



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Evaluación de un sistema de sifón para la extracción de sedimentos en embalses eutroficados. (Caso de estudio embalse Pao-Cachinche).

Br. Rafael Páez
Br. Sergio Romero

Naguanagua, 16 de Mayo de 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Evaluación de un sistema de sifón para la extracción de sedimentos en embalses eutroficados. (Caso de estudio embalse Pao-Cachinche).

Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Mecánico

Tutor académico:
Ing. Eduardo Fraute

Autores:
Br. Rafael Páez
Br. Sergio Romero

Naguanagua, 16 de Mayo de 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Evaluación de un sistema de sifón para la extracción de sedimentos en embalses eutroficados. (Caso de estudio embalse Pao-Cachinche).

Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Mecánico

Br. Rafael Páez
Br. Sergio Romero

Naguanagua, 16 de Mayo de 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la Tesis de Pregrado titulada ***óEvaluación de un sistema de sifón para la extracción de sedimentos en embalses eutrofizados. (Caso de estudio embalse Pao-Cachinche).ô***, presentada por los bachilleres: **Rafael Páez** y **Sergio Romero**, portadores de la Cédula de Identidad N°: **17.777.359** y **18.554.247**, respectivamente; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

Eduardo Fraute
Presidente del jurado

Miembro del jurado

Miembro del jurado

En Naganagua a los 12 días del mes de Mayo de 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la Tesis de Pregrado titulada ***óEvaluación de un sistema de sifón para la extracción de sedimentos en embalses eutroficados. (Caso de estudio embalse Pao-Cachinche).ô***, presentada por los bachilleres: **Rafael Páez** y **Sergio Romero**, portadores de la Cédula de Identidad N°: **17.777.359** y **18.554.247**, respectivamente; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

Presidente del jurado

Miembro del jurado

Miembro del jurado

En Naganagua a los 12 días del mes de Mayo de 2011

Introducción

Los embalses son sistemas creado por el hombre para acumular el agua de los ríos que de otra manera seguirían su curso natural hasta desembocar en el mar o en algún lago. De esta manera, se asegura el suministro de agua potable, agua para riego e industrias en lugares con períodos de sequía prolongados o donde es difícil y lejano el acceso a las fuentes permanentes de suministro. Con este propósito se construyó el embalse Pao - Cachinche, para abastecer a los estados Aragua, Cojedes y Carabobo mediante dos sistemas de bombeos conocidos como Sistema Regional del Centro I (SRC-I) y Sistema Regional del Centro II (SRC-II). El SRC-I está constituido por el embalse Pao-Cachinche y la planta de tratamiento Alejo Zuloaga, mientras que el SRC-II lo forman el embalse Pao- La Balsa y la planta de tratamiento Lucio Baldo Soulés. Desde la construcción del embalse Pao-Cachinche no se elaboró la compuerta para el desalojo de los sedimentos de fondo, y hasta ahora ningún ente ha dado explicaciones del porque no se consideró este tipo de infraestructura en la obra. Este es el principal problema que presenta este embalse. Adicionalmente la acumulación de los sedimentos en el fondo del embalse obstruye las compuertas de la torre de toma selectiva allí ubicada. El lodo es generado por el arrastre de los desechos y desperdicios provenientes del crecimiento urbanístico sin planificación, agricultura intensiva, granjas avícolas y porcinas, ganadería menor y deforestación de las cuencas

de drenaje, que contribuyen en el aporte excesivo de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno los cuales son los elementos más importantes para el crecimiento de algas y plantas. Este aumento excesivo de dichos elementos genera lo que se denomina como eutroficación, lo que representa un enriquecimiento con nutrientes de plantas ligados a partículas orgánicas e inorgánicas antes mencionadas. El desalojo de los sedimentos y lodos presentes en este embalse contribuiría a eliminar en parte el problema de la eutroficación y seguidamente una mejora en la calidad del agua, además de permitir que la torre de toma selectiva pueda trabajar de forma más eficiente. De lo contrario los costos de tratamiento serán mayores y el proceso más complicado para brindarle a las personas la calidad de agua exigida por las normas, según el Decreto 883, de la Gaceta Oficial N° 35.445, relativo a las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos O Efluentes Líquidos y también, en otros decretos relacionados.

Cabe destacar que el Capítulo I refleja claramente el contexto de estudio, que plantea la realidad de la problemática y objetivos de la investigación.

En el Capítulo II se hace referencia a las fundamentaciones teóricas de sedimentación, proceso de eutroficación, tecnología de sifón, ecuaciones de energía y otros puntos de interés para el desarrollo de la investigación.

El Capítulo III se da a conocer la metodología utilizada para el diseño y evaluación del sistema de sifón, parámetros y condiciones de diseño.

El Capítulo IV, muestra los resultados obtenidos por medio del desarrollo de los objetivos específicos.

En el Capítulo V, se presentan los análisis de los resultados obtenidos.

En el Capítulo VI, se presentan las conclusiones y recomendaciones respectivamente.

CAPÍTULO 1

El Problema

En el presente capítulo se muestra información inicial de la investigación a desarrollar, se plantea y formula el problema, dando a conocer su propósito, también se muestran los objetivos que se desean alcanzar, las limitaciones y delimitaciones del proyecto, así como también las razones por las cuales es necesario realizarlo.

1.1- Planteamiento del problema.

A nivel mundial la sedimentación en los embalses es una actividad propia de su dinámica. En su diseño, originalmente esta es una variable a considerar, debido a que su evaluación determina la vida útil del embalse; razón específica para estimar proporcionalmente inversiones cuantiosas y, mucho más aún, cuando se trata de abastecer a poblaciones que exigen el suministro de demandas en constante crecimiento.

La dinámica propia de cada embalse la establece, en primer lugar, el nivel total de sólidos suspendidos totales que arrastran en las escorrentías superficiales de su cuenca, los caudales aportantes y, en una segunda estimación, no menos importante que la anterior mencionada; la condición trófica del ecosistema acuático. En este

sentido, se pueden diferenciar los sedimentos transportados hasta ellos y los generados endógenamente. Los primeros se depositan rápidamente en el fondo y los segundos tienen un mayor tiempo de decantación. Estos originan mengua en la calidad del agua, transformando de manera estratificada, bien sea físicamente o químicamente la columna de agua; transfiriéndoles propiedades no deseables que originan altos costos para su tratamiento de potabilización.

En Latinoamérica existen muchos lagos y embalses eutroficados donde la condición eutrófica ha originado estratificaciones que causan problemas en la calidad del agua. En términos generales, las soluciones han estado relacionada a un cambio de aptitud de la sociedad en general, o visto del punto de vista ambiental; un cambio en uso del recurso agua por parte de los actores principales, es decir, el estado, las industrias, los ciudadanos y más específicamente, como la devuelven al medio ambiente después de su uso.

En Venezuela existen embalses con este tipo de problemas, pero más bien referidas al segundo tipo de sedimentos. Son notorios los problemas del lago de Maracaibo en el estado Zulia, el embalse la Mariposa en el estado Miranda y en Cojedes el embalse Pao Cachinche. En todos los mencionados se ha desarrollado un proceso de eutroficación cultural; es decir de origen antropogénico; quienes vierten por las escorrentías naturales nutrientes como nitrógeno y fosforo, enriqueciendo las aguas contenidos en ellos, promoviendo la proliferación de algas que al cumplir su ciclo de vida, se depositan en el fondo consumiendo todo el oxígeno molecular y transformando en anóxicas sus aguas de difícil potabilización.

El embalse Pao Cachinche ubicado en el suroeste de los límites de Carabobo y Cojedes presenta este problema. Aunado a esto, no posee compuerta de drenaje, situación que contribuye a crear una columna de variados sedimentos y, consecuentemente, a desmejorar la calidad de las aguas contenidas en el.

Esto representa un problema a resolver, ya que este embalse actualmente suministra agua a los estados Carabobo, Cojedes y Aragua. El desalojo de los

sedimentos de este embalse contribuiría a eliminar volúmenes de agua pertenecientes a la estratificación química, considerados como anóxicos y, sobretodo, los adyacentes al área de captación en la torre toma selectiva, de lo contrario los costos de tratamiento podrían ser mayores y complicarían el abastecimiento de agua potable a la región central.

En tal sentido, fue oportuno realizar la siguiente pregunta, ¿será posible diseñar un sistema ecológico, es decir, sin el uso adicional de energía usada para el abastecimiento de agua potable, que sea capaz de desalojar volúmenes de agua, supuestamente anóxicas, dada la falta de compuerta de drenaje en el embalse Pao Cachinche y, de este modo, ayudar a mitigar posibles aumentos en los costos de potabilización? La respuesta a ello será el tema principal en esta investigación.

1.2- Formulación del problema.

Con este trabajo de investigación se pretende dar respuesta la siguiente interrogante, ¿Cómo desalojar sedimentos de la columna de estratificación química de un embalse?

1.3- Objetivos.

1.3.1- Objetivo General.

- Evaluación de un sistema de sifón para la extracción de sedimentos en embalses eutroficados.

1.3.2- Objetivos Específicos.

- Identificar la situación actual del embalse Pao-Cachinche en relación a la eutroficación.
- Diagnosticar la situación actual del embalse Pao-Cachinche en relación a la eutroficación.

- Proponer alternativas de solución para la mitigación del problema de la eutroficación del embalse Pao-Cachinche.
- Seleccionar la mejor alternativa, considerando aspectos ecológicos.
- Desarrollar la alternativa de método de extracción de sólidos suspendidos totales y sedimentos para un análisis de toma de decisión.

1.4- Justificación del problema.

El afluente proveniente del Pao-Cachinche que es tratado y potabilizado en la óPlanta Alejo Zuloagaô, bajo procesos físico-químicos unitarios de: Floculación, Sedimentación, Filtración y Desinfección; ha venido desmejorando a través de los años y cada día se hace más difícil su potabilización, debido a que actualmente este embalse recibe aportes de fuentes que se encuentra contaminadas como lo son la mayoría de los ríos de la cuenca alta y media del Río Pao, el Río Cabriales y el Lago de Valencia. Este afluente actualmente, se comporta temporalmente como aguas tipo 1-C, según el Decreto 883, de la Gaceta Oficial N° 35.445, relativo a las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos O Efluentes Líquidos. Se estima que tienen esta caracterización 1-C, es decir aguas que necesitan tratamientos especiales, diferentes a los convencionales como las presentes en la Planta de Potabilización Alejo Zuloaga. El efecto de estas aguas, en los procesos de tratamiento, tiene su principal incidencia en el filtrado de las mismas, ya que el flujo de esta disminuye rápidamente, ocasionando, repeticiones de lavados de los filtros, reduciendo la producción de la capacidad instalada hasta en un 60%, lo que origina desabastecimiento.

Una investigación que permita desarrollar sinergias, de manera integral, incluyendo al problema de la sedimentación en el área adyacente a la torre toma selectiva del embalse Pao ñ Cachinche, permitirá elaborar alternativas de solución que puedan adaptarse como proyecto factible para mejorar la calidad de las aguas contenidas en el embalse y poder utilizar toda la capacidad de producción instalada.

1.5- Limitaciones.

- Tiempo necesario para desarrollar la investigación.
- Recursos logísticos para traslado hasta el embalse, así como también, desplazamiento dentro del embalse.

1.6- Delimitaciones.

La investigación está circunscrita dentro del radio de acción tendiente a elaborar y desarrollar métodos o formas de desalojar un fluido de densidad no específica, conformado por materia orgánica e inorgánica, alojada en el área del fondo adyacente a la torre toma selectiva del embalse Pao ñ Cachinche.



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CAPÍTULO 2

Bases Teóricas

En el siguiente capítulo se presentan los antecedentes y las bases teóricas que servirán para fundamentar esta investigación.

2.1- Antecedentes de la investigación.

2.1.1- Introducción.

A pesar de que se conoce extracciones de lodos por dragados u otros métodos, no existe una literatura específica para esta investigación, de allí la importancia de este trabajo de desarrollar un método que permita adaptarlo al caso estudio.

Los sedimentos de cualquier embalse son producto del arrastre de las escorrentías superficiales que drenan hacia ellos. Dentro de los principales sedimentos se encuentran en primer lugar, los materiales sueltos del suelo junto a su composición química. En segundo lugar, la materia orgánica originada por el fitoplancton y zooplancton que cumplen su ciclo de vida dentro del ecosistema acuático.

Esta segunda generación de sedimentos puede ser tan profusa como las del arrastre de las escorrentías superficiales, pero cuando se originan florecencia masiva de microalgas pertenecientes al fitoplancton, y en cualquier caso, de modos no específicos entran en combinación con la turbiedad y sólidos suspendidos totales

presentes en los embalses suelen producir en definitiva lodos en un embalse. (Entrevista realizada al Ingeniero Abnel Estaba, Jefe del Dpto. De Fuentes Subterráneas de la C. A. Hidrológica del Centro).

2.1.2- Antecedentes.

Antecedente N° 1.

Siguiendo la metodología de nuestra investigación, en consulta de textos asociados o relacionados con ella, se localizó un trabajo de investigación, titulado *Caracterización Limnológica del Embalse Pao-Cachinche* (Estados Carabobo y Cojedes), elaborado por los investigadores: Ernesto J. González Rivas, Mario V. Ortaz S, Carlos Peñaherra integrantes del Instituto de Biología Experimental de la Universidad Central de Venezuela. El estudio fue contratado por la C. A. Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO), realizado entre los años 1997-1998 y presentado en el año 2000. Se identificaron las siguientes conclusiones, transcritas textualmente como se presenta en el informe:

El embalse Pao-Cachinche no presentó períodos de circulación de sus aguas durante el período de estudio, posiblemente porque el cuerpo de agua está protegido efectivamente de la acción del viento por la topografía circundante.

A partir de los 10 m de profundidad, siempre se registraron condiciones de hipoxia y de anoxia en la columna de agua de las estaciones limnéticas (profundas).

Las aguas del embalse son de baja salinidad, pues su conductividad estuvo por debajo de los $500 \text{ } \mu\text{S/cm}$.

Se comprobó la contaminación por enterobacterias, y esta contaminación fue mayor en el brazo este del embalse (Paya) que el brazo oeste (torre ñ toma).

Las aguas del embalse presentaron altas concentraciones de nutrientes, especialmente de fósforo, los cuales tienen su origen en la descarga de los afluentes sin tratamiento previo y de múltiples actividades antrópicas en la cuenca de drenaje. Las altas concentraciones de fósforo total registradas permitieron clasificar este

cuerpo de agua como hipereutrófico, de acuerdo al criterio de **Salas y Martino**. (Salas, J., Martino, P., 1981-1990)

La dinámica de los nutrientes en el embalse estuvo determinada por los períodos de lluvias y de sequía, los cuales determinan los procesos de dilución y concentración de los iones. Al inicio de la temporada de lluvias, el aumento de los caudales de los afluentes arrastró los nutrientes y materia orgánica acumulados en la cuenca de drenaje, y provocaron un aumento en casi todos los parámetros estimados, para después diluirse con el transcurrir de la estación de lluvias.

El fitoplancton estuvo dominado por cianobacterias durante todo el período de estudio. La alta biomasa y la alta abundancia del fitoplancton generaron una alta productividad primaria, con valores comparables a la del productivo y eutrófico Lago de Valencia.

Como puede observarse (**González et al, 2000**) determinan algunas variables dándole, además de sentido de conclusión, connotaciones características al embalse entre ellas:

- a) El embalse Pao Cachinche para esa fecha se encontraba hipereutroficado.
- b) La hipereutroficación, más que todo se debe a la presencia de nutrientes como Nitrógeno y Fósforo.
- c) Existe alto desarrollo del nivel primario del medio acuático, es decir, el fitoplancton debido a la presencia de estos nutrientes.
- d) Determinan que a partir de los 10 m de profundidad existe anoxia e hipoxia.

Además de existir otras conclusiones determinativas pero que tienen que ver más, con los aspectos biológicos-limnológicos, en el trabajo existen elementos relacionantes con respecto a los sedimentos. Dentro de los más destacados indican que la remoción selectiva de las aguas hipolimnéticas podría disminuir la alta producción primaria. Aunque no parezca estar relacionado con sedimentos en sus explicaciones; para los efectos de esta investigación se asocia, ya que, la alta productividad primaria induce a sedimentación de materia orgánica para formar

sedimentos mixtos de gran complejidad para de este modo contribuir con la anoxia, o bien aguas de baja calidad.

Como puede observarse la investigación mencionada guarda relación con la producción de un tipo de sedimentos, mas no así con la extracción de los mismos de un embalse.

Antecedente N° 2.

Cruz, L., Enrique, B. (2005) son autores de un trabajo de investigación pertenecientes a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima-Perú. Estos realizaron un trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico de Fluidos titulado: óDiseño hidráulico del sifón acueducto Ccochanccay, Proyecto de Irrigación Yaurihuiriô, los cuales desarrollaron estudios topográficos de la zona referentes a la curvas de nivel y perfil del terreno, para el diagnóstico sobre la geología general y geotécnica en el sitio de la obra dando un resultado positivo en el desarrollo del proyecto. Además realizaron la traza del sifón y diseñaron la forma y dimensiones de la sección transversal del conducto dependiendo del caudal que debe pasar y de su velocidad.

Los mismos concluyen que con la construcción del sistema de puente colgante en esta obra, permitió solucionar el paso a desnivel por la presencia del Cañón Ccochanccay, evitando continuar construyendo un canal de 4.211 km y un Túnel aproximadamente de 50 m que económicamente seria más costoso y su construcción era de larga prolongación.

Aunque el estudio no guarda relación alguna con el tema específico de sedimentos y su extracción, se determina el uso de elementos no convencionales para transporte de grandes caudales, usando la gravedad, como una aplicación directa de transformación de energía potencial en cinética, diseñando un sifón de grandes dimensiones, logrando salvar topografía de cotas superiores, evitando costos tanto de uso de energía para bombeo o, construcción de obras de ingentes costos.

2.2- Bases Teóricas.

2.2.1- Embalse.

Los embalses son sistemas "creados" por el Hombre para acumular el agua de los ríos que de otra manera seguirían su curso natural hasta desembocar en el mar o en algún lago. De esta manera, se asegura el suministro de agua potable, agua para riego e industrias en lugares con períodos de sequía prolongados o donde es difícil y lejano el acceso a las fuentes permanentes de suministro. Igualmente, los embalses le permiten al hombre proveerse de energía eléctrica, puede controlar las inundaciones, criar peces para alimentarse, realizar actividades de recreación, u otras. Generalmente, en un mismo embalse se combinan y alternan distintas aplicaciones (uso múltiple). No obstante la función utilitaria que sin duda cumplen los embalses, debe ponderarse ecológicamente, ellos constituyen una alteración profunda del entorno natural y deben ser objeto de un buen seguimiento limnológico (investigación del medio lacustre en lo que se refiere tanto las condiciones físicas y químicas del entorno como a las relaciones trofodinámicas de las poblaciones que viven en el mismo) a partir del momento en que se inicia la fase de llenado y durante toda su vida útil, a fin de que cumpla por el mayor tiempo posible las funciones utilitarias para las cuales ha sido construido, causando el menor impacto ambiental posible ó bien mitigarlo. (Compendio de Definiciones Limnológicas, 1990)

2.2.1.1- Geomorfología.

El origen de los embalses y su morfometría son de gran interés. La geomorfología está íntimamente relacionada a los eventos físicos, químicos y biológicos dentro del embalse y juega un papel importante en el metabolismo de los lagos. Adicionalmente regula o establece la distribución de sedimentos en el fondo.

La geomorfología controla la naturaleza del drenaje de un embalse, la entrada de nutrientes, el volumen de agua que entra en relación a la que sale (tiempo de renovación), entre otros.

La estratificación y el comportamiento térmico están determinados por la morfometría y el volumen del aporte de agua. Ello a su vez, determina la distribución de gases disueltos, nutrientes y organismos. (Compendio de Definiciones Limnológicas, 1990)

2.2.2- Sedimentos.

Son partículas no consolidadas creadas por la meteorización y la erosión de rocas, por precipitación química de soluciones acuosas o por secreciones de organismos, lisis celular del microplancton, descomposición de macrófitas, y transportadas por el agua, el viento o los glaciares.

Se entiende por sedimentación la separación por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos

referimos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

2.2.2.1- Sedimentación de partículas discretas.

Se llama partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída.

Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta.

2.2.2.2- Sedimentación de partículas floculentas.

Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas (forma, tamaño, densidad) sí cambian durante la caída.

Se denomina sedimentación floculenta o decantación al proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida.

2.2.2.3- Sedimentación por caída libre e interferida.

Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal.

Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión o zona de compresión. Este tipo de

sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos.

2.2.2.4- Sedimentación de partículas floculentas con caída interferida.

En bajas concentraciones de partículas, estas sedimentan o decantan libremente; en cambio, con alta concentración de partículas floculentas (superiores a 500 mg/L), las partículas se encuentran a distancias tan reducidas que se adhieren entre sí y sedimentan masivamente. Así, se crea una clara superficie de separación entre los flóculos y el líquido que sobrenada y esto da origen al fenómeno de sedimentación conocido con los nombres de decantación interferida o zonal.

Klinch establece las hipótesis fundamentales para la decantación interferida, en la cual la velocidad de caída de una partícula depende principalmente de la concentración de las partículas.

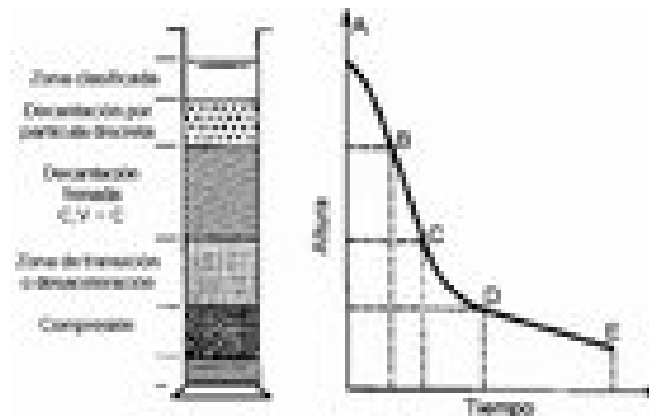


Figura 2.1. Decantación por caída interferida. (Pérez, 2005)

Al llenar una columna de sedimentación de altura y diámetro adecuados con una suspensión floculenta de elevada concentración, se tiene inicialmente una concentración uniforme en toda la altura de la columna h_0 . En diferentes tiempos se mide la altura de la capa superior de los lodos y se obtiene una curva como la que aparece en la figura 2.1, que tiene los siguientes rasgos:

Zona A-B. La superficie de separación es muy definida. Esta es una fase de coalescencia de los flóculos seguida de una zona muy pequeña de decantación libre (en la mayoría de casos, esta primera zona no se produce).

Zona B-C. Tiene una pendiente rectilínea. Corresponde a una velocidad de caída constante definida únicamente por el tipo de floculación y la concentración de las partículas. Al incrementarse la concentración inicial de las partículas disminuye la velocidad. A esta zona se la denomina decantación frenada.

Zona C-D. En esta zona se produce la disminución progresiva de la velocidad de caída. Se denomina zona de desaceleración o transición.

Zona D-E. En esta zona los flóculos se tocan y ejercen presión sobre las capas inferiores, puesto que están soportados por estas. Se le llama zona de compresión.

Si consideramos, por simplicidad, que al decantarse una suspensión concentrada no se produce la primera zona, se obtienen las alturas de separación de interface como se indica en la figura 2.2.

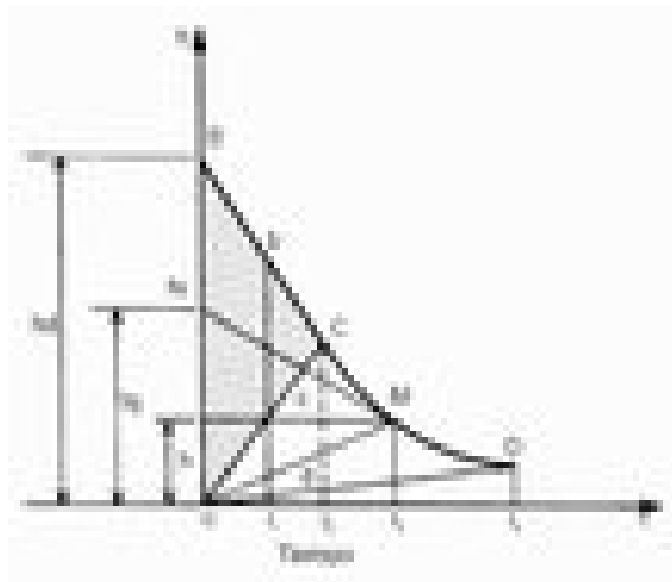


Figura 2.2. Análisis de la curva de decantación interferida. (Pérez, 2005)

En el triángulo BOC, la concentración y la velocidad de caída son constantes e iguales, respectivamente, a los valores iniciales en B.

En el triángulo COD, las curvas de equiconcentración son rectas que pasan por el origen, lo que significa que, desde los primeros momentos de la sedimentación, las capas más próximas al fondo se tocan y pasan por todas las concentraciones comprendidas entre la concentración inicial y la concentración al punto D, principio de la compresión. (Pérez, 2005)

2.2.3- Estratificación.

