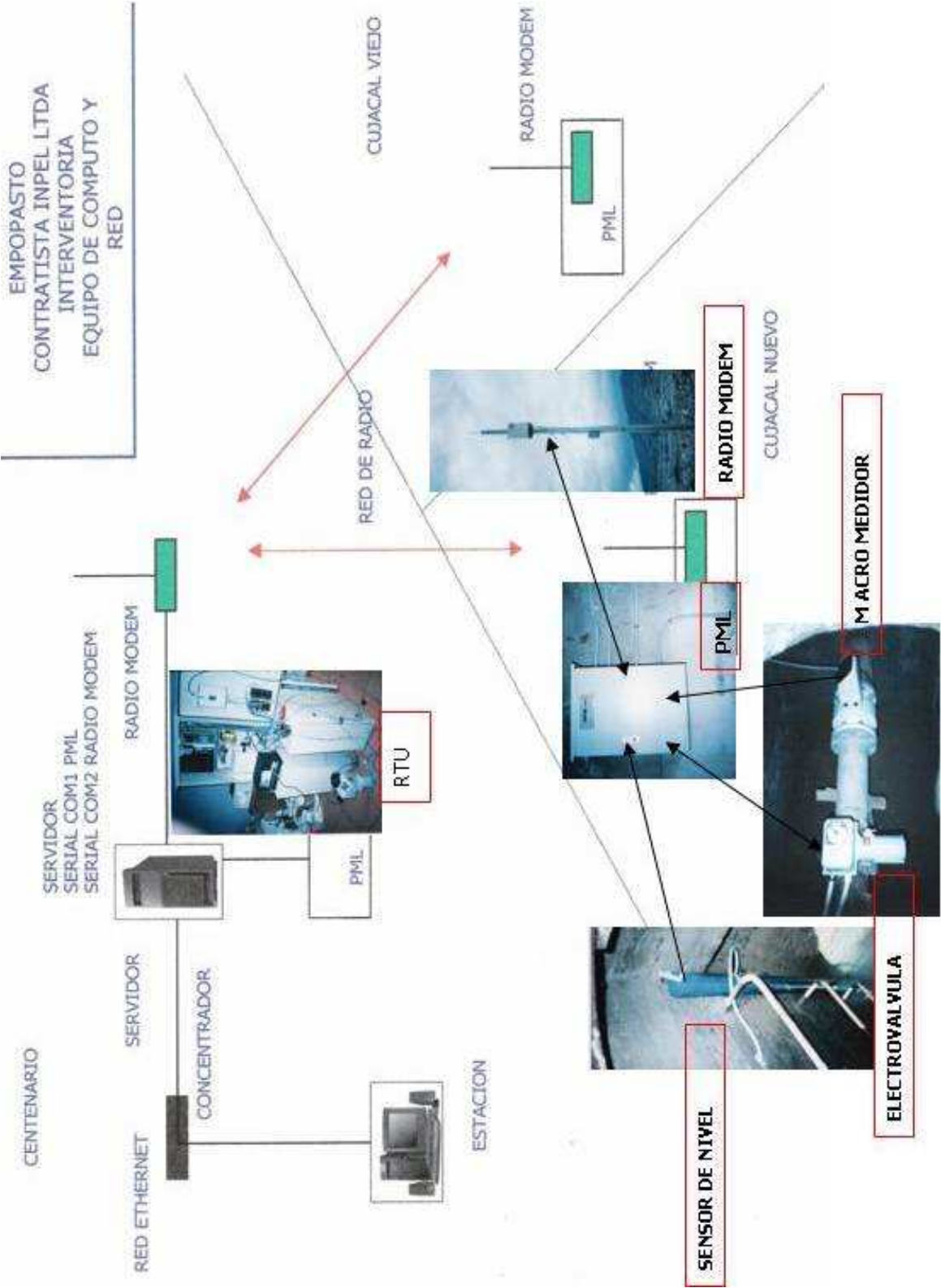
Igualmente en los tres sistemas se ha dispuesto de instrumentos de medición de nivel que permiten el conocimiento en tiempo real por sistema de telemetría de la altura de la lámina de agua en los tanques de almacenamiento con señales de alerta para bajos y altos niveles que permiten controlar la operación de los mismos eliminando riesgos de caída de presión en las zonas servidas y pérdidas de agua por rebose.

Figura 11. Instalación sistema Scada planta Centenario.



Fuente. Instalación del sistema de macromedición y control de niveles planta Centenario Informe final de Interventoría.

Figura12. Ejemplo de flujo de información a través del sistema Scada para la planta Centenario.



2.3.2 Arquitectura del sistema. El sistema de control, adquisición de datos y supervisión de tanques de almacenamiento de las Plantas Centenario, Mijitayo y San Felipe, tiene una arquitectura en cuatro (4) niveles, donde el manejo de transferencia de datos ocurre en todos los niveles, utilizando varios medios de comunicación.

- **Nivel 1(La adquisición de variables).** Hace referencia a la adquisición de variables que se pueden medir en un sistema de acueducto, mediante un medio de comunicación, entrega datos a una RTU, ya sea en señales de 4 – 20 mA ó 0 -1 ó 10 V; la importancia de este nivel radica en la precisión en que los equipos entreguen al sistema Scada Pegasys, para poderla procesar para obtener análisis y resultados óptimos. Se hace mediante sensores de nivel de ultrasonido y de diferencia de presión, sensores de flujo electromagnéticos (ver figura 13) y tipo vortex.

Figura 13. Sensor electromagnético y electro-válvula.



- **Nivel 2(Equipos microprocesados).** En este nivel se almacena y guarda la información adquirida en el nivel 1 a través de procesadores lógicos programables (PCL) de POWER MEASUREMENT, ubicados en las unidades terminales remotas (RTU) tipo 7700 ION. La transmisión de datos se hace vía radioenlace, con una estación maestra que permite enlaces de comunicación con las estaciones remotas.

- **Nivel 3(Sistema de comunicaciones).** La transmisión de datos se hace por medio de radio con equipos de radio enlace FREEWAVE, ubicados sobre postes en lugares cercanos a los diferentes tanques.

- **Nivel 4(Centro de control).** En este nivel se encuentra el software SCADA Pegasys, el cual posee una estructura funcional modular que le permite al usuario un manejo personalizado rápido y de simple aplicación. En este nivel se puede realizar supervisión del sistema, en cuanto a monitoreo de alarmas y mediciones, bajo el manejador de base de datos SyBase, sobre una plataforma operacional Microsoft Windows NT. Este sistema se instaló en nivel 4, como servidor con todas las funciones de operación en el Centro de Control de la oficina de la Jefatura de Producción y, como cliente, para los PC que se

encuentran trabajando en la misma red, en las oficinas de los operadores de las Plantas, con la ventaja de compartir información y supervisión.

El detalle de los equipos instalados se registra en las tablas siguientes:

Tabla 3. Macromedidores Instalados en el Sistema Centenario

NOMBRE	ZONA DE SERVICIO	SITIO DE INSTALACION	CLASE Y DIAMETRO TUBERIA	EQUIPO INSTALADO			
				TIPO	SERIE	FECHA INTALACION	MARCA
ZONA ALTA	Zona 3, 10 Y 11 - ALTA CENT. (Sur Orientales, Obrero-Capusigra)	Tubería de Suministro	American Pipe 24"	De inserción tipo Vortex	100701-B003	27/03/01	EMCO V-BAR 700
	Corazón de Jesús	Tubería de Suministro	Asbesto Cemento 8"	Electromagnético 6"	144125T480	29/03/01	DANFOS
	Lavado de Filtros	Tubería de Suministro	Asbesto Cemento 8"	Electromagnético 8"	689224T390	29/03/01	DANFOS
ZONA BAJA	Zona 1	Tubería de Suministro	AC 16"	De inserción tipo Vortex	100701-B001	26/03/01	EMCO V-BAR 700
ZONA MEDIA	Zona 2	Tubería de Suministro	American Pipe 18"	De inserción tipo Vortex	100701-B002	26/03/01	EMCO V-BAR 700
	Bavaria	Tubería de Suministro	Asbesto Cemento 6"	Electromagnético 3"	095125T470	28/03/01	DANFOS
CUJACAL VIEJO ALTO	Zona 8 (Sindagua y aledaños)	Tubería de Impulsión	Asbesto Cemento 10"	Electromagnético 3"	095225T470	27/03/01	DANFOS
CUJACAL NUEVO O BAJO	Zona 7 (Aranda, Bella Vista)	Tubería de Suministro	Asbesto Cemento 12"	Electromagnético 12"	545124T350	27/03/01	DANFOS
		Tubería de Suministro	Asbesto Cemento 6"	Electromagnético 6"	144225T480	27/03/01	DANFOS

Tabla 4. Sensores de Nivel Instalados en el Sistema Centenario

UBICACIÓN	TIPO	VOLUMEN Y/O RANGO	EQUIPO INSTALADO		
			SERIE	FECHA INTALACION	MARCA
Canaleta Parshall	Ultrasónico	1100 LPS	6 ED 1508	Mar -2001	E+H
Tanque zona alta	Hidrostático	5938,16 M3	6 PA 0112	Mar -2001	E+H
Tanque zona media	Hidrostático	5.686,32 M3	6 MA 0112	Mar -2001	E+H
Tanque zona baja	Hidrostático	2.676,80 M3	6 MA 0114	Mar -2001	E+H
Tanque lavado de filtros	Hidrostático	Sin Definir	6 MA 0115	Mar -2001	E+H
Tanque Cujacal Alto (Viejo)	Hidrostático	Sin Definir	6 MA 0116	Mar -2001	E+H
Tanque Cujacal Bajo (Nuevo)	Hidrostático	2.214,31 M3	6 MA 0117	Mar -2001	E+H

Tabla 5. Macromedidores Instalados en Mijitayo y San Felipe

NOMBRE	ZONA DE SERVICIO	SITIO DE INSTALACION	CLASE Y DIAMETRO TUBERIA	EQUIPO INSTALADO			
				TIPO	SERIE	FECHA INTALACION	MARCA
ZONA ALTA Mijitayo	Zona 4 - Anganoy	Tubería de Suministro	PVC 6"	Electromagnético 6"	MAG 5000-083F5005206034N392	Ene-03	DANFOSS
	Filtros Mijitayo	Tubería de Suministro	Asbesto Cemento 6"	Electromagnético 6"	MAG 5000-083F5005207534N402	Ene-03	DANFOSS
ZONA BAJA Mijitayo	Tamasagra	Tubería de Suministro	Asbesto Cemento 14"	Electromagnético 8"	MAG 5000-083F5005207034N402	Ene-03	DANFOSS
	Principal	Tubería de Suministro	Asbesto Cemento 10"	Electromagnético 6"	MAG 5000-083F5005206934N392	Ene-03	DANFOSS
	San Vicemte	Tubería de Suministro	Asbesto Cemento 8"	Electromagnético 6"	MAG 5000-083F5005206734N392	Ene-03	DANFOSS
LA PALMA	La Cruz, la Palma	Tubería de Suministro	PVC 3"	Electromagnético 3"	MAG 5000-083F5005206434N392	Ene-03	DANFOSS
FRIGOVITO	Central de Sacrificio	Tubería de Suministro	PVC 4"	Electromagnético 2"	MAG 5000-083F5005207634N402	Ene-03	DANFOSS
San Felipe	Altamira, Frigovito, la Palma y Villa de los Ríos	Tubería de Suministro	PVC 6"	Electromagnético 6"	MAG 5000-083F5005206234N392	Ene-03	DANFOSS

Tabla 6. Sensores de Nivel Instalados en los Sistemas Mijitayo y San Felipe

UBICACIÓN	TIPO	VOLUMEN Y/O RANGO	EQUIPO INSTALADO		
			SERIE	FECHA INTALACION	MARCA
Canaleta Parshall Planta San Felipe	Ultrasónico	50 LPS	4A029A0109A	Ene-03	ENDRES+HAUSER
Tanque San Felipe	Hidrostático	263,95 M3	4A02C40108E	Ene-03	ENDRES+HAUSER FMX-160
Canaleta Parshall Planta Mijitayo	Ultrasónico	200 LPS	4A029B0109A	Ene-03	ENDRES+HAUSER
Tanque zona alta Mijitayo	Hidrostático	483,91 M3	4A02C20108E	Ene-03	ENDRES+HAUSER FMX-160
Tanque zona baja Mijitayo	Hidrostático	1.206,04 M3	4A02C30108E	Ene-03	ENDRES+HAUSER FMX-160
La Palma	Hidrostático	33,52 M3	4A02C10108E	Ene-03	ENDRES+HAUSER FMX-160
Frigovito	Hidrostático	242,39 M3	4A02BF10108E	Ene-03	ENDRES+HAUSER FMX-160
Altamira	Hidrostático	SIN DEFINIR	4A02C001008E	Ene-03	ENDRES+HAUSER FMX-160

Tabla 7. Electroválvulas en Sistema Centenario y San Felipe

UBICACIÓN	TIPO	EQUIPO INSTALADO		
		SERIE	MARCA	FECHA INSTALACION
CUJACAL BAJO 12 "	MARIPOSA	76959/01.001	DANFOS	30/03/01
CUJACAL BAJO 6"	MARIPOSA	78241/01.004	DANFOS	30/03/01
CAJACAL ALTO 6" VALVULA 1	MARIPOSA	78103/01.006	DANFOS	30/03/01
CUJACAL ALTO 6" VALVULA 2	MARIPOSA	78427/01.003	DANFOS	30/03/01
LA PALMA	MARIPOSA		DANFOS	15/01/03

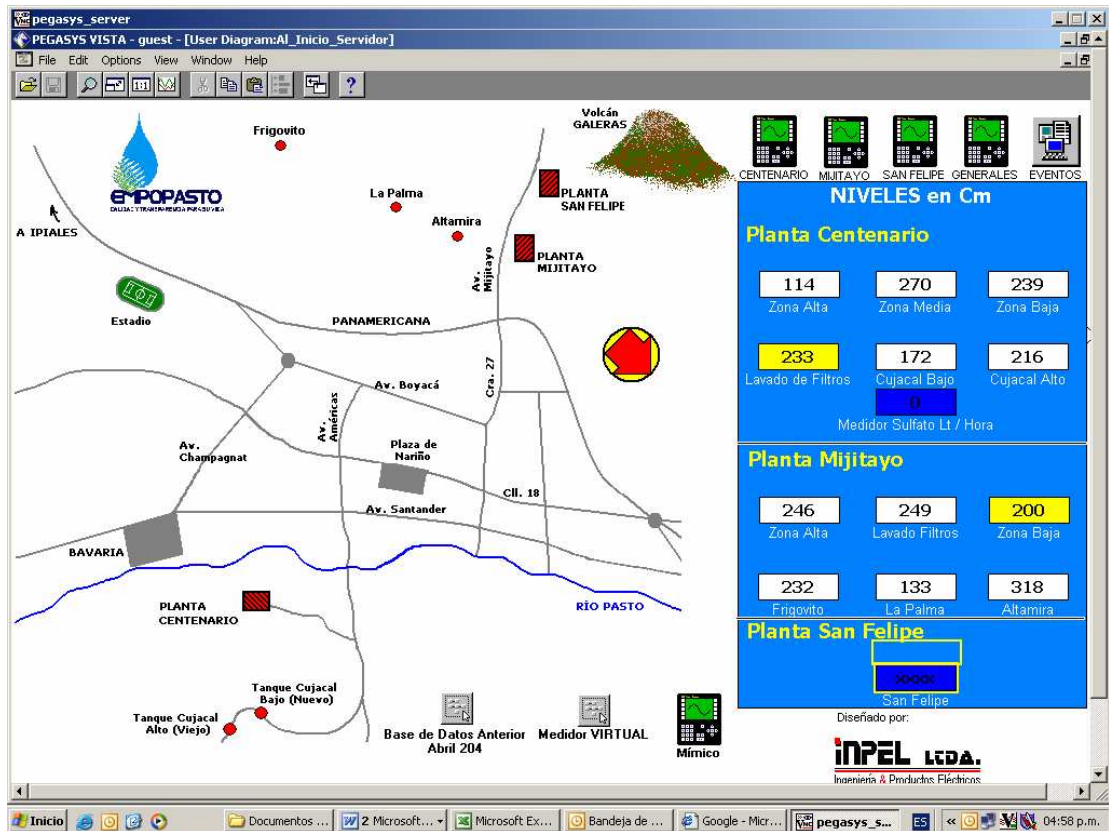
2.3.3 Generalidades del software. El sistema SCADA Pegasys está constituido por los siguientes elementos:

Sistema Operativo WINDOWS 2000 Server. Las capacidades de red están completamente integradas en el sistema operativo Windows 2000 Server. Los computadores con Windows XP y NT WorkStation, pueden comunicarse a través de la red usando una gran variedad de protocolos y adaptadores de red.

Las capacidades de manejo de red de Windows 2000 Server, la diferencian de sistemas operativos como Microsoft MS-DOS y Windows 3.x, en los cuales las capacidades de red son instaladas separadamente. Estas capacidades hacen que Windows 2000 Server pueda participar en otras redes, compartir archivos, impresoras y aplicaciones. Además 2000 Server es un sistema operativo personalizable con varios niveles de seguridad esenciales en el manejo de la información almacenada y procesada a través del sistema de adquisición que en un futuro próximo será distribuido en diferentes dependencias de EMPOPASTO.

Software de Aplicación PEGASYS 2.0. PEGASYS es un SCADA completamente integrado a redes de comunicación, con un sistema de arquitectura cliente - servidor que ha sido diseñado para requerimientos especiales de la integración de monitoreo y control de sistemas de automatización.

Figura14. Entorno del software Pegasys 2.0



PEGASYS tiene como base la arquitectura de POWER MEASUREMENT, con programación orientada a objetos y soportado con un manejador de base de datos Sybase SQL Anywhere, sobre una plataforma Windows 2000 Server, lo cual hace que los datos obtenidos por diferentes equipos se encuentren disponibles para cualquier persona alrededor de la empresa.

La interfaz de usuario permite monitorear cualquier aspecto del sistema de automatización, analizar datos almacenados e, interactivamente, controlar equipos de uno o más sitios. La interfaz gráfica provee una información completa con información dinámica y capacidades de control con un manejo orientado a objetos.

La interfaz de WINDOWS permite tener diferentes ventanas abiertas a la vez con información de diferentes sitios o equipos monitoreados al tiempo gracias al multiproceso de WINDOWS 2000 Server.

Se pueden graficar tendencias registradas de cualquier parámetro, realizar un análisis minucioso con la interfaz visual propia de PEGASYS y compartir esta información de forma muy eficiente con otras aplicaciones Windows; además, posee un completo manejo de alarmas y eventos configurables para brindar una seguridad y perfeccionamiento en la identificación, causas, prioridades y efectos.

2.3.4 Generalidades del hardware.

- **Equipo Servidor**

Procesador Pentium III de 800 MHz
Memoria Cache 256 Kb Level 2 Tecnología MMX
Memoria RAM 128 Mb PC 133 tres slots expandible a 1.5 Gb
Cinco puertos PCI 33 MHz 32 bits
Puerto AGP video 8Mb SDRAM
Monitor Svga 19"

- **Estación de Cliente**

Procesador Pentium 4 1.6 GHz
Memoria Cache 256 Kb
Memoria RAM 128 Mb Pc 133 dos slots expandible a 1.5 Gb
Video incorporado
Monitor Svga 17"

- **Unidades Terminales Remotas RTU 7700 TRAN RTU.** La RTU 7700 y 7330 TRAN RTU son transductores inteligentes de interfase, ideal en aplicaciones y utilidades comerciales e industriales. Puede conectarse directamente a una amplia variedad de transductores industrialmente estandarizados, termocuplas o dispositivos de medición de parámetros tales como flujo, nivel, temperaturas, turbidez, etc.

Estas RTUs permiten realizar además de almacenamiento distribuido, un control distribuido, manejando setpoints por cualquier variable y salidas digitales para el control de elementos flexibles.

Características

- Etiquetas de identificación y escalas definibles por el usuario.
- Relés externos para el control de válvulas o elementos flexibles.
- Registro de eventos internos, muestras instantáneas y mínimos/ máximos
- Puerto de comunicaciones RS-232 y RS-485. Configurable por el usuario.

- Base de datos distribuida de todas las entradas análogas.
- Password de protección para la Parametrización.
- Cumple con la norma ANSI C37.90.1
- Precisión 0.5%, Resolución de 0.1%
- Base De Datos
- El 7700 y 7330 TRAN RTU provee información, registro de eventos, datos históricos, determinación de máximos , mínimos y realización de operaciones matemáticas.

• **Tarjetas de Expansión de Entradas y Salidas Digitales (comunicaciones).** Transmisión por radio con equipos FREWAVE, ubicados en gabinetes instalados sobre postes en Cujacal Alto y Cujacal Bajo, una unidad central en la Planta Centenario, una unidad en la planta Mijitayo y en la planta San Felipe, así como en tanque de Altamira con de Frecuencia 400-500 Mhz UHF banda, 12.5 Khz Channel. Transmit power 10-500 mW. 9600 bits/sec de velocidad de transmisión (ver figura 12).

2.3.5 Beneficios del Sistema Scada Pegasys. Entre los beneficios mas importantes que ofrece este sistema, tenemos los siguientes:

- Ajuste oportuno de consumos operacionales excesivos que se estén generando en las operaciones rutinarias de las Plantas.
- Control operacional sistemático y permanente del sistema de abastecimiento que permite estabilizar el comportamiento hidráulico bajo condiciones de operación constantes.
- Certeza en la determinación del índice de agua no contabilizada, por conocimiento exacto de los volúmenes de agua inyectados al sistema de distribución.
- Precisión en el balance de agua entre el volumen distribuido y volumen facturado logrando la correspondencia de períodos de ocurrencia de las dos variables.
- Permite la evaluación del tiempo de saturación del sistema previendo necesidades de optimización o ampliación respecto de la capacidad nominal Vs. la capacidad utilizada.

2.3.6 Estado actual del sistema de macromedición y nivel Scada instalado en las plantas de tratamiento de Centenario, Mijitayo y San Felipe.

Tabla 8. Estado actual de Macromedidores del sistema Centenario.

UBICACIÓN	TIPO	ESTADO ACTUAL	TIPO DE FALLA
ZONA ALTA	De inserción-Tipo Vortex	REGULAR	Presenta medidas atípicas de manera aleatoria
	Electromagnético 6"	BUENO	
	Electromagnético 8"	BUENO	
ZONA BAJA	De inserción-Tipo Vortex	MALO	Presentó lecturas atípicas hasta que dejó de marcar
ZONA MEDIA	De inserción-Tipo Vortex	REGULAR	Presenta medidas atípicas de manera aleatoria
	Electromagnético 3"	BUENO	
CUJACAL VIEJO ALTO	Electromagnético 3"	BUENO	
CUJACAL NUEVO O BAJO	Electromagnético 12"	BUENO	
	Electromagnético 6"	BUENO	

Tabla 9. Estado actual de Sensores de nivel del sistema Centenario.

UBICACIÓN	TIPO	ESTADO ACTUAL	TIPO DE FALLA
Canaleta Parshall	Ultrasonico	BUENO	
Tanque zona alta	Hidrostático	MALO	Pérdida de sensibilidad del sensor. Posible daño en el sensor (transductor-Unidad Sellada)
Tanque zona media	Hidrostático	BUENO	
Tanque zona baja	Hidrostático	BUENO	
Tanque lavado de filtros	Hidrostático	BUENO	
Tanque Cujacal Alto (Viejo)	Hidrostático	BUENO	
Tanque Cujacal Bajo (Nuevo)	Hidrostático	BUENO	

Tabla 10. Estado actual de Macromedidores del sistema Mijitayo y San Felipe. Centenario.

