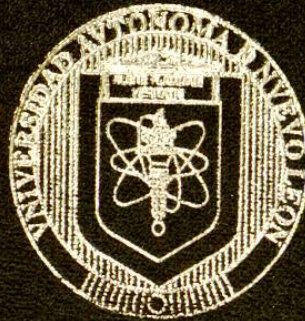


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL FLOCULADOR  
DE PALETAS DE EJE HORIZONTAL, MEDIANTE  
CAMBIO A UN SISTEMA HIDRAULICO DE FLUJO  
VERTICAL, EN LA POTABILIZADORA CENTRO DE  
LA CIUDAD DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS

Por

JUAN CARLOS ERNESTO ALDAPA CAMPOS

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
Con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Diciembre del 2001



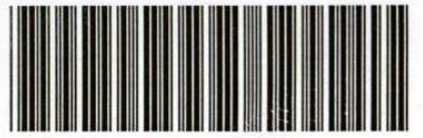
TM

TD751

.A54

2001

c.1



1080113414



TD751

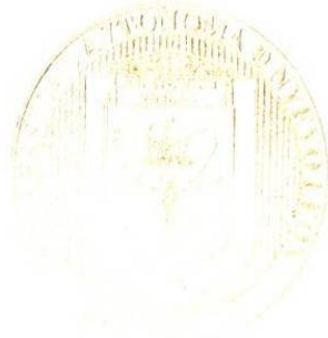
.A54

2001



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



MEMORANDUM DE INVESTIGACION DEL FLOTILLO DE  
EMBUQUES DE TIPO BOITTA, EN EL RÍO  
CABEZAS A UN NIVEL MUY BAJO, EN EL MUNICIPIO  
DE SAN CARLOS, EN LA ZONA RURAL, AL NOROCCIDENTE DE  
LA CIUDAD DE NUEVO LARDO, TAMAULIPAS

Por

JUAN CARLOS ERNESTO ALDAPA CAMPOS

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
Con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Diciembre de 2011



Ciudad universitaria, Octubre del 2001

**M.E.C. Francisco Gámez Treviño**  
**Presidente del comité de maestría**  
**Presente.**

En referencia al oficio del Secretario del Comité de Maestría, Dr. Ricardo González Alcorta, donde se me asigna como **Evaluador** de la tesis **"Mejoramiento de eficiencia del floculador de paletas de eje horizontal, mediante cambio a un sistema hidráulico de flujo vertical, en la potabilizadora centro de la ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas"**, que presenta el alumno **Ing. Juan Carlos E. Aldapa Campos** como requisito parcial para obtener el grado de **Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental**; comunico a Usted que habiendo examinado dicho documento, encuentro que cumple con los objetivos planteados en el mismo, por lo que a mi leal saber y entender considero **APROBADA** la tesis.

Sin otro particular por el momento, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración que considere necesaria.

**ATENTAMENTE**

**M.C. Víctor Hugo Guerra Cobián**  
**Catedrático**

Av. Pedro de Alba,  
Cd. Universitaria,  
Apartado Postal 58-F  
San Nicolás de los Garza,  
Nuevo León, México.

☎ (01) 8329 4060 • 8352 4850 Fax: Ext. 106

<http://www.uanl.mx/facs/fic/>





**COMPROBANTE DE CORRECCIÓN**

Tesista: JUAN CARLOS ERNESTO ALDAPA CAMPOS

Tema de la tesis: MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL FLOCULADOR DE PALETAS DE EJE HORIZONTAL, MEDIANTE CAMBIO A UN SISTEMA HIDRÁULICO DE FLUJO VERTICAL, EN LA POTABILIZADORA CENTRO, DE LA CIUDAD DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.

Este documento certifica la corrección definitiva del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográfico, metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

(Ninguna)

---

---

---

---

---

---

---

---

Nombre y firma de quien corrigió:

Ramón Longoria  
 Arq. Ramón Longoria Ramírez

Jegus

M.I. JUSTINO CÉSAR GONZÁLEZ ALVAREZ  
 SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Ciudad Universitaria, a 26 de noviembre de 2001





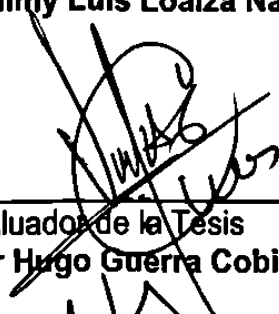
**MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL FLOCULADOR DE PALETAS DE EJE  
HORIZONTAL, MEDIANTE CAMBIO A UN SISTEMA HIDRÁULICO  
DE FLUJO VERTICAL EN LA POTABILIZADORA CENTRO  
DE LA CIUDAD DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.**

Aprobación de la Tesis:



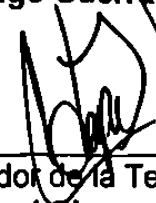
---

**El Director de la Tesis  
M.C. Jimmy Luis Loaiza Navia**



---

**El Evaluador de la Tesis  
M.C. Víctor Hugo Guerra Cobián**



---

**El Evaluador de la Tesis  
M.C. Juan Manuel Chapa Guerrero**



---

**El Subdirector de Estudios de Postgrado  
M.I. Justino Cesar González Álvarez.**



**COMPROBANTE DE CORRECCIÓN**

Tesista: JUAN CARLOS ERNESTO ALDAPA CAMPOS

Tema de la tesis: MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL FLOCULADOR DE PALETAS DE EJE HORIZONTAL, MEDIANTE CAMBIO A UN SISTEMA HIDRÁULICO DE FLUJO VERTICAL, EN LA POTABILIZADORA CENTRO, DE LA CIUDAD DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.