Es la conformación en estratos (grupos verticales) bien diferenciados de acuerdo a criterios establecidos y reconocidos, que ayudan a estudiar la composición de un entorno y que debe ser agrupado según diversos criterios para lograr su estudio, descripción y comprensión. Es decir, son diferencias en las propiedades tales como, temperatura, gases disueltos o solutos, que varían con la profundidad del agua en los lagos y embalses.

2.2.3.1- Estratificación Térmica y Estratificación Química.

Existen dos tipos de gradientes que causan la estratificación: los físicos, producidos por la temperatura; y los químicos, producidos por la diferente composición química de las aguas superficiales y profundas.

La estratificación térmica es inversa (más baja en la superficie que hacia el fondo) en lagos polares con cubierta permanente o casi permanente de hielo. En regiones templadas (4 estaciones) se establece una estratificación directa en verano es decir: un estrato de temperatura uniforme y alta en la superficie (epilimnion); un estrato intermedio con gradiente pronunciado de temperatura (termoclina) y un estrato de temperatura uniforme y más baja en el fondo (hipolimnion).

En lagos tropicales suelen presentarse largos períodos de estratificación directa, con poca diferencia de temperatura (pero no de densidad) entre la superficie y el

fondo. Por ello, no debiera uno referirse a la termoclina en lagos tropicales, sino más bien a la picnoclina.

Independientemente del comportamiento térmico, la estratificación química es frecuente en los embalses tropicales, la cual se hace más marcada cuando la profundidad es mayor y el tiempo de retención hidráulica es muy prolongado. Los embalses en el trópico por lo regular se localizan en zonas intervenidas por el hombre; por ello, están expuestos constantemente al arrastre de sedimentos, de aguas negras y nutrientes de campos de cultivo, favorecido todo ello por las altas pluviosidades. Embalses con poca circulación acumulan estos materiales en el fondo, donde se descomponen, creando un ambiente anóxico, que puede perdurar por meses o años.

Los Modelos de mezcla en lagos de acuerdo al número de mezclas por año referente a la estratificación química son:

- Holomicticos (circulación del agua completa, hasta el fondo).
- Meromícticos (lagos químicamente estratificados) se presenta cuando tienen una zona de agua de fondo químicamente estable ó agua muerta del fondo que permanece así durante mucho tiempo.

2.2.3.2- Estabilidad de un lago estratificado.

La magnitud de la estratificación de un embalse y su resistencia a la mezcla pueden estimarse de la estabilidad (S). La estabilidad por unidad de área de un lago es la cantidad de trabajo o energía mecánica (en ergios) requerida para mezclar todo el volumen de agua hasta temperatura uniforme por el viento, sin adición ni sustracción de calor. La estabilidad está muy influenciada por el tamaño y la morfometría (es mayor en lagos grandes).

2.2.3.3- Modificaciones en la estratificación.

La estratificación de verano" puede modificarse por formación de termoclinas secundarias o múltiples cuando se alternan períodos de intenso calentamiento con períodos de mezcla. (International Environmental Technology Centre, 2001)

2.2.4- Eutroficación.

La eutroficación de lagos y embalses consiste en el enriquecimiento con nutrientes de plantas, principalmente fósforo y nitrógeno, que ingresan como solutos y están ligados a partículas orgánicas e inorgánicas. El crecimiento abundante de plantas acuáticas a menudo deteriora la calidad. Los mayores aportes de nutrientes en las aguas continentales generalmente se deben alteraciones producidas en las respectivas cuencas, tales como deforestación, desarrollo agrícola e industrial y urbanización. Las condiciones ambientales dentro de los cuerpos de agua, en el aire y en la cuenca influyen en la eutroficación. Entre los factores que regulan los impactos del enriquecimiento por nutrientes dentro de los lagos se encuentran la estructura de la cadena trófica, los intercambios entre sedimentos y agua, la forma de la cuenca y los movimientos del agua dentro del lago o embalse. Las condiciones climáticas e hidrológicas en la cuenca afectan aún más los impactos de la eutroficación.

La eutroficación de las aguas continentales es uno de los problemas ambientales más comunes y ejerce impactos ecológicos, sanitarios y económicos significativos y negativos en un recurso primario y finito: el agua. El agua pura y dulce es esencial para muchos organismos y para las sociedades humanas, cuya existencia se ve amenazada cuando su calidad se deteriora. Los síntomas de la eutroficación incluyen conglomerados de algas y toxinas derivadas de floraciones de algas, infestaciones masivas de ciertas plantas acuáticas, creciente incidencia de enfermedades relacionadas con el agua, agua turbia, olores desagradables y mal sabor del agua, agotamiento del oxígeno disuelto y contaminación y mortandad de peces. Sin embargo, la eutroficación produce algunos impactos positivos que pueden ser importantes, tal como una mejor producción de plantas y peces. De hecho, en muchos

países, los peces y otros organismos acuáticos constituyen importantes fuentes de alimentos.

La mayoría de las estrategias para el manejo de la eutroficación se han aplicado en climas templados para economías altamente desarrolladas y deberán ser modificadas para adecuarlas a otras regiones o a otras condiciones económicas. Por ejemplo, mientras que en América del Norte y Europa la atención se centra en el control de fósforo, en aguas tropicales el nitrógeno suele ser el factor limitante en tanto que la importancia relativa del fósforo y del nitrógeno puede variar con el tiempo. Por lo tanto, antes de emplear una estrategia de gestión en un lago o embalse en particular se deberían evaluar sus condiciones específicas. Las variaciones en las condiciones biológicas, químicas y físicas son características de los ecosistemas acuáticos, estén o no alterados por las actividades humanas. Por consiguiente, diferenciar la influencia de un proyecto de desarrollo de los cambios naturales puede ser difícil. Por lo tanto, al evaluar las opciones de gestión es conveniente conocer cómo funciona un lago o embalse a partir de datos descriptivos históricos, de manipulaciones experimentales y de modelos integrados.

2.2.4.1- El rol de los sedimentos en la eutroficación.

Los sedimentos desempeñan un papel importante en el proceso de eutroficación de lagos y embalses. Los lagos en los que se han implementado grandes controles al ingreso de nutrientes pueden ver demorada su recuperación por los niveles de nutrientes contenidos en sus sedimentos. El sedimento es material que se ha acumulado por deposición en el agua. Virtualmente, todos los sedimentos están compuestos por cantidades variables de materia orgánica, minerales, fragmentos de rocas y carbonates y otros precipitados, como los óxidos de hierro, manganeso y aluminio. El tamaño de las partículas del sedimento constituye la característica más importante para comprender las interacciones sedimento-agua que llevan a la eutroficación de lagos y embalses. Las fracciones por tamaño de partículas más comúnmente usadas para caracterizar sedimentos son: fracción arcilla, con partículas

inferiores a 2 μm ; fracción limo, cuyas partículas varían entre 2 μm y 63 μm ; fracción arena, cuyas partículas varían entre 63 μm y 2,00 mm; y fracción grava, con partículas mayores de 2,00 mm.

La fracción de tamaño de partícula más importante en la eutroficación es la fracción arcilla, que consiste principalmente en minerales de arcilla y materia orgánica. Algunos minerales de arcilla aparecen generalmente en la fracción limo. En condiciones específicas en lagos y embalses, el hierro y el manganeso precipitan en la superficie de las partículas de minerales de arcilla como hidróxidos. Este fenómeno genera un revestimiento sobre las partículas. También es común el revestimiento de las partículas de grano fino con materia orgánica. Los revestimientos brindan un sitio fisicoquímico altamente activo tanto para la adsorción como para la liberación del fósforo y de una amplia gama de metales traza y contaminantes orgánicos de baja solubilidad. El revestimiento de hidróxido de hierro es de suma importancia por su capacidad para adsorber fósforo.

2.2.4.2- Fuente y transporte de sedimentos.

Generalmente, el sedimento que ingresa a un lago o embalse proviene de ríos, de la erosión costera, de la erosión bajo agua y de la deposición atmosférica. Los ríos son normalmente la fuente de sedimentos más importante para un lago. Las características físicas y químicas de los sedimentos reflejan la composición geológica y geomorfológica de la cuenca. La modificación de la superficie terrestre por el hombre -deforestación, agricultura intensiva y la cría de animales- tiene un gran impacto que resulta en la exposición del suelo desnudo susceptible a erosión por aire y agua. La erosión de las márgenes puede acelerarse en las regiones no protegidas y el acceso de animales al curso de agua puede producir una mayor erosión de las márgenes y la incorporación directa de desechos animales y elementos patógenos. La urbanización de la cuenca reduce la superficie de terreno disponible para la infiltración de las lluvias y del agua superficial, lo que a su vez se traduce en un mayor escurrimiento con rápidos aumentos en el nivel del río debido a las

precipitaciones. En la mayoría de los sistemas fluviales el principal ingreso de sedimentos totales a un lago o embalse ocurre durante un pequeño número de tormentas.

Las partículas de tierra erosionadas por el viento pueden ser transportadas a grandes distancias. Las partículas que se originan en actividad volcánica y son emitidas a la atmósfera superior son transportadas por todo el mundo. Las partículas de suelo provenientes de la atmósfera son de grano fino y pueden tener altas concentraciones de carbono orgánico, fósforo, nitrógeno y micro-contaminantes orgánicos derivados de herbicidas y pesticidas usados para fertilización y control de plagas en la agricultura. Estos depósitos aerotransportados son las principales fuentes de nutrientes en lagos remotos con poca urbanización y también son responsables de la acumulación de contaminantes en partes remotas del planeta. El control de esta fuente debe ser internacional y va más allá de las iniciativas locales y regionales para controlar la eutroficación.

2.2.4.3- Nutrientes en sedimentos.

Los sedimentos juegan un importante papel en la acumulación y regeneración de nutrientes. La materia orgánica producida por las algas en el lago se deposita en el sedimento y se descompone por procesos aeróbicos y anaeróbicos durante los cuales se producen diferentes compuestos de carbono, nitrógeno y fósforo. Además, la materia orgánica en descomposición afecta los cambios en las concentraciones de oxígeno y en el potencial redox y puede generar condiciones anóxicas en la interfaz sedimento-agua. Esto, a su vez, afecta la liberación de nitrógeno y fósforo de los sedimentos en el agua que se encuentra por encima de ellos. Uno de los procesos más importantes, que se produce en condiciones anóxicas, es la solubilización de los revestimientos de hidróxido de hierro y de manganeso que cubren partículas de sedimentos de granulometría fina. En condiciones anóxicas, el hierro trivalente y el manganeso tetravalente no solubles cambian a hierro y manganeso divalentes

solubles con una sustancial liberación de elementos y compuestos adsorbidos o co-precipitados, particularmente fósforo.

2.2.4.4- Contaminantes en sedimentos.

Los contaminantes son diferentes elementos y compuestos orgánicos e inorgánicos que son tóxicos para plantas y animales acuáticos. Se dividen en dos amplias categorías: metales traza y micro-contaminantes orgánicos. Los segundos son producidos por el hombre, son xenobióticos y consisten en una amplia gama de compuestos que incluyen herbicidas, pesticidas, compuestos industriales y sus metabolitos, los que en total representan muchos miles de otros compuestos. Los elementos individuales y los compuestos pueden funcionar en forma simultánea, lo cual puede ampliar o reducir su impacto en el medio ambiente.

La mayoría de los compuestos orgánicos persistentes son poco solubles en agua (por ejemplo, los compuestos lipofílicos), son solubles en grasa y se bioacumulan fácilmente en los tejidos grasos de los cuerpos de los animales. Esta característica se incrementa por la bio-magnificación, que produce considerables aumentos en las concentraciones de los organismos ubicados en la parte superior de la cadena trófica. (International Environmental Technology Centre, 2001)

2.2.5- Factores limitantes.

Los suministros de luz y nutrientes determinan el crecimiento de algas y plantas vasculares acuáticas. Por lo tanto, estos recursos pueden ser considerados factores limitantes en el desarrollo de las plantas. Si bien un factor pocas veces limita en forma consistente los crecimientos de plantas en las variadas e interactivas condiciones imperantes en los ecosistemas acuáticos, el control dominante en un determinado momento y lugar determinado a menudo se puede atribuir a un solo factor.

La disponibilidad de luz juega un papel clave en el desarrollo de plantas acuáticas sumergidas, vasculares, que generalmente son sus raíces y pueden acceder a los

sedimentos para obtener nutrientes. Por consiguiente, las aguas enturbiadas por sedimentos en suspensión o por floraciones de algas o ensombrecidas por plantas acuáticas flotantes no son propicias para las plantas vasculares acuáticas suspendidas. En contraste, las plantas flotantes están bien posicionadas para recibir luz solar y dependen del agua rica en nutrientes para obtener nitrógeno inorgánico y fósforo. La abundancia de fitoplancton y la composición de las especies cambian en función de las relaciones entre nutrientes aportados y condiciones de luz debajo del agua. Algunas especies de cianobacterias ñ un grupo de alga cuyos miembros producen condiciones nocivas ñ pueden regular la flotabilidad y a menudo se tornan habituales a medida que la turbiedad aumenta. Aparentemente, ciertas diferencias sutiles en las relaciones, tales como nitrógeno o fósforo pueden alterar las relaciones competitivas entre las especies de algas. (International Environmental Technology Centre, 2001)

2.2.6- Clasificación de la Eutroficación.

Los lagos y embalses pueden clasificarse, en general, en ultraoligotróficos, oligotróficos, mesotróficos (cuerpo de agua con un nivel intermedio de productividad, mayor que el de un lago oligotrófico), eutróficos o hipereutrófico según la concentración de nutrientes en el cuerpo de agua y/o según las manifestaciones ecológicas de la carga de nutrientes.

En términos generales, los lagos y embalses oligotróficos se caracterizan por bajos aportes de nutrientes y de productividad primaria, alta transparencia y biota diversa. En contraste, las aguas eutróficas tienen altos aportes de nutrientes y productividad primaria, baja transparencia y gran biomasa de pocas especies con una mayor proporción de cianobacterias que las aguas oligotróficas.

Aunque las características fundamentales de la eutroficación en lagos y embalses son similares, las diferencias en las formas de la cuenca y en los patrones de la corriente pueden provocar variaciones longitudinales en el grado de eutroficación de los embalses (Figura 2.3). Además, los requerimientos del suministro de agua y de generación eléctrica suelen ocasionar grandes variaciones en el nivel de agua en los

embalses. Estos cambios de nivel usualmente exponen o inundan a las regiones del litoral, lo que puede incrementar el aporte de nutrientes.

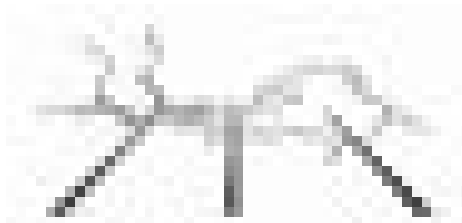
Es posible contrastar las características del estado trófico de muchos lagos tropicales con las de los lagos en zonas templadas. En muchos lagos tropicales se agota el oxígeno disuelto en el hipo-limnio independientemente de su estado trófico. La mayor disponibilidad de luz y temperaturas más altas durante 'todo el año pueden llevar a una menor variabilidad estacional en el desarrollo de floraciones de algas y a un reciclaje más eficiente de nutrientes que en los lagos templados. Los crecimientos prolíficos de plantas vasculares acuáticas pueden ser una circunstancia normal y no una señal de que la eutroficación es de origen antrópico. (International Environmental Technology Centre, 2001)

2.2.7- Efectos de la Eutroficación.

2.2.7.1- Floraciones de Algas.

Uno de los resultados generalizados del enriquecimiento de lagos con nutrientes es un mayor crecimiento de algas. Las cianobacterias constituyen un grupo especialmente problemático que puede alcanzar altas concentraciones, formar antiestéticos aglomerados superficiales, agotar seriamente el oxígeno, producir mortandad de peces y la muerte de ganado y otros animales debido a la ingesta de toxinas algales. Las molestias gastrointestinales de los seres humanos pueden deberse a que se bebe agua que contiene floraciones de cianobacterias. El contacto con el agua o aún los aerosoles emitidos por floraciones de cianobacterias puede producir reacciones alérgicas en algunas personas. Las cianobacterias y las especies filamentosas de clorofilas, o algas verdes, pueden producir sabores y olores desagradables en el agua y en los peces, así como obturación de filtros en las plantas industriales o de tratamiento de aguas. Los dinoflagelados constituyen otro grupo de interés que desarrolla las llamadas "mareas rojas", que pueden incluir cepas tóxicas. Uno de los subproductos de las floraciones de algas densas es altas concentraciones de carbono orgánico disuelto (COD). Cuando el agua con un alto contenido de (COD)

se desinfecta mediante cloración, se forman trihalometanos potencialmente cancerígenos y mutagénicos.



ÇCuenca angosta y canalizada. ÇFlujo relativamente alto. ÇAlta concentración de sólidos en suspensión; escasa disponibilidad de luz en profundidad. ÇAporte de nutrientes por advección;niveles de nutrientes relativamente altos. ÇProductividad primaria limitada por la luz. ÇPérdidas de células principalmente por sedimentación. ÇAporte de materia orgánica, especialmente alóctona. ÇMás eutrófica.	ÇCuenca más ancha y profunda. ÇFlujo reducido. ÇSólidos en suspensión reducidos; disponibilidad de luz en profundidad. ÇAporte advectivo de nutrientes reducido. « Productividad primaria relativamente alta. ÇPérdidas de células por sedimentación y predación, ÇIntermedia. Ç Intermedia.	ÇCuenca tipo lago, amplia y profunda ÇPoco flujo ÇRelativamente clara; mayor disponibilidad de luz en profundidad ÇAporte de nutrientes por reciclaje a intervalos; niveles de nutrientes relativamente bajos ÇProductividad primaria limitada por nutrientes ÇPérdidas de células principalmente por predación ÇAporte de materia orgánica principalmente autóctona ÇMás oligotrófica
---	--	--

Figura 2.3. Zonificación longitudinal en factores ambientales que controlan el estado trófico de los embalses (en: Ryding and Rast, 1989). (International Environmental Technology Centre, 2001)

2.2.7.2- Toxinas Algales.

Las toxinas en el agua dulce son generadas casi exclusivamente por las cianobacterias. Varios géneros y especies de cianobacterias producen diferentes compuestos tóxicos clasificados generalmente como neurotoxinas, hepatotoxinas, citotoxinas y endotoxinas. Aunque las neurotoxinas son muy tóxicas, en general su degradación en la columna de agua es rápida. Sin embargo, las saxitoxinas son una excepción ya que su descomposición requiere de varias semanas. Además, la remoción de hepatotoxinas de los embalses que contienen cianobacterias tóxicas es difícil porque algunas formas son estables y resistentes a la hidrólisis química u oxidación y pueden persistir durante meses o años y permanecer potentes aún después de ser sometidas a ebullición.

El alcaloide cilindro-espermopsina es considerado una citotoxina porque ataca las células de todo el cuerpo. Se ha observado gastroenteritis, disfunción renal y hepatitis en animales y en la población humana intoxicada con agua que contiene cianobacterias con producción de cilindro-espermopsina. Las endotoxinas lipopolisacáridas producen irritaciones de la piel y reacciones alérgicas en los tejidos humanos y animales que entran en contacto con estos compuestos.

Varios factores ambientales, tales como luz, temperatura, concentración de nutrientes, o pH, pueden influir en el grado de producción de toxinas, pero la estructura genética de una floración parece ser el principal factor que determina su toxicidad. Por lo general, casi la mitad de todas las floraciones analizadas es tóxica y la aparición de floraciones tóxicas es cada vez más frecuente. El contenido de toxinas es mayor en las células de cianobacterias en crecimiento activo y su liberación en el agua parece ocurrir durante el período de envejecimiento, muerte y lisis de las células.

2.2.7.3- Crecimiento de Plantas Acuáticas.

Densas matas de plantas acuáticas flotantes, tales como el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), el helécho acuático (*Salvinia molesta*) y el repollo del Nilo

(*Pistia stratiotes*), pueden cubrir grandes superficies cerca de la orilla y flotar en el agua. Estas matas impiden que la luz llegue a las plantas vasculares sumergidas y al fitoplancton y, a menudo, producen grandes cantidades de detrito orgánico que pueden generar anoxia y emisión de gases, tales como metano y ácido sulfhídrico. El material obtenido de estas plantas es generalmente de baja calidad nutricional y no es un componente importante del alimento para el zooplancton o los peces. Las acumulaciones de macrófitas acuáticas pueden restringir el acceso para actividades pesqueras o usos recreativos de los lagos y embalses y pueden obstruir los canales de riego y de navegación así como las tomas de las centrales hidroeléctricas.

2.2.7.4- Anoxia.

Uno de los subproductos del crecimiento abundante de algas y macrófitas acuáticas es la generación de más materia orgánica. A medida que esta materia orgánica se descompone en la columna de agua o en los sedimentos, la concentración de oxígeno disuelto disminuye. En lagos poco profundos y cuando la producción de plantas es grande se puede producir la completa desoxigenación de los sedimentos y del agua más profunda. Tales condiciones no son compatibles con la supervivencia de peces e invertebrados. Además, en condiciones anóxicas, las concentraciones de amoníaco, hierro, manganeso y ácido sulfhídrico pueden crecer a niveles que son perjudiciales para la biota y las centrales hidroeléctricas. Aún más, los sedimentos anóxicos liberan al agua fosfato y amonio produciendo un mayor enriquecimiento del lago.

2.2.7.5- Cambios en las Especies.

A menudo las variaciones en los ecosistemas producidas por la eutroficación generan cambios en la abundancia y composición de las especies de organismos acuáticos. La reducción de los niveles de luz bajo el agua debido a densas floraciones de algas o a macrófitas flotantes puede disminuir o eliminar las macrófitas sumergidas. Los cambios en la calidad de los alimentos asociados con cambios en la composición de las algas o de las macrófitas acuáticas y las disminuciones en la

concentración de oxígeno a menudo alteran las especies de peces. Por ejemplo, pueden llegar a predominar las especies menos deseables, tal como la carpa. Sin embargo, en algunas situaciones tales cambios pueden ser considerados beneficiosos.

2.2.7.6- Hipereutrofia.

Los lagos y embalses hipereutróficos representan la última etapa del proceso de eutroficación. A diferencia de otros sistemas eutróficos, donde las reducciones en la carga de nutrientes pueden revertir el proceso, esas medidas pocas veces son factibles en los lagos hipereutróficos. Los sistemas hipereutróficos generalmente reciben nutrientes provenientes de fuentes difusas o no-puntuales incontrolables, como son los suelos excesivamente fertilizados o naturalmente ricos. Los lagos pueden verse afectados por floraciones perjudiciales de cianobacterias, por episodios de colapsos de floraciones de algas que provocan la muerte masiva de peces, por mortandad de ganado por toxinas algales, por playas sucias y por usos recreativos. Sin embargo, suponiendo que haya un saneamiento adecuado para minimizar los riesgos para la salud, pueden ser parte integral del paisaje y brindar santuarios para aves y un importante habitat acuático. Los lagos hipereutróficos de agua dulce existen en todo el mundo y, si se los maneja correctamente, como ocurre en algunas partes de China, pueden proporcionar bancos de pesca valiosos y muy productivos.

Hay varias características que diferencian los lagos hipereutróficos de otros sistemas eutróficos. En primer lugar, la mayoría de los sistemas hipereutróficos son poco profundos y no están estratificados, salvo por cortos períodos. Los sedimentos se resuspenden periódicamente por la acción del viento. No gozan del beneficio del almacenamiento a largo plazo de la materia orgánica acumulada en los sedimentos profundos. En segundo lugar, la carga externa de nutrientes suele ser varios órdenes de magnitud mayor que los niveles críticos de los lagos eutróficos poco profundos. Frecuentemente, la carga externa ingresa al lago a través de muchas fuentes difusas incontrolables y puede exceder la carga de las fuentes puntuales controlables. A menudo se observan importantes aportes de fósforo y una deficiencia relativa de

nitrógeno, lo que da por resultado una relación nitrógeno: fósforo baja. Por último, como resultado de la excesiva carga de nutrientes, el crecimiento de algas aumenta de manera exponencial.

La figura 2.4 presenta tres patrones comunes de desarrollo de poblaciones algales. El tipo 1 (oligotrófico a mesotrófico) es un sistema estable, donde el crecimiento exponencial inicial se nivela con rapidez alcanzando el equilibrio con el aporte de nutrientes. Este sistema es ecológicamente sustentable. El tipo 2 representa un sistema eutrófico avanzado, que exhibe señales de inestabilidad a medida que comienza a oscilar; puede sufrir una serie de floraciones parciales de algas. En esta etapa el proceso de eutroficación puede ser detenido o revertido mediante controles convencionales de nutrientes de fuentes puntuales. El tipo 3 corresponde a la última etapa del desarrollo de floraciones, donde el aporte de nutrientes y/o energía se torna inadecuado para sustentar la magnitud y los requerimientos fisiológicos de la floración. En estas condiciones, la totalidad de la biomasa de algas (floración) colapsa y muere. Este evento termina con un severo o total agotamiento de oxígeno provocando una masiva mortandad de peces y de parte del zooplancton. El sistema es inestable, no sustentable y no puede ser rehabilitado a menos que se tomen drásticas medidas.