UBICACIÓN	TIPO	ESTADO ACTUAL	TIPO DE FALLA
ZONA ALTA MIJITAYO	Electromagnético 6"	BUENO	
	Electromagnético 6"	BUENO	
		NO TIENE	
ZONA BAJA MIJITAYO	Electromagnético 8"	BUENO	
	Electromagnético 6"	BUENO	
	Electromagnético 6"	BUENO	
LA PALMA	Electromagnético 3"	BUENO	
TANQUE ALTAMIRA		NO TIENE	
FRIGOVITO	Electromagnético 2"	BUENO	
SAN FELIPE	Electromagnético 6"	REGULAR	Presenta registros normales por cortos períodos de tiempo.

Tabla 11. Estado actual de Sensores de Nivel del sistema Mijitayo y San Felipe.

UBICACIÓN	TIPO	ESTADO ACTUAL	TIPO DE FALLA
Canaleta Parshall Planta San Felipe	Ultrásónico	BUENO	
Tanque San Felipe	Hidrostático	BUENO	
Canaleta Parshall Planta Mijitayo	Ultrásónico	BUENO	
Tanque zona alta Mijitayo	Hidrostático	BUENO	
Tanque zona baja Mijitayo	Hidrostático	REGULAR	Presenta lecturas demasiado altas para el nivel real del tanque en ciertas ocasiones al parecer por humedad en los circuitos
La Palma	Hidrostático	BUENO	
Frigovito	Hidrostático	BUENO	
Altamira	Hidrostático	FUERA DE SERVICIO	Pérdida de comunicación vía radio modem entre Altamira y Centenario

Tabla 12. Estado actual Electro válvulas.

UBICACIÓN	TIPO	ESTADO ACTUAL	TIPO DE FALLA
CAJACAL BAJO 12 "	MARIPOSA	BUENO	
CAJACAL BAJO 6"	MARIPOSA	MALO	Al accionar desde el sistema no opera correctamente, solo el motor inicia pero no hace el proceso de cierre o apertura.
CAJACAL ALTO 6" VALVULA 1	MARIPOSA	MALO	Al accionar desde el sistema no opera correctamente, ACCIONAR DESDE EL SISTEMA NO OPERA CORRECTAMENTE, TAMPOCO FUNCIONA EL VOLANTE PARA LA OPERACIÓN MANUAL
CAJACAL ALTO 6" VALVULA 2	MARIPOSA	BUENO	
La Palma	MARIPOSA	BUENO	

Tabla 13. Estado actual de las comunicaciones del sistema.

ENLACE	TIPO	ESTADO ACTUAL	TIPO DE FALLA
Centenario-Mijitayo	WIRELESS LAN 802.11 b	BUENO	
Centenario-San Felipe	WIRELESS LAN 802.11 b	MALO	Daño en la tarjeta PCMCIA del radio
Centenario-Cujacal Alto	RADIO MODEM - WIRELESS-UHF	BUENO	
Centenario-Cujacal Bajo	RADIO MODEM - WIRELESS-UHF	BUENO	
Centenario-Altamira	RADIO MODEM - WIRELESS-UHF	MALO	Daño en el procesador del radio
Centenario-La Palma	RADIO MODEM - WIRELESS-UHF	BUENO	
Centenario-Frigovito	RADIO MODEM - WIRELESS-UHF	BUENO	

Esta información recopilada sirvió de base para la elaboración de las especificaciones técnicas para el desarrollo del proyecto “actualización y mantenimiento preventivo, correctivo del sistema de teledata y control instalado en las plantas de tratamiento de centenario, mijitayo y san Felipe”, el cual se inició a partir de diciembre de 2005, con la firma Inpel Ltda.

3. EVALUACION DE LAS VARIABLES DE CONTROL Y MEDICIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS IMPLEMENTADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO.

Una vez comprendido el funcionamiento del sistema Scada, se plantea la necesidad de analizar la información generada por los macromedidores instalados en las plantas de tratamiento a lo largo de todo el tiempo que han estado en funcionamiento; esta información es vital para determinar el comportamiento del consumo de agua a través del tiempo en las diferentes zonas de servicio.

El tipo de información analizada fue la del caudal que registran los macromedidores, debido a que las lecturas de nivel en los tanques sirve para el manejo operativo de las respectivas plantas de tratamiento y como una variable para determinar el estado de calibración de los macromedidores.

Con esta información se implementó un programa en hoja electrónica para el procesamiento de la información, debido a que los registros que se generan a partir del sistema Scada Pegasys se pueden leer desde el entorno de Microsoft Excel.

En este programa permite analizar estadísticamente los registros que se generan cada quince minutos, con lo cual la cantidad de información a analizar es extensa, por lo anterior se optó por analizar los registros mensualmente, ya que se generan alrededor de 2900 datos por mes en cada macromedidor.

El análisis de la información para casi todos los macromedidores, exceptuando los macromedidores de lavados de filtros de las plantas de Centenario y Mijitayo, ya que esta información se utiliza para determinar la cantidad de agua que se gasta al mes para el lavado de estas estructuras y no es un valor del consumo de agua de la población.

La información generada a partir de la hoja electrónica se tiene que depurar, debido a que existen registros atípicos en determinados momentos ocasionados por diferentes circunstancias como: operaciones de mantenimiento en la red de la ciudad y en los propios tanques, falla en registro de los macromedidores por causas propias, problemas técnicos y algunos factores que afectan su correcto funcionamiento por causas aun no determinadas.

Este análisis de datos servirá como base para el desarrollo de la modelación hidráulica de las redes de la ciudad, inicialmente se plantea analizar el sistema de la zona baja de la planta Centenario como proyecto piloto, para lo cual es necesario que a la información generada en el desarrollo de esta actividad se le de un tratamiento estadístico a futuro y poder aprovechar al máximo toda la información suministrada.

3.1 PROCEDIMIENTO Y MANEJO DE DATOS.

A continuación se presenta el procedimiento para la obtención de datos a través del sistema Scada Pegasys, así como su utilización en la hoja electrónica y la forma de almacenamiento y presentación de los resultados obtenidos con el programa.

3.1.1 Obtención de Datos. La obtención de datos se realizó a través del siguiente procedimiento:

- Del entorno del sistema Pegasys en el servidor entramos en la base de datos respectiva ubicado en la parte superior derecha de la pantalla del sistema (ver figura 15), según la planta de tratamiento a analizar (Centenario, Mijitayo y San Felipe), también se puede acceder a la base de datos general del sistema, a partir de la cual se puede ingresar a toda la información de los macromedidores ubicados en cualquier planta (ver figura 16).

Figura15. Entorno general del sistema Pegasys 2.0

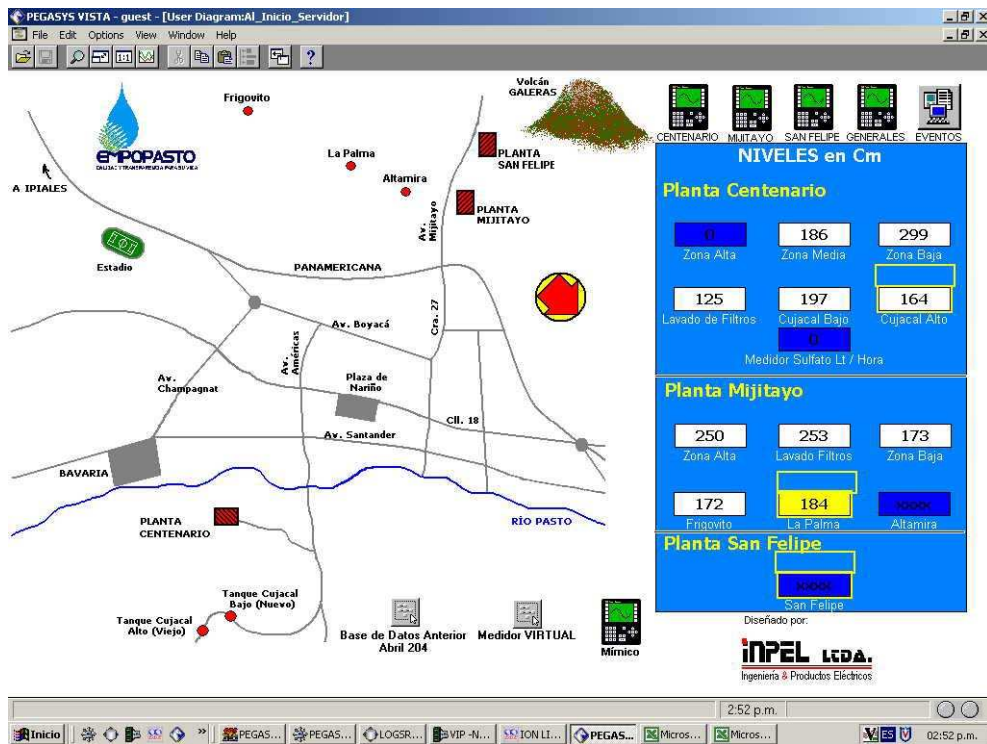
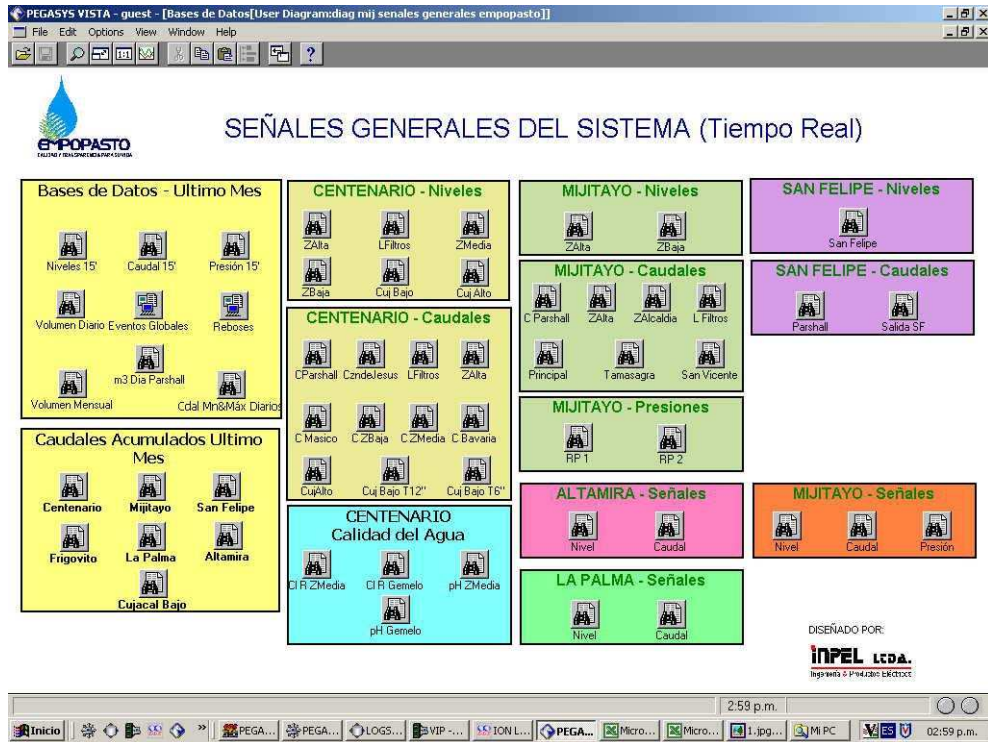


Figura 16. Base de datos general del sistema.



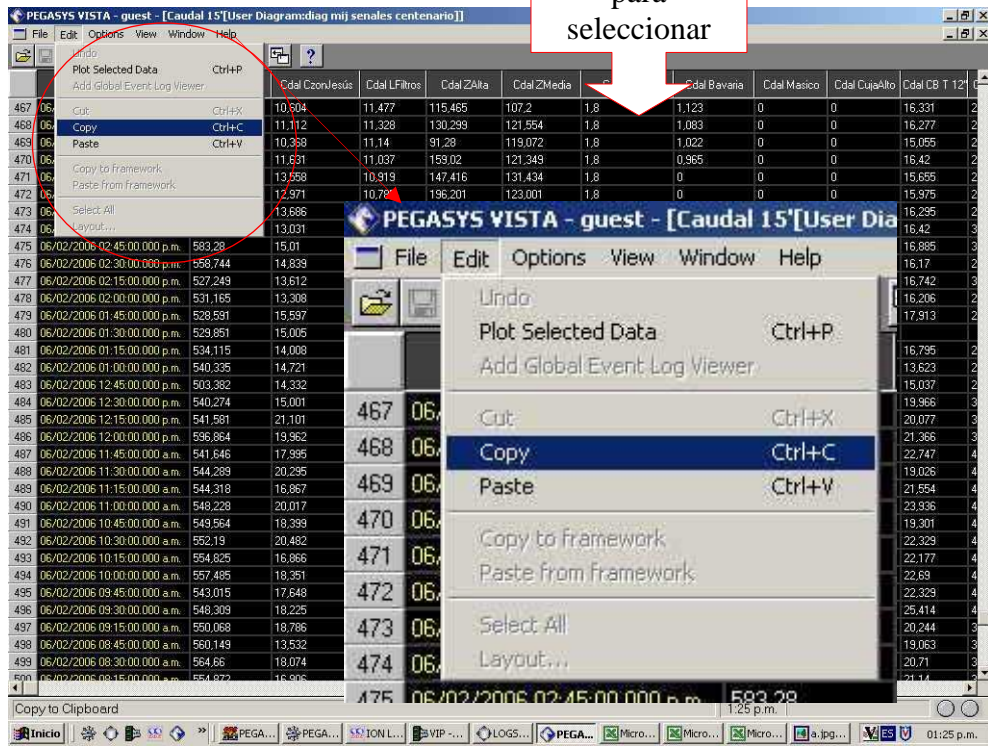
- Una vez dentro de la base de datos, se puede observar la información referente a la planta, la fecha y hora (timestamp) en que se realizó el registro de los datos, así como el macromedidor del cual se esta obteniendo la información (ver figura 17).

Figura 17. Esquema de presentación de información.

	timestamp	Caudal CParshall	Caudal CzonJesus	Caudal LFiltros	Caudal ZAita	Caudal ZMedia	Caudal ZBaja	Caudal Bavaria	Caudal Marico	Caudal Cujajo	Caudal CB T 12"
1	02/02/2006 02:00:00.000 p.m.	562,531	19,291	11,086	280,13	184,015	1,8	1,37	0	0	21,084
2	02/02/2006 01:45:00.000 p.m.	566,507	17,169	11,053	305,821	186,894	1,8	1,286	0	0	20,635
3	02/02/2006 01:30:00.000 p.m.	565,217	17,634	11,03	237,544	170,269	1,8	1,285	0	0	21,028
4	02/02/2006 01:15:00.000 p.m.	570,54	13,99	11,113	267,72	155,02	1,8	1,333	0	0	19,063
5	02/02/2006 01:00:00.000 p.m.	573,193	16,489	11,039	252,751	145,872	1,8	1,56	0	0	21,084
6	02/02/2006 12:45:00.000 p.m.	573,204	17,401	11,045	243,204	150,01	1,8	1,164	0	0	18,769
7	02/02/2006 12:30:00.000 p.m.	571,888	14,225	10,925	254,487	158,009	1,8	1,579	0	0	20,542
8	02/02/2006 12:15:00.000 p.m.	571,934	17,125	10,954	244,578	159,07	1,8	2,678	0	0	20,953
9	02/02/2006 12:00:00.000 p.m.	573,211	19,444								
10	02/02/2006 11:45:00.000 a.m.	574,519	19,139								
11	02/02/2006 11:30:00.000 a.m.	574,517	18,591								
12	02/02/2006 11:15:00.000 a.m.	577,153	18,702								
13	02/02/2006 11:00:00.000 a.m.	579,789	17,982								
14	02/02/2006 10:45:00.000 a.m.	575,847	17,411								
15	02/02/2006 10:30:00.000 a.m.										
16	02/02/2006 10:15:00.000 a.m.										
17	02/02/2006 10:00:00.000 a.m.										
18	02/02/2006 09:45:00.000 a.m.										
19	02/02/2006 09:30:00.000 a.m.										
20	02/02/2006 09:15:00.000 a.m.										
21	02/02/2006 09:00:00.000 a.m.										
22	02/02/2006 08:45:00.000 a.m.										
23	02/02/2006 08:30:00.000 a.m.										
24	02/02/2006 08:15:00.000 a.m.										
25	02/02/2006 08:00:00.000 a.m.	566,724	15,97								
26	02/02/2006 07:45:00.000 a.m.	560,156	16,835								
27	02/02/2006 07:30:00.000 a.m.	558,878	13,799								
28	02/02/2006 07:15:00.000 a.m.	557,573	14,326								
29	02/02/2006 07:00:00.000 a.m.	559,289	15,134								
30	02/02/2006 06:45:00.000 a.m.	557,528	16,871								
31	02/02/2006 06:30:00.000 a.m.	529,991	15,192								
32	02/02/2006 06:15:00.000 a.m.	531,786	11,199								
33	02/02/2006 06:00:00.000 a.m.	532,597	9,331								
34	02/02/2006 05:45:00.000 a.m.	533,943	7,779								

- A continuación se examina la fecha o intervalo de tiempo del cual se van a obtener los datos o del cual se va a exportar la información desplazándose por medio de las barras laterales de desplazamiento o las flechas del teclado; una vez ubicado el rango de datos se seleccionan dando clic en título del macromedidor y la fecha y se copian los datos por medio del comando edición/copiar. (ver figura 18).

Figura18. Selección y copia de datos.



- Posteriormente se ingresa al programa Microsoft Excel y se pegan los datos copiados en un libro nuevo (ver figura 19).

Figura19. Datos copiados al programa Microsoft Excel.

timestamp	Cdal CParshall	Cdal CzonoJesus	Cdal LFiltros	Cdal ZAlta	Cdal ZMedia	Cdal ZBaja	Cdal Bavaria	Cdal Masico	Cdal CujaAltr	Cdal
06/02/2006@08:00:00.000 a.m.										
06/02/2006@08:15:00.000 a.m.	554.872	16.906	15.599	261.493	142.050	1.800	2.106	0.000	0.000	
06/02/2006@08:30:00.000 a.m.	564.660	18.074	15.589	310.485	145.376	1.800	2.512	0.000	0.000	
06/02/2006@08:45:00.000 a.m.	560.149	13.532	15.611	326.327	169.150	1.800	1.989	0.000	0.000	
06/02/2006@09:15:00.000 a.m.	550.068	18.786	15.595	334.545	169.620	1.800	2.115	0.000	0.000	
06/02/2006@09:30:00.000 a.m.	548.309	18.225	15.355	341.892	174.956	1.800	2.321	0.000	0.000	
06/02/2006@09:45:00.000 a.m.	543.015	17.648	14.986	338.117	175.507	1.800	2.157	0.000	0.000	
06/02/2006@10:00:00.000 a.m.	557.485	18.351	14.748	334.261	161.937	1.800	2.568	0.000	0.000	
06/02/2006@10:15:00.000 a.m.	554.825	16.866	14.469	350.536	165.842	1.800	2.276	0.000	0.000	
06/02/2006@10:30:00.000 a.m.	552.190	20.482	14.056	319.589	168.681	1.800	2.348	0.000	0.000	
06/02/2006@10:45:00.000 a.m.	549.554	18.399	13.778	335.255	163.961	1.800	2.522	0.000	0.000	
06/02/2006@11:00:00.000 a.m.	548.228	20.017	13.394	327.012	159.612	1.800	2.512	0.000	0.000	
06/02/2006@11:15:00.000 a.m.	544.318	16.867	13.168	331.566	159.300	1.800	2.927	0.000	0.000	
06/02/2006@11:30:00.000 a.m.	544.289	20.295	13.029	309.722	157.378	1.800	2.200	0.000	0.000	
06/02/2006@11:45:00.000 a.m.	541.646	17.995	12.918	316.294	161.436	1.800	2.066	0.000	0.000	
06/02/2006@12:00:00.000 p.m.	596.864	19.962	12.693	251.221	157.216	1.800	2.320	0.000	0.000	
06/02/2006@12:15:00.000 p.m.	541.581	21.101	12.465	307.197	153.487	1.800	3.937	0.000	0.000	
06/02/2006@12:30:00.000 p.m.	540.274	15.001	12.492	232.225	157.216	1.800	2.432	0.000	0.000	
06/02/2006@12:45:00.000 p.m.	503.982	14.332	12.445	253.810	132.327	1.800	2.163	0.000	0.000	
06/02/2006@01:00:00.000 p.m.	540.335	14.721	12.357	245.130	139.705	1.800	2.249	0.000	0.000	
06/02/2006@01:15:00.000 p.m.	534.115	14.008	12.009	281.237	147.070	1.800	2.094	0.000	0.000	
06/02/2006@01:30:00.000 p.m.	529.851	15.005	11.752	242.294	159.283	1.800	2.058	0.000	0.000	
06/02/2006@01:45:00.000 p.m.	528.591	15.597	11.616	254.778	153.750	1.800	1.786	0.000	0.000	
06/02/2006@02:00:00.000 p.m.	531.165	13.308	11.419	243.936	145.029	1.800	1.388	0.000	0.000	
06/02/2006@02:15:00.000 p.m.	527.249	13.612	11.420	233.432	150.626	1.800	1.189	0.000	0.000	
06/02/2006@02:30:00.000 p.m.	558.744	14.839	11.260	217.477	155.713	1.800	1.392	0.000	0.000	
06/02/2006@02:45:00.000 p.m.	583.280	15.010	10.987	287.890	149.244	1.800	0.000	0.000	0.000	
06/02/2006@03:00:00.000 p.m.	602.041	13.031	10.646	240.128	145.723	1.800	1.010	0.000	0.000	
06/02/2006@03:15:00.000 p.m.	573.174	13.686	10.726	208.550	142.437	1.800	0.978	0.000	0.000	
06/02/2006@03:30:00.000 p.m.	592.977	12.971	10.765	196.201	123.001	1.800	0.000	0.000	0.000	
06/02/2006@03:45:00.000 p.m.	634.945	13.558	10.919	147.416	131.434	1.800	0.000	0.000	0.000	
06/02/2006@04:00:00.000 p.m.	594.657	11.631	11.037	159.020	121.349	1.800	0.965	0.000	0.000	
06/02/2006@04:15:00.000 a.m.	580.065	10.368	11.140	91.280	119.072	1.800	1.022	0.000	0.000	

3.1.2 Instrucciones para uso del Programa.

- Ya en el programa, en la pestaña **DatPro** pegar los datos provenientes de SCADA de Caudales Cada 15 minutos; los datos deben iniciar a una hora determinada, ejemplo: 01/01/2006@12:15:00.000 a.m. hasta 31/01/2006@12:00:00.000 p.m. para la información de todo el mes de enero de 2006. Los datos sólo se pegan con Edición/Pegado especial y Pegar Valores, desde la celda B10. estos datos incluyen timestamp (celda B10) y Cdal CParshall. (celda C10) (ver figura 20)

Figura 20. Esquema de entrada de datos para utilización del programa.

Microsoft Excel - diciembre2005 y enero2006

	A	B	C
1	timestamp	Cdal CParshall	Cdal Czonzes
5925	31/01/2006@04:45:00.000 p.m.	574,347	10,185
5926	31/01/2006@05:00:00.000 p.m.	563,919	13,118
5927	31/01/2006@05:15:00.000 p.m.	569,173	12,234
5928	31/01/2006@05:30:00.000 p.m.	567,883	12,230
5929	31/01/2006@05:45:00.000 p.m.	565,228	11,717
5930	31/01/2006@06:00:00.000 p.m.	567,867	11,194
5931	31/01/2006@06:15:00.000 p.m.	570,460	10,640
5932	31/01/2006@06:30:00.000 p.m.	570,546	10,521
5933	31/01/2006@06:45:00.000 p.m.	561,356	9,659
5934	31/01/2006@07:00:00.000 p.m.	562,826	10,709
5935	31/01/2006@07:15:00.000 p.m.	568,783	11,584
5936	31/01/2006@07:30:00.000 p.m.	561,470	13,579
5937	31/01/2006@07:45:00.000 p.m.	565,778	8,515
5938	31/01/2006@08:00:00.000 p.m.	545,686	10,453
59	@08:15:00.000 p.m.	547,010	10,774

Se pegan datos provenientes de hoja de Excel, a través de pegado especial a partir de celda B10

Hoja de calculo Excel.