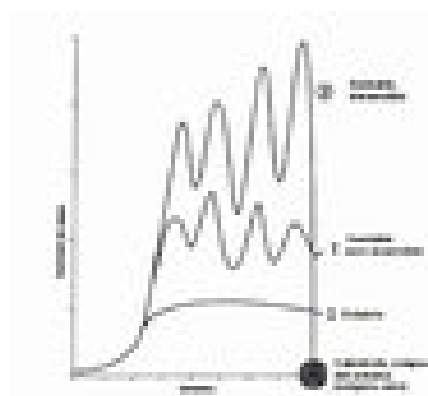


Figura 2.4. Patrón generalizado de crecimiento algal en 1: lagos oligotróficos a mesotróficos, 2: lagos eutróficos y 3: lagos hipereutróficos que padecen de colapsos algales (modificado de Barica, 1993).

(International Environmental Technology Centre, 2001)

2.2.7.7- Aumento del Reciclaje Interno de Nutrientes.

Además de la carga externa de nutrientes proveniente de fuentes tanto puntuales como difusas, la carga interna de nutrientes por regeneración con o sin oxígeno puede ser significativa y llegar a exceder la carga externa. Este fenómeno se acelera en los lagos poco profundos, donde las capas de agua anóxicas y ricas en nutrientes cerca del fondo se mezclan con las capas superficiales. Una vez que un lago ha alcanzado un estado eutrófico o hipereutrófico, su dependencia de las fuentes externas de nutrientes disminuye. El lago puede funcionar como un sistema con retroalimentación positiva en el cual los sedimentos hacen un aporte adecuado de nutrientes, aún cuando se hayan reducido las fuentes externas.

2.2.7.8- Concentraciones Elevadas de Nitrato.

Altas concentraciones de nitrato debido a escurrimientos ricos en nitratos o a la nitrificación del amonio dentro de un lago pueden generar problemas en la salud pública. La presencia de metil-hemoglobinemia en los niños se debe a niveles de nitrato superiores a los 10 mg/l en el agua potable. Al interferir con la capacidad de conducción de oxígeno de la sangre, los altos niveles de nitrato pueden generar una deficiencia de oxígeno que pone en peligro la vida de las personas.

2.2.7.9- Mayor Producción Ictícola.

La producción ictícola tiende a aumentar a medida que se incrementa la productividad primaria en los lagos, embalses y en los sistemas de acuicultura. Sobre una amplia gama de valores, las relaciones entre productividad primaria y producción de peces tienen forma logística (es decir, sigmoide). Por consiguiente, es probable que se den mayores aumentos en la producción de peces con incrementos más pequeños en productividad primaria en aguas oligotróficas o mesotróficas que en los sistemas eutróficos. Sin embargo, el agotamiento de oxígeno o los elevados niveles de pH y amonio en condiciones hipereutróficas puede generar mengua en la producción de peces a medida que la productividad primaria aumenta. Suponiendo que la producción de peces mejore, sean comestibles y comercializables, el aumento

en productividad primaria frecuentemente relacionada con el enriquecimiento con nutrientes puede tener un resultado positivo.

2.2.7.10- Reúso de Nutrientes.

La acuicultura de peces está bien establecida en muchas partes del mundo y puede ser una forma efectiva de obtener un beneficio de los nutrientes que causan eutroficación. La biomasa de peces en un sistema de acuicultura puede cubrir una gran porción de nutrientes compactados (atrapados en los cuerpos de peces) que se pueden comercializar. Aunque hay pocos ejemplos de que la cosecha de peces reduzca los niveles de eutroficación, si hay mercados para los peces más comunes de los sistemas eutróficos, entonces el enfoque ofrece una posibilidad de reúso de nutrientes que puede mejorar la calidad del agua.

El fitoplancton y las macrófitas acuáticas flotantes (plantas superiores, algas, musgos y briofitas macroscópicas), adaptadas a la vida en el medio acuático pueden ser muy efectivos para la fijación de nutrientes y son capaces de reducir las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos a niveles muy bajos. Por consiguiente, si las plantas son luego removidas del agua por floculación o cosecha, las mismas pueden funcionar en el tratamiento terciario de aguas residuales de origen municipal o como fuentes de materia orgánica para la generación de gas o incluso para la producción de alimentos. Sin embargo, es necesario desarrollar aún más la tecnología y los mercados requeridos.

2.2.7.11- Interacciones Nutriente-Acidificación.

Los lagos que se han acidificado por contaminantes transmitidos por el aire generalmente son de baja productividad biológica, pero a menudo contienen nitrato que la atmósfera emite como ácido nítrico. Si se añade fosfato, es posible generar una base suficiente por una mejor asimilación del nitrato para aumentar el pH. Es probable que cada molécula de fosfato agregada genere 16 moléculas de base como resultado de la asimilación de nitratos. Por lo tanto, solo se requieren de modestos

agregados de fosfato para aumentar el pH y es poco probable que el crecimiento del fitoplancton sea excesivo -pero la productividad sí aumenta.

2.2.7.12- Interacciones de Nutriente-Contaminante.

En muchos lagos y embalses los contaminantes tóxicos (algunos metales y compuestos orgánicos) se han convertido en un problema significativo. Se ha descubierto que cientos de productos químicos industriales son tóxicos para los organismos. Las sustancias tóxicas dispersas y persistentes incluyen a los cloruros de bifenilos (PCBs), DDT y sus metabolitos, dieldrin, toxafeno, dioxina (2,3,7,8-TCDD), furano (2,3,7,8-TCDF), mirex, hexaclorobenceno (HCB), mercurio, alquil de plomo y benzopireno. Estos compuestos tienden a bioacumularse en los organismos, a biomagnificarse en las cadenas tróficas y a persistir durante largos períodos en el ambiente acuático. Provocan una toxicidad aguda subcrónica o crónica, carcinogenicidad, mutagénesis y efectos reproductores (por ejemplo, teratogenicidad, inmunotoxicidad y efectos en el comportamiento).

Puede haber interacciones entre la eutroficación y los impactos de contaminantes tóxicos. Por consiguiente, los impactos negativos de la eutroficación pueden mitigarse, al menos parcialmente mediante menores impactos de los contaminantes tóxicos. Se recomienda realizar un análisis más profundo de las interacciones nutrientes-contaminantes a fin de determinar los beneficios netos. (International Environmental Technology Centre, 2001)

2.2.8- Sólidos Suspendidos Totales.

Son partículas sólidas pequeñas, inmersas en un fluido en flujo turbulento que actúa sobre la partícula con fuerzas en direcciones aleatorias, que contrarrestan la fuerza de la gravedad, impidiendo así que el sólido se deposite en el fondo. Los factores que influyen para que una partícula no se decante en el fondo son:

- Tamaño, densidad y forma de la partícula;

- Velocidad del agua. (International Environmental Technology Centre, 2001)

2.2.9- Sifón.

El sifón es una conducción cerrada que se eleva sobre su gradiente hidráulico para bajar después (fig. 2.5); y llamaremos *sifón invertido* a la parte de tubería que baje para después subir de nuevo. Se emplean los sifones ordinarios para salvar determinados obstáculos elevados sobre el terreno, y los invertidos para el tendido de una conducción cerrada a través de un valle o depresión análoga.

El factor que limita la posibilidad de empleo del sifón, es decir, que limita el paso del líquido por el mismo, es la carga, negativa bB (fig.2.5); mientras ésta no se aproxime demasiado a la máxima carga negativa posible, se tendrá un gradiente hidráulico normal aB (I), como si el tubo hubiera atravesado en línea recta el obstáculo; pero si el nivel del agua en el depósito o embalse inferior va bajando cada vez más, el gasto aumentará hasta que se llegue en b a la carga negativa límite.

Por esta razón es imposible bajar más la posición del punto B (figura 2.5), o hacer que aumente la cantidad de agua que pasa por el sifón; el aumento creciente de la caída de carga total h_2 , producirá una especie de escalón en el gradiente hidráulico B B_{1C} ; la parte bb_1 del tubo funciona como una conducción abierta, es decir, como un canal, dependiendo, así, el gasto de la pendiente de aB , o de B_1C .

Antes de que el agua corra por todo el sifón, hay que *cebar* el tubo, extrayendo el aire de su interior por medio de una bomba o de un aspirador montado en el punto más alto b .

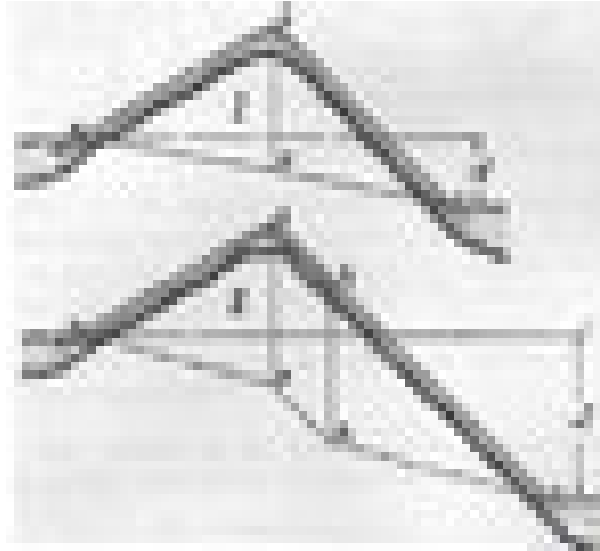


Figura 2.5. Tuberías en forma de sifón. (Herbert, 1956)

Cuando el sifón está ya funcionando, el aire disuelto en el agua y desprendido de la misma por efecto de la baja presión, tiende a acumularse en b , por lo cual hay que extraerlo periódicamente. Si un sifón de pequeño diámetro trabaja con una carga lo bastante grande para producir una velocidad muy elevada, las burbujas de aire son arrastradas por la corriente hasta la rama descendente, sin posibilidad de acumularse en b . De no ser así, la fórmula siguiente da una idea aproximada de la cantidad q de aire, en metros cúbicos, que hay que extraer a cada 24 horas:

$$q = \frac{QH}{54,9} \quad (2.1)$$

donde Q es el volumen total o capacidad en metros cúbicos de la parte de tubo que hay sobre el gradiente hidráulico, y H es la carga negativa media, en metros, en esta parte del tubo.

En el sifón invertido (figura 2.6), lo esencial es que el tubo tenga la resistencia suficiente para soportar la carga máxima estática h . El sifón representado en esta figura, compuesto de varios tubos montados en paralelo, es de la clase tan empleada en el paso del agua de un canal por debajo del lecho de otro canal. El diámetro de los

tubos debe calcularse de modo, que la pérdida total de carga, o sea la diferencia entre los niveles del agua en los vasos de entrada y de salida, se mantenga dentro de ciertos límites. (Herbert, 1956)



Figura 2.6. Disposición de un sifón invertido (Herbert, 1956)

2.2.10- Densidad y Gravedad Específica.

La **densidad** se define como masa por unidad de volumen. Es decir,

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (2.2)$$

El recíproco de la densidad es el **volumen específico** v , el cual se define como *volumen por unidad de masa*. Es decir, $v = V/m = 1/\rho$. Para un elemento diferencial de volumen de masa $\dot{m}$ y volumen $\dot{V}$, la densidad se puede expresar como $\rho = \dot{m}/\dot{V}$.

En general, la densidad de una sustancia depende de la temperatura y de la presión. La densidad de la mayoría de los gases es proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura. Por otro lado, los líquidos y sólidos en esencia son sustancias incompresibles y la variación de su densidad con la presión suele ser despreciable. Por ejemplo, a 20°C, la densidad del agua cambia de 998 kg/m³ a 1 atm a 1 003 kg/m³ a 100 atm, un cambio de sólo 0.5 por ciento, lo cual todavía se puede despreciar en muchos análisis de ingeniería.

A veces, la densidad de una sustancia se da en relación con la densidad de una sustancia conocida plenamente; entonces se le llama **gravedad específica o densidad relativa**, y se define como *la razón de la densidad de una sustancia a la densidad de*

alguna sustancia estándar, a una temperatura especificada (por lo general, agua a 4°C, para la cual $\rho_{H_2O} = 1\,000\text{ kg/m}^3$). Esto es,

$$GE = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad (2.3)$$

Nótese que la gravedad específica de una sustancia es una cantidad adimensional. Sin embargo, en unidades SI, el valor numérico de la gravedad específica de una sustancia es exactamente igual a su densidad en g/cm^3 o kg/L (o 0.001 multiplicado por la densidad en kg/m^3) ya que la densidad del agua a 4°C es $1\text{ g/cm}^3 = 1\text{ kg/L} = 1\,000\text{ kg/m}^3$. Por ejemplo, la gravedad específica del mercurio a 0°C es 13.6; por lo tanto, su densidad a 0°C es $13.6\text{ g/cm}^3 = 13.6\text{ kg/L} = 13\,600\text{ kg/m}^3$. El peso de una unidad de volumen de una sustancia se llama **peso específico** y se expresa como:

$$\gamma_s = \rho \cdot g \text{ (N/m}^3\text{)}, \quad (2.4)$$

donde g es la aceleración gravitacional.

Las densidades de los líquidos son en esencia contantes y a menudo se pueden tomar de manera aproximada como si fueran sustancias incompresibles durante la mayoría de los procesos, sin mucho sacrificio en la exactitud. (Cengel, Y. Cimbala, J., 2006)

2.2.11- Presión de vapor y cavitación.

Está adecuadamente establecido que la temperatura y la presión son propiedades dependientes para las sustancias puras durante los procesos de cambio de fase y existe una correspondencia uno a uno entre esas propiedades. A una presión determinada, la temperatura a la cual una sustancia pura cambia de fase se conoce como temperatura de saturación T_{sat} . De manera semejante, a una temperatura dada, la presión a la cual una sustancia pura cambia de fase se llama presión de saturación P_{sat} . Por ejemplo, a una presión absoluta de 1 atmósfera estándar (1 atm o 101.325 kPa), la temperatura de saturación del agua es de 100°C. Inversamente, a una temperatura de 100°C, la presión de saturación del agua es de 1 atm.

La presión de vapor P_v de una sustancia pura se define como *la presión ejercida por su vapor en equilibrio de fases con su líquido a una temperatura dada*. P_v es una propiedad de la sustancia pura y resulta ser idéntica a la presión de saturación P_{sat} del líquido ($P_v = P_{\text{sat}}$). Se debe tener cuidado en no confundir la presión de vapor con la *presión parcial*. La presión parcial se define como *la presión de un gas o vapor en una mezcla con otros gases*. Por ejemplo, el aire atmosférico es una mezcla de aire seco y vapor de agua, y la presión atmosférica es la suma de la presión parcial del aire seco y la presión parcial del vapor de agua. La presión parcial del vapor de agua constituye una fracción pequeña (por lo general, menor de 3 por ciento) de la presión atmosférica, ya que el aire es en su mayor parte nitrógeno y oxígeno. La presión parcial de un vapor debe ser menor que la presión de vapor, o igual a ésta, si no hubiera líquido presente. Sin embargo, cuando están presentes tanto el vapor y el líquido y el sistema está en equilibrio de fases, la presión parcial del vapor debe ser igual a la presión de vapor y se dice que el sistema está *saturado*. La rapidez de la evaporación desde masas abiertas de agua, como los lagos, es controlada por la diferencia entre la presión de vapor y la presión parcial. Por ejemplo, la presión de vapor del agua a 20°C es de 2.34 kPa; por lo tanto, un cubo de agua a 20°C que se deje en un cuarto con aire seco a 1 atm continuará evaporándose hasta que suceda una de dos cosas: el agua se evapora por completo (no hay suficiente agua como para establecer el equilibrio de fases en el cuarto), o la evaporación se detiene cuando la presión parcial del vapor de agua en el cuarto se eleva hasta 2.34 kPa, punto en el que se establece el equilibrio de fases.

Para procesos de cambio de fase entre las fases líquidas y de vapor de una sustancia pura, la presión de saturación y la de vapor son equivalentes, ya que el vapor es puro. Nótese que el valor de la presión sería el mismo si se mide en la fase de vapor o en la líquida (siempre que se mida en un lugar cercano a la interfaz líquido-vapor, con la finalidad de evitar los efectos hidrostáticos). La presión de vapor aumenta con la temperatura. Por lo tanto, una sustancia a temperaturas más altas hierve a presiones

más elevadas. Por ejemplo, el agua hierve a 134°C en una olla a presión que opera a una presión absoluta de 3 atm, pero hierve a 93°C en una cacerola común a una elevación de 2 000 m, en donde la presión atmosférica es de 0.8 atm.

La razón del interés en la presión de vapor es la posibilidad de caída de la presión del líquido, en los sistemas de flujo de líquidos, por abajo de la presión de vapor en algunos lugares y la vaporización resultante no planeada. Por ejemplo, el agua a 10°C se evaporará de manera instantánea y formará burbujas en los lugares (como las regiones de las puntas o los lados de succión de las aspas de las bombas) donde la presión cae por abajo de 1.23 kPa. Las burbujas de vapor (llamadas burbujas de cavitación debido a que forman "cavidades" en el líquido) se desintegran conforme son barridas hacia fuera de las regiones de baja presión, con lo que se generan ondas de alta presión extremadamente destructivas. Este fenómeno, que es causa común de caída en el rendimiento e inclusive de la erosión de las aspas del impulsor, se llama cavitación, y constituye una consideración importante en el diseño de las turbinas y bombas hidráulicas.

La cavitación debe evitarse (o al menos minimizarse) en los sistemas de flujo, porque reduce el rendimiento, genera vibraciones y ruido molestos, y daña al equipo. Las puntas de presión resultantes del gran número de burbujas que se desintegran cerca de la superficie sólida durante un periodo largo pueden causar erosión, picadura de la superficie, falla por fatiga y la destrucción eventual de los componentes o la maquinaria. Se puede detectar la presencia de la cavitación en un sistema de flujo por su sonido característico de traquetear. (Cengel, Y. Cimbala, J., 2006)

2.2.12- La Ecuación de Bernoulli.

Es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la elevación, y es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible en donde las fuerzas netas de fricción son despreciables (figura 2.7). Pese a su simplicidad la ecuación de Bernoulli demostró que es un instrumento muy potente en mecánica de fluidos.

La aproximación clave en la deducción de la ecuación de Bernoulli es que los efectos viscosos son despreciablemente pequeños en comparación con los efectos de inercia, gravitacionales y de la presión. Puesto que todos los fluidos tienen viscosidad (no existe un "fluido no viscoso"), esta aproximación no puede ser válida para todo un campo de flujo de interés práctico. En otras palabras, no se puede aplicar la ecuación de Bernoulli en todas partes en un flujo, sin importar qué pequeña sea la viscosidad del fluido. Sin embargo, resulta que la aproximación es razonable en ciertas regiones de muchos flujos prácticos. Se hará referencia a esas regiones como regiones no viscosas del flujo y se enfatiza que no son regiones en donde el propio fluido es no viscoso o sin fricción sino, más bien, que son regiones en donde las fuerzas viscosas o de fricción netas son despreciablemente pequeñas en comparación con las otras fuerzas que actúan sobre las partículas del fluido.

Debe tenerse cuidado cuando se utiliza la ecuación de Bernoulli, porque es una aproximación que sólo se aplica a las regiones no viscosas del flujo. En general, los efectos de la fricción siempre son importantes muy cerca de las paredes *sólidas* (*capas límite*) y directamente corriente abajo de los cuerpos (estelas). Por tanto, la aproximación de Bernoulli es útil por lo general en regiones del flujo por fuera de las capas límite y estelas, en donde el movimiento del fluido lo rigen los efectos combinados de la presión y la gravedad.

El movimiento de una partícula y la trayectoria que sigue se describen por el *vector velocidad*, como función del tiempo y las coordenadas espaciales, así como de la posición inicial de la partícula. Cuando el flujo es *estacionario* (ningún cambio con el tiempo en un lugar especificado), todas las partículas que pasan por el mismo punto siguen la misma trayectoria (la cual es la *línea de corriente*) y los vectores de velocidad permanecen tangentes a la trayectoria en todo punto.



Figura 2.7. Capas límites y de las estelas. (Cengel, Y. Cimbala, J., 2006)

2.2.12.1- Deducción de la ecuación de Bernoulli.

Considere el movimiento de una partícula de fluido en un campo de flujo estacionario. Cuando se aplica la segunda ley de Newton (la cual se menciona como la relación de *conservación del momento lineal* en la mecánica de fluidos) en la dirección s , sobre una partícula en movimiento a lo largo de una línea de corriente da:

$$\Sigma F_s = ma_s \quad (2.5)$$

En regiones del flujo en donde las fuerzas netas de fricción son despreciables, las fuerzas significativas que actúan en la dirección s son la presión (que actúa sobre ambos lados) y la componente del peso de la partícula en la dirección s (figura 2.8). Por lo tanto, la ecuación queda:



Figura 2.8. Fuerzas que actúan sobre una partícula de fluido a lo largo de una línea de corriente

$$P da - (P + dP) dA - w(\sin\theta) = mV \frac{dV}{ds} \quad (2.6)$$

donde θ es el ángulo entre la normal a la línea de corriente y el eje vertical z en ese punto, $m = \rho V = \rho dA ds$ es la masa, $W = mg = \rho g dA ds$ es el peso de la articula de fluido y $\sin \theta = dz/ds$. Se sustituye:

$$-dP dA - \rho g dA ds \frac{dz}{ds} = \rho dA ds V \frac{dV}{ds} \quad (2.7)$$

Cuando se cancela dA de cada término y se simplifica,

$$-dP - \rho g(dz) = \rho V dV \quad (2.8)$$

se nota que $V dV = \frac{1}{2} d(V^2)$ y si divide cada término entre ρ da

$$\frac{dP}{\rho} + \frac{1}{2} d(V^2) + g(dz) = 0 \quad (2.9)$$

Flujo Estacionario: $\int \frac{dP}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz$ (constante a lo largo de una línea)

Ya que los dos últimos términos son diferenciales exactas. En el caso del flujo incomprensible, el primer término también se convierte en una diferencial exacta y su integración da:

Flujo estacionario e incompresible:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{constante} \quad (2.10)$$

Ésta es la famosa ecuación de Bernoulli, la cual es de uso común en mecánica de fluidos para el flujo estacionario e incompresible, a lo largo de una línea de corriente, en las regiones no viscosas del flujo. El valor de la constante puede evaluarse en cualquier punto de la línea de corriente en donde se conozcan la presión, densidad,

velocidad y elevación. La ecuación de Bernoulli también puede escribirse entre dos puntos cualesquiera sobre la misma línea de corriente como:

Flujo estacionario e incompresible:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g z_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g z_2 \quad (2.11)$$

2.2.12.2- Limitaciones en el uso de la ecuación de Bernoulli.

- **Flujo estacionario** La primera limitación de la ecuación de Bernoulli consiste en que es aplicable al *flujo estacionario*. Por lo tanto debe usarse durante los periodos de arranque y de paro, o durante los periodos de cambio en las condiciones de flujo. Note que existe una forma no estacionaria de la ecuación de Bernoulli.
- **Flujo sin fricción** En todo flujo interviene algo de fricción, sin importar qué tan pequeña sea, y los *efectos de la fricción* pueden ser despreciables, o no. La situación se complica aún más por la magnitud del error que puede tolerarse. En general, los efectos de la fricción son despreciables para secciones cortas del flujo, con secciones transversales grandes, en especial con velocidades bajas del flujo. Los efectos de la fricción suelen ser importantes en pasos largos y angostos del flujo, en la región de la estela comentada abajo de un objeto y en las *secciones de flujo divergente*, como los difusores, debido a la mayor posibilidad de que el fluido se separe de las paredes en esas configuraciones geométricas. Los efectos de la fricción también son significativos cerca de las superficies sólidas y, por tanto, la ecuación de Bernoulli suele ser aplicable a lo largo de una línea de corriente en la región del núcleo del flujo, pero no a lo largo de la línea de corriente cercana a la superficie. Un accesorio que perturbe la estructura de líneas de corriente del flujo y, en consecuencia, cause una mezcla y un contraflujo considerables, como una entrada aguda de un tubo, o una válvula parcialmente cerrada en

una sección del flujo pueden hacer que la ecuación de Bernoulli no pueda aplicarse.