Hoja de programa

Pestaña DatPro

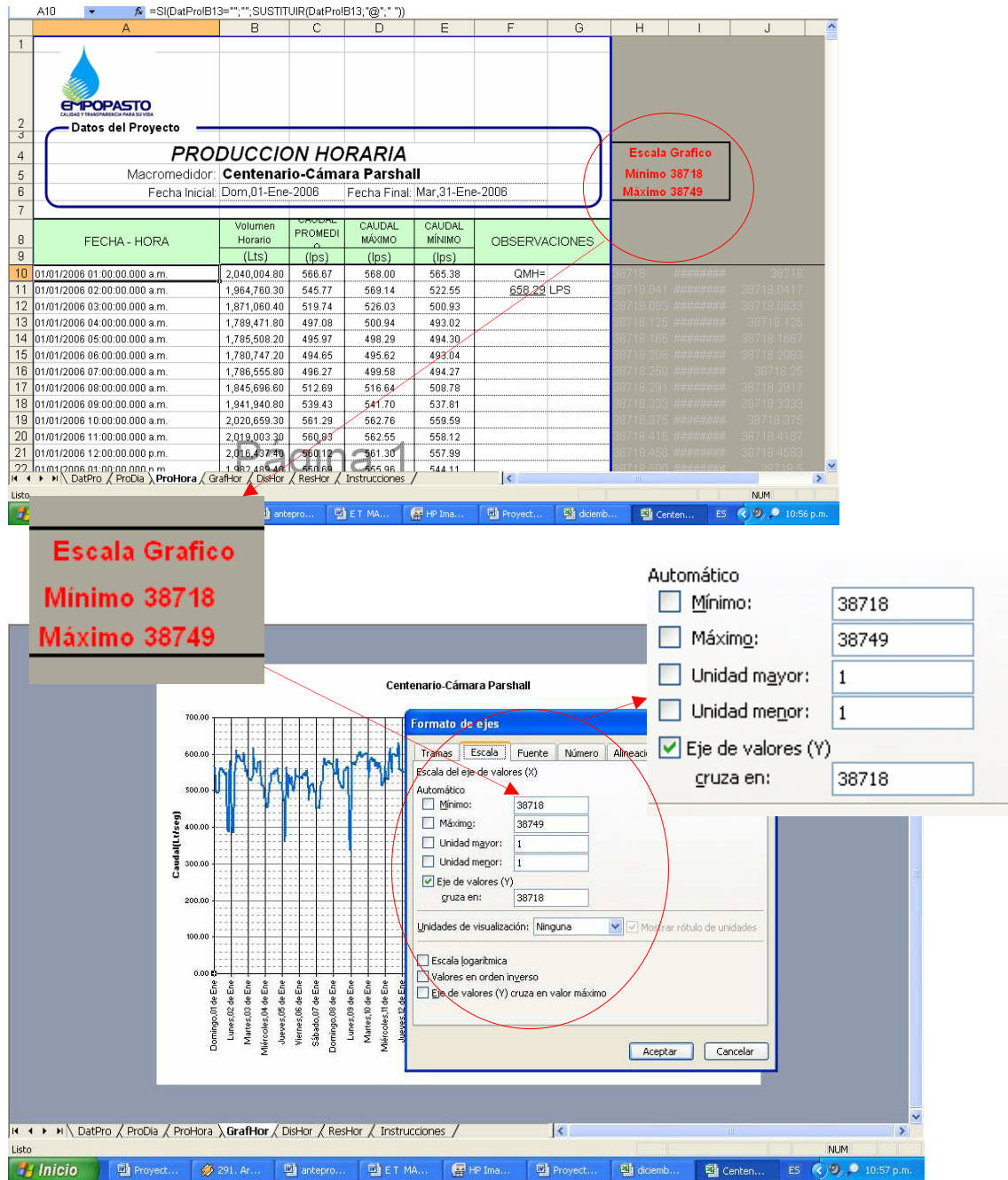
Página 1

Inicio | Proyecto... | 296. Ar... | antepro... | E.T. MA... | HP. Ima... | Proyecto... | diciemb... | Centen... | ES | 11:17 p.m.

- Modificar el nombre del macromedidor en la casilla C5 según el macromedidor que se este analizando.

- En la pestaña **GrafHor** se modifica la escala horizontal del gráfico según aparece en **ProHora** en la casilla H4, tanto para el mínimo como para el máximo (ver figura 21).

Figura 21. Esquema de cambio de escala de la hoja de calculo GraffHor.



- Modificar el texto en **DisHor** según el análisis de los datos. No es necesario cambiar de fecha si sólo se cambia el macromedidor a analizar.

3.2 INFORMACION GENERADA APARTIR DEL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.

Después del procesamiento de los datos, en las diferentes hojas de calculo del programa se pueden apreciar los siguientes resultados:

- En la hoja **DatPro (datos de producción)**, se encuentran los datos de entrada del programa de los registros cada quince minutos (ver figura 22).

Figura 22. Datos de entrada hoja de calculo DatPro.

FECHA - HORA	Caudal Cada 15' (mLps)	Volumen Cada 15' (Lts)	Caudal Promedio (lps)	OBSERVACIONES
01.01.2006@12:15:00.000 a.m.	566,701	510,031	566.7	Volumen Mensual = 1,456,038,779 Lts
01.01.2006@12:30:00.000 a.m.	567,997	511,197	568.0	
01.01.2006@12:45:00.000 a.m.	565,378	508,840	565.4	Caudal Promedio = 543.62 LPS
01.01.2006@01:00:00.000 a.m.	566,596	509,936	566.6	
01.01.2006@01:15:00.000 a.m.	568,026	511,223	568.0	
01.01.2006@01:30:00.000 a.m.	569,142	512,228	569.1	
01.01.2006@01:45:00.000 a.m.	522,547	470,292	522.5	
01.01.2006@02:00:00.000 a.m.	523,352	471,017	523.4	
01.01.2006@02:15:00.000 a.m.	526,025	473,423	526.0	
01.01.2006@02:30:00.000 a.m.	526,011	473,410	526.0	
01.01.2006@02:45:00.000 a.m.	525,993	473,394	526.0	
01.01.2006@03:00:00.000 a.m.	500,827	450,834	500.9	
01.01.2006@03:15:00.000 a.m.	498,707	448,386	498.7	
01.01.2006@03:30:00.000 a.m.	500,935	450,842	500.9	
01.01.2006@03:45:00.000 a.m.	495,638	446,074	495.6	
01.01.2006@04:00:00.000 a.m.	493,022	443,720	493.0	
01.01.2006@04:15:00.000 a.m.	494,295	444,866	494.3	
01.01.2006@04:30:00.000 a.m.	494,339	444,905	494.3	
01.01.2006@04:45:00.000 a.m.	498,292	448,463	498.3	

- En la hoja **ProDia (producción diaria)**, se encuentran los datos de producción diaria teniendo en cuenta el día, la fecha y la determinación del caudal medio diario Qmd en LPS, el caudal máximo diario QMD en lps, caudal máximo horario QMH en lps para el mes en análisis, así como los factores de mayoración para determinar estos caudales como son K1 y K2. (ver figura 23).

Figura 23. Datos hoja de calculo ProDia.

DIA	FECHA	Volumen Diario (Lts)	CAUDAL MEDIO DIARIO (l/s)
Domingo	01-Ene-06	44,791,907	518.42
Lunes	02-Ene-06	47,094,497	545.08
Martes	03-Ene-06	47,102,931	545.29
Miércoles	04-Ene-06	45,048,946	521.39
Jueves	05-Ene-06	43,903,747	508.15
Viernes	06-Ene-06	45,104,763	522.39
Sábado	07-Ene-06	46,244,987	535.24
Domingo	08-Ene-06	45,950,053	531.83
Lunes	09-Ene-06	49,225,313	569.74
Martes	10-Ene-06	48,755,234	564.30
Miércoles	11-Ene-06	49,763,316	575.96
Jueves	12-Ene-06	49,152,458	569.89
Viernes	13-Ene-06	49,812,162	576.53
Sábado	14-Ene-06	47,498,221	549.61
Domingo	15-Ene-06	43,652,871	505.24
Lunes	16-Ene-06	46,503,323	538.23
Martes	17-Ene-06	47,953,396	555.36
Miércoles	18-Ene-06	45,774,358	529.80
Jueves	19-Ene-06	46,103,494	533.61
Viernes	20-Ene-06	45,304,150	524.35
Sábado	21-Ene-06	47,596,100	550.88
Domingo	22-Ene-06	47,389,856	548.49
Lunes	23-Ene-06	46,993,184	543.90
Martes	24-Ene-06	48,231,297	559.39
Miércoles	25-Ene-06	47,124,202	545.42
Jueves	26-Ene-06	47,535,982	550.18
Viernes	27-Ene-06	47,496,848	549.73
Sábado	28-Ene-06	46,271,532	535.55
Domingo	29-Ene-06	47,409,848	549.73
Lunes	30-Ene-06	47,336,009	547.87
Martes	31-Ene-06	47,756,401	552.74

CAUDAL MEDIO DIARIO Qm (l/s)	543.62	
CAUDAL MÁXIMO DIARIO QMD (l/s)	576.53	K1= 106
CAUDAL MÁXIMO HORARIO QMH (l/s)	658.29	K2= 114
CAUDAL MÍNIMO DIARIO (l/s)	505.24	

DIA	Volumen Acumulado por Dia (Lts)	CAUDAL MEDIO DIARIO (l/s)
Lunes	237,152,332	548.96
Martes	239,933,258	555.41
Miércoles	187,710,222	543.14
Jueves	186,695,671	540.21
Viernes	187,747,823	543.25
Sábado	187,598,940	542.92
Domingo	223,184,534	530.54
TOTAL	1,456,038,779	Lts

- En la hoja **ProHora (producción horaria)**, se encuentran los datos agrupados cada hora. (ver figura 24).
- En la hoja **GrafHor (grafica horaria)**, se encuentra graficados los datos de entrada del programa (**DatPro**) en funcion del tiempo (ver figura 25).

Figura 24. Datos hoja de calculo ProHora.

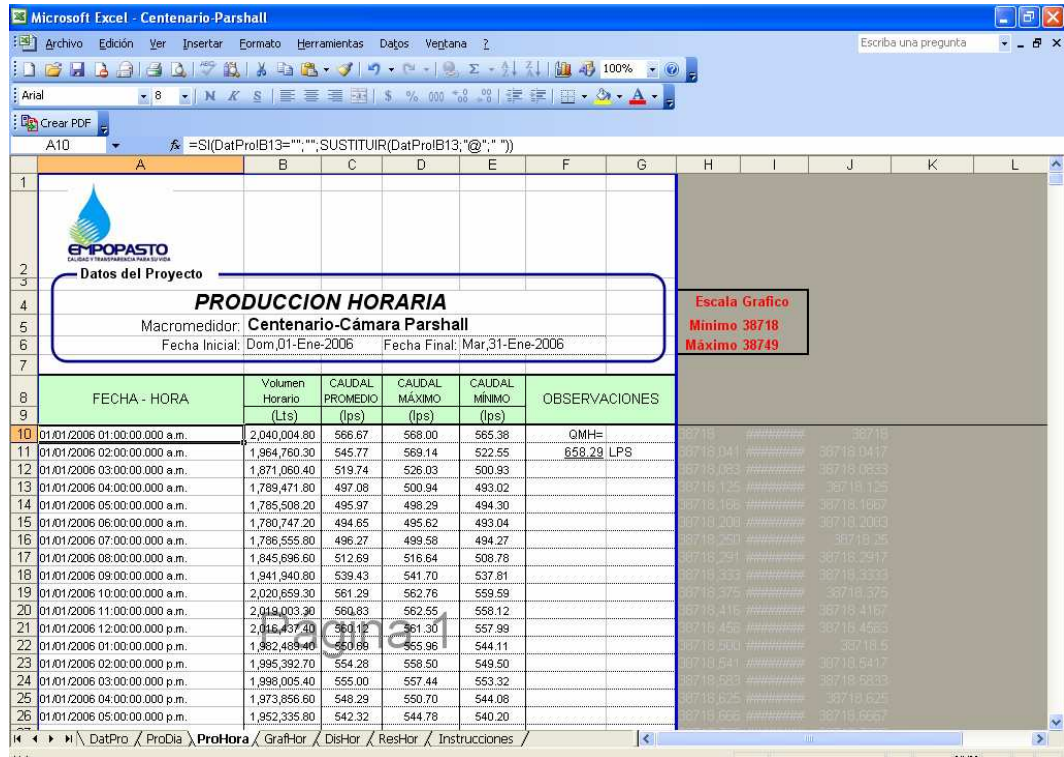
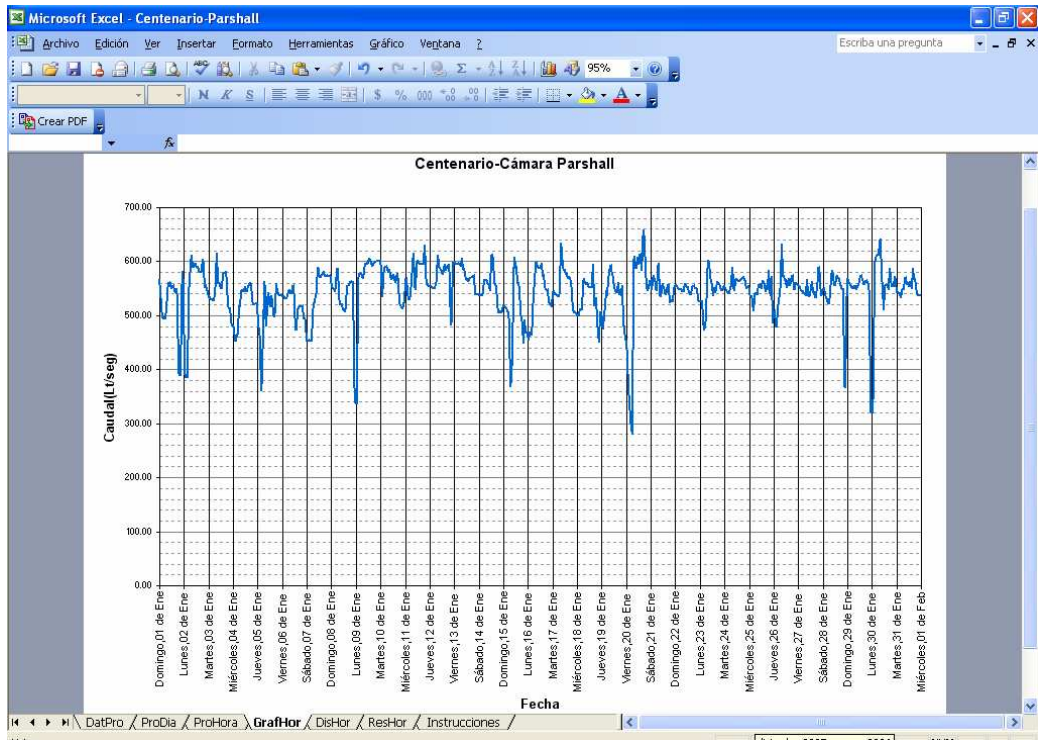
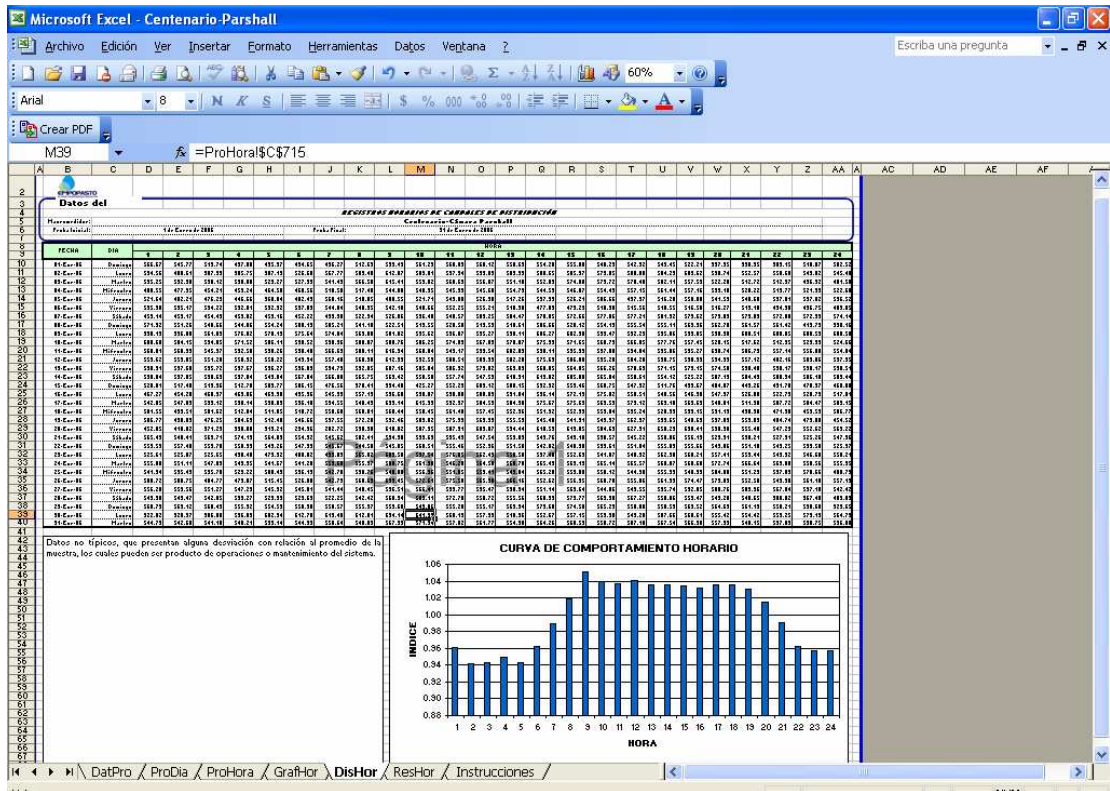


Figura 25. Datos hoja de calculo GrafHor.



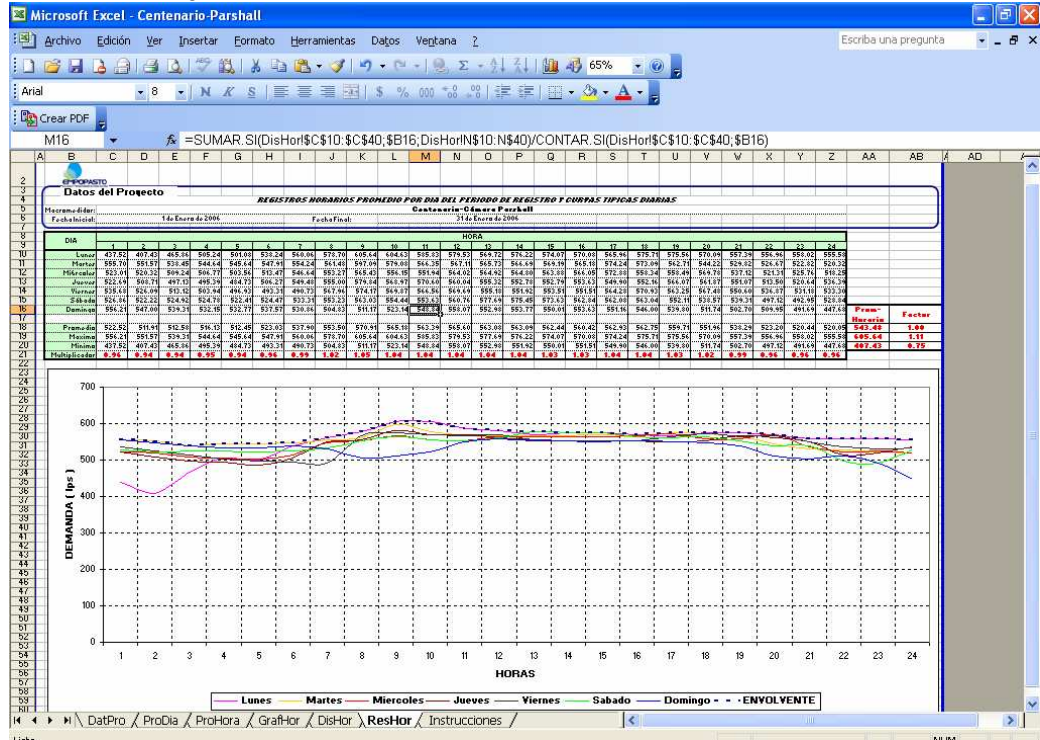
- En la hoja **DisHor** (**Registros horarios de caudales de distribución**), presenta una grafica de la distribución horaria promedio de todo el mes en función del tiempo y con base en el caudal medio diario (ver figura 26).

Figura 26. Datos hoja de calculo DisHor.



- En la hoja **ResHor** (**registros horarios promedio por día del periodo de registro y curvas típicas diarias**), presenta una grafica con las curvas típicas para los diferentes días de la semana según su comportamiento a lo largo del día (ver figura 27).

Figura 27. Datos hoja de calculo ResHor.



Los datos que se trabajaron son los que se encuentran en la base de datos del sistema Scada Pegasys, que están registrados desde junio de 2001 para la planta Centenario, enero de 2003 para la planta San Felipe y febrero de 2003 par la planta Mijitayo; cabe anotar que existen meses que no tuvieron registros debido a fallas en el sistema de procesamiento por lo cual se descartaron del análisis, además debido a que se encuentra perdido en enlace vía radio entre la plata San Felipe y Centenario, no se ha podido acceder a los datos de cámara parshall y nivel de tanque de la planta San Felipe desde abril de 2004, esta serie de anomalías fueron contempladas para la realización de las especificaciones técnicas en el contrato de mantenimiento que se adelanta por parte de la firma Inpel Ltda. a partir de enero de 2006.

3.2.1 Presentación de resultados obtenidos. Debido a la gran cantidad de datos generados no es posible la impresión de su totalidad ya que seria oneroso debido a los costos y a la dificultad para manipular la información, por consiguiente se imprime en el anexo 1 un ejemplo que son los resultados para el macromedidor de la canaleta Parshall y Corazón de Jesús del sistema Centenario, sin embargo las pestañas DatPro y ProHora no se imprimieron debido a que sirven solo de soporte para los cálculos que realiza el programa.

Toda la información y los datos obtenidos se anexan en un Cd-rom como soporte de la realización de esta actividad.

4. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CENTENARIO DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO.

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Centenario (ver figura 28), surte al 77% de la ciudad de San Juan de Pasto, esta Planta se abastece la mayor parte del tiempo del Río Pasto, pero en épocas de estiaje se ve necesario reforzar la alimentación con bombeo desde un embalse denominado río Bobo, ubicado al sur oriente en la zona rural del Municipio de Pasto; en esta planta de tratamiento se desarrollan los procesos convencionales involucrados en la potabilización del agua entre los cuales destacamos: coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, y estabilización de pH.

La filtración es la operación final realizada en la Planta de Tratamiento de Agua, antes de realizar la desinfección, por lo tanto, es la responsable principal de producir agua de calidad, con los patrones de potabilidad según la normatividad vigente, entonces su objetivo básico es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación previos, debido a esto el trabajo que los filtros desempeñan, dependen directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos que ya ha sufrido el agua.

El proceso de filtración es muy complejo y envuelve a una serie de mecanismos desde la simple acción de cernido hasta fenómenos de impacto inercial, sedimentación, intercepción, potencial eléctrico, difusión, floculación, puente químico y en algunos casos actividad biológica, actuando todos ellos en forma simultánea, con mayor o menor intensidad, a lo largo de la carrera de filtración.

El proceso de filtración en la Planta Centenario se realiza a través de dos sistemas: el primero cuenta con 8 filtros rápidos y lavado desde una fuente externa, el segundo sistema consta de cinco filtros rápidos que hacen parte de un batería de autolavado que se construyó para aumentar el caudal que trata la planta, actualmente este sistema presenta colmatación en el lecho filtrante y se pretende investigar las posibles causas que originaron este hecho; adicionalmente, se requiere estudiar como esta operando el sistema de filtración con lavado por fuente externa, la investigación se llevará a cabo utilizando una metodología adecuada como la del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS.

Las características del agua que llega a los filtros es un factor determinante en la calidad del efluente por lo cual es necesario hacer un análisis estadístico de la turbiedad para el año anterior 2004 a la entrada y salida de los filtros, además de los datos de caudales de entrada a la planta para el presente año.

Figura 28. Vista General Planta de Tratamiento Centenario.



4.1 METODOLOGÍA UTILIZADA.

Para evaluar el estado de los sistemas de filtración, se tomó como referencia la evaluación en campo de las unidades de filtración por medio de los procedimientos propuestos por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, contenido en el “Manual IV: Evaluación, Filtración Rápida. Tomo III: Procesos – Tecnología Convencional”, las pruebas a realizar son las siguientes: Velocidad de filtración, Velocidad de lavado, Duración del proceso de lavado, Bolas de barro, Expansión del lecho filtrante, Granulometría y espesor del lecho filtrante.

Las pruebas se realizaron durante los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2005; los resultados obtenidos fueron comparados con los parámetros de diseño contenidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable RAS – 2000 y en el Manual I: del CEPIS.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN

El caudal promedio tratado en los últimos cuatro años en la Planta Centenario fue de 522 lps, esta planta de tratamiento cuenta con dos sistemas de filtración: filtros rápidos de flujo descendente, lechos dobles de arena y antracita, filtración con afluente igualmente distribuido y nivel variable, pero con diferente forma de lavado como se describe a continuación:

- **Sistema 1.** Cuenta con 8 filtros rápidos de lavado desde una fuente externa, pero este hecho genera un mayor costo debido a la utilización de los sistemas de bombeo para llevar el agua al tanque de la zona alta, desde el cual se deriva hacia el tanque de lavado de filtros el cual tiene una capacidad aproximada de 216 m³.

- **Sistema 2.** Cuenta con una batería de 5 filtros rápidos de auto lavado; estas unidades de filtración presentan problemas graves de colmatación en el lecho filtrante, y su producción es deficiente con solo 20 lps una cifra promedio a la fecha del inicio de la presente evaluación, la cual es solo el 4% del caudal promedio que trata la planta Centenario (ver figura 29).

Figura 29. Vista General Sistema 2 Batería de Autolavado.



4.3 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN

4.3.1 Componentes Del Sistema De Filtración 1 (Lavado Por Fuente Externa). Este sistema de filtración consta de una galería de 8 filtros dobles, es decir, cada filtro esta dividido en dos celdas las cuales operan como una sola unidad para efectos de lavado y filtrado; estas unidades tienen lavado desde una fuente externa, con Carga Hidráulica disponible variable y resistencia del filtro variable, pero con Tasa de filtración constante, ó filtración con afluente igualmente distribuido y nivel variable (Ras 2000 C.0.4.1.2).

Figura 30. Filtro de Lavado por fuente Externa



- **Sistema de entrada de agua.** El caudal se distribuye a cada filtro por medio de un canal, que trae el agua proveniente del sedimentador de placas y del convencional; la entrada se hace mediante un orificio sobre cada filtro, este queda a un nivel superior al nivel del lecho filtrante y descarga sobre la canaleta de lavado. La unidad tiene una profundidad de 2.80m hasta el falso fondo y permite una variación del nivel aproximada de 1.20 m., en condiciones normales de funcionamiento. El sistema de distribución del agua decantada es el adecuado ya que no afecta el estado de la superficie del medio filtrante en ningún momento de la carrera de filtración.

Figura 31. Sistema de Entrada de Agua Sedimentada a los filtros



• **Medio filtrante.** A continuación se describe las especificaciones del medio filtrante que están en los planos existentes, las cuales son:

Antracita:

T.E.=1.10mm

C.U.=1.15

Espesor = 0.50m

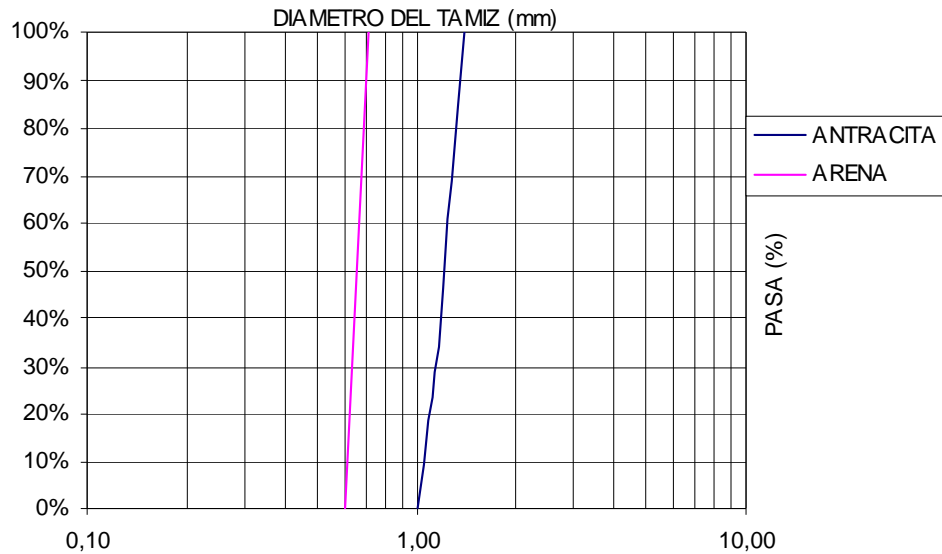
Arena:

T.E.=0.61mm

C.U.=1.10

Espesor = 0.30m

Figura 32. Granulometría del Lecho filtrante



Fuente. Optimización Planta Centenario-RIVERA & CARDOZO 1.976.

Este lecho filtrante se debe reemplazar ya que sufre un desgaste normal originado por las condiciones de operación de los filtros, lo cual con el transcurrir del tiempo incide en la calidad del agua tratada, es así como al finalizar el año 2002 se reemplazó este lecho, a continuación se presenta un resumen de las características del material utilizado, según el análisis realizado para este cambio:

Antracita:

T.E.=0.95 mm

C.U.=1.72

Espesor = 0.50m

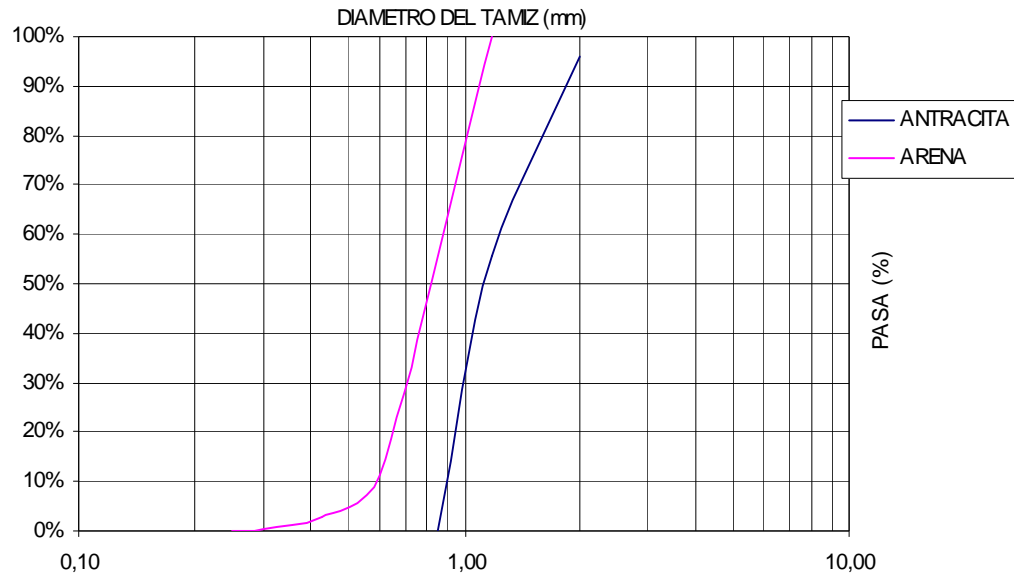
Arena:

T.E.=0.56 mm

C.U.=1.82

Espesor = 0.30m

Figura 33. Granulometría del Lecho Filtrante colocado en 2002 Planta Centenario.



• **Caja del filtro.** 8 unidades de filtración, las unidades numeradas según la forma de operación actual: 1, 2, 7, 8 tienen las siguientes dimensiones:

- Ancho Total = 5.40m
- Ancho Efectivo = 4.40m
- Largo = 6.05m
- Área Total por unidad = 32.67 m²
- Área efectiva por unidad = 26.62 m²

Las unidades: 3, 4, 5, 6 tienen las siguientes dimensiones:

- Ancho Total = 5.50m
- Ancho Efectivo = 4.60m
- Largo = 5.20m
- Área Total por unidad = 28.60 m²
- Área efectiva por unidad = 23.92 m²

Para un área total Efectiva para los 8 filtros de = 202.16 m²

Caudal promedio = 500 lps

Con una tasa media de Filtración = 213.7 m³/m²*día.

- **Sistema de drenaje.** Fondo Leopold con perforaciones de 5/32" (3.9mm) de diámetro, 96 orificios por Bloque, para una dispersión aproximada de 45 orificios por pie², según especificaciones del fabricante con las siguientes dimensiones:

Base = 11" = 27.5 cm

Altura = 10" = 25 cm

Largo = 25 3/8" = 64.44 cm

El falso fondo tipo Leopold utiliza la siguiente granulometría para la grava de soporte:

Tabla 14. Capa de Soporte de Grava para Fondo Leopold.

Capa	Espesor(cm)	Tamaño
1	15	malla 10 - 1/8"
2	5	1/8" - 1/4"
3	5	1/4" - 1/2"
Fondo	5	1/2" - 3/4"
Total	30	

Fuente: Optimización Planta Centenario – RIVERA & CARDOZO 1.976.

Este sistema de drenaje restringe la tasa de filtración a 4 gal / min * pie² o lo que es igual a 230 m³/m²*día, esto según las recomendaciones del fabricante.

- **Sistema Efluente.** Para cada unidad consta de una tubería de 10" a la cual llega el agua filtrada que proviene del falso fondo, cuenta con una válvula, la cual es operada para lavar cada filtro; este diseño permita aislar las unidades a la salida, en caso de reparación solo se impide la circulación del flujo desde y hacia el filtro, sin sacar de operación todo el sistema de filtración; este sistema confluye hacia una cajilla de derivación con vertedero, luego de la cual se une con el flujo proveniente de las demás unidades por medio de una galería de conductos.

- **Sistema de lavado del filtro.** El sistema utilizado es el de una fuente externa, un tanque elevado el cual cuenta con un volumen aproximado de 216 m³ y con una altura sobre las canaletas de 13.8 m., el diámetro de la tubería de lavado es de 300mm (12") adecuada para las condiciones de servicio; esta operación requiere la utilización del sistema de bombeo que lleva el fluido hasta el tanque de la zona alta, desde el cual se deriva agua tratada hasta el tanque de lavado de filtros.

La operación de lavado se realiza cuando el nivel del tanque llega aproximadamente a 230 cms., el tiempo de llenado de este tanque depende del nivel del tanque de la zona alta y tiene un promedio de 3.5 horas para alcanzar este nivel, al finalizar el lavado el nivel del tanque queda aproximadamente en 35 cms, en un tiempo aproximado de 10 minutos.

4.3.2 Componentes Del Sistema De Filtración 2 (Autolavado). Este sistema de filtración consta con una batería de 5 filtros rápidos de auto lavado; con Carga Hidráulica disponible variable y resistencia del filtro variable, pero con Tasa de filtración constante. (5, p.257), ó Filtración con afluyente igualmente distribuido y nivel variable (Ras 2000 C.0.4.1.2).

- **Sistema de entrada de agua.** Cuenta con un canal común a todos los filtros, el cual distribuye el agua sedimentada por igual mediante un orificio de entrada sobre cada filtro, este queda a un nivel superior al nivel máximo en el filtro.

La entrada de agua necesita un sistema apropiado de disipación de energía, para descargar adecuadamente el afluyente sobre la canaleta de lavado, actualmente la descarga libre afecta el estado de la superficie del medio filtrante, luego de finalizar la operación de lavado.

Figura 34. Canal de entrada de agua sedimentada a la batería de autolavado



- **Medio filtrante.** Las especificaciones del lecho filtrante son idénticas al sistema 1 con lavado desde una fuente externa, tanto en el diseño como en la reposición realizada con anterioridad.

- **Estructura del filtro.** La unidad es profunda (3.5 m en total) y permite una variación de nivel aproximada de 1.60 m. en condiciones normales, pero tablonés en la estructura de salida dificultan esta condición debido a que crea un efecto de vertedero a la salida de cada filtro, por encima del nivel mínimo del filtro, además, la cota del vertedero general de

salida esta muy por encima de la cota de diseño original con una diferencia de 0.47m. aproximadamente.

5 unidades de filtración, cada una con las siguientes dimensiones:

- Ancho Total = 3.25m
- Ancho Efectivo = 2.55m
- Largo = 6.90m
- Área Total por unidad = 22.43 m²
- Área efectiva por unidad = 17.60 m²

Para un área total efectiva para los 5 filtros de = 88 m²

Caudal = 30 lps (según mediciones actuales, en el canal de entrada y en el vertedero de salida)

Con una tasa media de Filtración = 29,5 m³/m²*día

- **Sistema de drenaje.** Viguetas en V invertida con perforaciones de ½ “ cada 7.5 cm. según el diseño, prefabricadas de concreto para uso con grava, la cual presenta la siguiente granulometría.

Tabla 15. Capa de Soporte de Grava para Viguetas de Concreto Prefabricadas

Capa	Espesor(cm)	Tamaño
1	7,5	N°6 - N°14"
2	7,5	1/4" - N°6
3	7,5	1/2" - 1/4"
4	7,5	3/4" - 1/2"
Fondo	15	1 1/2" - 3/4"
Total	45	

- **Sistema efluente.** Para cada unidad consta de una apertura de 0.80m(ancho) x 1.30m(alto), la cual tiene ranuras para colocar en esta tablonces para cierre, los cuales actualmente están ubicados en este sitio a la salida de cada unidad generando una pérdida de carga adicional que afecta la operación normal de los filtros así como su lavado.

En el diseño de la batería no se adoptó un sistema adecuado para aislar las unidades a la salida, en caso de reparación hay que impedir la circulación de flujo entre los demás filtros, sacando de operación toda la batería.

Figura 35. Disposición inicial de los tablonces de cierre y su posterior retiro.



El vertedero general de control se planteó en el diseño original como regulable, esto se hizo pensando en modificaciones al sistema durante la puesta en marcha y funcionamiento, para así poder controlar la cabeza hidráulica de lavado de la batería, pero actualmente se encuentra construido este vertedero con mampostería, creando una cota del nivel del vertedero fija y muy superior a la cota original de diseño en 47 cms, lo cual teóricamente aumentaría la cabeza de presión durante el inicio del lavado, pero, en cambio lo que hace es restringir la operación de la batería de filtración disminuyendo la variación del recorrido del nivel del agua al interior de los filtros.

Figura 36. Vertedero general de salida filtros de autolavado.



- **Sistema de lavado del filtro.** El sistema utilizado es el de autolavado con el flujo procedente de las otras unidades de filtración, no cuenta con un canal de interconexión adecuado y la presión generada por la altura del agua para el lavado no es suficiente, probablemente, debido a la pérdida de carga generada por los tabloneros de cierre, este hecho hace que la expansión del lecho filtrante sea muy baja y la operación de lavado sea por tanto ineficiente.

La ineficiencia en el lavado desencadena en la colmatación de los lechos filtrantes y por tanto el mal funcionamiento de esta batería de filtración, lo cual conlleva a gastar una elevada cantidad de agua para lavado, debido a los prolongados tiempos actualmente usados en esta operación, con lo cual el consumo para lavado es mucho mayor al 3% del agua que producen, este hecho no cumple con lo estipulado según el RAS 2000 (C.0.5.1.7.)

4.4 EFICIENCIA DEL PROCESO.

Como la planta cuenta con dos sistemas de filtración los análisis de los procesos se realizan a la entrada de los dos sistemas, así como a su salida, por lo tanto los resultados son una mezcla de los dos sistemas de filtración.

Los procesos anteriores y posteriores a la filtración generaron los siguientes resultados para la planta Centenario en el año 2004 según se describe en las siguientes gráficas; el parámetro tomado en cuenta fue la turbiedad, debido a que el color sólo se le realizó pruebas de color aparente y no de color verdadero.

4.4.1 Análisis de las pruebas del agua previamente tratada. Las gráficas muestran los datos consignados en los registros de “CONTROL DIARIO DE CALIDAD DE AGUA EN PLANTA DE ENERO A DICIEMBRE 2004 PLANTA CENTENARIO”.

Figura 37. Eficiencia de la remoción de turbiedad durante el 2004 en diferentes rangos.

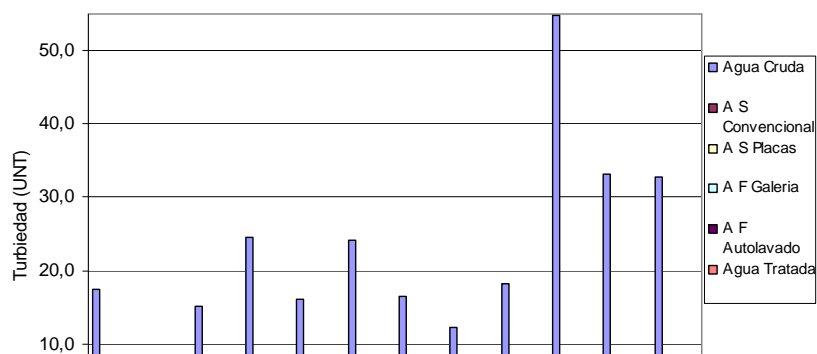


Figura 37. Eficiencia de la remoción de turbiedad durante el 2004 en diferentes rangos(Continuación)

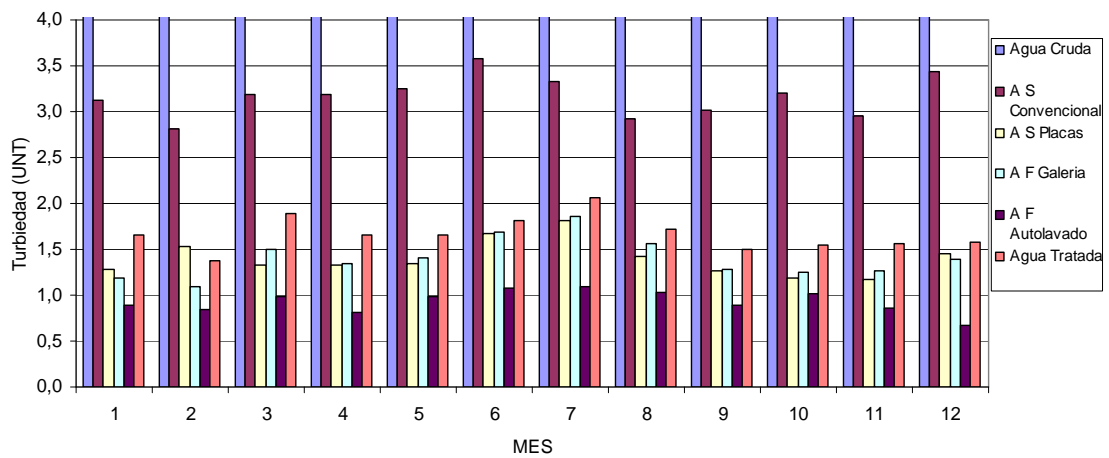
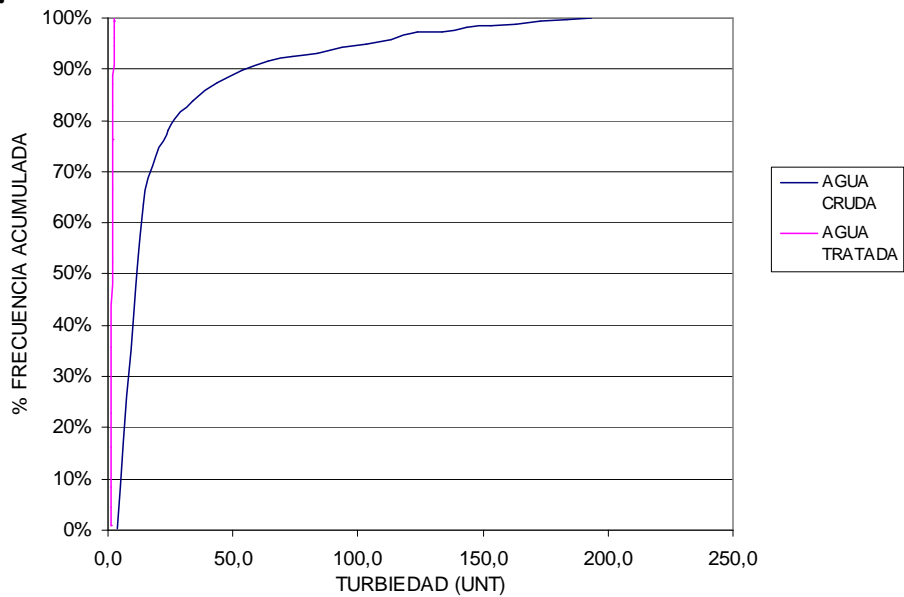


Figura 38. Eficiencia de la remoción de turbiedad durante el 2004 en frecuencia Acumulada.



Se puede apreciar que el proceso de la planta genera una turbiedad resultante uniforme lo cual demuestra que los procesos unitarios que se realizan en esta planta son eficaces en la remoción de turbiedad independientemente de la calidad del agua cruda.

Según los parámetros determinados por el RAS 2000 Titulo B se tiene:

El agua cruda proviene de una fuente deficiente, debido a que el 98% del tiempo el agua tiene una turbiedad inferior a 150 UNT (tabla B.2.1 RAS 2000).

Para el caso del agua tratada se tiene que la turbiedad es menor de 2.7 UNT todo el tiempo, lo cual esta dentro de las especificaciones de las Normas de calidad del agua potable, según el Decreto 475/98 (Tabla C.2.2 RAS 2000).

4.4.2 Análisis de los resultados obtenidos antes y después del proceso de filtración.

Los resultados consignados en los registros del año 2004 se muestran a continuación:

Figura 39. Eficiencia de la remoción de turbiedad en los sistemas de sedimentación durante el 2004 en frecuencia Acumulada.