- **Ningún trabajo en la flecha** La ecuación de Bernoulli se dedujo basándose en un balance de fuerzas sobre una partícula en movimiento a lo largo de una línea de corriente. Por lo tanto, esta ecuación no se aplica en una sección del flujo en el que intervenga una bomba, una turbina, un ventilador o cualquier otra máquina o impulsor, ya que estos aparatos destruyen las líneas de corriente y llevan a cabo interacciones de energía con las partículas del fluido. Cuando la sección considerada del flujo incluye cualquier a de estos aparatos, debe usarse la ecuación de la energía para tomar en cuenta la entrada o salida de trabajo en la flecha. Sin embargo, puede aplicarse la ecuación de Bernoulli a una sección del flujo antes o después de pasar por una máquina (en el supuesto, claro, que se satisfacen las otras restricciones referentes a su uso). En esos casos, la constante de Bernoulli cambia de corriente arriba a corriente abajo del dispositivo.
- **Flujo incompresible** Una de las hipótesis establecidas en la deducción de la ecuación de Bernoulli es que $p = \text{constante}$ y, por tanto, el flujo es incompresible. Esta condición la satisfacen los líquidos y también los gases con números de Mach menores a 0.3, en virtud de que los efectos de la compresibilidad y, por lo tanto, las variaciones de la densidad de los gases son despreciables a esas velocidades relativamente bajas. Note que existe una forma compresible de la ecuación de Bernoulli.
- **Ninguna transferencia de calor** La densidad de un gas es inversamente proporcional a la temperatura y no debe usarse la ecuación de Bernoulli para las secciones del flujo en el que se tenga un cambio significativo en la temperatura, como las secciones de calentamiento o enfriamiento.
- **Flujo a lo largo de una línea de corriente** Es decir, la ecuación de Bernoulli, $P/p + V^2/2 + gz = C$ es aplicable a lo largo de una línea de

corriente y, en general, el valor de la constante C es diferente para distintas líneas de corriente. Pero cuando una región del flujo es *irrotacional* y, en consecuencia, no hay *vorticidad* en el campo de flujo, el valor de la constante C continúa siendo el mismo para todas las líneas de corriente y, por lo tanto, la ecuación de Bernoulli se vuelve también aplicable a través de esas líneas de corriente. Por lo tanto, no es necesario preocuparse por las líneas de corriente cuando el flujo es irrotacional y puede aplicarse la ecuación de Bernoulli entre dos puntos cualesquiera en la región irrotacional del flujo. (Cengel, Y. Cimbala, J., 2006)

2.2.13- Numero de Reynolds.

La transición de flujo laminar a turbulento depende de la *geometría*, la *rugosidad de la superficie*, la *velocidad del flujo*, la *temperatura de la superficie* y el *tipo de fluido*, entre otros factores. Después de experimentos exhaustivos en los años de 1880, Osborne Reynolds descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de *fuerzas inerciales* a *fuerzas viscosas* en el fluido. Esta razón se llama número de Reynolds y se expresa para flujo interno en una tubería circular como:

$$Re = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu} = \frac{V_{prom} D}{\nu} \quad (2.21)$$

donde, V_{prom} = velocidad de flujo promedio (m/s), D = longitud característica de la geometría (diámetro en este caso, en m), y $\nu = \mu/\rho$ = viscosidad cinemática del fluido (m^2/s). Note que el número de Reynolds es una cantidad *adimensional*. Además, la viscosidad cinemática tiene la unidad m^2/s y se puede ver como *difusividad viscosa* o *difusividad de cantidad de movimiento*.

A números grandes de Reynolds, las fuerzas inerciales, que son proporcionales a la densidad del fluido y al cuadrado de la velocidad del fluido, son grandes en relación con las fuerzas viscosas y por lo tanto las fuerzas viscosas no pueden evitar las aleatorias y rápidas fluctuaciones del fluido. Sin embargo, a números de Reynolds

pequeños o moderados, las fuerzas viscosas son lo suficientemente grandes como para suprimir dichas fluctuaciones y mantener al fluido "en línea". Por lo tanto el flujo es *turbulento* en el primer caso y *laminar* en el segundo.

El número de Reynolds en donde el flujo se vuelve turbulento se llama **número de Reynolds crítico**, Re_{cr} . El valor del número de Reynolds crítico es diferente para geometrías y condiciones de flujo distintas. Para flujo interno en una tubería circular, el valor generalmente aceptado del número de Reynolds crítico es $Re_{cr} = 2\,300$.

Para flujo a través de tuberías no-circulares, el número de Reynolds se basa en el **diámetro hidráulico** D_h que se define como

$$D_h = \frac{4A_c}{p} \quad (2.22)$$

donde, A_c es el área de sección transversal de la tubería y p es su perímetro húmedo. El diámetro hidráulico se define de modo que se reduce a diámetro común D para tuberías circulares:

$$D_h = \frac{4A_c}{p} = 4 \frac{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}{\pi D} = D \quad (2.23)$$

Es deseable tener valores precisos de números de Reynolds para flujos laminar, transicional y turbulento, pero éste no es el caso en la práctica. Es evidente que la transición de flujo laminar a turbulento también depende del grado de perturbación del flujo por la *rugosidad de la superficie*, *las vibraciones de la tubería* y *las fluctuaciones en el flujo*. En la mayoría de las condiciones prácticas, el flujo en una tubería circular es laminar para $Re \leq 2\,300$, turbulento para $Re \geq 4\,000$, y transicional entre ellos. Es decir

$Re \leq 2\,300$ flujo laminar

$2\,300 < Re < 4\,000$ flujo transicional

$Re \geq 4\,000$ flujo turbulento

En el flujo transicional, el flujo cambia entre laminar y turbulento de manera aleatoria. Se debe tener en mente que el flujo laminar se puede mantener en números de Reynolds mucho más altos en tuberías muy lisas cuando se evitan las perturbaciones de flujo y las vibraciones de tubería. (Cengel, Y. Cimbala, J., 2006)

2.2.14- Cálculo de pérdida de carga en tubería.

La pérdida de carga que tiene lugar en una conducción representa la pérdida de energía de un flujo hidráulico a lo largo de la misma por efecto del rozamiento.

A continuación se resumen las principales fórmulas empíricas empleadas en el cálculo de la pérdida de carga que tiene lugar en tuberías:

2.2.14.1- Darcy-Weisbach (1875)

Una de las fórmulas más exactas para cálculos hidráulicos es la de Darcy-Weisbach. Sin embargo por su complejidad en el cálculo del coeficiente "f" de fricción ha caído en desuso. Aún así, se puede utilizar para el cálculo de la pérdida de carga en tuberías de fundición. La fórmula original es:

$$h = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2.12)$$

En función del caudal la expresión queda de la siguiente forma:

$$h = 0,0826 \cdot f \cdot L \cdot \frac{Q^2}{D} \quad (2.13)$$

En donde:

- h: pérdida de carga o de energía (m)
- f: coeficiente de fricción (adimensional)
- L: longitud de la tubería (m)
- D: diámetro interno de la tubería (m)
- v: velocidad media (m/s)

- g : aceleración de la gravedad (m/s^2)
- Q : caudal (m^3/s)

El coeficiente de fricción f es función del número de Reynolds (Re) y del coeficiente de rugosidad o rugosidad relativa de las paredes de la tubería (ϵ/D):

$$f = f(Re, \epsilon/D) \quad (2.14)$$

$$Re = D \cdot v \cdot \rho / \mu \quad (2.15)$$

$$\epsilon/D = \epsilon / D \quad (2.16)$$

- ρ : densidad del agua (kg/m^3).
- μ : viscosidad del agua ($\text{N}\cdot\text{s/m}^2$).
- ϵ rugosidad absoluta de la tubería (m)

En la tabla 2.1 se muestran algunos valores de rugosidad absoluta para distintos materiales.

Para el cálculo de " f " existen múltiples ecuaciones, a continuación se exponen las más importantes para el cálculo de tuberías:

Blasius (1911). Propone una expresión en la que " f " viene dado en función del Reynolds, válida para tubos lisos, en los que ϵ/D no afecta al flujo al estar la subcapa laminar las irregularidades. Válida hasta $Re < 100000$:

$$f = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} \quad (2.17)$$

Prandtl y Von-Karman (1930). Amplían el rango de validez de la fórmula de Blasius para tubos lisos:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (2.18)$$

Nikuradse (1933) propone una ecuación válida para tuberías rugosas:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 \cdot D} \right) \quad (2.19)$$

Tabla 2.1. Rugosidad Absoluta vs Material

Material	Ũ(mm)	Material	Ũ(mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrífuga	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente: (Miliarium Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2011)

Colebrook-White (1939) agrupan las dos expresiones anteriores en una sola, que es además válida para todo tipo de flujos y rugosidades. Es la más exacta y universal, pero el problema radica en su complejidad y en que requiere de iteraciones:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (2.20)$$

Moody (1944) consiguió representar la expresión de Colebrook-White en un ábaco de fácil manejo para calcular "f" en función del número de Reynolds (Re) y actuando la rugosidad relativa (Ũ) como parámetro diferenciador de las curvas (ver anexos, figura 1.3)

2.2.14.2- Pérdida de carga en singularidades.

Además de las pérdidas de carga por rozamiento, se producen otro tipo de pérdidas que se originan en puntos singulares de las tuberías (cambios de dirección, codos, juntas...) y que se deben a fenómenos de turbulencia. La suma de estas pérdidas de carga accidentales o localizadas más las pérdidas por rozamiento dan las pérdidas de carga totales.

Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga localizadas sólo se pueden determinar de forma experimental, y puesto que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico (K):

$$h = K \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (2.21)$$

En donde:

- h: pérdida de carga o de energía (m)
- K: coeficiente empírico (adimensional)
- v: velocidad media del flujo (m/s)
- g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

El coeficiente "K" depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería. En la siguiente tabla se resumen los valores aproximados de "K" para cálculos rápidos: (Miliarium Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2011)

Tabla 2.2 Coeficiente de K en pérdidas singulares

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

Fuente: (Miliarium Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2011)

CAPÍTULO 3

Metodología

En este se da a conocer los procedimientos necesarios para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación, y las acciones necesarias para su elaboración.

3.1- Nivel de la investigación.

Según J. Hurtado, SYPAL; la investigación se centró en la modalidad de proyecto factible, ya que se trata de una propuesta. Consiste en la investigación, diseño y desarrollo de métodos para seleccionar un sistema operativo, viable, para extraer sedimentos no específicos en embalses eutroficados, productos propios de este tipo de dinámica

Los objetivos de este trabajo y el nivel de conocimiento obtenidos sobre lo planteado, se presenta a través de una investigación desde el nivel exploratorio, hasta el nivel proyectivo, pero abordándola de una manera integral, es decir, cubriendo niveles descriptivos, comparativos, analíticos, explicativos, de diagnóstico, y propuestas de modificación con sus respectivas factibilidades, ya que se busca el por qué de los hechos, mediante el establecimiento de relaciones causa y efecto. Describiendo y caracterizando un hecho con el fin de establecer su estructura o

comportamiento, donde existen sinergias actuantes que han deteriorado la calidad del agua del embalse, por tanto, fue necesario desarrollar en la investigación los conocimientos básicos sobre que explorar en el tema escogido, para tener un factor de realidad que aproximara elementos ya propios del diagnostico, generador de alternativas de solución para seleccionar una propuesta factible.

3.2- Diseño de la investigación.

En esta investigación se utilizó, para responder al problema planteado, en primera instancia, una revisión documental para tener una comprensión de la situación a estudiar, seguidamente de una estrategia de investigación de campo, con el fin de recaudar la información necesaria en el propio escenario de los hechos, y lograr cumplir por completo cada uno de los objetivos específicos que aproximarán a los cálculos posteriores. En este sentido fue necesario desarrollar la investigación en varias etapas, estas se presentan a continuación:

3.2.1- Conocer la situación actual del embalse Pao-Cachinche en relación a la eutroficación.

En esta primera etapa se realizó una observación de campo directa, donde se recorrió el ámbito de la investigación caracterizándolo visualmente y obteniendo una percepción real del trabajo de investigación que se ha desarrollado, haciendo las primeras observaciones e indicando los puntos de indagación de la investigación a través de conversaciones y entrevistas con personal involucrado en el área de investigación. Complementario a esto hubo lecturas y sobretodo la determinación de cuales exploraciones anteriores se han hecho en este tipo de investigación y hasta donde han llegado. Paralelamente, se describió lo observado, con características propias, describiendo hechos obtenidos de investigación directa con los implicados en el trabajo, es decir el personal de la C. A. Hidrológica Del Centro (HIDROCENTRO) que es la que opera el embalse, y complementariamente con los moradores del litoral del embalse.

3.2.2- Diagnóstico de la situación actual del embalse Pao-Cachinche en relación a la eutroficación.

En una segunda etapa se establecieron elementos comparativos con unos antecedentes relacionados con el tema, encontrados en el área de investigación de universidades, institutos, foros entre otros, donde se especificaron y determinaron diferencias y semejanzas de esta investigación con otras anteriores relacionadas. Esto permitió analizar mediante un estudio, las delimitaciones, limitaciones y las posibles soluciones del problema a través de un análisis de las diferentes variables, con el objetivo de calificar y cuantificar sinergias o estudios relacionados con el tema de investigación. En este sentido fue necesario exponer de manera adecuada las diferentes teorías relacionadas con el tema de investigación, con el objetivo de obtener conocimientos que permitieron ver con más exactitud el problema y la realidad de lo que ocurría en el Embalse Pao-Cachinche.

Dentro de estos antecedentes se encuentra uno muy importante, contratado por HIDROCENTRO y presentado en junio de 2000, titulado óCaracterización Limnológica del Embalse Pao-Cachincheô (Estados Carabobo y Cojedes). Este trabajo permitió ahorrar tiempo en lo que respecta a la condición eutrófica del embalse y otros elementos de importancia.

3.2.3- Proponer alternativas de solución para la mitigación del problema de la eutroficación del embalse Pao-Cachinche.

Con los conocimientos obtenidos, en esta tercera etapa se estimaron los posibles comportamientos de los diferentes elementos presentes en el sistema. Esto permitió tener ideas acerca de su factibilidad, además de comprender la relación entre las diferentes variables, llegando al planteamiento de posibles soluciones. Los parámetros que cobraron especial interés, fueron los relacionados con la densidad del agua, donde se apreciaron que la turbiedad y los sólidos suspendidos totales son una directriz de selección de datos. Esto, debido a la suposición válida de estimar la

cantidad de energía necesaria para extraer los sedimentos del fondo por cualquier método que se seleccione. A través de los resultados del tipo de fluido presente en el fondo del embalse Pao Cachinche, se sugieren varios sistemas de extracción considerando en lo posible el de menor uso de energía. Como se trata de un problema ecológico, se tomó como condición vital las alternativas que usen energía ecológica, es decir, sin el uso de energías adicionales que vengan o provengan de otro nivel de afectación ecológica o bien que hayan causado impacto ambiental en otros ecosistemas. Para los efectos de esta tesis se consideró apropiado el uso de energías no convencionales con el propósito de enmarcarlas dentro de una concepción netamente ecológica o lo que es llamado de otra manera por los movimientos ecológicos, uso de energía verde.

- Uso de la gravedad o energía potencial aprovechando la altura de la cresta de la presa, es decir, usando tecnología de sifones.
- Uso de energía de elevación a través de una bomba centrífuga.
- Combinación de las dos alternativas anteriores.

3.2.4- Desarrollar la alternativa de método de extracción de sólidos suspendidos totales y sedimentos para un análisis de toma de decisión.

Como cuarta etapa se desarrolló un sistema factible para la extracción de sedimentos que se correspondió con un método gravitacional o bien de uso de energía potencial para desalojar sedimentos del fondo.

Inicialmente luego de la recolección de datos, mediante los medios anteriormente nombrados, y su posterior análisis, se propone un diseño el cual cumple con las condiciones y restricción del mismo entorno del embalse. Este diseño se caracteriza por el uso de un sifón como medio de extracción. En los planos realizados (ver anexos), se indica específicamente el diseño del mismo considerando dimensiones reales del embalse y la presa.

Los valores suministrados en los planos anexos, vienen dados en escala 1:2000, estas dimensiones fueron tomadas considerando aspectos de importancia, como lo son:

- La tubería no puede pasar sobre la cresta de la presa puesto que esta última sirve como vía acceso hacia la torre toma y la sala de compresores.
- No se puede modificar las características ni el diseño de la presa, esto referido a realizar excavaciones sobre la misma.

Tomando en cuenta las consideraciones nombradas, se ubicó la tubería sobre uno de los extremos de la presa incrementando de forma notoria la longitud de la tubería, aumentando de manera directa las pérdidas del sistema.

El método utilizado para la evaluación del sistema de sifón, debe cumplir con dos condiciones:

Primera condición: Control de pérdidas

Esta condición nos dice que la variación de energía entre en el punto de entrada y salida del sifón sea mayor que la sumatoria de las pérdidas generadas por los tramos de tubería a utilizar, garantizando de esta manera el buen funcionamiento del sifón. Tal como se expresa en la siguiente ecuación de energía:

$$\Delta H \geq \sum h_f \quad (3.1)$$

Segunda condición: Control de cavitación

Se debe controlar la cavitación en el tramo de tubería más elevado del sistema.

En este sentido recurrimos al cálculo de ambos parámetros de la siguiente manera:

3.2.4.1- Determinación del ΔH

Una de las herramientas más usadas para el cálculo de este tipo de sistema es la mencionada por Daniel Bernoulli en su teorema. El principio de Bernoulli, también

denominado ecuación de Bernoulli o Trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente, de la siguiente forma:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = H \quad (3.2)$$

Realizando el balance de energía entre la cota de superficie libre del embalse y la salida, teniendo en cuenta que el régimen del flujo es permanente uniforme a lo largo de la tubería, se obtuvo:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (3.3)$$

Considerando como condiciones de frontera lo siguiente:

- Flujo permanente
- $Z_1 = \text{constante}$, debido a que el nivel del embalse no varía.
- $V_1 \neq 0$, El flujo es permanente
- $Z_2 = 0$ (Cota de salida respecto al centroide del extremo de descarga)
- $V_2 = V$, Velocidad en cualquier sección a lo largo del conducto
- La presión atmosférica local en ambos puntos $P_1 = P_2 = P_{\text{atm}} = 0$, puesto que se trabaja con Presiones manométricas.

Reemplazando dichas condiciones de frontera en la ecuación de la energía:

$$Z_1 - Z_2 = \frac{V^2}{2g} \quad (3.4)$$

Sabiendo que:

$$Q = V \cdot A = V \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3.5)$$

$$V = \frac{4.Q}{\pi.D^2} \quad (3.6)$$

Evaluando:

$$Z_1 - Z_2 = \frac{8.Q^2}{\pi^2.g.D^4} \quad (3.7)$$

$$\Delta H = (Z_1 - Z_2) - \frac{8.Q^2}{\pi^2.g.D^4} \quad (3.8)$$

Esta última ecuación corresponde al valor de la variación de energía en una función directamente proporcional al caudal e inversamente proporcional al diámetro.

3.2.4.2- Determinación de las pérdidas del sistema

Para este cálculo debemos tomar en cuenta tanto los tramos de tubería como los accesorios de las mismas. También se debe considerar que existen tramos que dependen del caudal y tendrán un comportamiento distinto.

3.2.4.2.1- Pérdidas en tramos rectos

Este tipo de pérdidas la determinaremos mediante la ecuación de Darcy-Weisbach (1875), siendo una de las fórmulas más exactas para cálculos hidráulicos. La fórmula original es:

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2.g} \quad (3.9)$$

En función del caudal la expresión queda de la siguiente forma:

$$hf = 0,0826.f \cdot \frac{Q^2.L}{D^5} \quad (3.10)$$

El coeficiente de fricción f es función del número de Reynolds (Re) y del coeficiente de rugosidad o rugosidad relativa de las paredes de la tubería (ϵ_r):

$$f = f(Re, \epsilon_r) \quad (3.11)$$

$$Re = \frac{D.V.\rho}{\mu} \quad (3.12)$$

En función del caudal:

$$Re = 1,2732. \frac{Q.\rho}{\mu.D} \quad (3.13)$$

Para el cálculo del factor de fricción existen múltiples ecuaciones, para nuestros cálculos usaremos la ecuación de Colebrook-White (1939), ya que es válida para todo tipo de flujos y rugosidades. Es la más exacta y universal, pero el problema radica en su complejidad y en que requiere de iteraciones.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.\log\left[\left(\frac{\varepsilon}{3,71.D}\right) + \left(\frac{2,51}{Re.\sqrt{f}}\right)\right] \quad (3.14)$$

Este de valor de factor de factor de fricción, como no se puede despejar de la ecuación, se determinó usando una hoja de cálculo en el Excel, aquí se manejó una herramienta denominada referencia circular la cual se genera cuando una fórmula hace referencia a su propia celda, directa o indirectamente, de esta manera se iniciaba un tanteo automático entre dos las dos (2) celdas que relacionan la ecuación, y este se detiene cuando los valores de dichas celdas se igualan en el sexto (6to) decimal.

3.2.4.2.2- Pérdidas en accesorios

Además de las pérdidas de carga por rozamiento, se producen otro tipo de pérdidas que se originan en puntos singulares de las tuberías (cambios de dirección, codos, juntas, etc.) y que se deben a fenómenos de turbulencia. La suma de estas pérdidas de carga accidentales o localizadas más las pérdidas por rozamiento dan las pérdidas de carga totales.

Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga localizadas sólo se pueden determinar de forma experimental, y puesto que son debidas a una disipación de

energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico (K):

$$h_{acc} = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (3.15)$$

En función del caudal:

$$h_{acc} = 0,08263 \cdot K \cdot \frac{Q^2}{D^4} \quad (3.16)$$

Factores K

En la determinación de las pérdidas generadas por los accesorios se debe conocer el factor K que caracteriza a cada accesorio en particular, este se obtuvo según estudios realizados por Crane, (ver anexo, figura 3.1).

3.2.4.3- Selección de la sección transversal de la tubería

Para la selección, se tomo en consideración, lo expuesto por Crane (1987) donde expresa: Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece no solo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma (pág. 1-1).

3.2.4.4- Material de la tubería

En esta etapa del diseño debemos considerar los posibles materiales para la tubería. Para nuestro estudio consideramos dos materiales, estos son: de plástico y acero, las tuberías de plástico pueden ser de PVC (policloruro de vinilo) o de PEAD (polietileno de alta densidad), de manera de cálculo de pérdidas reflejan los mismos valores ya que la rugosidad del material se considera igual y muy baja, por otro lado, se consideraran la resistencia de cada material para presiones internas, seleccionando el que mejor cumpla con las condiciones del sistema, de igual manera tomando en cuenta para este último cálculo el acero. A continuación demostramos los valores de rugosidad para cada material.

Tabla 3.1. Rugosidad para los materiales en estudio

Material	PVC, PEAD	Acero comercial
Rugosidad ($\bar{U}$) (mm)	0,0015	0,018 - 0,072

Fuente: (Cengel, Y. Cimbala, J., 2006), (Miliarium Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2011)

Sabiendo que el sistema está compuesto por tres tramos, denominados por criterio propio como: tramo de sifón, tramo de absorción y tramo de succión, y considerando simetría en el sistema, se asume que el caudal que circula por cada lado del tramo de absorción (Q_C), que se encuentra alrededor de la torre toma, es la mitad del caudal que circula por el tramo de sifón (Q_S). También se refleja el hecho de que el caudal de trabajo de cada tramo de succión (Q_{Succ}), depende de la cantidad de tramos que se requieran o se deseen incluir al sistema, siendo esto, que el caudal de cada tramo es igual al caudal del tramo del sifón dividido entre el número de tramos (N_{TS}). De otra manera:

$$Q_{\text{ABSORCIÓN}} = \frac{Q_{\text{TOTAL}}}{2} \quad (3.17)$$

$$Q_{\text{SUCCIÓN}} = \frac{Q_{\text{TOTAL}}}{N_{TS}} \quad (3.18)$$

3.2.4.5- Control de Cavitación

La cavitación debe evitarse (o al menos minimizarse) en los sistemas de flujo, porque reduce el rendimiento, genera vibraciones y ruido molestos, y daña al equipo. Las puntas de presión resultantes del gran número de burbujas que se desintegran cerca de la superficie sólida durante un periodo largo pueden causar erosión, picadura de la superficie, falla por fatiga y la destrucción eventual de los componentes o la maquinaria. Se puede detectar la presencia de la cavitación en un sistema de flujo por su sonido característico de traquetear.

En el sistema planteado se realizara dicho control mediante el cálculo de la presión en el tramo más elevado, ya que la presión disminuye a medida que aumenta la cota de la tubería. Partiendo de la ecuación de Bernoulli para el tramo perteneciente en los puntos A-C especificados en los planos (ver anexos), y considerando las pérdidas por tramos de tubería del mismo tramo, se plantea lo siguiente:

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A = \frac{P_C}{\gamma} + \frac{V_C^2}{2g} + Z_C + \sum hf_{AC} \quad (3.19)$$

Evalutando las condiciones y despejando:

$$\frac{P_C}{\gamma} = (Z_A - Z_C) - \frac{8Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} - \sum hf_{AC} \quad (3.20)$$

Conociendo el valor de la presión en la zona crítica de la tubería ,se compara con la presión de vapor del agua correspondiente a la temperatura de la misma, esta se determina utilizando una tabla de vapor del agua, (ver anexo, figura 3.2).

La condición que debe cumplir el sistema para evitar que se genere el fenómeno de cavitación es el siguiente:

$$P_{Crítica} > P_{VAPOR} \quad (3.20)$$

De esta manera se comprueba que el sistema funcionara correctamente y tendrá siempre un flujo continuo dentro de la tubería.