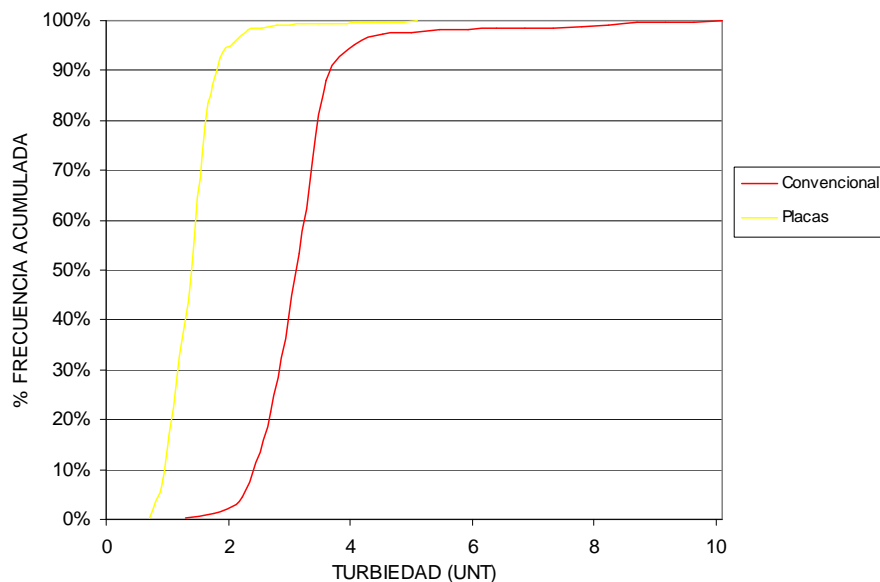
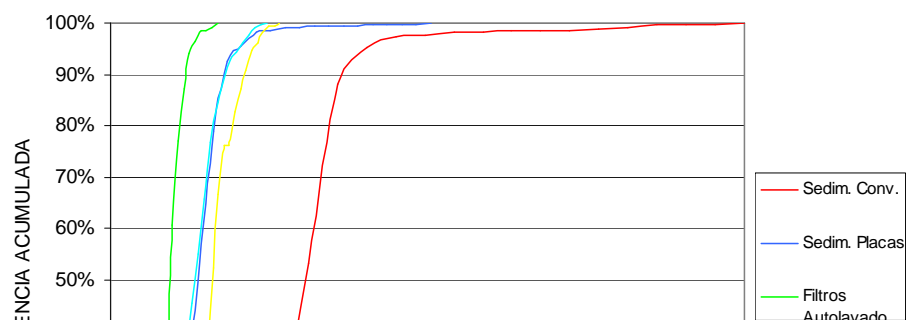


Figura 40. Eficiencia de la remoción de turbiedad en los diferentes sistemas de tratamiento durante el 2004 en frecuencia Acumulada.



De acuerdo con lo que indica la curva, el agua decantada presentó para el 2004 una variación entre la calidad entregada por los sistemas de sedimentación convencional y de placas, la turbiedad del agua de entrada a los filtros es menor de 8 UNT el 98% del tiempo y el 2 % restante no supera los 10.1 UNT, estos parámetros están basados en el sedimentador convencional que es el que menor eficiencia en este proceso.

Para el agua de los filtros de autolavado y los de la galería, existió una variación entre los dos sistemas de filtración como se describe a continuación: El sistema de autolavado presenta un efluente con menos de 1 UNT el 77% del tiempo y el tiempo restante presenta una turbiedad menor de 1.2 UNT, para el sistema de lavado con fuente externa presenta una turbiedad menor a 1 UNT el 18% del tiempo, pero no supera 2.5 UNT el resto de tiempo; para los dos sistemas el 100% del tiempo tuvo menos de 2.5 UNT, pero nunca dio agua con menos de 0.60 UNT.

Para que los sistemas de filtración alcancen estos valores el agua decantada tuvo menos de 10.1 UNT el 100% del tiempo, además, hay que tener en cuenta que el sistema de autolavado toma el agua solo del decantador convencional, así su eficiencia es cercana al 88%, en cambio en el sistema de la galería de filtración tiene su afluente de la mezcla del agua del sedimentador convencional y del sedimentador de placas y tiene una eficiencia del 74 %.

4.5 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FILTRACIÓN (RESULTADOS OBTENIDOS)

4.5.1 Velocidad y caudal de filtración.

- **Sistema de filtración 1 (lavado por fuente externa).** Al buscar datos respecto a la operación de filtros y determinar cómo se están lavando estos, se encuentra:

La carrera de filtración de los filtros es de aproximadamente 28,3 horas, la operación se realiza en forma secuencial teniendo en cuenta un orden correlativo, quiere decir están desfasadas las condiciones de operación de los filtros, esto produce que cada filtro tiene un diferente estado de colmatación del lecho filtrante; la operación de lavado se ve determinada por el nivel del tanque de lavado de filtros, por esta razón se observa en algunos casos la necesidad de tener un tanque de mayor capacidad para realizar lavados en periodos más reducidos, según las condiciones del agua que se esté tratando.

El lavado no se realiza con regularidad en el filtro N° 4, tiene una carrera de filtración de aproximadamente 70 horas, debido a la ineficiencia que esta operación a un lado del canal central en su subdivisión, esto probablemente, se debe debido al taponamiento del falso fondo lo cual influye en las características de filtración y origina un deterioro de las condiciones de operación de dicho filtro y por tanto de las condiciones del agua afluente.

Se efectuaron tres mediciones por cada unidad de filtración. Los resultados se muestran en la tabla 16:

La siguiente simbología fue utilizada para el cálculo de la velocidad de filtración:

Af : Área de la caja de cada uno de los filtro (m²) *

Af: Área de cada uno de los filtro (m²) °

H: Nivel de descenso del agua (m)

Tf: Tiempo necesario para que el nivel de agua baje una marca de la regla a la siguiente (s)

Vf: Volumen filtrado (m³)

Vf: Velocidad de filtración (m³/m²/d)

* Af = 32.67 m² : 5.40 x 6.05 m (filtros 1, 2, 7, 8)

* Af = 32.67 m² : 5.40 x 5.03 m (filtros 3, 4, 5, 6)

°Af = 26.62 m² : 4.40 x 6.05 m (filtros 1, 2, 7, 8)

°Af = 23.32 m² : 4.40 x 5.30 m (filtros 3, 4, 5, 6)

Velocidad de filtración Promedio (m³/m²/d) : 224.75

Velocidad de filtración Máxima (m³/m²/d) : 333.47

Velocidad de filtración Mínima (m³/m²/d) : 96.61

Del análisis estadístico del caudal que trata la planta se obtuvo una tasa de filtración promedio de 225 m³/m²/d, equivalente a un caudal de 524 lps, en las ocho unidades estando dentro del rango propuesto por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) de 120 a 240 m³/m²/d, para filtración rápida de tasa constante y altura variable.

El promedio de las velocidades de filtración del conjunto de los ocho filtros resultó ser de 224.75 m³/m²/d, con un máximo de 333.47 m³/m²/d y un mínimo de 96.61 m³/m²/d (Ver Tabla 16), en el promedio de cada unidad se observa que el filtro N°6 resultó tener en promedio la máxima velocidad de filtración: 295.89 m³/m²/d y el filtro N°4 la menor: 140.58 m³/m²/d; al analizar estos datos se tiene en cuenta la relación entre *tasa máxima/tasa promedio al inicio de la carrera del filtro recién lavado*, con lo cual tomamos al ejemplo más crítico que es la medición N° 1 realizada el 21 de septiembre de 2005:

Tabla16. Caudales y velocidades de filtración (sistema 1)

FILTRO N° 1									
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	∇f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal ind (lps)	Caudal (lps)
21/09/05	10:00 a.m.	32,67	26,62	0,10	34,10	3,27	310,96	95,81	528,3
28/09/05	11:00 a.m.	32,67	26,62	0,10	34,60	3,27	306,46	94,42	526,1
07/10/05	3:00 p.m.	32,67	26,62	0,10	51,70	3,27	205,10	63,19	518,4
Prom:							274,17		
FILTRO N° 2									
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	∇f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal ind (lps)	Caudal(lps)
21/09/05	10:00 a.m.	32,67	26,62	0,10	94,30	3,27	112,45	34,64	528,3
28/09/05	11:00 a.m.	32,67	26,62	0,10	76,90	3,27	137,89	42,48	526,1
07/10/05	3:00 p.m.	32,67	26,62	0,10	52,20	3,27	203,13	62,59	518,4
Prom:							151,16		
FILTRO N° 3									
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	∇f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal ind (lps)	Caudal(lps)
21/09/05	10:00 a.m.	28,62	23,92	0,10	31,00	2,86	333,47	92,32	528,3
28/09/05	11:00 a.m.	28,62	23,92	0,10	42,50	2,86	243,24	67,34	526,1
07/10/05	3:00 p.m.	28,62	23,92	0,10	50,90	2,86	203,10	56,23	518,4
Prom:							259,94		
FILTRO N° 4									
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	"f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal ind (lps)	Caudal(lps)
21/09/05	10:00 a.m.	28,62	23,92	0,10	107,00	2,86	96,61	26,75	528,3
28/09/05	11:00 a.m.	28,62	23,92	0,10	58,40	2,86	177,01	49,01	526,1
07/10/05	3:00 p.m.	28,62	23,92	0,10	69,80	2,86	148,10	41,00	518,4
Prom:							140,58		
FILTRO N° 5									
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	∇f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal ind (lps)	Caudal(lps)
21/09/05	10:00 a.m.	28,62	23,92	0,10	41,00	2,86	252,14	69,80	528,3
28/09/05	11:00 a.m.	28,62	23,92	0,10	42,30	2,86	244,39	67,66	526,1
07/10/05	3:00 p.m.	28,62	23,92	0,10	38,50	2,86	268,51	74,34	518,4
Prom:							255,01		
FILTRO N° 6									
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	∇f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal ind (lps)	Caudal(lps)
21/09/05	10:00 a.m.	28,62	23,92	0,10	32,00	2,86	323,05	89,44	528,3
28/09/05	11:00 a.m.	28,62	23,92	0,10	42,10	2,86	245,55	67,98	526,1
07/10/05	3:00 p.m.	28,62	23,92	0,10	32,40	2,86	319,06	88,33	518,4
Prom:							295,89		
FILTRO N° 7									
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	∇f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal ind (lps)	Caudal(lps)

El filtro 6 se acababa de lavar cuando se efectuó la prueba; como se puede apreciar, la mayor tasa de operación la presenta el filtro 3 y no el filtro 6, que fué el recién lavado, y la relación es de:

$$T. \text{ máx.} / T. \text{ prom.} = 333.47/227.08 = 1,47 \text{ veces la tasa promedio}$$

Esta relación debe ser menor de 1.5 (5), pero este valor muy cercano indica que las carreras de filtración no son las adecuadas para la calidad de agua que se está tratando, y de esta forma se puede evidenciar que la calidad producida por el filtro recién lavado no es muy satisfactoria, pero es inferior a 5 UNT.

Se puede decir que a partir de las carreras de filtración promedio, que el lecho filtrante de la unidades 1, 3 y 6 se encuentra en mejores condiciones que las del resto del sistema, lo cual explica que dichos filtros presenten las más altas velocidades de filtración en comparación con el resto de las unidades; la unidad 4 presenta una baja tasa de filtración, pero esto no significa que su lecho este deteriorado, sin embargo hay que analizar las otras variables que influyen en el proceso de filtración.

La velocidad de filtración está relacionada con el caudal de entrada a la Planta en el momento de realizar la prueba, resultando un caudal máximo y mínimos de 528.3 lps. y 518.4 lps respectivamente, los cuales se encuentran dentro del rango estadístico del caudal que trata la Planta de Centenario.

En este sistema de filtración cada unidad opera de forma independiente debido a la disposición del la entrada de Agua sedimentada: Al iniciar su funcionamiento, después del lavado funciona como un sistema de tasa constante y altura variable; luego de cierto tiempo de operación y al incrementarse la altura al interior de la caja del filtro, el agua supera el nivel del orificio de entrada de agua y se pone en contacto con el agua que viaja a través del canal de distribución, esto obliga a redistribuir el afluente entre las demás unidades, en este momento este canal deja de cumplir su función, que es la de distribuir equitativamente

el caudal entre todas las unidades de filtración, y lo distribuye según la capacidad de cada filtro para filtrar en ese momento.

Siendo muy diversas las condiciones de operación de los 8 filtros se pueden considerar como de Tasa constante y nivel variable, pero con un funcionamiento de Tasa Declinante cierta parte de su carrera de filtración, el tiempo de duración funcionando como de Tasa Constante depende de las condiciones del agua que se está tratando, del caudal que este tratando en ese momento la planta, así como de la operación de lavado y la carrera de filtración.

• **Sistema de filtración 2 (autolavado).** Al buscar datos respecto a la de operación de filtros y determinar cómo se están lavando estos, se encuentra:

Se lavan a veces de 2 a 3 filtros, normalmente durante la noche, debido al excesivo caudal que se gasta en esta operación, la cual puede durar más de 30 minutos; se tiene en cuenta un orden correlativo, quiere decir están desfasadas las condiciones de operación de los filtros, pero no con un periodo determinado, esto produce que cada filtro tiene un diferente estado de colmatación del lecho filtrante, y como por su especial diseño no admiten más agua que la que el estado del medio filtrante les permite, por esta razón se observan su nivel por encima del nivel del canal de entrada de agua. Es así, como su carrera de filtración no tiene una duración plenamente determinada; pueden pasar hasta más de 190 horas sin lavar un filtro.

Uno de los efectos más negativos de la incorrecta operación de la batería de filtros la cual fue proyectada para operar con tasa constante, es la fácil colmatación del lecho, debido a la falta de regularidad en la operación de lavado de los lechos de los filtros.

El excesivo gasto de agua en el lavado de los filtros es debido a su ineficiencia y el prolongado tiempo de lavado que genera, lo cual es debido a la obstrucción generada por los tabloncillos de madera colocados en el canal de aislamiento, los cuales sólo deben ser utilizados para aislar a la unidad.

El criterio para tomar la decisión de lavar un filtro esta restringido al caudal que esta tratando la planta y al nivel de los diferentes tanques a los cuales se encarga de alimentar, además es muy subjetivo, ya que depende del movimiento del fluido en el filtro, es decir, en la superficie del agua.

Se efectuaron tres mediciones por cada unidad de filtración, los resultados se muestran en la tabla 17, utilizando la simbología anterior, con las siguientes excepciones:

* Af = 22.43 m² : 3.25 x 6.90 m

°Af = 17.60 m² : 2.55 x 6.90 m

Velocidad de filtración Promedio (m³/m²/d) : 19.9

Velocidad de filtración Máxima (m³/m²/d) : 34.4

Velocidad de filtración Mínima ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) : 3.9

Del análisis estadístico del caudal que trata la planta se obtuvo una tasa de filtración promedio de $29.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, en las cinco unidades estando muy por debajo del rango propuesto por El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) de 120 a $240 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, para filtración rápida de tasa constante y altura variable.

El promedio de las velocidades de filtración del conjunto de los cinco filtros resultó ser de $19.9 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, con un máximo de $34.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y un mínimo de $3.9 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ (Ver Tabla 2), en el promedio de cada unidad se observa que el filtro N°1 resultó tener en promedio la máxima velocidad de filtración: $32.59 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y el filtro N°3 la menor: $4.05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$; al analizar estos datos se tiene en cuenta la relación entre tasa máxima/tasa promedio al inicio de la carrera del filtro recién lavado, con lo cual tomamos la medición N° 1 realizada el 22 de septiembre de 2005:

Tabla17. Caudales y velocidades de filtración (sistema 2)

FILTRO N° 1								
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	Vf(m3)	Vf($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)	Caudal(lps)
22/09/05	3:00 p.m.	22,43	17,60	0,05	177,40	1,12	31,03	20,0
27/09/05	4:00 p.m.	22,43	17,60	0,05	170,10	1,12	32,37	20,1
04/10/05	9:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	160,20	1,12	34,37	20,6
Prom:							32,59	
FILTRO N° 2								
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	Vf(m3)	Vf($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)	Caudal(lps)
22/09/05	3:00 p.m.	22,43	17,60	0,05	314,50	1,12	17,51	20,0
27/09/05	4:00 p.m.	22,43	17,60	0,05	306,90	1,12	17,94	20,1
04/10/05	9:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	301,50	1,12	18,26	20,6
Prom:							17,90	
FILTRO N° 3*								
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	Vf(m3)	Vf($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)	Caudal(lps)
22/09/05	3:00 p.m.	22,43	17,60	0,05	1320,00	1,12	4,17	20,0
27/09/05	4:00 p.m.	22,43	17,60	0,05	1400,00	1,12	3,93	20,1
04/10/05	9:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	1360,00	1,12	4,05	20,6
Prom:							4,05	
FILTRO N° 4								
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	Vf(m3)	Vf($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)	Caudal(lps)
22/09/05	3:00 p.m.	22,43	17,60	0,05	308,70	1,12	17,83	20,0
27/09/05	4:00 p.m.	22,43	17,60	0,05	312,70	1,12	17,61	20,1
04/10/05	9:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	299,20	1,12	18,40	20,6
Prom:							17,95	
FILTRO N° 5								
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	Vf(m3)	Vf($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)	Caudal(lps)
22/09/05	3:00 p.m.	22,43	17,60	0,05	200,00	1,12	27,53	20,0
27/09/05	4:00 p.m.	22,43	17,60	0,05	204,30	1,12	26,95	20,1
04/10/05	9:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	210,70	1,12	26,13	20,6
Prom:							26,87	

* El filtro N°3 no se encuentra a la fecha funcionando correctamente debido a que el sistema neumático de la válvula de drenaje se encuentra dañado y no se puede accionar.

El filtro 1 se acababa de lavar hace 1 hora cuando se efectuó la prueba; como se puede apreciar, la mayor tasa de operación la presenta el filtro 1, que fué el recién lavado, y la relación es de:

$$T. \text{ máx.} / T. \text{ prom.} = 31.03/19.61 = 1,58 \text{ veces la tasa promedio}$$

Esta relación es mayor de 1.5, con lo cual la calidad del agua del filtro recién lavado podría estar deteriorándose.

En este sistema de filtración cada unidad opera de forma independiente debido a la disposición de la entrada de Agua sedimentada: Al iniciar su funcionamiento, después del lavado funciona como un sistema de tasa constante y altura variable; luego de cierto tiempo de operación y al incrementarse la altura al interior de la caja del filtro, el agua supera el nivel del orificio de entrada de agua y se pone en contacto con el agua que viaja a través del canal de distribución, esto obliga a disminuir el caudal tratado por esta unidad redistribuyéndolo entre las demás unidades.

Siendo muy diversas las condiciones de operación de los 5 filtros se pueden considerar como de Tasa constante y nivel variable, pero con un funcionamiento de Tasa Declinante una parte de su carrera de filtración, el tiempo de duración funcionando como de Tasa Constante depende de las condiciones del agua que se está tratando, así como de la operación de lavado y la carrera de filtración, razón por la cual esta batería es sub-utilizada hasta lograr optimizar su sistema de lavado.

No se puede decir nada a partir de las carreras de filtración promedio ya que el lecho filtrante de toda la batería, se encuentra colmatado y en condiciones que no satisfacen las necesidades del resto del sistema a nivel del caudal que están tratando, sin embargo hay que analizar las otras variables que influyen en el proceso de filtración.

La velocidad de filtración está relacionada con el caudal de entrada a los filtros en el momento de realizar la prueba, resultando un caudal máximo y mínimos de 20 lps. y 19.3 lps respectivamente, los cuales muestran la sub-utilización de este sistema de filtración en la planta de tratamiento, se ve la necesidad de optimizar el lavado del sistema, con lo cual se producirían carreras de filtración de menor duración, reducción de tiempos de lavado y mayor eficacia, con estas acciones se podría lograr el aumento del caudal tratado por los filtros de autolavado.

Al realizar la adecuación del sistema y retirar los tablonés de cierre se procedió a realizar el mismo ensayo después de lavar consecutivamente los filtros 1, 2, 4, y 5; se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 18. Caudales y velocidades de filtración. (Segunda prueba sistema 2)

FILTRO N° 1								
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	∇f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal(lps)
09/10/05	10:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	89,10	1,12	61,79	51,6
16/10/05	10:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	90,40	1,12	60,90	50,5
06/11/05	9:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	88,70	1,12	62,07	51,0
Prom:							61,59	
FILTRO N° 2								
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	∇f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal(lps)
09/10/05	10:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	87,40	1,12	62,99	51,6
16/10/05	10:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	88,40	1,12	62,28	50,5
06/11/05	9:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	93,70	1,12	58,76	51,0
Prom:							61,34	
FILTRO N° 3*								
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	∇f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal(lps)
09/10/05	10:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	1970,00	1,12	2,79	51,6
16/10/05	10:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	2014,00	1,12	2,73	50,5
06/11/05	9:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	2060,00	1,12	2,67	51,0
Prom:							2,73	
FILTRO N° 4								
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	Tf(s)	∇f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal(lps)
09/10/05	10:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	88,70	1,12	62,07	51,6
16/10/05	10:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	92,40	1,12	59,58	50,5
06/11/05	9:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	87,40	1,12	62,99	51,0
Prom:							61,55	
FILTRO N° 5								
fecha	Hora	Af (m2)	Af(m2)	H(m)	H(m)	∇f(m3)	Vf(m ³ /m ² /d)	Caudal(lps)
09/10/05	10:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	86,70	1,12	63,50	51,6
16/10/05	10:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	87,90	1,12	62,63	50,5
06/11/05	9:00 a.m.	22,43	17,60	0,05	86,50	1,12	63,65	51,0
Prom:							63,26	

* El filtro N°3 no se encuentra a la fecha funcionando correctamente debido a que el sistema neumático de la válvula de drenaje se encuentra dañado y no se puede accionar.

Velocidad de filtración Promedio ($m^3/m^2/d$) : 50.09

Velocidad de filtración Máxima ($m^3/m^2/d$) : 63.65

Velocidad de filtración Mínima ($m^3/m^2/d$) : 2.67

El promedio de las velocidades de filtración del conjunto de los cinco filtros resultó ser de $50.1 m^3/m^2/d$, con un máximo de $63.65 m^3/m^2/d$ y un mínimo de $2.67 m^3/m^2/d$ (Ver Tabla 3), en el promedio de cada unidad se observa que el filtro N°5 resultó tener en promedio la máxima velocidad de filtración: $63.26 m^3/m^2/d$; al analizar estos datos se tiene en cuenta la relación entre *tasa máxima/tasa promedio al inicio de la carrera del filtro recién lavado*, con lo cual tomamos la medición N° 1 realizada el 6 de noviembre de 2005:

El filtro 5 se acababa de lavar hace 15 minutos cuando se efectuó la prueba; como se puede apreciar, la mayor tasa de operación la presenta el filtro 5, que fué el recién lavado, y la relación es de:

$$T. \text{ máx.} / T. \text{ prom.} = 63.65/50.09 = 1,27 \text{ veces la tasa promedio}$$

Esta relación es menor de 1.5, pero hay que tener en cuenta que la calidad del agua del filtro recién lavado es deficiente.

Al retirar los tablonces se logró optimizar las condiciones de lavado, mejorando la tasa de filtración en un 250 % al cambiar en promedio de $19.9 m^3/m^2/d$ a $50.1 m^3/m^2/d$, pero esta velocidad de filtración sigue estando muy por debajo del rango propuesto por el CEPIS de 120 a $240 m^3/m^2/d$, para filtración rápida de tasa constante y altura variable.

4.5.2 Velocidad de lavado del filtro.

Sistema de filtración 1 (lavado por fuente externa). Para evaluar el comportamiento de los filtros en las condiciones de diseño, se procedió a medir la velocidad de filtración en los ocho filtros. Se siguió la secuencia de lavado normalmente, y en esta etapa se determinó que la expansión del lecho filtrante durante el lavado con agua sola era del 20%.

Tabla 19. Velocidad de lavado.

FILTRO N° 1						
Af (m2)	Af(m2)	H(m)	T(s)	VL(m/min)	QL(m3/s)	Vol Lav(m3)
32,67	26,62	0,50	52,60	0,57	0,25	156,38
TL(Min)=			10,3		1,79	87,36
FILTRO N° 2						
Af (m2)	Af(m2)	H(m)	T(s)	VL(m/min)	QL(m3/s)	Vol Lav(m3)
32,67	26,62	0,50	53,70	0,56	0,25	150,20
TL(Min)=			10,1		1,80	83,45
FILTRO N° 3						
Af (m2)	Af(m2)	H(m)	T(s)	VL(m/min)	QL(m3/s)	Vol Lav(m3)
28,62	23,92	0,50	45,40	0,66	0,26	161,22
TL(Min)=			10,2		1,75	92,13
FILTRO N° 4						
Af (m2)	Af(m2)	H(m)	T(s)	VL(m/min)	QL(m3/s)	Vol Lav(m3)
28,62	23,92	0,50	77,00	0,39	0,16	105,31
TL(Min)=			11,3		1,87	56,32
FILTRO N° 5						
Af (m2)	Af(m2)	H(m)	T(s)	VL(m/min)	QL(m3/s)	Vol Lav(m3)
28,62	23,92	0,50	45,60	0,66	0,26	160,52
TL(Min)=			9,0	10,2	2,02	79,46
FILTRO N° 6						
Af (m2)	Af(m2)	H(m)	T(s)	VL(m/min)	QL(m3/s)	Vol Lav(m3)

Velocidad de Lavado Promedio (VL) = 0.62 m/min

Para determinar la velocidad de lavado promedio se descartó el dato del filtro 4, debido a que es un dato atípico, lo cual puede cambiar la tendencia de los datos; esta baja velocidad de lavado puede deberse al taponamiento de los orificios del falso fondo, hecho que no permite una adecuada distribución del caudal de lavado y hace deficiente esta operación en una de las divisiones del filtro.

Sistema de filtración 2 (Autolavado). No se ha evaluado el comportamiento de los filtros en las condiciones de diseño, ya que presentaba la estructura de salida del canal de se procedió a lavar las unidades 1, 2, 4 y 5, una a continuación de la otra. En esta etapa se determinó que la expansión del lecho filtrante durante el retrolavado con agua era inferior al 10%.

Como durante la evaluación la batería estaba operando con un caudal de 25 L/s, la velocidad de lavado era:

$$VL = [(0,025) * 60] / (22,43) = 0,07 \text{ m/min}$$

Al adecuar el canal de salida quitando los tabloncillos de cierre, la batería comenzó a operar con un caudal de 50 L/s, quedando la velocidad de lavado así:

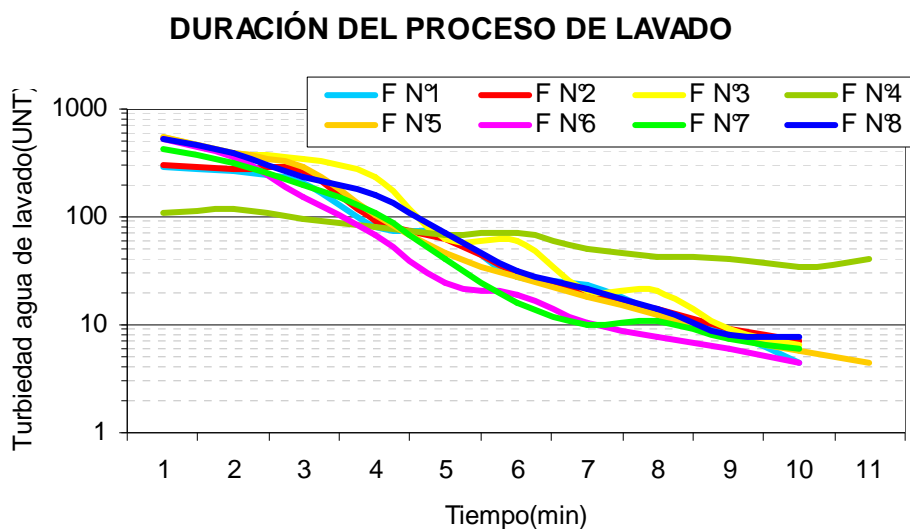
$$VL = [(0,050) * 60] / (22,43) = 0,13 \text{ m/min}$$

Esta velocidad no es suficiente para alcanzar una buena expansión, con un material bastante homogéneo como el que tienen los filtros debido a su coeficiente de uniformidad, lo que hace suponer que lo que está faltando es mayor carga hidráulica disponible para el retrolavado; es decir que las pérdidas de carga que se están produciendo durante el lavado, pueden ser como consecuencia de que los filtros están operando con un lecho filtrante inadecuado, y la elevada pérdida de carga es mayor que la carga disponible para compensarla.

4.5.3 Duración del proceso de lavado. El objetivo de este ensayo es determinar el tiempo óptimo en que debe ejecutarse la operación de lavado, pero hay que tener en cuenta que el tiempo de lavado también varía con la calidad del agua cruda; en la época de lluvia, cuando la turbiedad es alta, el tiempo de lavado necesario suele ser mayor que en época de aguas claras.

- **Sistema de filtración 1 (lavado por fuente externa).** En el gráfico se observan los datos de Turbiedad vrs. Tiempo, obtenidos en el momento del lavado de los ocho filtros.

Figura 41 .Determinación del tiempo de Lavado (Lavado fuente externa)



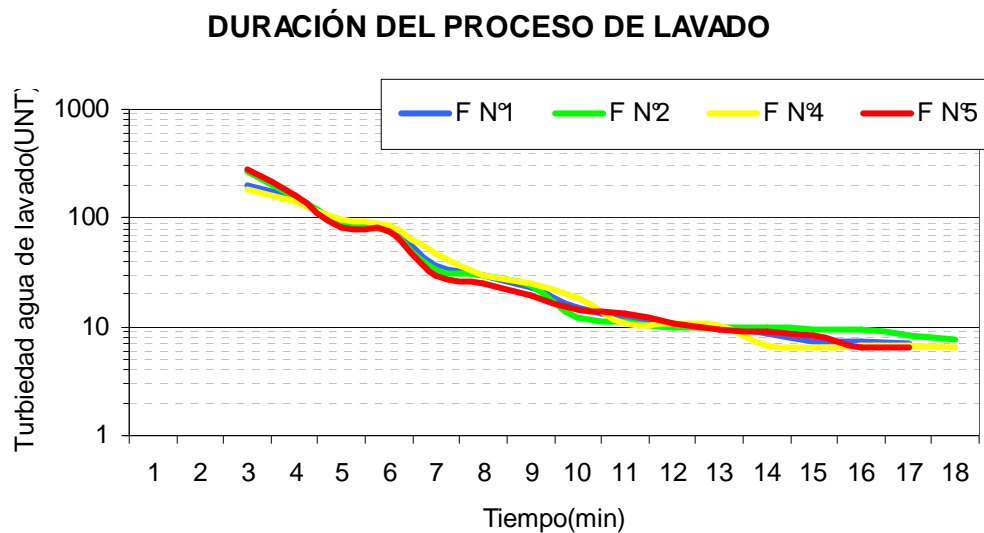
Cuando se hace el lavado de un filtro, la turbiedad del agua de lavado aumenta rápidamente al principio, pudiendo llegar a valores superiores a 560 UNT y luego, a medida que el lecho filtrante se va limpiando, va disminuyendo hasta alcanzar cifras inferiores a 10 UNT las cuales rara vez decrecen aunque se prolongue por largo tiempo el lavado. El tiempo actual utilizado para el lavado de filtros en la Planta Centenario es de 10 minutos aproximadamente.

En conformidad a resultados obtenidos de la prueba, el tiempo óptimo de lavado para este sistema de filtración, resultó ser de (9) nueve minutos, debido a que se puede observar que a partir de este tiempo en adelante, no se obtiene un descenso considerable de turbiedad del agua de lavado, de lo contrario se estaría desperdiciando agua de servicio.

Lo anterior no es aplicado para el filtro 4, en el cual el tiempo óptimo de lavado no se pudo determinar debido a la ineficiencia del mismo, después de los diez minutos, la turbiedad se mantenía por encima de 40 UNT, esto probablemente se deba a una ruptura en el falso fondo como lo veremos más adelante.

- **Sistema de filtración 2 (autolavado).** En el gráfico se observan los datos de Turbiedad vrs. Tiempo, obtenidos en el momento del lavado de la batería.

Figura 42 .Determinación del tiempo de Lavado (autolavado)



Cuando se hace el lavado de un filtro, la turbiedad del agua de lavado aumenta rápidamente al principio, pudiendo llegar a valores superiores a 270 UNT, posteriormente, a medida que el lecho filtrante se va limpiando, la turbiedad va disminuyendo hasta alcanzar cifras cercanas a 10 UNT las cuales rara vez decrecen aunque se prolongue por largo tiempo el lavado. El tiempo actualmente utilizado para el lavado de la batería de autolavado es de 25 minutos aproximadamente.

En conformidad a resultados obtenidos de la prueba, el tiempo optimo de lavado para este sistema de filtración, resultó ser de (15) *quinze minutos*, debido a que se puede observar que a partir de este tiempo en adelante, no se obtiene un descenso considerable de turbiedad del agua de lavado, de lo contrario se estaría desperdiciando agua de servicio.

El resultado anterior no se puede aplicar para el filtro No 3, en el cual no se realizó el ensayo debido a que la válvula neumática para desagüe presenta desperfectos y el ensayo no pudo ser realizado.

4.5.4 Bolas de Lodo (Estado del Medio Filtrante)

Como consecuencia de un lavado deficiente del filtro (falta de expansión) o de una frecuencia inadecuada de lavado, el lodo se va acumulando dentro del lecho filtrante. Este grado de deterioro del lecho filtrante se puede visualizar a través de la presencia de bolas de lodo.

El objetivo de este ensayo es determinar la cantidad de bolas de lodo presentes en el lecho filtrante, y según esto clasificarlo en la siguiente tabla:

Tabla 20. Clasificación de los filtros de acuerdo al porcentaje de bolas de lodo.

% 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 malo
2,5 - 5,0	Malo
7,5	Muy malo

Un filtro bien conservado no debe contener bolas de lodo. Sin embargo, es posible que con el transcurrir de los años, puedan irse formando hasta llegar a 1% sin que afecten mayormente el funcionamiento de la unidad. Por encima de ese valor, la eficiencia se ve afectada cada vez en mayor grado. Porcentajes mayores de 5% están indicando la necesidad de reconstruir el lecho filtrante.

- **Sistema de filtración 1 (lavado por fuente externa).** La tabla 21 muestra los resultados del ensayo de contenido de bolas de lodo en los filtros en estudio.

Tabla 21. Porcentaje de bolas de barro en unidades de filtración (Lavado por fuente externa)

Filtro Número	Volúmen de muestra vm (ml)	Incremento de Volúmen en la probeta Δv (ml)	% de bolas de lodo $(\Delta v/vm) \times 100$
1	1.256,6	0	0,0
2	1.256,6	0	0,0
3	1.256,6	0	0,0
4	1.256,6	7	0,6
5	1.256,6	0	0,0
6	1.256,6	0	0,0
7	1.256,6	0	0,0
8	1.256,6	0	0,0

Según resultados del ensayo realizado en la planta Centenario, nos indica la inexistencia de bolas de barro en el lecho filtrante de las unidades por lavado desde un tanque elevado, a excepción a la fecha de la unidad número 4, a la cual se le puede apreciar un continuo mal funcionamiento y fué así como el 31 de octubre de 2005 se descubre al realizar este ensayo la rotura del falso fondo tipo Leopold en una de las mitades del filtro; posteriormente se detuvo su operación, para la posterior reposición del falso fondo, grava, arena y antracita según las características de diseño.

Según la clasificación del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), en función del porcentaje de bolas de barro., y analizando los resultados obtenidos, nos indica de forma general, que el lecho filtrante de las siete unidades carecen de bolas de barro; respecto a esta tabla los filtros se clasificarían en el rango 0-0.1 % de volumen de bolas de lodo lo cual corresponde a Excelente en cuanto a condiciones de lavado del medio filtrante se refiere (frecuencia y expansión).

- **Sistema de filtración 2 (autolavado).** La tabla 22 muestra los resultados del ensayo de contenido de bolas de lodo en los filtros en estudio.

Tabla 22. Porcentaje de bolas de barro en unidades de filtración (Autolavado)

Filtro Número	Volúmen de muestra v_m (ml)	Incremento de Volúmen en la probeta Δv (ml)	% de bolas de lodo $(\Delta v/v_m) \times 100$
1	1.256,6	5	0,4
2	1.256,6	6	0,5
3	-	-	-
4	1.256,6	5	0,4
5	1.256,6	4	0,3

Según resultados de este ensayo, nos indica la existencia de bolas de barro en el lecho filtrante de la batería de autolavado, el sistema de distribución de agua es deficiente ya que genera un desacomodo en el lecho filtrante lo cual se puede evidenciar en su superficie.

Según la clasificación CEPIS, en función del porcentaje de bolas de barro, y analizando los resultados obtenidos, nos indica de forma general, que el lecho filtrante de la batería contiene bolas de barro; respecto a esta tabla los filtros se clasificarían en el rango 0.2-0.5 % de volumen de bolas de lodo lo cual corresponde a Bueno, pero esto no significa que el sistema presente deterioro del lecho filtrante, lo cual afecta la tasa de filtración del sistema de autolavado.

4.5.5 Profundidad y Expansión del Lecho Filtrante.

• **Sistema de filtración 1 (lavado por fuente externa).** Estas pruebas se efectuaron operando los filtros con una tasa promedio de filtración de 225 m³/m².d y una velocidad de lavado de 0,62 m/min.

El lavado se estaba efectuando en forma inadecuada, debido a la pérdida de agua en esta operación, ya que al desaguar el filtro antes que disminuya su nivel, se pierde una cantidad exagerada de agua; además, se observó otra variable que influye notablemente en la expansión del lecho filtrante: en nivel dentro del tanque de lavado, lo que genera una mayor carga hidráulica y por lo tanto una mayor expansión.

Los resultados se indican en la siguiente tabla:

Tabla 23. Expansión del lecho filtrante (Lavado por fuente externa)

N° Filtro	Altura de material en el equipo (cm)	Altura de material en el filtro (cm)	Porcentaje de Expansión
1	20	68	29%
2	20	64	31%
3	20	67	30%
4	-	-	-
5	20	65	31%
6	20	66	30%
7	25	62	40%
8	20	64	31%

La expansión del medio filtrante no es uniforme entre los filtros, ni dentro del filtro mismo, lo que indica que la distribución del agua de lavado no es pareja.

En todos los filtros se midieron expansiones entre 29% y 40%. Estas expansiones probablemente ocasionaron la pérdida del medio filtrante, por tanto los filtros que tienen una menor profundidad de lecho filtrante; o se encuentre mezclado con la grava de soporte.

• **Sistema de filtración 2 (autolavado).** Estas pruebas se efectuaron operando los filtros con una tasa promedio de filtración de 19.9 m³/m².d y una velocidad de lavado de 0,07 m/min.

El lavado se estaba efectuando en forma inadecuada, debido a la pérdida de agua en esta operación, ya que la cota del vertedero general impide que el agua siga filtrando, entonces al desaguar el filtro con este nivel, se pierde una cantidad exagerada de agua; además, se observó otra variable que influye notablemente en la expansión del lecho filtrante: los tabloncillos ubicados en el vertedero de cada filtro, lo que genera una mayor pérdida de carga

hidráulica y por lo tanto una menor expansión; este problema se corrigió al quitar estos tablonces, así los resultados se indican en la siguiente tabla:

Tabla 24. Expansión del lecho filtrante (Autolavado)

Nº Filtro	Altura de material en el equipo (cm)	Altura de material en el filtro (cm)	Porcentaje de Expansión
1	15	77	19%
2	20	76	26%
3	-	-	-
4	20	70	29%
5	20	72	28%

La expansión del medio filtrante no es uniforme entre los filtros, ni dentro del filtro mismo, lo que indica que la distribución del agua de lavado no es pareja.

En los filtros 4 y 5 se midieron expansiones de 29% y 28%. Estas expansiones están ocasionando la pérdida del medio filtrante. Estos son los filtros que tienen menor profundidad de lecho filtrante.

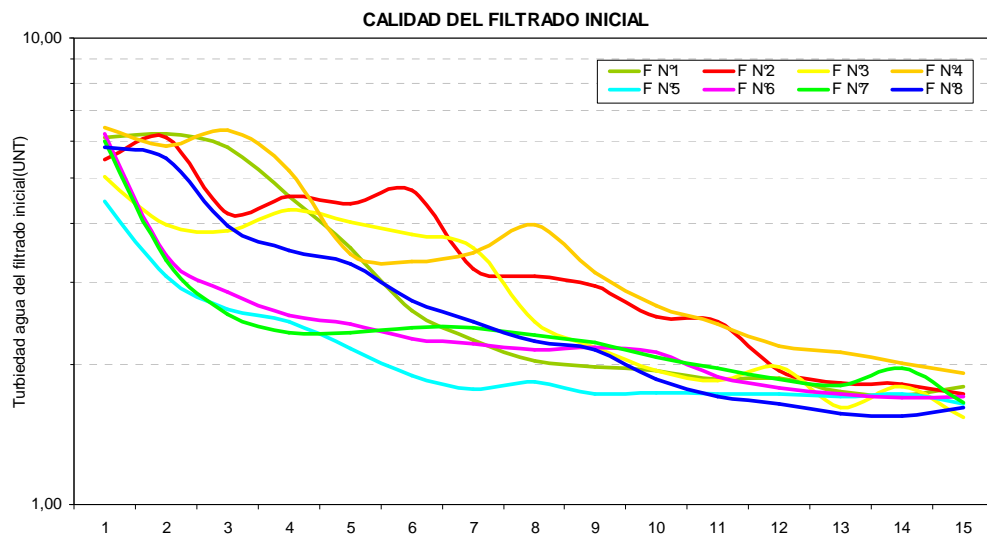
En los filtros 1 y 2, en cambio, se identificaron expansiones muy bajas de 19% a 26%. La altura del lecho es correcta, pero no se lava bien.

4.5.6 Calidad del filtrado inicial. Este ensayo se realiza para detectar el comportamiento del filtro al iniciar la carrera de filtración y determinar el tiempo que demora en alcanzar la turbiedad normal. Mediante esta prueba se puede determinar también el comportamiento del medio filtrante.

• **SISTEMA DE FILTRACIÓN 1 (LAVADO POR FUENTE EXTERNA)**

En el gráfico se observan los datos de Turbiedad vrs. Tiempo, obtenidos en el momento de iniciar la filtración en cada filtro:

Figura 43. Calidad del filtrado inicial (Lavado por fuente Externa)



Al iniciar la filtración cada unidad presenta un comportamiento uniforme, la turbiedad del agua filtrada disminuye al pasar el tiempo de funcionamiento, pasa de 6.43 UNT hasta valores por debajo de 2 UNT después de 15 minutos de empezar a operar correctamente.

En el resultado anterior hay que tener en cuenta que el caudal promedio producido por el filtro No 4 (39 lps) esta muy por debajo del promedio de las demás unidades (70 lps), pero este hecho no afecta la calidad del agua filtrada en dicha unidad.

- **Sistema de filtración 2 (autolavado).** La prueba en este sistema de filtración se descartó, debido a la imposibilidad de tomar muestras de agua filtrada de cada unidad, ya que no se puede acceder al canal de aislamiento en su parte profunda mientras está en funcionamiento la batería.

Pero al analizar la calidad agua en el canal de interconexión se pudo observar la variación de la turbiedad de 15 A 2 UNT en un tiempo aproximado de 20 minutos, lo cual puede llevar a pensar que debido a que la turbiedad inicial es muy alta, el filtro quedó mal lavado; pero esto, por supuesto, no es definitivo, pues cada filtro puede iniciar la carrera de filtración con una cierta turbiedad que depende del estado del lecho filtrante.

4.5.7 Espesor del medio filtrante. Este ensayo sirve para determinar el espesor del medio filtrante, así como su variación en toda la superficie del filtro.

- **Sistema de filtración 1 (lavado por fuente externa).** En la siguiente tabla se observa los datos tomados a partir del ensayo del perfil del medio filtrante, se observa que se tomaron 5 puntos por cada lado A y B de los filtros que significan izquierda y derecha respectivamente, ubicado desde el sitio de la válvula de admisión de agua sedimentada.

Tabla 25. Espesor del medio filtrante (Lavado por fuente externa)

N° Filtro	Lado filtro	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Altura Promedio (cm)	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	Variación ± %	Promedio conjunto (cm)
1	A	70	67	68	71	69	69	71,00	67,00	5,8%	69
	B	71	69	71	68	69	70	71,00	68,00	4,3%	
2	A	65	64	66	63	62	64	66,00	62,00	6,3%	65
	B	66	64	66	67	68	66	68,00	64,00	6,0%	
3	A	70	72	69	67	66	69	72,00	66,00	8,7%	70
	B	69	68	70	73	74	71	74,00	68,00	8,5%	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	A	68	72	70	71	66	69	72,00	66,00	8,6%	68
	B	67	67	65	66	68	67	68,00	65,00	4,5%	
6	A	66	65	68	64	65	66	68,00	64,00	6,1%	66
	B	69	66	68	65	67	67	69,00	65,00	6,0%	
7	A	62	61	64	63	65	63	65,00	61,00	6,3%	64
	B	64	65	63	65	67	65	67,00	63,00	6,2%	
8	A	66	67	63	66	65	65	67,00	63,00	6,1%	65
	B	68	68	67	64	64	65	68,00	62,00	7,7%	

Al expandirse demasiado el lecho filtrante, ocasiona que el material de menor tamaño se pierda en cada lavado, el cual puede encontrarse en el falso fondo del filtro taponando sus orificios lo que ocasiona una variación del perfil del lecho filtrante, que en este caso estaría generando la variación de su superficie con un máximo de 8.7% con respecto al espesor del lecho, provocando además que el agua de lavado no se distribuya de una manera uniforme, y la operación de lavado genere iguales resultados en todo el fondo del filtro.

Figura 44. Estado del falso fondo al intervenir el filtro No 4 (A); Variación de la superficie del lecho en el filtro No 4 (B).



(A)

(B)

La pérdida de la arena a través del drenaje ocurre cuando no se ha colocado la altura y granulometría apropiada de la capa soporte de grava para el drenaje con falsos fondos Leopold; esto ha disminuido el espesor total del lecho filtrante de 0.80m a 0.67m en promedio.

La figura 17 (A) ilustra el caso extremo de daño en el falso fondo, inicialmente debido a una mala distribución del agua de lavado y posterior fatiga de los materiales lo que llevaron a su destrucción. Con el tiempo y debido a la fuerte presión que ejerce el agua en un sector del drenaje, lo llega a romper y esta es ya la situación que se está ilustrando.

- **Sistema de filtración 2 (autolavado).** En la siguiente tabla se observan los datos tomados a partir del ensayo del perfil del medio filtrante, se tomaron 18 puntos por cada unidad, debido al evidente desacomodo del lecho filtrante.

Tabla 26. Espesor del medio filtrante (Autolavado)

Punto No	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5
1	0,79	0,85	0,65	0,71	0,60
2	0,67	0,85	0,59	0,75	0,71
3	0,72	0,75	0,66	0,68	0,65
4	0,70	0,72	0,56	0,70	0,62
5	0,72	0,70	0,55	0,67	0,58
6	0,75	0,76	0,51	0,54	0,61
7	0,75	0,71	0,54	0,61	0,55
8	0,75	0,76	0,60	0,70	0,50
9	0,65	0,80	0,53	0,60	0,50
10	0,62	0,76	0,60	0,62	0,52
11	0,60	0,75	0,63	0,55	0,50
12	0,70	0,90	0,70	0,52	0,60
13	1,04	0,80	0,65	0,55	0,70
14	0,85	0,95	0,70	0,52	0,60
15	0,65	0,70	0,36	0,60	0,75
16	0,85	0,60	0,60	0,53	0,80
17	0,82	0,95	0,70	0,70	0,88
18	0,80	0,80	0,68	0,61	0,50
Altura Promedio (cm)	0,75	0,78	0,60	0,62	0,62
Máximo (cm)	1,04	0,95	0,70	0,75	0,88
Mínimo (cm)	0,60	0,60	0,36	0,52	0,50
Variación \pm %	59,0%	44,6%	56,6%	37,1%	61,2%

Cuando el lecho filtrante no se expandía lo suficiente al tener colocados los tabloncillos de cierre, el material filtrante se reacomoda con el cambio de presión en cada retrolavado y se puede encontrar en el falso fondo del filtro la arena que se pierde a través de este.