En otro sentido, se debe tener en cuenta que, las diferentes variables o elementos y las diversas condiciones presentes en el sistema, conllevaron a cambiar algunas partes o aspectos, sin alterarlo del todo, queriendo decir con esto, que se cumplieron con los objetivos del tema de investigación, teniendo como meta principal la extracción de los sedimentos del fondo de embalses eutroficados. En consecuencia al consumir estos aspectos se validó cada uno de los resultados obtenidos y permitió evaluar cada una de las limitantes del medio con el propósito de apreciar la mayor o menor efectividad del proceso en correspondencia con el tema de investigación,

además de proporcionar información de la cual se pudieron derivar criterios útiles para la toma de decisiones con respecto a la administración y desarrollo del tema de investigación.

Adicionalmente, se realizaron los planos, conforme al sistema de extracción de sedimentos seleccionado, teniendo en cuenta la ubicación, las condiciones del medio, y los resultados obtenidos de la evaluación del sistema.

3.3- Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.3.1- Técnicas

3.3.1.1- Observación directa.

Se realizó una observación de campo directa, haciendo las primeras observaciones e indicando los puntos de interés de la investigación, a través de entrevistas y se ejecutó una inspección visual dentro del proceso a estudiar, con la finalidad de conocer las etapas y el comportamiento real del mismo.

3.3.1.2- Entrevistas.

Se diseñaron entrevistas del tipo personal pidiéndole a los entrevistados que desarrollaran un amplio relato, sobre los problemas del embalse y, para el caso particular nuestro, se tomó específicamente lo relacionado con los sedimentos en el embalse. Se tuvo énfasis en buscar conocimientos de, qué tipo de sedimentos estábamos hablando, a qué profundidad se encontraban y si tenían conocimiento de densidad y viscosidad de dichos sedimentos con la variación de la profundidad.

3.3.1.3- Encuestas.

La técnica de recolección de información se realizó con el propósito de validar la acción de que si retiran esos sedimentos pudiera a mejorar la calidad del agua del embalse.

La población estudiada se fundamentó en los trabajadores pertenecientes a la Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO), esto con el fin de obtener información acertada de la situación que se desarrolla en el lugar de los hechos.

El muestreo de conformo por un 10% de los trabajadores de la empresa, destacados en las áreas; operadores del Embalse Pao-Cachinche así como también, empleados del área de control de calidad, Los Colorados.

3.3.2- Instrumentos.

3.3.2.1- Cuestionario.

Este está conformado por doce (12) ítems del tipo cerrado, de modalidad dicotómica, la forma de administración de dicho cuestionario es del tipo autoadministrado según Hernández (Ob. Cit), óse proporcionan las preguntas en un formulario escrito con las instrucciones incluidas, y los encuestados deben responder solos, sin intermediarios (Hurtado, 1998), realizadas de esta manera para que fuesen fácilmente contestadas por los encuestados, y de igual modo evaluar la frecuencia del parámetro a medir.

3.3.2.2- Grabador.

Se utilizó el grabador como herramienta de almacenamiento de datos, en relación con las entrevistas o conversaciones desarrollados con el objeto de recolectar información de interés.

3.4- Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Dadas las técnicas de recolección de datos, fue posible describir las opciones, sugerencias, entre otras; obtenidas en las entrevistas realizadas al personal involucrado en el proceso, pudiéndose apoyar en la experiencia de estas personas. Las entrevistas se procesaron y analizaron tomando en cuenta elementos en común en cada una de las conversaciones, dándole a estas mayores ponderaciones.



Además se emplea la Encuesta como técnica para recolección de datos. Esta técnica está basada en la interacción personal, y se utiliza cuando la información requerida por el investigador es conocida por otras personas. Esta se procesó mediante un valor porcentual obtenido para cada respuesta. Se analizó tomando como criterio el de mayor porcentaje con respecto a las respuestas obtenidas a las opciones de SI y NO.

CAPÍTULO 4

Resultados

En el siguiente capítulo se presentan los cálculos pertinentes al diseño del sistema seleccionado y los resultados obtenidos por los ensayos experimentales, según lo planteado en la metodología.

4.1- Conocer la situación actual del embalse Pao-Cachinche en relación a la eutroficación.

4.1.1- Características del diseño original

En visita realizada el día 19/06/2010 se hizo un recorrido por las vías de acceso del embalse. Está ubicado a 35 km de la Autopista Regional del Centro específicamente la Autopista Valencia-Campo de Carabobo, en la cota 289 m.s.n.m conformando los límites entre los estados Carabobo y Cojedes, (ver anexo, figura 4.1). Las características observadas en el embalse fueron complementadas con datos obtenidos con los operadores en el embalse son las siguientes:

Tabla 4.1. Dimensiones del Embalse

COTA DE CRESTA (PRESA)	360,40 m.s.n.m.
COTA DE AGUAS NORMALES	353,28 m.s.n.m.
SUPERFICIE INUNDADA	1 .320 hectáreas
COTA DE AGUAS MÁXIMAS	357,50 m.s.n.m.
SUPERFICIE INUNDADA	1.618 hectáreas
COTA DE AGUAS MUERTAS	312,93 m.s.n.m.
COTA MÍNIMA OPERACIÓN	319,51 m.s.n.m.
RENDIMIENTO GARANTIZADO	165 Millones m3
VOLUMEN TOTAL	179 Millones m3
VOLUMEN ÚTIL	150 Millones m3
VOLUMEN MUERTO	500.000 m3
VOLUMEN INACTIVO	500.000 m3
TIPO DE ALIVIADERO	eje curvo con doble contracción
COTA CIMACIO	353,28 m.s.n.m.
DESCARGA MÁXIMA ALIVIADERO	760 metros cúbicos
OBRA DE TOMA	Torre-Toma, 08 compuertas
MECANISMO DE EMERGENCIA	Válvula Howell Bunger, 36"
MECANISMO DE REGULACIÓN	Embalse, Torre-Toma y presa

Fuente: Elaboración propia en Investigación de entrevistas (2011)

El agua se capta a través de una Torre Toma selectiva que tiene 8 compuertas desde la superficie hasta el fondo, distribuidas en forma alternada y en diferentes ejes a medida que se baja en profundidad, esto con el propósito de darle la característica propia de selectividad de agua. El agua surte a una estación de bombeo de 6 bombas cada una de 1500 L/S con motores de 4950 KW que bombean contra la planta Alejo Zuloaga.

4.1.2- Obras de optimización para el sistema

En virtud de esta problemática que presenta el embalse, con respecto a la eutroficación, se consideró necesario implementar una serie de medidas de mitigación. Entre una de estas acciones, se contempló la aireación artificial del embalse para producir la desestratificación térmica y química, a fin de mejorar a mediano y largo plazo la calidad del agua. Aunque esta medida ha sido implementada en otros países del mundo, en Venezuela es la primera vez que se realiza.

El proceso de aireación se inició en el mes de noviembre 2001, manteniéndose en funcionamiento permanente hasta la presente fecha. Este proceso de aireación artificial por destratificación implementado en la zona seleccionada del embalse con mayor impacto en la obra de captación, ha producido un rompimiento paulatino del fuerte gradiente térmico formado en las tres estaciones, estudiadas, que conlleva de manera gradual a la desaparición de la termoclina y por lo tanto, a la homogenización de la columna de agua. La circulación o mezcla inducida en la columna de agua del embalse redujo la concentración de fitoplancton, y ha producido un cambio sucesional en la composición de las especies. Estas nuevas condiciones del embalse nos han proporcionado condiciones favorables en el proceso de potabilización, efectuado en la Planta Alejo Zuloaga, provocando principalmente, disminución en el consumo de sustancias químicas y en el requerimiento de mantenimiento, así como el incremento de la producción del agua a ser distribuida. La red de distribución de tuberías en el fondo del embalse se muestra en los anexos, figura 4.2.

4.1.3- Situación actual

Este embalse es utilizado para abastecimiento de agua potable de la región central específicamente de los estados Aragua, Carabobo y Cojedes, con una red de 154 km de tubería que forman el Sistema Regional del Centro I (SRC-I) que a su vez este se empalma en el distribuidor Palo Negro de la misma Autopista Regional del Centro con el Sistema Regional del Centro II (SRC-II), quien toma agua de un embalse

ubicado a 38 km del Embalse Pao Cachinche, llamado Pao La Balsa, y bombea hasta la Planta Lucio Baldó Soulés, en un sistema de bombeo independiente del Pao Cachinche para unirse en el punto referido del distribuidor Palo Negro.

Las características del agua observadas son aguas con cierta cantidad de macrófitas tales como: Lirio de Agua también conocida como Bora (*Eichhornia Crassipes*), Repollo de Agua (*Pistia Stratiotes*), El Helecho Acuático y otros que obedecen a la propia dinámica del embalse. Existen algunas áreas que se ven de colores verdosos que suponen formaciones de micro algas, tales como: Algas Verde-Azules y su nombre científico es Cianofíceas o también Cianobacterias.

Últimamente se observó, y en consulta con personal de hidrocentro que nos guiaron en esta visita, que solo operan las dos (2) primeras compuertas superficiales, refiriendo de manera informal, que la calidad del embalse a profundidades mayores es de difícil potabilización en la planta. Se sabe también informalmente, en este primer contacto, que el embalse, en términos muy generales, no posee compuerta de drenaje, un elemento indispensable en la operación de este tipo de infraestructura.

En el anexo de este trabajo se encuentran imágenes que representan lo antes mencionado. (Ver Figuras 4.2-4.12)

Por otro lado, la empresa suministro información relacionada con la calidad del agua, cuyos elementos se muestran a continuación en la siguiente tabla 4.2. Adicional a esto, se realizaron los gráficos correspondientes a cada parámetro en función al año 2010.



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

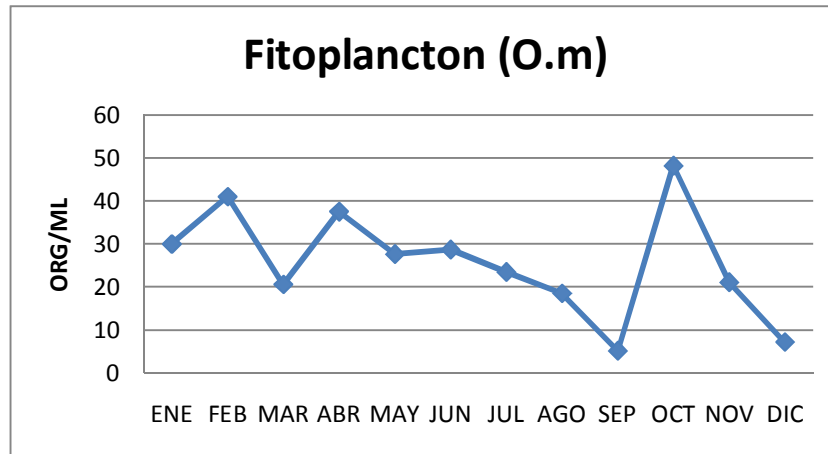


Gráfico 4.1. Fitoplancton durante el año 2001

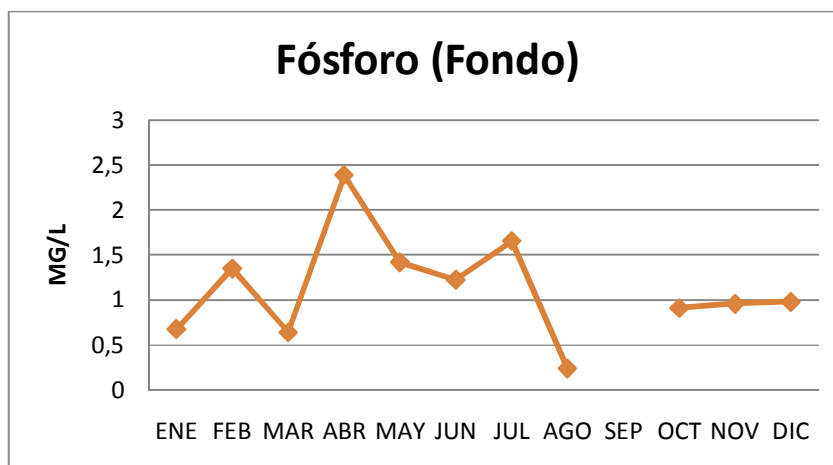


Gráfico 4.2. Fósforo durante el año 2001

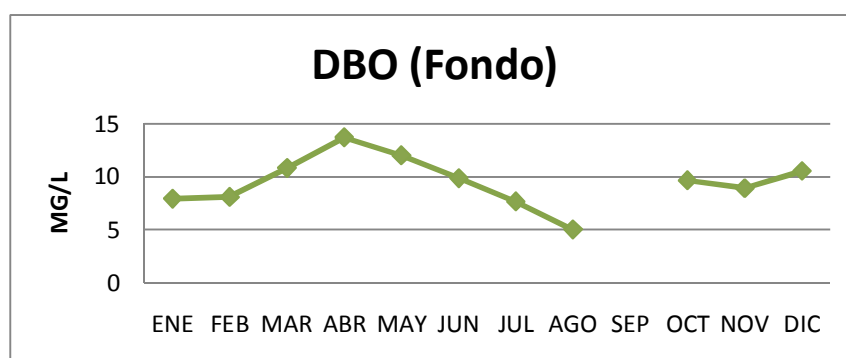


Gráfico 4.3. DBO durante el año 2001

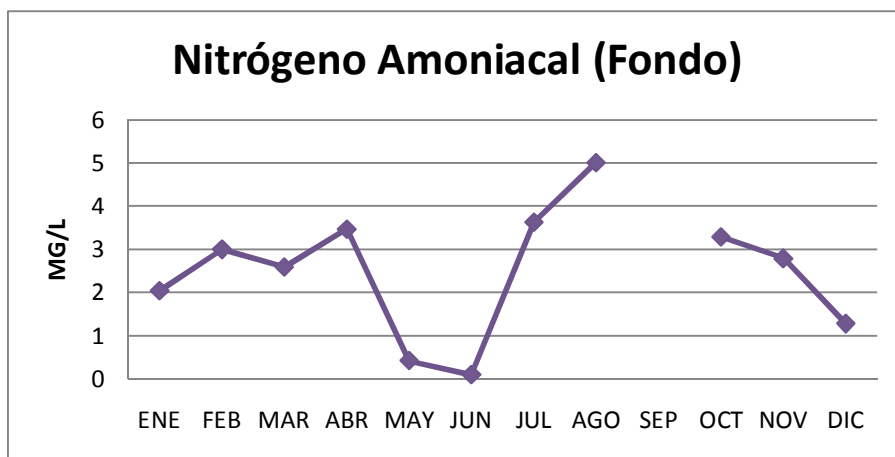


Gráfico 4.4. Nitrógeno durante el año 2001

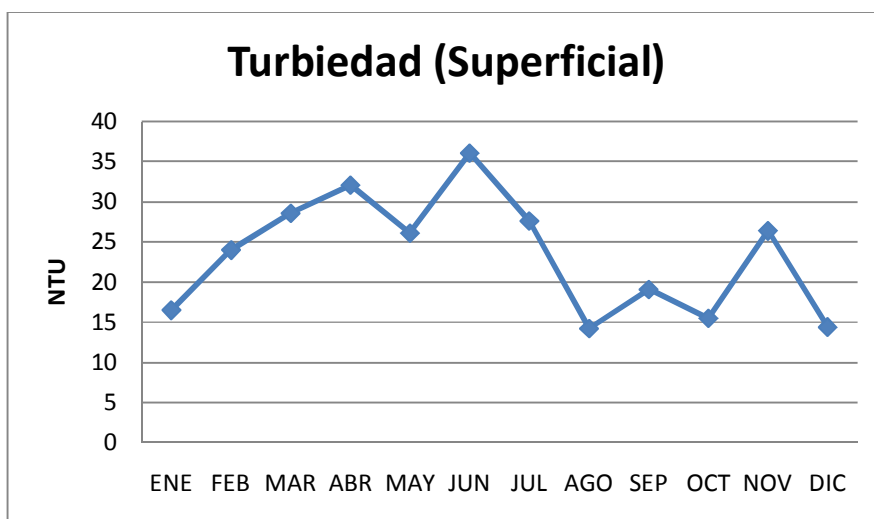


Gráfico 4.5. Turbiedad durante el año 2001

Tabla 4.2 Temperatura Promedio (°C) Estación Torre Toma Noviembre 2010

Prof. (m)	0	5	10	15	20	25	30
Temp °C	27,54	27,45	27,42	27,38	27,37	27,38	27,38

Fuente: suministrada por la C. A. Hidrológica del Centro (Mayo 2011)

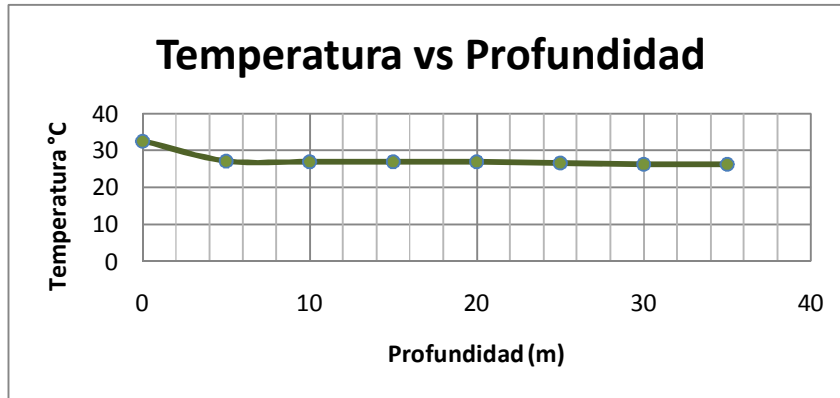


Gráfico 4.6. Temperatura promedio Noviembre 2001

Otros datos importantes, necesarios para el cálculo de nuestro sistema son la densidad y viscosidad, de estos no se pudo obtener datos actualizados para el presente año ya que no son parámetros de uso consuetudinario para la estimación de la calidad del agua por parte de la C. A. Hidrológica del Centro, específicamente Dpto. Control de Calidad. Sin embargo, esta última cuenta con estos valores para la fecha de noviembre 2010 debido a que fueron tomados para un estudio anterior. Acorde a esto, a continuación se suministran los valores de dichos parámetros.

Tabla 4.3. Densidad-Viscosidad, noviembre 2010

Prof. (m)	0-5	20-30
Densidad (kg/m ³)	999,99	1204
Viscosidad μ (Pa.S)	0,00089	0,030

Fuente: suministrada por la C. A. Hidrológica del Centro (2010)

La importancia de esta visita, además del conocimiento adquirido por la observación directa, radica en que permite reconocer acciones sucesivas para enfocar la investigación. De lo observado y de las conversaciones preliminares con los operadores del embalse, entendimos la necesidad de ampliar entrevistas con personas del medio, bien fueran del diseño y operación de estos embalses, o bien, de tomar la

decisión de realizar encuestas para apreciar el grado de incidencia de alguno de los elementos informales que escuchamos en el primer reconocimiento de campo. Para ello se diseñaron entrevistas del tipo personal pidiéndole a los entrevistados que desarrollaran un amplio relato, sobre los problemas del embalse y, para el caso particular nuestro, se tomó específicamente lo relacionado con los sedimentos en el embalse. Se tuvo énfasis en buscar conocimientos de qué tipo de sedimentos estábamos hablando, a qué profundidad se encontraban y si tenían conocimiento de densidad y viscosidad de dichos sedimentos con la variación de la profundidad. En estas entrevistas se tomaron en cuenta los tipos de sedimentos y la condición de ellos, queriendo decir con esto, que las entrevistas se dirigieron a recolectar conocimiento sobre lo mencionado.

El modelo de entrevista es como el que se muestra a continuación:

Orson Mora, cargo: Jefe de Captación Superficial, 1990-2011, que comenta lo siguiente:ë óel embalse, se encuentra eutroficado, ha tenido que soportar un severo incremento de la cantidad de nutrientes disueltos en sus aguas como el fósforo y el nitrógeno lo que representa aumento de fitoplancton y acarrea un problema en la potabilización del agua, debido a la gran cantidad de desechos cloacales que se arrojan a sus aguasôë óel embalse no posee compuerta de drenaje lo que trae como consecuencia un aumento en la disminución de la calidad del agua, ya que tantos son los elementos que arrastran las escorrentías como las que se producen en él, haciendo que todos se sedimentenôë inicialmente la torre toma se construyó con un propósito adicional, siendo este el de extraer los sedimentos acumulados en el fondo del embalse por medio de la ultima compuerta. Las compuertas que se encuentran operativas son las dos primeras ya que teóricamente a esos niveles la calidad de agua es mejorô.

Marina Rodríguez De Estaba: actual Gerente de Calidadë óse encuentra operativas la compuerta 1 y la compuerta 2ë óactualmente los datos de densidad y viscosidad no se toman ya que no son factores de uso frecuente para la determinación

de la calidad del agua, sin embargo, para efectos propios de su investigación, se le tomarán muestras a diferentes profundidades para el cálculo de los mismos, desde menores densidades en la superficie hasta mayores densidades a medida que tomemos muestras a mayor profundidad.

Ing. Romero: contratista de HIDROCENTRO, óes bueno aplicar en el embalse una metodología para la extracción de sedimentos ya que el embalse no posee compuerta de drenaje, los aireadores funcionan como unos digestores, esos digestores proporcionan mucha materia inorgánica que se va depositando en el fondo del embalse y se estima que los sedimentos han aumentado alrededor de 2 a 3 metros, las compuertas que se encuentran operativas son las dos primeras, óse estima que a mayor profundidad la densidad es mayor.

Entrevistas a moradores del embalse:

Luis Aguirre, habitante del sector sur-este... óyo pescaba en la represa, sacaba como 20 kilos semanales entre san Pedro, pavón y palometas, la pesca se hacía difícil cuando había mucha Bora, que ahora aparece más.

Luis Negrón, habitante del caserío Garrido parte Sur-oeste del embalse... óantes podíamos consumir el agua del embalse tranquilamente, era transparente, pero ahora el agua tiene un color verdoso como marrón.

4.1.1- Encuesta.

A continuación, en la tabla 4.4 se refleja las preguntas formuladas en la encuesta realiza sobre relaciones con la calidad del agua del embalse y adicionalmente se presentan el resultado total de las mismas.

Tabla 4.4. Resultado de encuesta sobre relaciones con la calidad de agua del embalse

Ítem	Pregunta	SI	NO	%SI	% NO	SIN RESPONDER	% SIN RESPONDER
1	¿Conoce usted como ha variado la calidad del agua del embalse Pao Cachinche a través de los años que tiene laborando en el mismo?	22	0	88	0	3	12
2	¿Cree usted que la calidad del agua ha desmejorado a través del tiempo?	20	0	80	0	5	20
3	¿Crees que el problema de la calidad del agua del embalse se debe a las aguas servidas municipales?	19	4	76	16	2	8
4	¿Considera que el problema de la calidad del agua del embalse se debe al arrastre de nutrientes de los suelos por las escorrentías?	20	3	80	12	2	8
5	¿Crees que el problema de la calidad del agua del embalse se debe a la deforestación?	15	5	60	20	5	20
6	¿Cree usted que a mayor profundidad la densidad aumente?	20	2	80	8	3	12
7	¿Usted pudiera asegurar que el embalse posee compuerta de drenaje de sedimentos?	0	25	0	100	0	0

Continuación de tabla # 4.4							
8	¿Al sacar esos sedimentos cree usted que la calidad del agua del embalse mejoraría?	18	3	72	12	4	16
9	¿Cree usted que se puedan extraer esos sedimentos?	19	3	76	12	3	12
10	¿Cree usted que todas las compuertas de la torre toma se encuentran operativas?	0	20	0	80	5	20
11	¿Cree usted que el numero de compuertas operativas en la torre toma han disminuido por la excesiva acumulación de sedimentos?	19	0	76	0	6	24
12	Sabiendo que los elementos de nitrógeno y fósforo son de gran importancia para el crecimiento excesivo de plantas en el embalse. ¿Cree usted que dichos elementos hayan aumentado considerablemente en los últimos años?	17	3	68	12	5	20

Fuente: Elaboración propia en Investigación de entrevistas (2011)

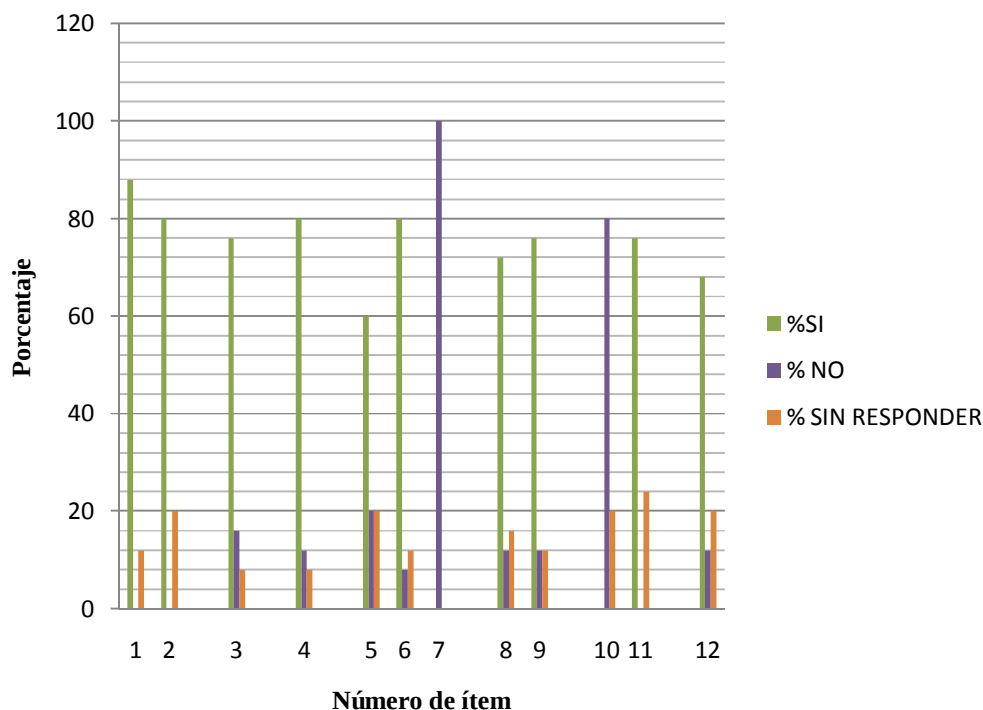


Grafico 4.7. Resultado de encuesta realizada

4.2- Diagnóstico de la situación actual del embalse Pao-Cachinche en relación a la eutroficación.