La pérdida de la arena a través del drenaje ocurre cuando no se ha colocado la altura y granulometría apropiada de la capa soporte de grava para el drenaje de viguetas de concreto prefabricado, también puede ocurrir esta situación cuando no se ha colocado el sello de mortero entre las viguetas de concreto del drenaje o cuando por causa del tiempo, este se ha perdido.

Figura 45. Ilustra el caso extremo de desacomodamiento del medio filtrante, inicialmente debido a una mala distribución del agua de lavado y falta de velocidad de ascensión.



4.5.8 Granulometría del medio filtrante. El lecho filtrante es la parte más importante del filtro, y las características del material que tienen más influencia en su eficiencia son el tamaño y la forma de los granos, la porosidad del medio filtrante y su altura.

En el caso de la Planta Centenario que cuenta con los lechos dobles de arena y antracita, el diámetro de la capa de antracita más profunda (D_{90}) debe guardar una relación de 3 veces el diámetro de la capa de arena más fina (D_{10}), para que las condiciones de mezcla sean adecuadas.

Los parámetros más importantes en la determinación del rendimiento de un filtro son el tamaño efectivo (D_{10}) y el coeficiente de uniformidad (CU), de los materiales que componen el lecho filtrante. Su determinación, a través de ensayos proporciona información que permite saber si se está perdiendo material durante la operación de lavado, o si se está produciendo el crecimiento de los granos como consecuencia de la mala remoción de la película adherida a estos.

Al realizar este ensayo se separó la arena de la antracita por medio del tamiz No 20, quedándose algunos tamaños de cada material por encima y por debajo de este tamiz, pero esta cantidad no es representativa y no afecta notablemente los resultados de este ensayo.

- **Sistema de Filtración 1 (Lavado Por Fuente Externa).** La tabla 27 tiene el resultado de los ensayos de granulometría, realizado a los filtros que estaban en operación; con estos datos se obtienen las respectivas curvas granulométricas.

Tabla 27. Porcentaje que pasa de Arena y Antracita. (Lavado Por Fuente Externa)

ANTRACITA

% Pasa

Tamiz No.	Diam(mm)	Filtro No 1	Filtro No 2	Filtro No 3	Filtro No 4	Filtro No 5	Filtro No 6	Filtro No 7	Filtro No 8
8	2,36	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
10	2,00	80,4%	60,2%	61,3%	66,8%	65,2%	63,4%	74,1%	60,4%
16	1,18	9,2%	7,1%	5,9%	6,4%	7,3%	10,2%	6,3%	6,8%
20	0,85	0,9%	1,6%	1,0%	1,1%	1,3%	1,7%	1,3%	2,1%

ARENA

% Pasa

Tamiz No.	Diam(mm)	Filtro No 1	Filtro No 2	Filtro No 3	Filtro No 4	Filtro No 5	Filtro No 6	Filtro No 7	Filtro No 8
20	0,850	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
30	0,600	36,8%	39,7%	30,5%	29,2%	26,4%	28,9%	24,8%	29,3%
40	0,425	11,6%	14,9%	14,8%	14,0%	16,7%	13,7%	15,1%	18,1%
50	0,300	2,9%	1,5%	1,3%	1,6%	1,4%	2,1%	1,7%	1,6%
60	0,250	0,0%	0,3%	0,7%	0,9%	0,3%	1,2%	1,8%	0,7%

Figura 46. Curva Granulométrica del lecho filtrante (Lavado por fuente externa)

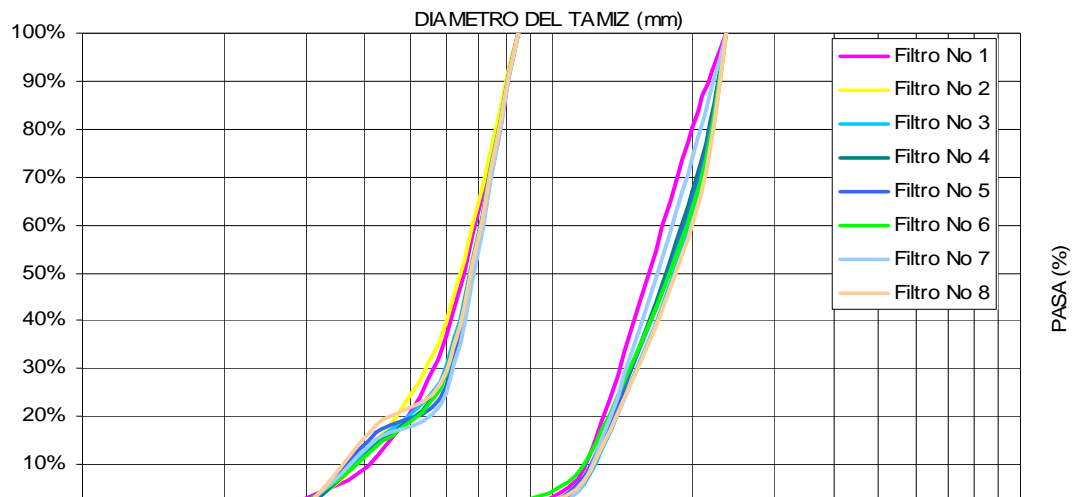


Tabla 28. Parámetros obtenidos a partir de la curva granulométrica de Arena y Antracita (Lavado por fuente externa).

Filtro No	ARENA			ANTRACITA				G. I.*
	D ₁₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	CU	D ₁₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₉₀ (mm)	CU	
1	0,402	0,692	1,72	1,19	1,77	2,18	1,48	5,41
2	0,379	0,684	1,80	1,23	2,00	2,27	1,63	5,99
3	0,381	0,706	1,85	1,24	1,98	2,27	1,60	5,95
4	0,385	0,709	1,84	1,23	1,91	2,25	1,55	5,85
5	0,370	0,714	1,93	1,22	1,93	2,26	1,58	6,10
6	0,385	0,709	1,84	1,18	1,95	2,26	1,66	5,88
7	0,377	0,717	1,90	1,23	1,83	2,22	1,49	5,89
8	0,364	0,709	1,95	1,23	1,99	2,27	1,62	6,23

*Grado de Intermezcla

Como ejemplo tomamos el cálculo realizado para el filtro No 4, obteniéndose los siguientes resultados:

Antracita:

T.E.= 1.23 mm

C.U.=1.55

D₉₀= 2.25 mm

Arena:

T.E.= 0.385 mm

C.U.=1.84

El grado de intermezcla (G.I.) es: $D_{90} \text{ antracita} / D_{10} \text{ arena} = 2,25 / 0,385 = 5,85$

Del análisis de las curvas se deduce que el material varió después de 34 meses, lo cual se debe al desgaste normal que el proceso de filtración y lavado generan, sin embargo, el grado de intermezcla no es aceptable, ya que nunca es inferior a 5.4, lo que indica que los lechos filtrantes se encuentran muy mezclados, superando los 15 cm permitidos por el RAS 2000 en C.7.5.1.1.

- **Sistema de filtración 2 (autolavado)** La tabla 29 tiene el resultado de los ensayos de granulometría, realizado a los filtros que estaban en operación; con estos datos se obtienen las respectivas curvas granulométricas.

Tabla 29. Porcentaje que pasa de Arena y Antracita. (Autolavado)

ANTRACITA
% Pasa

Tamiz No.	Diam(mm)	Filtro No 1	Filtro No 2	Filtro No 3	Filtro No 4	Filtro No 5
8	2,36	100,0%	100,0%	-	100,0%	100,0%
10	2,00	80,4%	86,1%	-	76,8%	69,4%
16	1,18	18,9%	22,6%	-	17,2%	24,6%
20	0,85	0,9%	1,0%	-	1,1%	1,3%

ARENA
% Pasa

Tamiz No.	Diam(mm)	Filtro No 1	Filtro No 2	Filtro No 3	Filtro No 4	Filtro No 5
20	0,850	100,0%	100,0%	-	100,0%	100,0%
30	0,600	42,1%	32,5%	-	27,4%	30,8%
40	0,425	10,6%	7,8%	-	12,6%	17,2%
50	0,300	1,2%	2,0%	-	1,9%	1,5%
60	0,250	0,1%	0,6%	-	0,2%	0,6%

Figura 47. Curva Granulométrica del lecho filtrante (Autolavado)

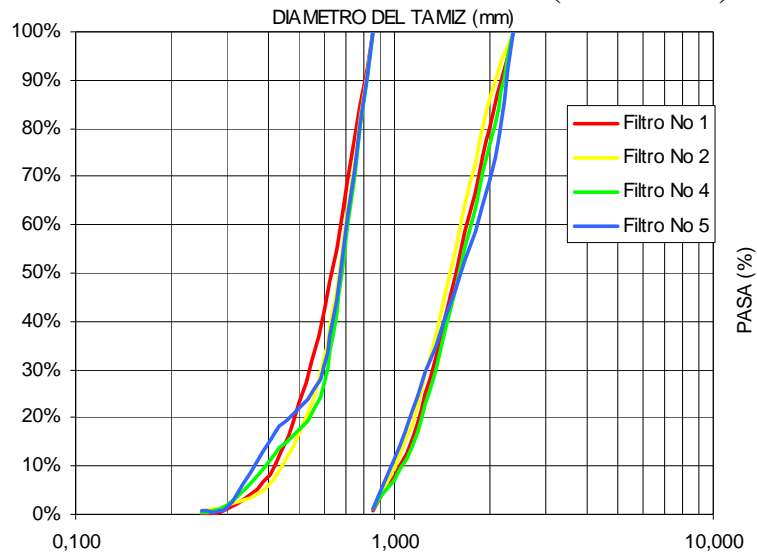


Tabla 30. Parámetros obtenidos a partir de la curva granulométrica de Arena y Antracita (Autolavado).

Filtro No	ARENA			ANTRACITA				G. I.*
	D ₁₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	CU	D ₁₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₉₀ (mm)	CU	
1	0,417	0,677	1,62	1,017	1,728	2,176	1,70	5,22
2	0,441	0,702	1,59	0,988	1,663	2,101	1,68	4,76
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0,395	0,712	1,80	1,032	1,769	2,205	1,71	5,58
5	0,368	0,705	1,92	0,973	1,828	2,242	1,88	6,09

Del análisis de las curvas se deduce que el material varió después de su reemplazo, lo cual se debe al sistema de lavado defectuoso y a la mala operación de la batería; sin embargo, el grado de intermezcla en promedio es menor que el del otro sistema pero no es aceptable, ya que supera los 15 cm permitidos por el RAS 2000 en C.7.5.1.1.

4.6 CONCLUSIONES

4.6.1 Sistema de filtración 1 (lavado por fuente externa)

- Las unidades de filtración están operando en promedio con una velocidad de filtración de 225 m³/m²/d, valor muy cercano al establecido por el CEPIS, esta velocidad es equivalente a 525 lps, lo cual muestra que se está llegando a la capacidad de diseño de este sistema de filtración.
- El resultado de las pruebas indica que la velocidad de lavado de las unidades es en promedio 0.62 m/min, exceptuando en una unidad; lo cual conlleva a porcentajes de expansión del lecho filtrante entre 29% y 40%, encontrándose dentro del rango establecido por RAS 2000 (20-40%).
- El tiempo óptimo de lavado para las unidades de filtración es de nueve minutos, un poco menor al tiempo utilizado actualmente en el lavado de las unidades.
- El lecho filtrante de las unidades carecen de bolas de barro. Según CEPIS, los siete filtros están clasificados como Excelentes, en lo referente a condiciones del medio filtrante; a excepción del filtro No 4, el cual presentaba problemas en el falso fondo.

- El resultado granulométrico nos indica que el diámetro efectivo (D_{10}) de la arena de los ocho filtros es muy fina, en comparación a lo recomendado en el diseño.
- Las unidades de filtración presentan espesores de lecho filtrante poco variables e inferiores a 80 cm., que es el espesor recomendado en el diseño, además, se encuentra muy mezclado sobrepasando los 15 cm. permitidos por el RAS 2000 (C.7.5.1.1)
- El agua cruda proviene de una fuente deficiente, debido a que el 98% del tiempo el agua tiene una turbiedad inferior a 150 UNT (tabla B.2.1 RAS 2000).
- En cuanto a calidad de agua producida en este sistema de filtración, se tiene que la turbiedad es menor de 2.7 UNT todo el tiempo, lo cual esta dentro de las especificaciones de las Normas de calidad del agua potable, según el Decreto 475/98 (Tabla C.2.2 RAS 2000).

4.6.2 Sistema de filtración 2 (autolavado)

- La batería de autolavado está operando en promedio con una velocidad de filtración de $50 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, valor muy por debajo de su capacidad de diseño, lo cual muestra que se esta sub-utilizando este sistema.
- El resultado de las pruebas indica que la velocidad de lavado de la batería es igual a 0.13m/min, exceptuando en la unidad 3; lo cual produce bajos porcentajes de expansión del lecho filtrante, encontrándose por debajo de las recomendaciones del RAS 2000 Tabla C.7.2 VL(0.60 a 1.00 m/min) y expansiones mayores al 20%.
- El tiempo óptimo de lavado para las unidades de filtración es de quince minutos, un tiempo muy extenso y no produce los mejores resultados debido a la baja velocidad de lavado.
- El caudal de operación de la batería varía constantemente, y debido a que el caudal de lavado de los filtros es el caudal de operación y estas variaciones afectan la eficiencia del proceso. En ocasiones el caudal es muy bajo y el agua no logra acarrear el sedimento desprendido. La presencia de bolas de lodo es una prueba de ello, pero según el CEPIS el lecho filtrante es Bueno, pero esto no indica que esta operando de una manera adecuada.
- El resultado granulométrico nos indica que el diámetro efectivo (D_{10}) de la arena de los cuatro filtros es muy fina, en comparación a lo recomendado en el diseño, esta condición genera que las cargas hidráulicas requeridas tanto para el lavado como para el filtrado superen las proyectadas.

- Las unidades de filtración presentan espesores del lecho filtrante variables e inferiores a 80 cm, además, de un total desacomodo del medio filtrante, inicialmente debido a una mala distribución del agua de lavado y por la falta de velocidad de ascensión.
- El sistema de autolavado presenta un efluente con menos de 1 UNT el 77% del tiempo y el tiempo restante presenta una turbiedad menor de 1.2 UNT, lo cual está por debajo del límite máximo permisible establecido por el Decreto 475/98 (Tabla C.2.2 RAS 2000).

4.7 RECOMENDACIONES

- Determinar periódicamente la profundidad, el tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad de los materiales que componen el lecho filtrante por lo menos cada año, lo cual nos proporciona información que permite determinar si se está perdiendo material durante la operación de lavado, o si se está produciendo el crecimiento de los granos como consecuencia de la mala remoción de la película adherida a estos.
- La carrera de filtración en una batería de filtros que funcione correctamente puede variar entre 30 y 50 horas o más, dependiendo de la calidad del agua sedimentada que reciba, por esto se recomienda que la operación de lavado no esté restringida al llenado del tanque de lavado de filtros, este tanque requiere un diseño adecuado para que contenga un volumen de almacenamiento para lavar dos filtros por un tiempo de diez minutos en cualquier instante (RAS 2000 C.7.5.1.7); sin embargo esta deficiencia se puede subsanar al disminuir su tiempo de llenado a una hora, esto se podría lograr al abastecer a este desde el tanque de la zona alta con un caudal mayor al que tiene actualmente.
- Reemplazar el lecho filtrante de las unidades, con arena sílicea y antracita que cumplan con la norma B100 de la AWWA, tomando como base las siguientes especificaciones, realizando un adecuado análisis granulométrico de la arena y la antracita, previo a su utilización en los filtros; además mantener una velocidad de lavado mínima en cada filtro de 0.6 m/min, en el momento de poner a funcionar cada unidad después de reemplazar el lecho, realizando los ajustes necesarios durante la puesta en marcha.

Tabla 31. Características del medio filtrante .

Características	Lecho simple	Lecho doble	
		Arena	Antracita
Altura (m)	0,60 – 0,80	0,25 – 0,30	0,45 – 0,50
Tamaño efectivo (mm)	0,55 – 0,70	0,50 – 0,60	0,75 – 0,90
Coef. de uniformidad (CU)	< 1,5	< 1,5	< 1,5
Tamaño mayor (mm)	1,41- 1,65	1,41	2,0 – 2,38
Tamaño menor (mm)	0,42	0,42	0,70

Tabla 32. Tabla C.7.1 RAS 2000.

Característica de la arena, para filtros rápidos

	Tamaño efectivo		Coeficiente de uniformidad	
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo	Máximo
Arena Fina	0,35	0,45		
Arena estándar	0,45	0,65	1.35	1.70
Arena gruesa	0,65	0,85		

El coeficiente de uniformidad de la antracita tiene que ser igual o muy parecido al de la arena, el grado de intermezcla igual a 3 y la tasa de filtración máxima sería de 225 m³/m²/d para los dos sistemas de filtración, con un caudal de 525 lps para el sistema 1 y 225 lps para el sistema 2.

- En el sistema 2 ubicar un dispositivo de alivio a la entrada del agua sedimentada a cada filtro, esto, para evitar el deterioro de la estructura y el desacomodo del lecho filtrante al reanudar el funcionamiento de cada unidad después de lavarla.
- Al cambiar el lecho filtrante, revisar los orificios por las cuales es conducida el agua de lavado, para detectar posibles desperfectos que estén ocasionando elevadas o muy bajas expansiones del lecho filtrante.
- Utilizar materiales redondeados como medio de soporte que cumplan con los requisitos de la Norma Técnica Colombiana NTC 2572, así como de la granulometría de diseño, para evitar que los materiales filtrantes lleguen a los falsos fondos y se produzca el reacomodo de los mismos.
- Realizar la impermeabilización de todas las estructuras de los sistemas de filtración, debido a filtraciones tanto en el sistema 1 y desperfectos de la superficie del concreto en el sistema 2, lo cual está causando un deterioro de la estructura, disminuyendo su vida útil y generando vulnerabilidad en dichas unidades.
- Los materiales como antracita y arena, almacenados en la planta se pueden utilizar como reemplazo para el filtro No 4, luego de realizarles la operación de lavado correspondiente, quitando las impurezas que se produjeron por el largo tiempo que llevan almacenados.

5. MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para la realización de los manuales de operación de las plantas de tratamiento se basó en la metodología recomendada por el CEPIS en su libro: “Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida. Manual IV: Operación, mantenimiento y control de calidad” del cual se tomó las recomendaciones presentadas a continuación para su elaboración.

5.1 GENERALIDADES

Este documento se considera de gran importancia tanto para el jefe de planta como para el operador. El manual debe contener información específica sobre la planta y sobre los procedimientos para la operación del sistema.

5.2 CARACTERÍSTICAS DEL MANUAL

Para la elaboración del manual de operación de la planta, deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

5.2.1 Calibración de equipos. El manual debe contener datos reales del funcionamiento de la planta y de los equipos, como los siguientes:

- Calibración de los equipos de medición de caudal.
- Medición de tiempos de retención de las unidades mediante pruebas de trazadores.
- Calibración de válvulas.

5.2.2 Redacción del Manual. Debe tomarse en cuenta que el manual de operación es un documento dirigido fundamentalmente a los operadores de la planta, a los trabajadores de nivel técnico que ejecutan las tareas de operación. Por lo tanto, debe encontrarse redactado tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Las instrucciones deben ser directas y simples, evitando muchos conceptos teóricos.
- Hacer uso de la terminología usual de los operadores.
- Emplear diagramas, esquemas y tablas para facilitar la comprensión de los procedimientos de operación.

- Incluir formularios modelo para que el operador registre los datos que recopile de la operación de la planta.
- Efectuar un inventario de los equipos y válvulas que el operador deberá manipular.

5.3 CONTENIDO

Se recomienda el siguiente contenido mínimo:

- Datos de la institución.
- Descripción general de la planta.
- Actividades de operación.
- Puesta en marcha.
- Operación normal.
- Operación especial o eventual.
- Operación de emergencia.
- Dosificación.
- Medición de caudales y mezcla rápida.
- Otros procesos.
- Desinfección.
- Control de calidad.

Como documento anexo se presenta el manual de operación de la planta San Felipe, el cual presenta las características anteriormente mencionadas, destacando que se realizaron los manuales de operación de las plantas Centenario y Mijitayo, pero el tamaño de la información consignada en ellos es muy extensa y sería inoficioso repetir esta información ya que presenta la misma estructura del manual anexo.

6. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de la pasantía, en el Departamento de Producción de EMPOPASTO S.A. E.S.P, se pudo recopilar diferente tipo de información la cual sirve para determinar las actuales condiciones de operación de las plantas de tratamiento.

Determinar las condiciones de operación de una planta de tratamiento es muy importante, debido al valor de la información que se puede recolectar, la cual es aplicable en el momento de optimizar los procesos que se generan al interior de las mismas.

En cuanto a la sistematización de la información acerca de los equipos instalados en la plantas, se puede observar que su correcto funcionamiento depende del mantenimiento preventivo que se ejecuta periódicamente, pero este sólo es realizado por los proveedores, por lo cual es muy costoso, ya que en la mayoría de los casos estas firmas poseen la exclusividad para la distribución de estos equipos y no se tiene la posibilidad de contratar el mantenimiento con otras empresas.

La evaluación de las variables de control y medición de los diferentes sistemas implementados en las plantas de tratamiento, sirve como un primer paso en la modelación hidráulica que Empopasto S.A. E.S.P. pretende realizar, además, sirve como soporte de los nuevos contratos de mantenimiento que están pronto a realizarse.

Del estudio de los sistemas de filtración de la planta de tratamiento Centenario se puede concluir que es necesario ajustar las características de los lechos filtrantes actualmente utilizados, por medio de la ubicación de un filtro piloto, ya que las condiciones del agua desde el tiempo en que se realizó su diseño han variado notablemente.

Los manuales de operación de las plantas de tratamiento son esenciales para el correcto funcionamiento de los procesos que se generan al interior de estos, además permite determinar posibles fallas que puedan presentar las mismas bajo ciertas condiciones de operación o por una eventualidad.

Adicionalmente, se tuvo un acercamiento directo con todas las actividades concernientes a la administración de Plantas de Tratamiento de Agua y fué de gran importancia ya que sirve como una especie de estudios complementarios, que en desarrollo de la carrera de ingeniería civil no se presentaron.

BIBLIOGRAFÍA

CABAL, M. Exviceministro de Desarrollo Colombiano. Bogotá: Discurso, Foro de celebración del día mundial del agua. 24 de Marzo de 2000. 10 p.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS). Manuales II y III, Ciclo Tratamiento, Serie Filtración Rápida. Lima: CEPIS, 2005. 283p.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS). Tratamiento de agua para consumo humano. *Plantas de filtración rápida* Manual IV: Operación, mantenimiento y control de calidad. Lima: CEPIS, 2005. 279 p.

EMPOPASTO S.A. E.S.P. Información general. Pasto: Empopasto S.A. E.S.P., 2001. 30 p.

ERAZO, Belalcazar Ramiro. Proyecto:“Instalación del Sistema de Macromedición y Control de Niveles Planta Centenario”, Informe final de Interventoria. Pasto: Empopasto S.A. E.S.P., 2001. 320 p.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable RAS–2000. Bogotá D.C., 2000. 1850 Pág.

PEREZ PARRA, Jorge Arturo. Manual de Potabilización del Agua. , Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 3ra. Edición, 1997. 504 p.

THOMPSON, Mejía Mireya. Evaluación de los Filtros Rápidos de la Planta de tratamiento de agua potable Santa Luisa de la Ciudad de Guatemala. Estudio Especial Presentado a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) Como requisito previo para optar al Grado Académico de MAESTRA EN INGENIERÍA SANITARIA (*MAGÍSTER SCIENTIFICAE*), Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2001. 114 p.

VELANDIA, Grajales Jaime Wilson. Proyecto: “Implementación para el sistema para la automatización de la dosificación de coagulantes con sensores Streaming Current para la Planta Centenario”, Informe Final Contrato No. 513 . Pasto: B & C Biociencias Ltda. , 2003. 254 p.

ANEXOS

ANEXO A

**EJEMPLO DE INFORMACION GENERADA POR EL PROGRAMA PARA
ANALIZAR LA INFORMACIÓN GENERADA POR SCADA Y CD-ROM CON
INFORMACIÓN COMPLETA**



Datos del Proyecto

PRODUCCION DIARIA

Macromedidor: **Centenario-Corazón de Jesús**

Fecha Inicial: Jue,01-Dic-2005

Fecha Final: Sáb,31-Dic-2005

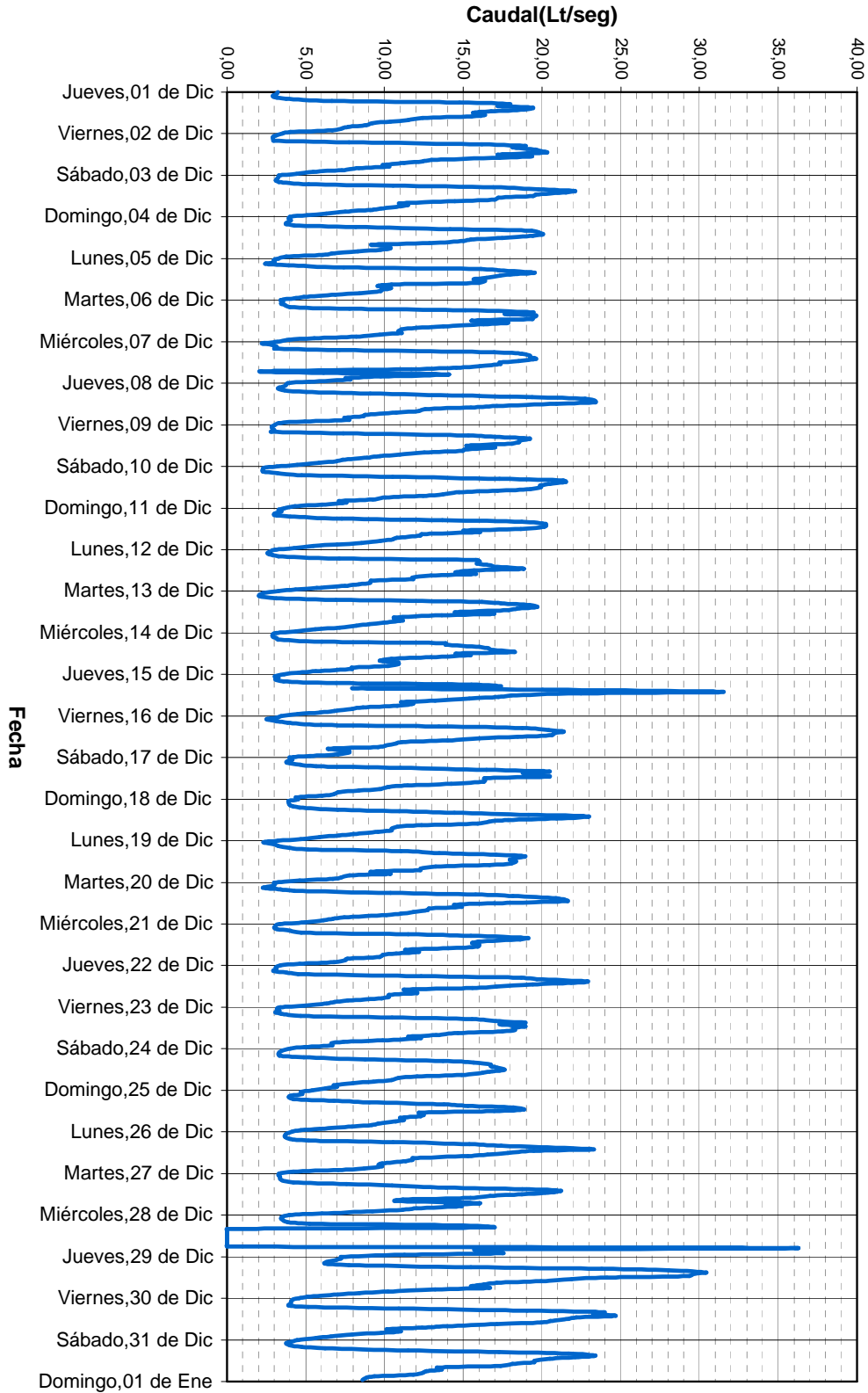
DIA	FECHA	Volumen Diario	CAUDAL MEDIO DIARIO
		(Lts)	(l/s)
Jueves	01-Dic-05	911.719	10,55
Viernes	02-Dic-05	980.523	11,35
Sábado	03-Dic-05	976.159	11,30
Domingo	04-Dic-05	900.213	10,42
Lunes	05-Dic-05	901.684	10,44
Martes	06-Dic-05	980.551	11,35
Miércoles	07-Dic-05	948.791	10,98
Jueves	08-Dic-05	956.887	11,08
Viernes	09-Dic-05	927.335	10,73
Sábado	10-Dic-05	973.830	11,27
Domingo	11-Dic-05	905.068	10,48
Lunes	12-Dic-05	894.612	10,35
Martes	13-Dic-05	901.229	10,43
Miércoles	14-Dic-05	855.992	9,91
Jueves	15-Dic-05	970.750	11,24
Viernes	16-Dic-05	942.449	10,91
Sábado	17-Dic-05	938.656	10,86
Domingo	18-Dic-05	900.620	10,42
Lunes	19-Dic-05	915.471	10,60
Martes	20-Dic-05	925.955	10,72
Miércoles	21-Dic-05	877.620	10,16
Jueves	22-Dic-05	934.978	10,82
Viernes	23-Dic-05	938.006	10,86
Sábado	24-Dic-05	890.546	10,31
Domingo	25-Dic-05	839.739	9,72
Lunes	26-Dic-05	950.963	11,01
Martes	27-Dic-05	968.370	11,21
Miércoles	28-Dic-05	548.106	6,34
Jueves	29-Dic-05	1.345.974	15,58
Viernes	30-Dic-05	1.103.621	12,77
Sábado	31-Dic-05	1.112.250	12,87

TOTAL 29.118.666 Lts

CAUDAL MEDIO DIARIO Q_{md} (l/s)	10,87		
CAUDAL MÁXIMO DIARIO QMD (l/s)	15,58	K1=	1,43
CAUDAL MAXIMO HORARIO QMH (l/s)	36,04	K2=	2,31
CAUDAL MÍNIMO DIARIO (l/s)	6,34		

DIA	Volumen Acumulado por Dia	CAUDAL MEDIO DIARIO
	(Lts)	(l/s)
Lunes	3.662.730	10,60
Martes	3.776.106	10,93
Miércoles	3.230.509	9,35
Jueves	5.120.308	11,85
Viernes	4.891.933	11,32
Sábado	4.891.441	11,32
Domingo	3.545.640	10,26

TOTAL 29.118.666 Lts



Centenario-Corazón de Jesús



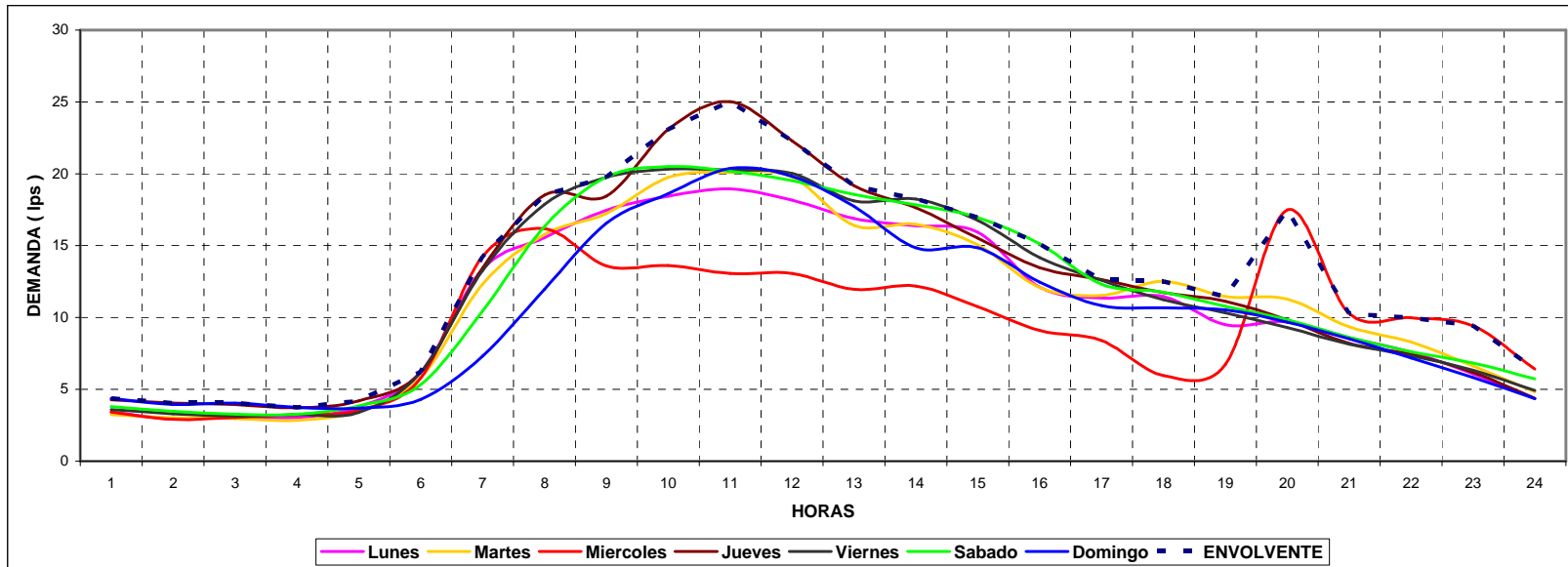
Datos del Proyecto

REGISTROS HORARIOS PROMEDIO POR DIA DEL PERIODO DE REGISTRO Y CURVAS TÍPICAS DIARIAS

Macromedidor: _____ Centenario-Corazón de Jesús
 Fecha Inicial: 1 de Diciembre de 2005 Fecha Final: 31 de Diciembre de 2005

DIA	HORA																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Lunes	3.42	2.95	3.08	3.05	3.78	6.21	13.37	15.55	17.47	18.45	18.96	18.18	16.87	16.37	15.93	12.11	11.36	11.46	9.49	9.69	8.59	7.58	6.09	4.35
Martes	3.24	3.03	2.96	2.84	3.50	5.80	12.32	15.78	17.23	19.74	20.11	19.77	16.42	16.49	15.06	12.08	11.53	12.52	11.45	11.28	9.34	8.30	6.63	4.82
Miércoles	3.41	2.91	3.05	3.25	3.53	5.77	14.23	16.19	13.58	13.62	13.08	13.07	11.96	12.18	10.75	9.09	8.39	5.95	6.73	17.50	10.28	9.97	9.43	6.42
Jueves	4.26	4.06	3.95	3.72	4.20	6.18	13.44	18.52	18.43	23.10	25.04	22.28	19.16	17.64	15.52	13.45	12.65	11.74	11.14	9.84	8.20	7.43	6.17	4.36
Viernes	3.59	3.28	3.14	3.25	3.40	6.19	13.26	17.85	19.74	20.33	20.25	20.02	18.13	18.25	16.76	14.17	12.58	11.23	10.33	9.30	8.13	7.33	6.32	4.93
Sábado	3.79	3.46	3.27	3.28	3.84	5.34	10.46	16.33	19.79	20.50	20.17	19.33	18.58	17.84	16.97	15.14	12.31	11.76	10.78	9.84	8.62	7.61	6.84	5.73
Domingo	4.38	3.93	4.05	3.73	3.69	4.29	7.32	11.95	16.57	18.63	20.37	19.83	17.74	14.85	14.85	12.46	10.82	10.69	10.52	9.68	8.52	7.17	5.84	4.34
Promedio	3.73	3.37	3.36	3.30	3.71	5.68	12.06	16.03	17.54	19.20	19.71	18.95	16.98	16.23	15.12	12.64	11.38	10.76	10.06	11.02	8.81	7.91	6.76	4.99
Maximo	4.98	4.06	4.05	3.73	4.20	6.21	14.23	18.52	19.79	23.10	25.04	22.28	19.16	18.25	16.97	15.14	12.65	12.52	11.45	17.50	10.28	9.97	9.43	6.42
Minimo	3.24	2.91	2.96	2.84	3.40	4.29	7.32	11.95	13.58	13.62	13.08	13.07	11.96	12.18	10.75	9.09	8.39	5.95	6.73	9.30	8.13	7.17	5.84	4.34
Multiplicador	0,34	0,31	0,31	0,31	0,34	0,53	1,12	1,48	1,62	1,78	1,82	1,75	1,57	1,50	1,40	1,17	1,05	1,00	0,93	1,02	0,82	0,73	0,63	0,46

Prom-Horario	Factor
10,30	1,00
25,04	2,32
2,84	0,26





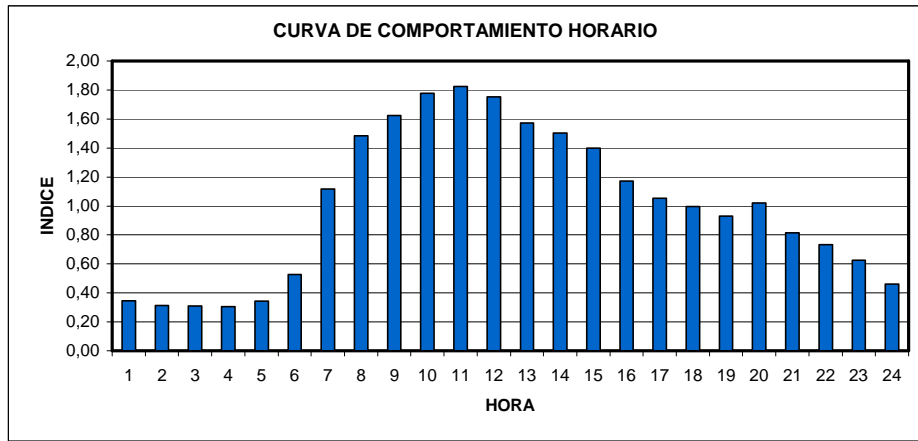
Datos del Proyecto

Macromedidor: _____
 Fecha Inicial: 1 de Diciembre de 2005 Fecha Final: 31 de Diciembre de 2005

REGISTROS HORARIOS DE CAUDALES DE DISTRIBUCIÓN
 Centenario-Corazón de Jesús

FECHA	DIA	HORA																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01-Dic-05	Jueves	3,21	3,17	2,90	3,06	3,75	6,66	14,75	17,92	17,19	19,42	18,86	16,76	15,61	16,37	15,51	12,41	11,49	10,39	9,23	8,85	7,72	7,32	6,70	4,01
02-Dic-05	Viernes	3,52	3,09	2,91	2,92	2,97	7,75	16,17	18,90	18,13	19,59	19,94	20,29	17,15	19,38	17,30	13,00	12,41	11,23	9,89	10,29	8,38	7,29	5,46	4,42
03-Dic-05	Sábado	3,31	3,27	3,16	3,08	3,29	5,18	10,53	16,91	19,78	22,07	21,53	19,62	19,45	17,22	16,99	14,47	10,98	11,50	11,05	9,80	9,10	7,51	6,30	5,08
04-Dic-05	Domingo	3,97	3,91	4,06	3,88	3,74	4,30	8,18	14,17	19,33	19,84	20,06	19,40	17,46	15,48	15,02	12,84	9,24	10,28	10,38	9,76	8,31	6,65	6,08	3,75
05-Dic-05	Lunes	3,27	2,97	3,04	2,43	3,91	7,41	16,12	17,31	19,54	18,25	17,35	16,47	15,66	16,39	15,99	10,46	9,57	10,40	9,81	9,75	8,41	6,88	4,88	4,24
06-Dic-05	Martes	3,41	3,55	3,42	3,71	4,00	7,76	15,14	19,45	17,64	19,62	19,43	19,37	15,55	17,85	16,28	13,74	12,03	11,08	10,89	11,08	9,70	8,20	5,53	3,95
07-Dic-05	Miércoles	3,19	2,20	2,89	3,15	3,04	7,11	16,98	18,70	19,25	19,25	19,61	18,51	17,30	17,37	16,05	14,55	11,68	2,20	6,13	14,04	9,75	7,56	7,83	5,23
08-Dic-05	Jueves	3,84	3,73	3,52	3,24	3,64	5,05	9,08	14,97	19,36	22,72	23,37	23,39	20,92	17,14	15,49	12,59	12,15	10,73	8,77	8,67	7,43	7,75	4,93	3,31
09-Dic-05	Viernes	3,03	2,84	2,88	2,99	2,80	7,38	15,31	17,02	19,21	18,54	18,56	18,09	15,18	17,04	15,11	14,96	12,51	10,99	9,72	8,89	7,35	6,96	5,82	4,43
10-Dic-05	Sábado	3,17	2,30	2,28	2,28	3,21	4,73	10,52	17,31	21,34	21,51	20,39	19,86	19,93	19,24	17,17	14,72	13,71	12,47	10,05	9,27	7,13	7,58	6,03	4,32
11-Dic-05	Domingo	3,61	3,26	3,45	3,04	2,99	4,02	7,29	13,68	18,73	20,22	20,28	20,13	18,66	15,07	16,01	12,37	12,26	10,77	10,56	9,76	8,54	7,00	5,47	4,24
12-Dic-05	Lunes	3,05	2,77	2,57	2,86	3,26	7,12	15,80	16,04	15,89	16,72	16,97	18,82	15,67	14,50	15,77	12,94	11,77	11,84	9,14	9,08	8,37	7,49	5,71	4,35
13-Dic-05	Martes	3,25	2,27	2,09	2,03	3,13	6,93	16,17	17,41	19,22	19,71	18,41	17,90	14,47	16,96	13,64	10,60	10,62	11,17	10,00	9,02	8,21	7,16	5,61	4,37
14-Dic-05	Miércoles	3,12	2,89	2,91	3,12	3,24	6,03	13,89	13,86	16,00	16,60	16,76	18,23	14,55	15,45	12,94	10,46	9,70	10,88	10,91	10,21	7,92	7,95	5,62	4,56
15-Dic-05	Jueves	3,63	3,03	3,25	3,05	3,61	6,93	15,53	17,22	7,93	20,05	31,54	22,49	18,06	17,23	15,40	13,22	11,08	11,83	10,79	8,64	7,94	6,83	5,89	4,49
16-Dic-05	Viernes	3,44	3,17	2,51	3,22	3,85	5,98	13,44	18,75	20,42	21,38	20,76	20,62	18,45	16,04	14,00	11,10	10,75	10,04	9,60	6,43	7,74	7,78	7,07	5,27
17-Dic-05	Sábado	3,99	4,16	3,84	3,78	4,64	5,68	11,01	16,48	20,45	18,79	20,03	20,47	16,36	16,39	16,32	14,25	11,45	10,29	9,68	8,36	7,10	6,79	6,04	4,38
18-Dic-05	Domingo	4,52	3,90	3,93	3,94	4,14	4,61	7,01	10,93	14,44	19,15	22,96	20,94	17,86	16,63	15,91	12,35	10,80	10,45	10,45	9,57	8,04	7,10	5,86	4,68
19-Dic-05	Lunes	3,23	2,31	3,03	3,23	3,97	5,14	11,02	13,48	17,07	18,92	18,21	17,96	18,34	18,07	16,66	13,26	12,30	12,26	9,12	10,34	7,79	7,25	6,73	4,63
20-Dic-05	Martes	3,01	3,02	2,98	2,26	3,39	4,29	10,36	15,78	18,14	20,89	21,41	21,60	16,95	14,43	14,88	12,81	12,76	11,83	11,03	10,12	7,44	6,73	6,12	4,95
21-Dic-05	Miércoles	3,36	3,09	2,98	3,16	4,00	4,71	11,49	15,48	19,07	18,63	15,93	15,54	16,01	15,92	14,02	11,33	12,18	10,73	9,89	9,69	7,66	7,51	6,78	4,60
22-Dic-05	Jueves	3,41	3,11	3,14	2,96	3,78	4,50	12,32	18,69	19,66	22,88	21,83	19,41	17,11	15,59	11,26	11,92	12,06	10,27	10,27	9,82	7,68	6,82	6,31	4,92
23-Dic-05	Viernes	3,40	3,17	3,34	3,06	3,47	4,69	10,48	15,56	17,05	18,94	17,30	18,95	18,17	18,27	17,45	14,66	13,27	11,50	12,30	9,89	7,41	6,62	6,69	4,93
24-Dic-05	Sábado	4,01	3,51	3,32	3,25	3,34	4,88	8,76	13,70	15,67	16,73	16,75	17,18	17,64	16,83	16,22	14,90	12,06	10,88	10,45	9,30	7,96	6,80	6,98	6,27
25-Dic-05	Domingo	5,42	4,67	4,77	4,06	3,91	4,22	6,80	9,02	13,77	15,30	18,20	18,86	16,97	12,20	12,47	12,30	10,99	11,25	10,71	9,61	9,19	7,94	5,95	4,68
26-Dic-05	Lunes	4,13	3,75	3,70	3,69	3,98	5,17	10,54	15,37	17,38	19,91	23,29	19,47	17,83	16,53	15,29	11,80	11,79	11,32	9,87	9,61	9,81	8,68	7,04	4,21
27-Dic-05	Martes	3,30	3,26	3,36	3,36	3,48	4,21	7,59	10,49	13,91	18,74	21,19	20,21	18,71	16,70	15,44	11,18	10,69	16,00	13,88	14,88	12,02	11,12	9,24	6,03
28-Dic-05	Miércoles	3,96	3,46	3,42	3,56	3,85	5,25	14,58	16,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,04	15,78	16,87	17,49	11,29
29-Dic-05	Jueves	7,21	7,24	6,92	6,28	6,19	7,75	15,50	23,80	28,03	30,42	29,59	29,34	24,13	21,88	19,94	17,13	16,44	15,50	16,64	13,20	10,22	8,42	7,01	5,10
30-Dic-05	Viernes	4,57	4,15	4,05	4,06	3,91	5,13	10,92	19,04	23,91	23,21	24,69	22,17	21,69	20,52	19,93	17,13	13,97	12,38	10,15	11,02	9,79	7,98	6,58	5,62
31-Dic-05	Sábado	4,45	4,09	3,77	4,00	4,75	6,22	11,48	17,25	21,69	23,38	22,12	20,50	19,51	19,52	18,14	17,35	13,34	13,65	12,67	12,47	11,81	9,37	8,83	8,59

Datos no típicos, que presentan alguna desviación con relación al promedio de la muestra, los cuales pueden ser producto de operaciones o mantenimiento del sistema.



ANEXO B

**IMÁGENES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LOS FILTROS DE LA PLANTA
CENTENARIO**



Velocidad de filtración.



Expansión del lecho filtrante.



Duración del proceso de lavado.