En las etapas de exploración, mejor dicho en los estudios de campo preliminares, se observaron situaciones que se resumen en lo siguiente:

El embalse Pao-Cachinche representa una importante instalación estratégica para el abastecimiento de agua potable de la región central, su capacidad de infraestructura instalada es capaz de abastecerla, pero la calidad de sus aguas se ve comprometida por un cambio interanual de ellas. Se podría afirmar que en el periodo seco existe suficiente actividad de crecimiento de algas que desmejoran sus aguas, y en el periodo de lluvia, las precipitaciones generan un aumento de caudal de las escorrentías, permitiendo una mayor dilución, arrastrando aguas abajo concentraciones de elementos orgánicos e inorgánicos, removiendo volúmenes de

aguas anóxicas para remplazarlo por aportes de las lluvias. Pero lo que aparentemente gobierna la situación, son los efectos de la mayor radiación solar, ante la cual, la fotosíntesis se acelera, y teniendo el fitoplancton abundantes nutrientes, se desarrolla una actividad denominada óbloomô o florecencia, creciendo exponencialmente las algas, cumpliendo su vida útil de escasos días, muriendo y consumiendo todo el oxígeno (O_2) presente en la columna y, de este modo causan mayor depósito de sedimentos. En resumen, aún siendo estacional causa problemas en la calidad y, por ende, en su potabilización, de allí que, esta conclusión en conjugación con la falta de compuerta de drenaje, obliga a determinar la elaboración de una método o sistema que pueda disminuir la condición cíclica-estacional de producción de sedimentos sin ser removidos, y esto se podría lograr con el desarrollo de un sistema de sifón operando en las adyacencias de la torre toma selectiva. Esta determinación se ve reforzada por los resultados, tanto de las entrevistas, así como también por las encuestas, donde además de concluir que el problema existe y se ha desarrollado como una problemática a resolver, puede tener una solución de este tipo.

Los embalses eutrofizados se evalúan desde el punto de vista de la cantidad de biomasa que se produce en ellos, esta biomasa está representada por el macroplancton y microplancton que a su vez se compone del fitoplancton y el zooplancton. El fitoplancton, es decir, elementos microscópicos llamados algas microscópicas y macrófitas que son plantas acuáticas vasculares de cierto tamaño, que dado la condición de cierto nivel de nutrientes, se desarrollan. La condición de nutrientes y específicamente nitrógeno y fósforo determina en primer lugar, el primer nivel trófico conocido como microplancton. Desarrollos exponenciales llamados fluorescencia, y son más profundos cuando existe la mayor radiación solar, es decir en el verano.

Para determinar la condición trófica de un embalse se han desarrollado modelaciones matemáticas, entre ellos la de Salas-Martino y otros que también establecen alguna forma o método de medir los parámetros. Salas-Martino desarrolla

la medición del nitrógeno, fósforo y de la clorofila A, componentes de estas células o microalgas del fitoplancton. (Salas, J., Martino, P., 1981-1990)

Para el embalse Pao Cachinche existen estudios determinativos que en forma cualitativa y cuantitativa demuestran que el embalse se encuentra eutroficado, entre ellos, el realizado por el Instituto de Biología Experimental de la Universidad Central de Venezuela en el año 2000. Este instituto realizó una caracterización tanto del nivel de nutrientes, así como también las especies de diferentes niveles tróficos dentro del embalse y determinando que por la presencia de ellos el nivel del embalse era considerado hipereutrófico.

Por otro lado, se consideraron los contajes realizados por la misma empresa Hidrológica de las muestras para determinar el número de microorganismos por mililitro y se estudió una data desde 1993 al 2003 donde el crecimiento de este parámetro es significativo y lo ubica coincidentalmente entre los niveles que podemos considerar como hipereutrófico. (ver anexo, gráfico 4.8)

La hipereutrofia determina muy alta producción de biomasa es decir, se desarrollan de manera exponencial y mueren, siendo al fin de cuentas, materia que necesita oxígeno para descomponerse. Además a la condición de eutrofia, se agrega la condición de aguas anóxicas en la columna de agua, que es otra característica de los embalses hipereutroficados, de manera tal, siendo tema ya cubierto por investigaciones anteriores, lo cual da como resultado que el embalse Pao Cachinche, dado por sus características observables de patinas y mantos extensos de color verde sobre la superficie del embalse, así como también, el crecimiento de Bora, repollo de agua que son macrófitas (ver anexos, figura 4.2-4.12), aunado la gran cantidad de peces muertos en diferentes épocas corroboran la circunstancias de hipereutrófico, lo cual se confirma en las entrevistas.

Las hipereutrofia es causada por elementos puntuales y difusos. Entre las causas puntuales se encuentran:

1. Descargas de aguas provenientes de granjas porcinas ubicadas en los Municipios Libertador y Valencia, sin tratamiento.
2. Obstrucción de tramos existentes.
3. Deficiencia de mantenimiento en el sistema existente.
4. Descargas directas de aguas servidas domiciliarias de sectores no planificados que no se empotran al sistema de colectores.

Esta última causa ha sido dimensionada y es uno de los puntos principales de la planificación del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB), para tratar de resolver el problema de la hipereutrofia del embalse Pao Cachinche. Cabe destacar que este organismo, a lo largo de estos últimos años se ha encargado de construir gran parte de estos colectores, pero aun así existen zonas que no poseen este tipo de infraestructura, entre estas destacan: Barrio Los Jardines (Urb. Nayleth), estación de bombeo José Leonardo Chirinos, nuevo desarrollos al sur de la Urb. Santa Eduvigis, como también descargas de aguas servidas en drenajes en tramos de la Av. Lara.

En consecuencia, de acuerdo a los resultados de las investigaciones realizadas, el embalse se encuentra eutroficado.

4.3- Propuestas de solución para la mitigación del problema de la eutroficación de embalse Pao-Cachinche.

En efecto se comprendió que las alternativas posibles quedaron comprendidas en lo que a continuación se refiere:

- i. Uso de la gravedad o energía potencial aprovechando la altura del cimacio de la presa, es decir, usando tecnología de sifones.
- ii. Uso de energía de elevación a través de una bomba centrífuga.
- iii. Combinación de las dos alternativas anteriores.

Como se trata de un problema ecológico, se tomaran como condición vital las alternativas que usen energía ecológica, es decir, sin el uso de energías adicionales que vengan o provengan de otro nivel de afectación ecológica o bien que hayan causado impacto ambiental en otros ecosistemas. Para los efectos de esta investigación se consideró apropiado el uso de energías no convencionales con el propósito de enmarcarlas dentro de una concepción netamente ecológica o lo que es llamado de otra manera por los movimientos ecológicos uso de energía verde.

No obstante, la consideración de que a mayor profundidad se encuentran compuestos en el agua que puedan de algún modo interferir en la mengua de energía potencial, generada por la diferencia de alturas de succión y descarga de un sifón, también es prudente considerar la energía adicional de una bomba que pueda vencer las posibles fuerzas viscosas o bien romper la continuidad de caudales por elementos sólidos disueltos en el agua. En este sentido el uso de esta energía se analizará dentro de un contexto de considerar si la longitud del tramo de descarga ocasiona pérdidas, que resten la energía potencial necesaria a una sección continua o establecer regímenes de caudal continuo propiamente dicho que podría utilizar una bomba con un mínimo parcial de energía necesario para vencer ese nivel de pérdida.

Adoptando el criterio de diseñar un sistema que pudiera desalojar caudales adyacentes a la torre toma, sin uso de energía eléctrica adicional, se decidió adoptar el primero de los tres mencionados, en este sentido, se detalla a continuación la propuesta.

4.4- Desarrollo de alternativa de método de extracción de sólidos suspendidos totales y sedimento para un análisis de toma de decisión.

En los planos elaborados mediante la recolección de datos (ver anexos), se muestra el modelo de sistema a seguir, tomando en cuenta las dimensiones reales del embalse.

El método utilizado para la evaluación del sistema de sifón, parte de la condición de que la variación de energía entre en el punto de entrada y salida del sifón sea mayor que la sumatoria de las pérdidas generadas por los tramos de tubería a utilizar, garantizando de esta manera el buen funcionamiento del sifón. Tal como se expresa en la siguiente ecuación de energía:

$$\Delta H \geq \sum h_f \quad (4.1)$$

4.4.1- Ecuación general del sistema

4.4.1.1- Determinación del ΔH

Partiendo de la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + Z = H \quad (4.2)$$

Realizando el balance de energía entre la cota de superficie libre del embalse y la salida, teniendo en cuenta que el régimen del flujo es permanente uniforme a lo largo de la tubería.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 \quad (4.3)$$

Considerando como condiciones de frontera lo siguiente:

- Flujo permanente
- Z_1 = constante, debido a que el nivel del embalse no varía.
- $V_1 \neq 0$, El flujo es permanente
- $Z_2 = 0$ (Cota de salida respecto al centroide del extremo de descarga)
- $V_2 = V$, Velocidad en cualquier sección a lo largo del conducto
- La presión atmosférica local en ambos puntos $P_1 = P_2 = P_{atm} = 0$, puesto que se trabaja con Presiones manométricas.

Reemplazando las condiciones de frontera en la ecuación de la energía:

$$Z_1 - Z_2 = \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (4.4)$$

Sabiendo que:

$$Q = V \cdot A = V \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4.5)$$

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (4.6)$$

Evalando:

$$Z_1 - Z_2 = \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} \quad (4.7)$$

$$\Delta H = (Z_1 - Z_2) - \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} \quad (4.8)$$

Esta última ecuación corresponde al valor de la variación de energía en una función directamente proporcional al caudal e inversamente proporcional al diámetro.

Para este método de evaluación del sifón, se debe realizar por medio de un proceso iterativo, teniendo como condición primordial la variación del diámetro interno de la tubería. Del sistema se conocen datos como lo son:

- Las cotas de succión y descarga, están sujetas a condiciones que dependen de la geometría de la presa, y seleccionando respecto a la descarga la condición limite que nos genera dicha geometría. De esta manera se conoce que la cota de succión es de 353 msnm y la cota de descarga es de 306 msnm.
- El caudal: tomando en cuenta que se debe desalojar la mayor cantidad de fluido que se pueda, esto tiene relación con el gasto hidráulico, en este

caso se selecciono un valor de caudal de diseño de 100 litros por segundo. Inicialmente puede ser un valor solo para considerar el comportamiento de mis variables, por tanto este puede o no ser modificado posteriormente.

- Considerando constante la gravedad como $9,81 \text{ m/s}^2$ y adicionalmente el valor de Pi como 3,14159.

Con los datos anteriores y seleccionando un valor de diámetro comercial de 10 pulgadas (0,254 metros), podemos determinar el valor de la variación de energía, evaluando en la ecuación 4.8, como sigue:

$$\Delta H = (353 \text{ m} - 306 \text{ m}) - \frac{8 \cdot \left(0,1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2}{3,14159^2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,254 \text{ m})^4}$$

$$\Delta H = 45,87149 \text{ m}$$

Siendo este valor la energía generada del sistema con las consideraciones propias del embalse.

4.4.1.2- Determinación de las pérdidas del sistema

Para este cálculo debemos tomar en cuenta tanto los tramos de tubería como los accesorios de las mismas. También se debe considerar que existen tramos que dependen del caudal y tendrán un comportamiento distinto.

4.4.1.2.1- Pérdidas en tramos rectos

Este tipo de pérdidas la determinaremos mediante la ecuación de Darcy-Weisbach (1875), siendo una de las fórmulas más exactas para cálculos hidráulicos. La fórmula original es:

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (4.9)$$

En función del caudal la expresión queda de la siguiente forma:

$$hf = 0,0826.f.. \frac{Q^2.L}{D^5} \quad (4.10)$$

El coeficiente de fricción f es función del número de Reynolds (Re) y del coeficiente de rugosidad o rugosidad relativa de las paredes de la tubería (ϵ_r):

$$f = f(Re, \epsilon_r) \quad (4.11)$$

$$Re = \frac{D.V.\rho}{\mu} \quad (4.12)$$

En función del caudal:

$$Re = 1,2732. \frac{Q.\rho}{\mu.D} \quad (4.13)$$

Para el cálculo del factor de fricción existen múltiples ecuaciones, para nuestros cálculos usaremos la ecuación de Colebrook-White (1939), ya que es válida para todo tipo de flujos y rugosidades. Es la más exacta y universal, pero el problema radica en su complejidad y en que requiere de iteraciones.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.\log \left[\left(\frac{\epsilon}{3,71.D} \right) + \left(\frac{2,51}{Re.\sqrt{f}} \right) \right] \quad (4.14)$$

4.4.1.2.2- Pérdidas en accesorios

Además de las pérdidas de carga por rozamiento, se producen otro tipo de pérdidas que se originan en puntos singulares de las tuberías (cambios de dirección, codos, juntas, etc.) y que se deben a fenómenos de turbulencia. La suma de estas pérdidas de carga accidentales o localizadas más las pérdidas por rozamiento dan las pérdidas de carga totales.

Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga localizadas sólo se pueden determinar de forma experimental, y puesto que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico (K):

$$h_{acc} = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (4.15)$$

En función del caudal:

$$h_{acc} = 0,08263 \cdot K \cdot \frac{Q^2}{D^4} \quad (4.16)$$

Partiendo del diseño expuesto en el plano 1 (ver anexos), podemos apreciar las dimensiones tanto de la presa como de longitud de la tubería, los datos aquí suministrados son a escala 1:1, estas dimensiones fueron tomadas considerando aspectos de importancia, como lo son:

- La tubería no puede pasar sobre la cresta de la presa puesto que esta ultima sirve como vía acceso hacia la torre toma y la sala de compresores.
- No se puede modificar las características ni el diseño de la presa, eso referido a realizar excavaciones sobre la misma.

Tomando en cuenta esto, nos vemos en la necesidad de ubicar la tubería sobre uno de los extremos de la presa incrementando de forma notoria la longitud de la tubería, aumentando de manera directa las pérdidas del sistema.

De esta información podemos decir que los datos de las longitudes para los tramos rectos son:

Tramo de tubería correspondiente a los extremos A-B se determino mediante los datos suministrados de los planos y algunos artificios matemáticos como teorema de Pitágoras, obteniendo finalmente:

$$L_{A-B} = 213,27 \text{ m} + 44 \text{ m} + 161 \text{ m} + 52,61 \text{ m} \quad (4.17)$$

$$L_{A-B} = 470,88 \text{ m} \quad (4.18)$$

De igual forma determinamos la longitud de la sección alrededor de la torre toma, siendo esta:

$$L_{\text{Absorción}} = 26,82 \text{ m} * 6 \quad (4.19)$$

$$L_{\text{Absorción}} = 160,92 \text{ m} \quad (4.20)$$

Finalmente se sabe que la última compuerta se encuentra alrededor de 30 m de profundidad, lo que indica que la longitud máxima de cada tramo de succión corresponde a ese valor, de lo que podemos analizar, que realizando los cálculos para esta profundidad garantizamos el mayor valor de pérdidas que genera este tramo de tubería.

$$L_{\text{Succión}} = 30 \text{ m} \quad (4.21)$$

En esta etapa del diseño debemos considerar los posibles materiales para la tubería. Para nuestro estudio consideramos dos materiales, estos son: de plástico y acero, las tuberías de plástico pueden ser de PVC (policloruro de vinilo) o de PEAD (polietileno de alta densidad), de manera de cálculo de pérdidas reflejan los mismos valores ya que la rugosidad del material se considera igual y muy baja, por otro lado, se consideraran la resistencia de cada material para presiones internas, seleccionando el que mejor cumpla con las condiciones del sistema, de igual manera tomando en cuenta para este último cálculo el acero. En la tabla 3.1 se muestra las rugosidades de los materiales de las tuberías.

Sabiendo que el sistema está compuesto por tres tramos, denominados por criterio propio como: tramo de sifón, tramo de absorción y tramo de succión, y considerando simetría en el sistema, se asume que el caudal que circula por cada lado

del tramo de absorción (Q_{Abs}), que se encuentra alrededor de la torre toma, es la mitas del caudal que circula por el tramo de sifón (Q_S). También se refleja el hecho de que el caudal de trabajo de cada tramo de succión (Q_{Succ}), depende de la cantidad de tramos que se requieran o se deseen incluir al sistema, siendo esto, que el caudal de cada tramo es igual al caudal del tramo del sifón dividido entre el número de tramos (N_{TS}). De otra manera:

$$Q_{ABSORCIÓN} = \frac{Q_{TOTAL}}{2} \quad (4.22)$$

$$Q_{SUCCIÓN} = \frac{Q_{TOTAL}}{N_{TS}} \quad (4.23)$$

A continuación se presentan los cálculos pertinentes a las pérdidas generadas por los diferentes tramos de tubería, siendo esta de un material de acero.

Determinando el valor del Reynolds y seguidamente el factor de fricción mediante las ecuaciones 4.13 y 4.14 respectivamente:

$$Re = 1,2732 \cdot \frac{0,1 \frac{m^3}{s} \cdot 997 \frac{kg}{m^3}}{0,00089 Pa.s \cdot 0,254 m} = 561523,66$$

Siendo este valor el referido a un régimen turbulento según la bibliografía consultada.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[\left(\frac{0,045}{3,71 \cdot 0,254} \right) + \left(\frac{2,51}{561523,66 \cdot \sqrt{f}} \right) \right]$$

Este de valor de factor de factor de fricción, como no se puede despejar de la ecuación, se determinó usando una hoja de cálculo en el Excel, aquí se manejó una herramienta denominada referencia circular la cual se genera cuando una fórmula hace referencia a su propia celda, directa o indirectamente, de esta manera se iniciaba un tanteo automático entre dos las dos (2) celdas que relacionan la ecuación, y este se

detiene cuando los valores de dichas celdas se igualan en el sexto (6to) decimal. De esta forma obtuvimos:

$$f = 0,0154782$$

Conociendo esto, se determina las pérdidas lineales mediante la ecuación 4.10:

Pérdidas para tramo del sifón:

$$hf_{TS} = 0,0826 * 0,0154782 * \frac{\left(0,1 \frac{m^3}{s}\right)^2 * 470,88m}{(0,254m)^5} = 5,69432m$$

Pérdidas para el tramo de absorción:

$$hf_{Abs} = 0,0826 * 0,0154782 * \frac{\left(0,05 \frac{m^3}{s}\right)^2 * 160,92m}{(0,254m)^5} = 0,48650m$$

Pérdidas para el tramo de succión, considerando un número de tramos igual a siete (5):

$$hf_{Succ} = \left(0,0826 * 0,0154782 * \frac{\left(0,01429 \frac{m^3}{s}\right)^2 * 30m}{(0,254m)^5} \right) * 5 = 0,03704m$$

Ahora, para determinar las pérdidas generadas por los accesorios se debe conocer el factor ϕ que caracteriza a cada accesorio en particular, este se obtuvo según estudios realizados por Crane, (Crane, 1987), (ver anexo, figura 3.1), los siguientes valores para las condiciones de diámetro que se maneja:

Tabla 4.5. Factores $\sum K$ para accesorios del tramo del sifón

Accesorio	Cantidad	Factor K
Válvula Mariposa	2	(10"-14") $\rightarrow k=35.f$ (16"-24") $\rightarrow k=25.f$
Válvula de retención	1	$k=50.f$
Codos	3	$k=8.f$
Te de línea	1	$k=20.f$

Fuente: (Crane, 1987)

Evaluando para las condiciones de factor de fricción en estudio, obtenemos el valor total del factor k para este tramo:

$$k_s = (35 \cdot 2 + 50 + 8 \cdot 3 + 20) \cdot 0,0154782 = 2,53842$$

De manera similar, se realiza para los otros dos tramos:

Tabla 4.6. Factores $\sum K$ para accesorios del tramo de absorción

Accesorio	Cantidad	Factor K
Codos de 72°	5	$k=40.f$
Te de ramal	2	$k=60.f$
Te de línea	4	$k=20.f$

Fuente: (Crane, 1987)

$$k_{Abs} = 6,19128$$

Tabla 4.7. Factores ϕK para accesorios del tramo de succión

Accesorio	Cantidad	Factor K
Te de ramal	5	$k=60.f$
Entrada	5	$k=0,78.f$

Fuente: (Crane, 1987)

$$k_{\text{Succ}} = 4,70382$$

Obtenido estos factores de ϕK correspondientes, debemos evaluar en la ecuación 4.16, resultando para cada tramo:

$$h_{\text{acc}_S} = 0,08263 \cdot 2,53842 \cdot \frac{\left(0,1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2}{(0,254\text{m})^4} = 0,50374\text{m}$$

$$h_{\text{acc}_{\text{Abs}}} = 0,30716\text{m}$$

$$h_{\text{acc}_{\text{Succ}}} = 0,03734\text{m}$$

Finalmente determinamos las pérdidas totales:

$$\sum h_f = 7,06606\text{m}$$

En resumen, la carga hidráulica disponible supera a las pérdidas totales en el sifón:

$$\Delta H = 45,87149 > \sum h_f = 7,06606\text{m}$$

Por lo tanto se demuestra que el sifón está correctamente diseñado

$$\Delta H - \sum h_f = 38,80543\text{m}$$

4.4.1.2- Control de Cavitación

Partiendo de la ecuación de Bernoulli para el tramo perteneciente en los puntos A-C (ver anexos), y considerando las pérdidas por tramos de tubería:

$$\frac{P_A}{\dots} + \frac{V_A^2}{2 \cdot g} + Z_A = \frac{P_C}{\dots} + \frac{V_C^2}{2 \cdot g} + Z_C + \sum hf_{AC} \quad (4.30)$$

Evaluando las condiciones y despejando:

$$\frac{P_C}{\dots} = (Z_A - Z_C) - \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} - \sum hf_{AC} \quad (4.31)$$

Para el cálculo de las pérdidas solo consideramos el tramo A-C, y con los datos conocidos, obtenemos que:

$$L_{A-B} = 309,77 \text{ m}$$

$$\sum hf_{AC} = 4,769775 \text{ m}$$

Evaluando las condiciones:

$$\frac{P_C}{\dots} = (353\text{m} - 360,93\text{m}) - \frac{8 \cdot (0,1\text{m}^3/\text{s})^2}{3,14159^2 \cdot 9,81\text{m}/\text{s}^2 \cdot (0,254\text{m})^4} - 4,769775\text{m}$$

$$\frac{P_C}{\dots} = -12,89829\text{m}$$

$$P_C = -1261526 \text{ Pa} = 18,2968 \text{ Psi}$$

Debemos saber que este valor de presión critica esta expresado de manera manométrica, por tanto debemos sumarle el valor de la presión atmosférica para seguidamente compararlo con la presión de vapor.

$$P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa} = 14,6959 \text{ Psi}$$

$$\begin{aligned} P_{C(\text{ABS})} &= 101325 \text{ Pa} - 126152,6 \text{ Pa} \\ &= -24827,60039 \text{ Pa} \\ &= 3,600927 \text{ Psia} \end{aligned}$$

Determinando el valor de la presión de vapor para una temperatura a la superficie del embalse de 32,5°C, correspondiente al nivel de la muestra, siendo esta temperatura la que arroja una presión de vapor mayor:

$$P_{\text{VAPOR}} = 0,04897 \text{ bar} = 4897 \text{ Pa} =$$

Por último comparando los valores de presión, se cumple que:

$$P_C = -24827,6 \text{ Pa} < P_{\text{VAPOR}} = 4897 \text{ Pa} \quad (4.32)$$

Por tanto, se demuestra que para las condiciones dadas, el sistema de sifón cavita, lo que provoca que la continuidad del fluido se pierda por la formación de cavidades de oxígeno en el interior de la tubería. Por tal motivo, a continuación se muestra los valores resultantes de la iteración de diferentes diámetros comerciales (ver anexo, figura 4.13), y caudales para que el sistema cumpla ambas condiciones, esto para tuberías de acero como de plástico.



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CAPÍTULO 5

Análisis de Resultados

El embalse Pao Cachinche está ubicado de manera tal que todas las escorrentías naturales que escurren en la cuenca alta del Río Pao llegan hasta Cachinche y el crecimiento demográfico acelerado ha acentuado esa condición, permitiendo mayores niveles de eutroficación y en definitiva aumentado la sedimentación de los sólidos suspendidos totales (SST) convirtiendo zonas anóxicas en profundidades que se pueden estimar a partir de los 10 metros en adelante. Esto solo permite que se pueda captar agua de las dos primeras compuertas de la torre toma y con el problema que no existe compuerta de drenaje esas aguas no son desalojadas, lo cual limita, que la captación de agua sea solo de las capas superficiales.

Esto obliga a que debe existir una manera de sacar esos sedimentos y por las tomas de muestra de densidad hemos observado, que no varía considerablemente con respecto a la profundidad. Al variar la densidad es un parámetro a tomar en cuenta en cualquier método de extracción, además se supone que el aumento demográfico y el arrastre de aguas servidas municipales hacia el embalse Pao Cachinche se estima que hay mayor cantidad de sólidos suspendidos totales (SST), que es una medida también de estimar que cantidad en peso existente en el embalse.

Considerando las encuestas realizadas, se obtuvo que, en sus inicios, el embalse tuvo problemas no definidos en cuanto a su construcción, adicionalmente, se sabe que el embalse no presenta compuerta de descarga para los sedimentos, situación que siempre ha representado un problema, si esta compuerta existiera el nivel de sedimentación alrededor de la torre toma seria mucho menor, coincidiendo los entrevistados en la elaboración de un método para extraer dichos sedimentos.

El diagnóstico de acuerdo a toda la discusión de resultados es que la torre toma no aplica correctamente su función de seleccionar las aguas a diferentes niveles o a diferentes profundidades sino que solo puede tomar las aguas superficiales debido al aumento y la sedimentación de los sólidos suspendidos totales (SST) convirtiendo zonas anóxicas en profundidades que se estiman que se ubican a partir de los 10 metros en adelante.

Hay que tener un elemento de extracción, que resuelva el problema de sólidos suspendidos totales y anoxia en la columna de agua.

Realizando la evaluación y diagnostico del embalse, mediante los datos suministrados por la empresa y estudios antes realizados junto con bibliografía revisada, se aprecia que el embalse se encuentra en un estado hipereutrófico, esto para nuestro estudio es de gran importancia ya que entendemos que existe gran cantidad de biomasa acumulada en el seno del embalse, la cual consume gran cantidad de nitrógeno y fosforo, para su supervivencia, estas al morir van al fondo del embalse, y como toda materia orgánica consume oxígeno en su proceso de descomposición, trayendo como consecuencia la anoxia de dicha aguas, lo cual hace difícil el tratamiento de las mismas para consumo humano.

CAPÍTULO 6

Conclusiones y Recomendaciones

6.1- Conclusiones

- En esta investigación, para la determinación del nivel de eutroficación del embalse Pao-Cachinche no fue necesario realizar acciones, ya que esto ha sido determinado por institutos debidamente acreditados, como lo es el Instituto de Biología Experimental de la Universidad Central de Venezuela, donde esto se asume como válido y se considera hipereutrófico.
- Se determinó que a los treinta (30) metros de profundidad no se encontró columna comprimida de sedimentos, lo que descarta la posibilidad de que la compuerta número ocho se encuentre inoperante por la acumulación de los mismos.
- Es necesario desalojar sedimentos de la columna de sedimentación por algún método.
- Las pérdidas generadas en el sistema dependen de variables como lo son el diseño, diámetro, caudal y factor de fricción, este último es de gran importancia, ya que lo obtenemos por el material de la tubería, en el caso de estudio contamos con dos materiales como lo son el Acero, PVC y PEAD

siendo estos dos últimos los que posee menor factor de fricción y por ende una disminución de las pérdidas.

- Un factor limitante en el estudio del sifón es la longitud de descarga, y no en todas las circunstancias se podrá disponer de ella para la selección del sifón. De igual manera se conoce que la presión ejercida en la parte superior del sifón debe ser mayor que la presión de vapor, de lo contrario la dinámica del sistema y la presión ejercida formaran cavidades de vapor en dicho tramo. Las cuales al acumularse permiten que se rompa la continuidad del diseño.
- Las tuberías seleccionadas deben ser lo suficientemente resistentes para soportar estas presiones internas, ya que de lo contrario podría causar grietas o la fractura completa de la tubería.
- De los estudios realizados se demostró que la densidad a 15 metros de distancia de la torre toma, fue de 996 kg/m^3 aproximadamente, esto, para profundidades comprendidas entre cero (0) metros hasta los treinta (30) metros.
- El sistema de sifón utilizado en la investigación permite modificaciones referidas al tramo de descarga, en este sentido se podría disminuir dicho tramo hasta una cota mayor a la de succión, pero manteniendo la relación de que la energía generada por el sistema sea mayor a las pérdidas del mismo de manera de no afectar drásticamente las condiciones del sistema.
- Tanto el acero como el plástico utilizados en la investigación, cumplen con las condiciones del sistema diseñado, lo que nos indica que la rugosidad del material, en la investigación, es un parámetro que no perturba de manera significativa el comportamiento del sifón.
- Los parámetros considerados de gran importancia en la investigación, como lo son la densidad y la viscosidad del fluido guardan una relación discrepante con respecto a los valores de pérdidas en la tubería y la presión crítica en la tubería de mayor cota. Referido a esto se encontró que al incrementarse la densidad del fluido disminuyen las pérdidas y se incrementa la presión crítica,

en caso contrario, aumentando la viscosidad, las pérdidas crecen y se reduce la presión.

- Las diferentes variables o elementos y las diversas condiciones presentes en el sistema llevaron a cambiar algunas partes o aspectos sin alterarlo del todo, queriendo decir con esto, que se cumplieron con los objetivos del tema de investigación, teniendo como meta principal la extracción de los sedimentos del fondo de embalses eutroficados.
- Finalmente se comprobó que el sistema de sifón diseñado con los parámetros inicialmente establecidos, teóricamente funciona de manera satisfactoria para un diámetro mayor o igual a 20 pulg y un caudal de 100 litros por segundo, garantizando que no se produzca el fenómeno de cavitación y permitiendo con esto un flujo constante en la tubería.
- En el embalse Pao-Cachinche se observan todas las características de excesiva producción de microplancton y macroplancton, cuestión que contribuye a generar sólidos suspendidos totales, aguas anóxicas y aumento de la columna de sedimento.
- El embalse tiene períodos de mayor producción primaria, microplancton. Se puede considerar estacional ya que en verano se observa su aumento y en invierno por remplazo de nuevos caudales de lluvias, son arrastrados y los remanentes se diluyen.
- La eutroficación por su propia dinámica genera sedimentos que contribuyen al reciclamiento de nutrientes.
- Se determinó de manera contundente que en épocas de lluvia los valores de N_2 , P, y plancton (cel/ml) disminuyen, contrariamente a los de O_2 que aumentan. Sin embargo no existe buena calidad de agua a partir de los diez (10) metros de profundidad. De estas anteriores comprobaciones se dedujo; la importancia de tratar de mitigar los efectos que pudieran causar aguas intermedias de captación, en la torre toma selectiva, por la presencia de sólidos suspendidos totales (incluyendo microalgas en estado de lisis celular);

en la calidad del agua cercana a la torre toma. Considerando además que la región de estudio solo llueve, en promedio cinco (5) meses, es decir el embalse tiene, también en promedio siete (7) meses sin renovación de aguas, razón que induce a la necesidad de desalojar volúmenes estancados en las adyacencias a la torre toma para que sean remplazados por flujos de mejor calidad; propósito y espíritu que sustentan esta investigación.

6.2- Recomendaciones

- Considerando que una de las fuentes principales que nutre el embalse son las aguas servidas, se deben realizar desvíos de las mismas hacia plantas de tratamiento, a manera de estabilizar y extraer la materia orgánica presente en ellas, logrando que estas no lleguen y contribuyan a la contaminación del embalse.
- Actualmente se cuenta con un sistema de aireación el cual podría mejorarse, invirtiendo en nuevas tuberías sumergibles, aplicando de manera continua el oxígeno al embalse.
- Se recomienda a exhortar a la comunidad a participar en foros, convenciones, talleres para que conozcan el problema antrópico de la eutroficación, con la tendencia de lograr en ellos que a su vez motiven a las autoridades a la construcción de obras de saneamiento ambientales.
- Es no recomendable descargar estos caudales aguas abajo en el lecho del río sino crear un mecanismo depurativo ecológico como los humedales, ya que el estado hipereutrófico del embalse perjudicaría las aguas que posean mejor calidad aguas abajo.
- Por las extremas condiciones que posee el embalse en la actualidad, no es recomendable utilizar el dragado de los sedimentos, al menos no en los alrededores de la torre toma, principalmente porque es de alto costo, y segundo porque al trasladar los sedimentos desde el fondo hasta la superficie

(Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 1976) se estaría mezclando con aguas que se encuentran en mejor condiciones, perjudicando estas últimas.

- Se recomienda hacer faenas de limpieza de desmonte y maleza alrededor de la tubería, para evitar que la tubería del sifón entre en contacto con el suelo previendo su deterioro.
- Si se desea extraer mayor volumen de sedimento, se deben colocar varias líneas de sifón ó que se introduzca energía adicional al sistema mediante equipos de bombeo.
- El sistema de bombeo para el llenado debe contar con un sistema de purga de sedimentos, el cual se realice mediante el suministro a presión de agua por la válvula colocada en la parte superior. De esta manera se expulsan los elementos que en ese momento obstruyan las tuberías.
- En estudios posteriores se debe considerar un sistema para la recolección superficial de las plantas y sacarle provecho como material de abono o alimento para animales. De esta manera se estaría previendo que esas plantas mueran sobre el embalse y su posterior decantación, sedimentando en el fondo del mismo.
- Considerar colocar la tubería lo mas perpendicular a la presa, a manera de disminuir el tramo de tubería y directamente las pérdidas, de esta forma existe posibilidad de alargar el tramo de descarga hacia una ubicación donde se pueda construir sistemas de humedales o lagunas de oxidación, los cuales son sistema que permiten la estabilización de la materia orgánica, de igual modo realizar la extracción de la misma, evitando que vaya al cuerpo de agua abajo.
- Para prevenir la cavitación en el tramo más elevado de la tubería, se puede aumentar tanto el valor del diámetro de la tubería, como la altura comprendida entre la cota de succión y la cota de dicho tramo.



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Referencias Bibliográficas

Catalogo de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad. (2011). Recuperado el 6 de Febrero de 2011, de <http://www.gemaca.com>

Cengel, Y. Cimbala, J. (2006). *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones. 1era Ed.* McGraw-Hill / INTERAMERICANA EDITORES, S. A. DE C. V.

Compendio de Definiciones Limnológicas. (1990). Ministerio del Ambiente.

Crane. (1987). *Flujo de Fluido en Válvulas, Accesorios y Tuberías. 1era Ed.* McGRAW-Hill.

Cruz, L. Enrique, B. (2005). *Diseño Hidraulico del Sifón Acueducto Ccochanccay. Protecto de Irrigación Yaurihuiri.* Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Gerencia Técnica. (1995). *Manual de Tratamiento de Embalses.* C. A. Hidrológica Venezolana.

González E., Ortaz M., PeñaHerrera C., Matos M. (2000). *Fitoplancton de un Embalse Tropical Hipereutrófico (Pao-Cachinche, Venezuela): abundancia, biomasa y producción primaria.* Universidad Central de Venezuela.

Herbert, A. (1956). *Tratado de Hidráulica Aplicada.*

Hurtado, J. (1998). *Metodología de la Investigación Holística*. 1da Ed. Instituto Universitario de Tecnología Caripito. Servicios y Proyecciones para América Latina (SYPAL).

International Environmental Technology Centre. (2001). Planificación y Manejo de Lagos y Embalses: Una Visión Integral de la Eutroficación, Osaka / Shiga. *Series de Publicaciones Técnicas (11)*.

Marks. (1990). *Manual del Ingeniero Mecánico*. 8va Ed. McGRAW-Hill.

McNaughton, K. (1992). *Bombas, Selección, Uso y Mantenimiento*. México: McGraw-Hill.

Méndez, M. (1995). *Tuberías a Presión en Los Sistemas de Abastecimiento de Agua*. Universidad Católica Andrés Bello. Fondo Polar - UCAB. Facultad de Ingeniería.

Miliarium Ingeniería Civil y Medio Ambiente. (2011). Recuperado el 27 de Enero de 2011, de <http://www.miliarium.com>

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. (1976). *Grandes Presas de Venezuela. Revista el Agua Tomo I Edición Especial*.

Pérez, L. (2005). *Teoría de la Sedimentación*. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

Salas, J., Martino, P. (1981-1990). *Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Tuberías Comerciales de Acero. (2011). Recuperado el 6 de Febrero de 2011, de <http://www.vemacero.com>



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Anexos



UNIVERSIDAD DE CARABOBO.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA.



**ENCUESTA SOBRE RELACIONES CON LA CALIDAD DE AGUA DEL
EMBALSE PAO-CACHINCHE**

La siguiente encuesta se realiza con la finalidad de obtener conocimientos acerca de la problemática del embalse Pao-Cachinche.

No tome mucho tiempo en ninguna de las preguntas, más bien asegúrese de responder a cada una de ellas. Trabaje con cuidado. Recuerde que no hay respuestas correctas o incorrectas, lo que interesa es su opinión. Deje que su experiencia lo guíe para marcar su verdadera opinión.

Se le agradece la colaboración que pueda prestar al responder responsablemente la presente prueba, los datos aquí obtenidos son de carácter confidencial.

INSTRUCCIONES:

- La encuesta consta de 12 ítems, lea cuidadosamente cada uno antes de responder.
- De las dos (2) alternativas, marque con una X sobre la que considere su respuesta.
- Es individual.

Gracias.

1. *¿Conoce usted como ha variado la calidad del agua del embalse Pao Cachinche a través de los años que tiene laborando en el mismo?*

SI NO

Si su respuesta anterior fue afirmativa:

2. *¿Cree usted que la calidad del agua ha desmejorado a través del tiempo?*

SI NO

Si su respuesta anterior fue afirmativa siga contestando.

3. *¿Crees que el problema de la calidad del agua del embalse se debe a las aguas servidas municipales?*

SI NO

4. *¿Considera que el problema de la calidad del agua del embalse se debe al arrastre de nutrientes de los suelos por las escorrentías?*

SI NO

5. *¿Cree usted que el problema de la calidad del agua del embalse se debe a deforestaciones?*

SI NO

6. *¿Cree usted que a mayor profundidad la densidad aumente?*

SI NO

7. *¿Usted pudiera asegurar que el embalse posee compuerta de drenaje de sedimentos?*

SI NO

Si su respuesta anterior fue negativa.

8. *¿Al sacar esos sedimentos cree usted que la calidad del agua del embalse mejoraría para potabilizarla?*

SI NO

9. *¿Cree usted que se puedan extraer esos sedimentos?*

SI NO

10. *¿Cree usted que todas las compuertas de la torre toma se encuentran operativas?*

SI NO

Si su respuesta anterior fue negativa.

11. *¿Cree usted que el numero de compuertas operativas en la torre toma han disminuido por la excesiva acumulación de sedimentos?*

SI NO

12. *Sabiendo que los elementos de nitrógeno y fósforo son de gran importancia para el crecimiento excesivo de plantas en el embalse. ¿Cree usted que dichos elementos hayan aumentado considerablemente en los últimos años?*

SI NO

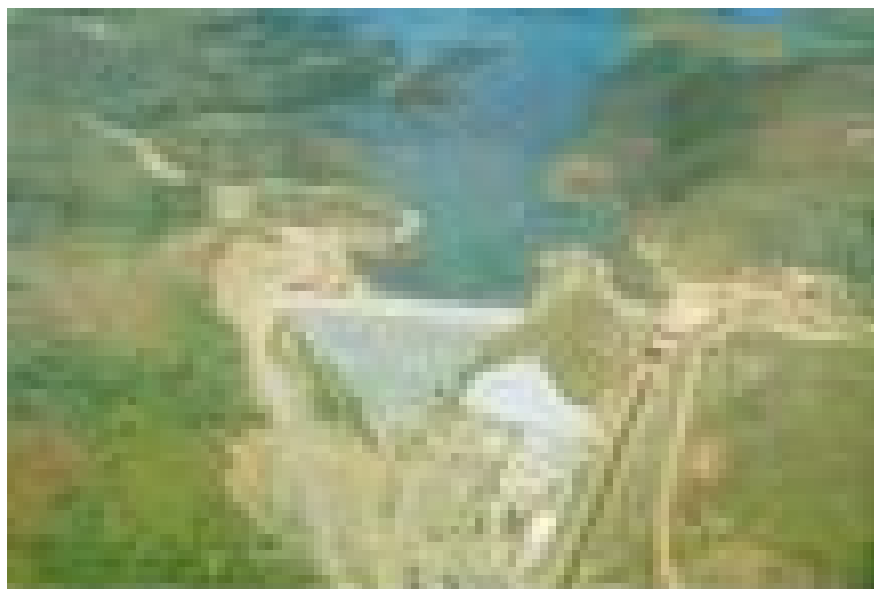


Figura 1.1. Vista aérea del embalse



Figura 1.2. Nivel del embalse en condiciones posteriores a su construcción

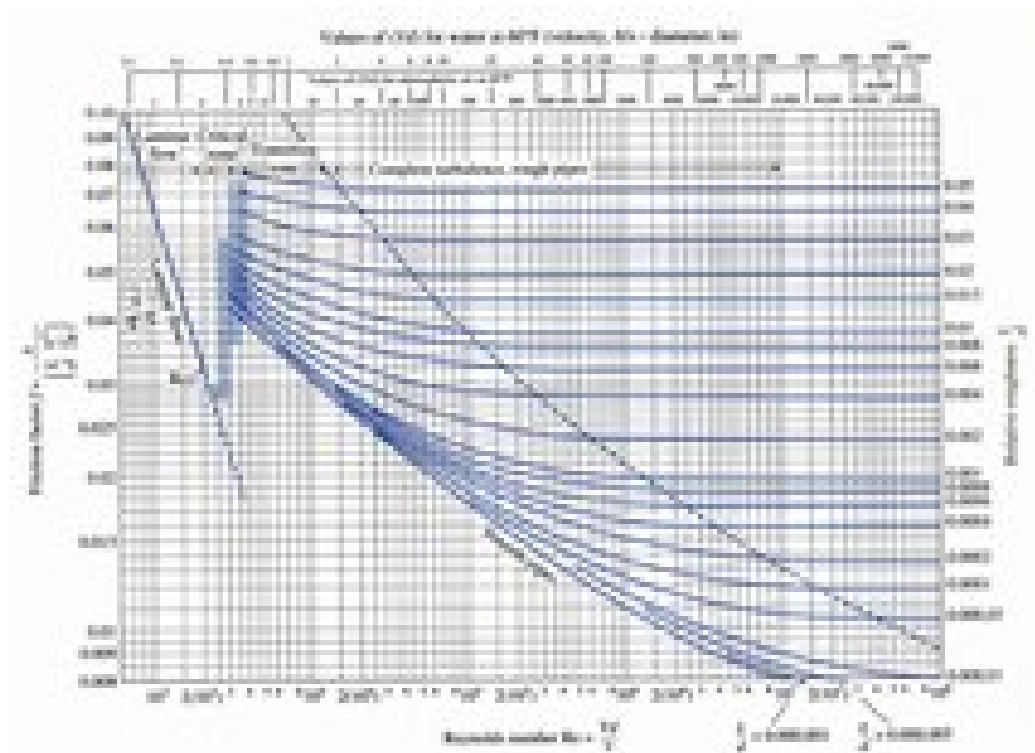
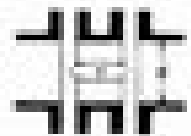
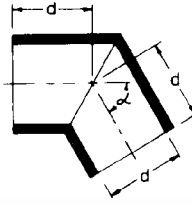
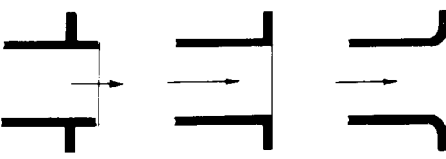
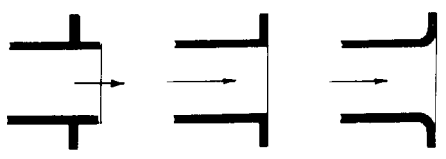


Grafico. Diagrama de Moody (1944)

Figura 3.1. Coeficientes de resistencia K valido para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE MARIPOSA  Diámetro: 50 mm (2") a 100 mm (4") ... $K = 40 f_T$ Diámetro: 150 mm (6") a 250 mm (10") ... $K = 25 f_T$ Diámetro: 400 mm (16") a 600 mm (24") ... $K = 25 f_T$	CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"  Flujo directo $K = 20 f_T$ Flujo desviado a 90° .. $K = 60 f_T$																
VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE  $K = 100 f_T$ $K = 50 f_T$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador (m/seg) = $45 \sqrt{V}$ = $75 \sqrt{V}$ (pie/seg) = $35 \sqrt{V}$ = $60 \sqrt{V}$ U/L Registradas = $120 \sqrt{V}$ = $100 \sqrt{V}$	CURVAS EN ESCUADRA O FALSA ESCUADRA  <table border="1" data-bbox="1101 1008 1276 1209"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0°</td> <td>$2 f_T$</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>$4 f_T$</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>$8 f_T$</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>$15 f_T$</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>$25 f_T$</td> </tr> <tr> <td>75°</td> <td>$40 f_T$</td> </tr> <tr> <td>90°</td> <td>$60 f_T$</td> </tr> </tbody> </table>	α	K	0°	$2 f_T$	15°	$4 f_T$	30°	$8 f_T$	45°	$15 f_T$	60°	$25 f_T$	75°	$40 f_T$	90°	$60 f_T$
α	K																
0°	$2 f_T$																
15°	$4 f_T$																
30°	$8 f_T$																
45°	$15 f_T$																
60°	$25 f_T$																
75°	$40 f_T$																
90°	$60 f_T$																
SALIDAS DE TUBERÍA Con resalte De cantos vivos Redondeada  $K = 1.0$ $K = 1.0$ $K = 1.0$	SALIDAS DE TUBERÍA Con resalte De cantos vivos Redondeada  $K = 1.0$ $K = 1.0$ $K = 1.0$																

Fuente: Flujo de fluidos en válvulas accesorios y tuberías, (Crane, 1987)

Figura 3.2. Propiedades de saturacion del agua

TABLE 3-1 Agua saturada: Tabla de temperaturas													
Temper. T, °C	Pres. sat., MPa	Calor específico kJ/kg		Energía interna kJ/kg		Entropía kJ/kg		Energía kJ/kg		Entropía kJ/kg		Energía kJ/kg	
		líq. sat.	vapor sat.	líq. sat.	vapor sat.	líq. sat.	vapor sat.	líq. sat.	vapor sat.	líq. sat.	vapor sat.	líq. sat.	vapor sat.
0-20	0.00117	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25	0.00119	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	0.00121	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
35	0.00123	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40	0.00125	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
45	0.00127	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50	0.00129	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
55	0.00131	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60	0.00133	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
65	0.00135	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70	0.00137	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
75	0.00139	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80	0.00141	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
85	0.00143	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90	0.00145	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
95	0.00147	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100	0.00149	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
105	0.00151	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110	0.00153	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
115	0.00155	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120	0.00157	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
125	0.00159	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130	0.00161	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
135	0.00163	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140	0.00165	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
145	0.00167	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150	0.00169	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
155	0.00171	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160	0.00173	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
165	0.00175	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170	0.00177	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
175	0.00179	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180	0.00181	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
185	0.00183	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190	0.00185	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
195	0.00187	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
200	0.00189	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Flujo de fluidos en válvulas accesorios y tuberías. (Cengel, Y. Cimbala, J., 2006)



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA CUENCA RIO PAO



Figura 4.1. Ubicación geográfica e Cuenca Rio Pao

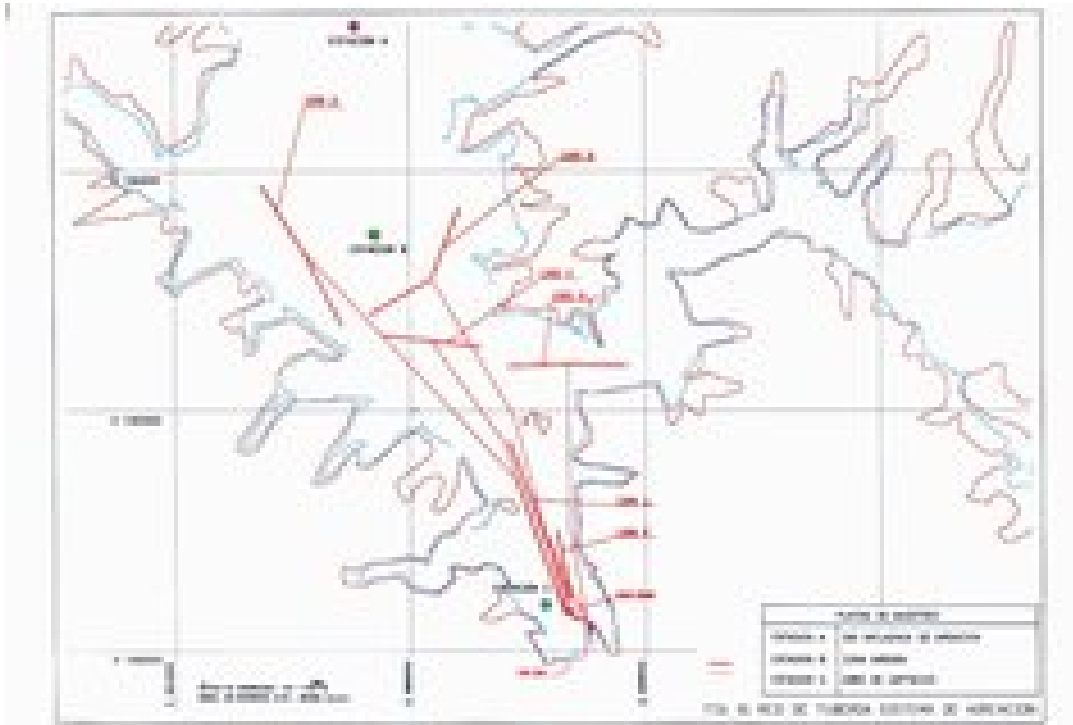


Figura 4.2. Red de sistema de aireación



Figura 4.2. Sistema de generación eléctrica de la presa



Figura 4.3. Sistema de bombeo de la presa



Figura 4.4. Condiciones del embalse Pao-Cachinche



Figura 4.5. Torre-Toma selectiva



Figura 4.6. Alrededores de la torre-toma selectiva



Figura 4.7. Muestra de las macrófitas presentes en el embalse



Figura 4.8. Método de extracción de macrófitas utilizado en la actualidad cuando el embalse no se encuentra aliviando



Figura 4.9. Canal de aliviadero de la presa



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



Figura 4.10. Canal de aliviadero de la presa



Figura 4.11. Alrededores del embalse



Figura 4.12. Tributario perteneciente al embalse Pao-Cachinche



PDF Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features



SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD

Código:
A-CG-11-A

Fecha de Emisión:
Noviembre 2007

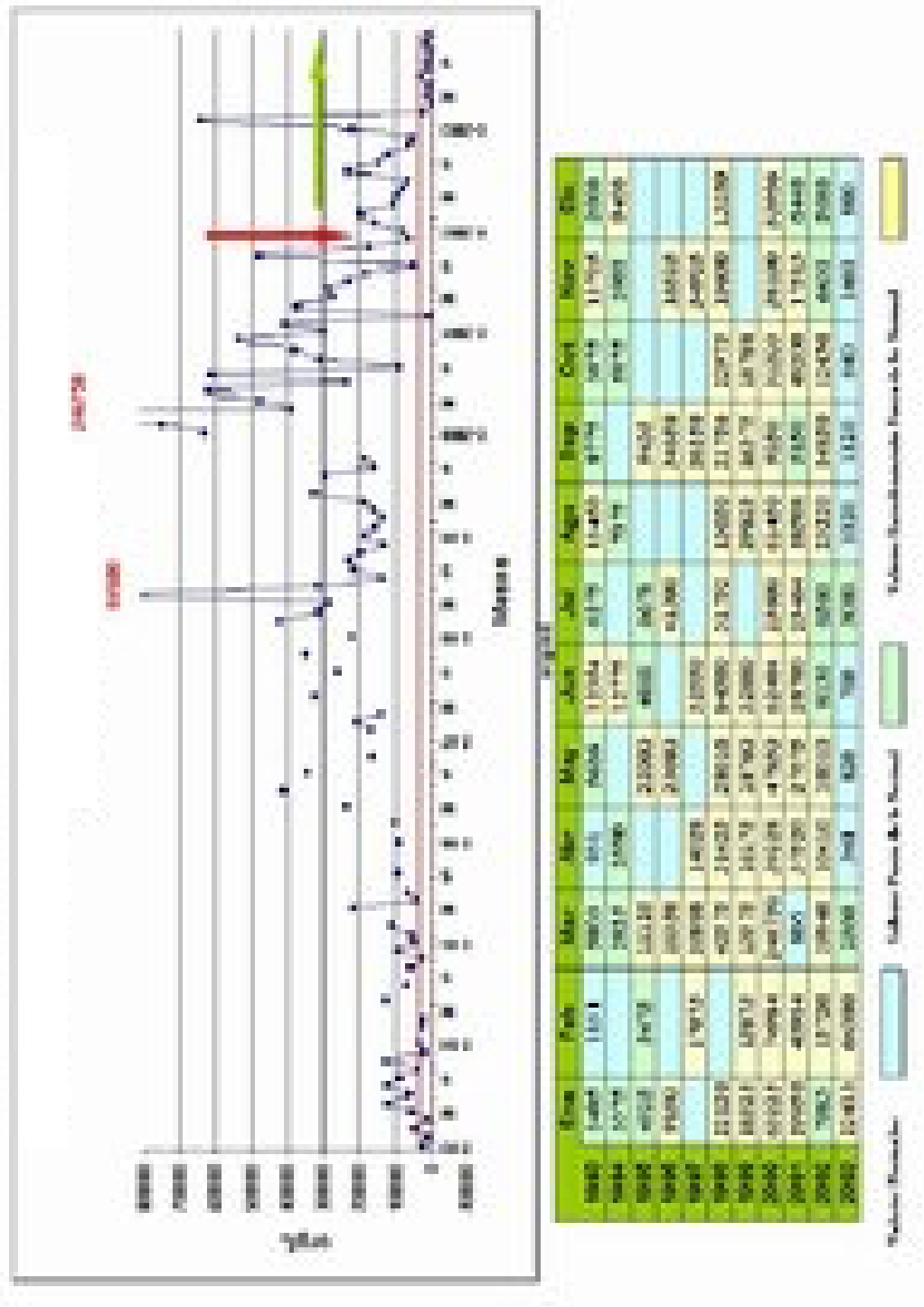
Fecha Última Revisión:
Noviembre 2007

Nº Revisión:
00

DIMENSIONES TUBERIA PEAD PE 80 (6100M) NORMA COVENIN 3833

COVENIN 3833	SDR 33	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,5	SDR 11	SDR 9	SDR 7,4
PE 80, C=1,25	4 BAR (60 PSI)	5 BAR (75 PSI)	6,3 BAR (90 PSI)	8 BAR (120 PSI)	10 BAR (150 PSI)	12,5 BAR (185 PSI)	16 BAR (235 PSI)	20 BAR (290 PSI)
DIAMET.	ESPESOR	ESPESOR	ESPESOR	ESPESOR	ESPESOR	ESPESOR	ESPESOR	ESPESOR
mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.
	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO
	Kg/Mt	Kg/Mt	Kg/Mt	Kg/Mt	Kg/Mt	Kg/Mt	Kg/Mt	Kg/Mt
	Prom.	Prom.	Prom.	Prom.	Prom.	Prom.	Prom.	Prom.
16,0							2,3	0,103
20,0							2,3	0,133
25,0						2,3	0,171	2,8
32,0				2,3	0,223	2,4	0,232	3,0
40,0			2,3	0,284	2,4	0,295	3,0	0,360
50,0			2,4	0,374	3,0	0,458	3,7	0,553
63,0	2,3	0,458	2,4	0,477	3,0	0,585	3,8	0,726
75,0	2,3	0,545	2,9	0,681	3,6	0,831	4,5	1,020
90,0	2,8	0,797	3,5	0,981	4,3	1,187	5,4	1,464
110,0	3,4	1,175	4,2	1,433	5,3	1,780	6,6	2,180
125,0	3,8	1,490	4,8	1,856	6,0	2,287	7,4	2,777
160,0	4,9	2,445	6,1	3,008	7,7	3,743	9,5	4,550
200,0	6,1	3,791	7,6	4,670	9,6	5,819	11,9	7,109
250,0	7,6	5,887	9,5	7,280	11,9	9,006	14,8	11,040
315,0	9,6	9,346	12,0	11,563	15,0	14,281	18,7	17,551
355,0	10,8	11,836	13,5	14,648	16,9	18,119	21,1	22,302
400,0	12,2	15,049	15,2	18,569	19,1	23,056	23,7	28,219
500,0	15,2	23,405	19,0	28,980	23,9	36,027	29,7	44,163
560,0	17,1	29,466	21,5	36,691	26,7	45,064	33,2	55,279
630,0	19,1	37,016	23,9	45,891	30,0	56,949	37,4	70,033

Grafico 4.8 Fitoplancton Embalse Pao Cachinche Torre Toma (0m) 1993-2003
(datos Hidroven 1993 ñ abril 2000 / Hidrocentro mayo 2000-2003)





PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

**Tabla 1.1. Datos Físicoquímicos del Puntalón Rio Chubutito en la zona de Captación
Período: Noviembre 2010 - Mayo 2011**

Fecha de Captación	Punto de Captación	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (µmhos/cm)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Sólidos Totales (mg/l)
11/11/2010	Superficial	23,1	7,21	295,25	6,67	445
	5 m	23,5	7,37	305,7	9	180
	10 m	23,9	7,43	298,33	6,25	215
15/12/2010	Superficial	24,2	7,33	371,98	4,48	200
	5 m	23,6	7,43	361,06	7,93	185
	20 m	23,6	7,47	369,46	4,81	210
19/01/2011	Superficial	20,7	7,23	313,83	2,24	240
	5 m	20,7	7,46	311,3	16,67	190
	20 m	20,9	7,61	273,12	1,75	200
09/02/2011	Superficial	25,4	7,55	376	7,2	205
	5 m	24,5	7,43	368,34	4,4	225
	20 m	27,72	7,47	372,64	8	200
16/03/2011	Superficial	27,6	7,41	500,72	11,6	330
	5 m	29,5	7,79	496,33	10,8	325
	20 m	28	7,69	410,73	11,2	310

[illegible]



PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Continuación Tabla 4.8. Tuberías comerciales de acero, VEMACERO

Características generales de la tubería		Características de la tubería		Características de la tubería		Características de la tubería		Características de la tubería		Características de la tubería		Características de la tubería		Características de la tubería	
Diámetro nominal (mm)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)
100	114.3	101.6	114.3	101.6	114.3	101.6	114.3	101.6	114.3	101.6	114.3	101.6	114.3	101.6	114.3
150	168.3	154.9	168.3	154.9	168.3	154.9	168.3	154.9	168.3	154.9	168.3	154.9	168.3	154.9	168.3
200	219.1	203.2	219.1	203.2	219.1	203.2	219.1	203.2	219.1	203.2	219.1	203.2	219.1	203.2	219.1
250	273.1	254.0	273.1	254.0	273.1	254.0	273.1	254.0	273.1	254.0	273.1	254.0	273.1	254.0	273.1
300	323.9	301.6	323.9	301.6	323.9	301.6	323.9	301.6	323.9	301.6	323.9	301.6	323.9	301.6	323.9
350	374.8	349.4	374.8	349.4	374.8	349.4	374.8	349.4	374.8	349.4	374.8	349.4	374.8	349.4	374.8
400	425.7	401.3	425.7	401.3	425.7	401.3	425.7	401.3	425.7	401.3	425.7	401.3	425.7	401.3	425.7
450	476.6	451.2	476.6	451.2	476.6	451.2	476.6	451.2	476.6	451.2	476.6	451.2	476.6	451.2	476.6
500	527.5	501.7	527.5	501.7	527.5	501.7	527.5	501.7	527.5	501.7	527.5	501.7	527.5	501.7	527.5
550	578.4	552.6	578.4	552.6	578.4	552.6	578.4	552.6	578.4	552.6	578.4	552.6	578.4	552.6	578.4
600	629.3	603.1	629.3	603.1	629.3	603.1	629.3	603.1	629.3	603.1	629.3	603.1	629.3	603.1	629.3
650	680.2	653.0	680.2	653.0	680.2	653.0	680.2	653.0	680.2	653.0	680.2	653.0	680.2	653.0	680.2
700	731.1	703.9	731.1	703.9	731.1	703.9	731.1	703.9	731.1	703.9	731.1	703.9	731.1	703.9	731.1
750	782.0	754.8	782.0	754.8	782.0	754.8	782.0	754.8	782.0	754.8	782.0	754.8	782.0	754.8	782.0
800	832.9	805.7	832.9	805.7	832.9	805.7	832.9	805.7	832.9	805.7	832.9	805.7	832.9	805.7	832.9
850	883.8	856.6	883.8	856.6	883.8	856.6	883.8	856.6	883.8	856.6	883.8	856.6	883.8	856.6	883.8
900	934.7	907.5	934.7	907.5	934.7	907.5	934.7	907.5	934.7	907.5	934.7	907.5	934.7	907.5	934.7
950	985.6	958.4	985.6	958.4	985.6	958.4	985.6	958.4	985.6	958.4	985.6	958.4	985.6	958.4	985.6
1000	1036.5	1009.3	1036.5	1009.3	1036.5	1009.3	1036.5	1009.3	1036.5	1009.3	1036.5	1009.3	1036.5	1009.3	1036.5

Fuente: (Tuberías Comerciales de Acero, 2011) (Tuberías Comerciales de Acero, 2011)

Tabla 4.10. Valores de rugosidad equivalentes para tuberías comerciales nuevas

Tubo		
Material	Diámetro	k_s
Acero		
Comercial	1/2 a 36 in.	0.00015
Galvanizado	1/2 a 36 in.	0.00015
Aluminio	1/2 a 36 in.	0.00015
Plástico	1/2 a 36 in.	0.00015
Cemento		
Comercial	1/2 a 36 in.	0.00015
Galvanizado	1/2 a 36 in.	0.00015
Aluminio	1/2 a 36 in.	0.00015
Plástico	1/2 a 36 in.	0.00015
Cobre		
Comercial	1/2 a 36 in.	0.00015
Galvanizado	1/2 a 36 in.	0.00015
Aluminio	1/2 a 36 in.	0.00015
Plástico	1/2 a 36 in.	0.00015

Fuente: (Cengel, Y. Cimbala, J., 2006)



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Índice general

Índice General	i
Índice de Figura	v
Índice de Tablas	vii
Índice de Gráficos	ix
CAPÍTULO 1.....	3
El Problema.....	3
1.1- Planteamiento del problema.....	3
1.2- Formulación del problema.	5
1.3- Objetivos.	5
1.3.1- Objetivo General.	5
1.3.2- Objetivos Específicos.....	5
1.4- Justificación del problema.	6
1.5- Limitaciones.....	7
1.6- Delimitaciones.	7
CAPÍTULO 2.....	9
Bases Teóricas	9
2.1- Antecedentes de la investigación.....	9
2.1.1- Introducción.....	9
2.1.2- Antecedentes.....	10
Antecedente N° 1.....	10
Antecedente N° 2.....	12

2.2.1- Embalse.....	13
2.2.4- Eutroficación.	20
2.2.5- Factores limitantes.	24
2.2.6- Clasificación de la Eutroficación.	25
2.2.7- Efectos de la Eutroficación.....	26
2.2.8- Sólidos Suspendidos Totales.	34
2.2.9- Sifón.	35
2.2.10- Densidad y Gravedad Específica.	37
2.2.11- Presión de vapor y cavitación.....	38
2.2.12- La Ecuación de Bernoulli.	40
2.2.13- Numero de Reynolds.....	46
2.2.14- Calculo de pérdida de carga en tubería.	48
CAPÍTULO 3	53
Metodología.....	53
3.1- Nivel de la investigación.....	53
3.2- Diseño de la investigación.	54
3.2.1- Conocer la situación actual del embalse Pao-Cachinche en relación a la eutroficación.....	54
3.2.2- Diagnóstico de la situación actual del embalse Pao-Cachinche en relación a la eutroficación.	55
3.2.3- Proponer alternativas de solución para la mitigación del problema de la eutroficación del embalse Pao-Cachinche.....	55
3.2.4- Desarrollar la alternativa de método de extracción de sólidos suspendidos totales y sedimentos para un análisis de toma de decisión.	56
3.3.1- Técnicas	64
3.3.2- Instrumentos.	65
3.4- Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	65
CAPÍTULO 4	67
Resultados.....	67
4.1- Conocer la situación actual del embalse Pao-Cachinche en relación a la eutroficación.....	67
4.1.1- Características del diseño original	67
4.1.2- Obras de optimización para el sistema.....	69

4.1.3- Situación actual	69
4.1.1- Encuesta.	76
4.2- Diagnóstico de la situación actual del embalse Pao-Cachinche en relación a la eutroficación.....	79
4.3- Propuestas de solución para la mitigación del problema de la eutroficación de embalse Pao-Cachinche.	82
4.4- Desarrollo de alternativa de método de extracción de sólidos suspendidos totales y sedimento para un análisis de toma de decisión.	83
4.4.1- Ecuación general del sistema.....	84
CAPÍTULO 5.....	97
Análisis de Resultados	97
CAPÍTULO 6.....	99
Conclusiones y Recomendaciones	99
6.1- Conclusiones	99
6.2- Recomendaciones	102
Referencias Bibliográficas	105
Anexos.....	107



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[**Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features**](#)

Índice de Figuras

2.1	Decantación por caída interferida.	16
2.2	Análisis de la curva de decantación interferida.	17
2.3	Zonificación longitudinal en factores ambientales que controlan el estado trófico de los embalses.	26
2.4.	Patrón generalizado de crecimiento algal en 1: lagos oligotróficos a mesotróficos, 2: lagos eutróficos y 3: lagos hipereutróficos que padecen de colapsos algales.	31
2.5	Tuberías en forma de sifón.	35
2.6	Disposición de un sifón invertido.	36
2.7	Capas límite y de las estelas.	41
2.8	Fuerzas que actúan sobre una partícula de fluido a lo largo de una línea de corriente.	42
2.9	Selección de diámetro de un sistema de tubería.	57
1.1	Vista aérea del embalse.	114
1.2	Nivel del embalse en condiciones posteriores a su construcción.	114
1.3	Diagrama de Moody.	115
3.1	Coeficientes de resistencia K valido para válvulas y accesorios.	116
3.2	Propiedades de saturacion del agua.	117
4.1	Ubicación geográfica e Cuenca Rio Pao.	118

4.2	Sistema de generación eléctrica de la presa	119
4.3	Sistema de bombeo de la presa	119
4.4	Condiciones del embalse Pao-Cachinche	120
4.5	Torre-Toma selectiva	120
4.6	Alrededores de la torre-toma selectiva	121
4.7	Muestra de las macrófitas presentes en el embalse	121
4.8	Método de extracción de macrófitas utilizado en la actualidad cuando el embalse no se encuentra aliviando	122
4.9.	Canal de aliviadero de la presa	123
4.10	Canal de aliviadero de la presa	124
4.11	Alrededores del embalse	124
4.12	Tributario perteneciente al embalse Pao-Cachinche	125
4.13	Catálogo de tuberías de Polietileno de alta densidad	126

Índice de Tablas

2.1.	Rugosidad Absoluta vs Material	49
2.2.	Coeficiente de K en pérdidas singulares	51
2.3.	Tipos de bombas y sus aplicaciones	53
2.4.	Velocidades Específicas para bombas rotodinámicas	54
3.1.	Rugosidad para los materiales en estudio	67
4.1.	Embalse Pao-Cachinche, torre toma	75
4.2.	Temperatura Promedio (°C) Estación Torre Toma Noviembre 2010	77
4.3.	Densidad-Viscosidad, noviembre 2010	78
4.4.	Resultado de encuesta sobre relaciones con la calidad de agua del embalse	81
4.5.	Factores $\phi K \phi$ para accesorios del tramo del sifón	95
4.6.	Factores $\phi K \phi$ para accesorios del tramo de absorción	96
4.7.	Factores $\phi K \phi$ para accesorios del tramo de succión	96
4.8.	Resultado del uso de la hoja de cálculo para material de Acero y PEAD	100
4.9.	Tuberías comerciales de acero, VEMACERO	127
4.10.	Valores de rugosidad equivalentes para tuberías comerciales nuevas	136



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

**[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)**



PDF

Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

**[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)**



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

**[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)**

Índice de Gráficos

4.1.	Fitoplancton durante el año 2001	76
4.2.	Fosforo durante el año 2001	76
4.3.	DBO durante el año 2001	76
4.4.	Nitrógeno durante el año 2001	77
4.5.	Turbiedad durante el año 2001	77
4.6.	Temperatura promedio Noviembre 2001	78



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

**[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)**



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[**Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features**](#)



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[**Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features**](#)

Tabla 4.8. Resultado del uso de la hoja de cálculo para material de Acero y PEAD

VALORES CORRESPONDIENTES PARA UNA TUBERÍA DE ACERO												
D (pulg)	D (m)	Q (m ³ /s)	£ (kg/m ³)	$\bar{\rho}$ (kg/m s)	$\bar{U}$ (m)	V (m/s)	Re	f	f _l	$\bar{e}$ H (m)	–hf (m)	P _{crit} (Pa)
10	0,254000	0,100000	997,000000	0,000890	0,000045	1,973527	561523,666283	0,015057	0,015057	46,987193	5,385964	-208404,835979
12	0,304800	0,100000	997,000000	0,000890	0,000045	1,370505	467936,388569	0,015032	0,015032	46,991106	2,238485	-85179,723848
14	0,355600	0,100000	997,000000	0,000890	0,000045	1,006901	401088,333059	0,015090	0,015090	46,993466	1,068647	-33856,249541
16	0,406400	0,100000	997,000000	0,000890	0,000045	0,770909	350952,291427	0,015195	0,015195	46,994997	0,566931	-9506,689592
18	0,457200	0,100000	997,000000	0,000890	0,000045	0,609113	311957,592380	0,015329	0,015329	46,996047	0,325758	3232,848573
20	0,508000	0,100000	997,000000	0,000890	0,000045	0,493382	280761,833142	0,015478	0,015478	46,996798	0,199237	10416,965641
24	0,6096	0,1	997	0,00089	0,000045	0,342626	233968,1943	0,0157999	0,01579989	46,99777653	0,085838	17414,98124
VALORES CORRESPONDIENTES PARA UNA TUBERIA DE PEAD												
D (pulg)	D (m)	Q (m ³ /s)	£ (kg/m ³)	$\bar{\rho}$ (kg/m s)	$\bar{U}$ (m)	V (m/s)	Re	f	f _l	$\bar{e}$ H (m)	–hf (m)	P _{crit} (Pa)
10	0,254000	0,100000	997,000000	0,000890	0,000002	1,973527	561523,666283	0,012978	0,012978	46,987193	4,674570	-202462,668992
12	0,304800	0,100000	997,000000	0,000890	0,000002	1,370505	467936,388569	0,013386	0,013386	46,991106	1,993333	-83116,795714
14	0,355600	0,100000	997,000000	0,000890	0,000002	1,006901	401088,333059	0,013753	0,013753	46,993466	0,973947	-33060,190368
16	0,406400	0,100000	997,000000	0,000890	0,000002	0,770909	350952,291427	0,014086	0,014086	46,994997	0,525547	-9159,158539
18	0,457200	0,100000	997,000000	0,000890	0,000002	0,609113	311957,592380	0,014392	0,014392	46,996047	0,305859	3399,795375
20	0,508000	0,100000	997,000000	0,000890	0,000002	0,493382	280761,833142	0,014676	0,014676	46,996798	0,188911	10503,523824
24	0,6096	0,1	997	0,00089	0,0000015	0,342626	233968,1943	0,0151894	0,015189356	46,99777653	0,082521	17442,73897

Tabla 4.1. Embalse Pao-Cachinche, Torre-Toma

Parámetros en la Calidad Trófica del agua. Año 2010

FITOPLANCTON (O.m)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	29,95	40,964	20,608	37,52	27,65	28,7	23,464	18,508	5,15	48,2	21,092	7,18
FÓSFORO (FONDO)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	0,68	1,351	0,644	2,392	1,421	1,228	1,658	0,241		0,911	0,96	0,98
DBO (FONDO)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	7,91	8,08	10,81	13,7	12	9,85	7,65	5,01		9,65	8,91	10,53
NITRÓGENO AMONIA CAL (FONDO)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	2,04	3	2,59	3,47	0,42	0,1	3,63	5,01		3,29	2,79	1,28
TURBIEDAD (SUPERFICIAL)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	16,5	24	28,6	32,1	26,1	36,1	27,6	14,2	19,1	15,5	26,4	14,4

Fuente: suministrada por la C. A. Hidrológica del Centro (2001)