Este documento certifica la corrección definitiva del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográfico, metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

(Ninguna)

---

---

---

---

---

---

---

---

Nombre y firma de quien corrigió:

Ramón Longoria  
 Arq. Ramón Longoria Ramírez

Justino

M.I. JUSTINO CÉSAR GONZÁLEZ ALVAREZ  
 SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Ciudad Universitaria, a 26 de noviembre de 2001



Monterrey N.L., a 14 de Enero de 2002

**Ing. Justino Cesar González Álvarez, M en I**  
**Subdirector de estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**Presente**

Estimado M. en I. González Álvarez:

En atención a su oficio en el que me informa haber sido designado como *EVALUADOR* de la tesis

**“MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL FLOCULADOR DE PALETA  
DE EJE HORIZONTAL, MEDIANTE CAMBIO A UN SISTEMA  
HIDRÁULICO DE FLUJO VERTICAL, EN LA POTABILIZADORA  
CENTRO DE LA CIUDAD DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS”**

que presenta el *Ing. Juan Carlos Ernesto Aldapa Campos*, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental, informo a Usted que después de haber leído y evaluado críticamente la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro particular por el momento y saludándole cordialmente, manifiesto mi disponibilidad para cualquier aclaración que Usted considere pertinente.

**ATENTAMENTE**

  
M. en C. Juan Manuel Chapa Guerrero

## *Dedicatoria*

*Dedico esta tesis a mis sobrinos Benjamin y  
Bernardo como un ejemplo de superación personal en  
la vida.*

*Juan Carlos*



## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi esposa por incitarme a realizar la Maestría en Ingeniería Ambiental y por el apoyo moral y la paciencia que siempre me brindó durante mis estudios así como en la realización de esta tesis.**

**A mis padres, Sr. Ernesto Aldapa Beltrán y Sra. Alicia Campos de Aldapa, por haberme dado la vida, un hogar, la educación y el apoyo para alcanzar nuevas metas en la vida.**

**Un agradecimiento especial al M.C. Ing. Jimmy Luis Loaiza Navia, Catedrático de la escuela de Graduados en la Facultad de Ingeniería Civil, y Asesor de la presente Tesis, por todos los conocimientos, experiencias y consejos transmitidos durante la Maestría y durante el desarrollo del presente trabajo.**

**A todos y cada uno de los catedráticos de la Maestría en Ingeniería Ambiental, por los conocimientos recibidos durante mi estancia en la Facultad de Ingeniería Civil.**

**A los compañeros del salón, por compartir el esfuerzo y sacrificio de ir todos los sábados a la ciudad de Monterrey, la amistad y el apoyo recibidos durante el tiempo que nos tocó convivir.**

**Al personal de la Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Nuevo Laredo (COMAPA), por brindarme el apoyo para la realización de la presente Tesis, y con agradecimiento especial para el Ing. Ernesto Valdéz Vázquez, Gerente Técnico, por confiar en mí y darme la oportunidad de realizar este proyecto, al Ing. Eduardo Takasita Garza e Ing. Alfonso Velasco Cosme, Asesores Técnicos, por las experiencias y consejos transmitidos para la realización de este trabajo y a la Q.F.B. Maricela Flores Elvira, Jefe del departamento de Calidad del Agua, por las facilidades para la realización de las pruebas de Laboratorio.**

**A la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ingeniería Civil, por las facilidades que nos brindaron, a mí y a mis compañeros, para abrir un grupo los sábados y a las facilidades que nos brindaron durante nuestra estancia.**

## **RESUMEN**

**Juan Carlos Ernesto Aldapa Campos Fecha de graduacion: Diciembre de 2001**

**Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Título del estudio: MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL FLOCULADOR DE PALETAS DE EJE HORIZONTAL, MEDIANTE CAMBIO A UN SISTEMA HIDRÁULICO DE FLUJO VERTICAL, EN LA POTABILIZADORA CENTRO DE LA CIUDAD DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS.**

**Número de páginas: 100**

**Candidato para el grado de Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental.**

**Area de Estudio: Ingeniería Ambiental**

**Propósito y método del estudio.- El clarificador circular norte de la Planta Potabilizadora Centro de la Ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas, desde hace varios años ha venido presentando problemas de operación, debido a que el sistema de floculación es mecánico de paletas de eje horizontal y excesivamente pesado, por lo que cada 2 años ha sido necesario cambiar las chumaceras de apoyo, impactando económicamente en el Organismo Operador. En este trabajo se trató de mejorar la eficiencia de la estructura mediante el cambio de floculación a un sistema hidráulico de pantallas de flujo vertical, haciendo el diseño del mismo y realizando ensayos de laboratorio, para observar el comportamiento con el gasto máximo de diseño, a gasto mínimo y a diferentes grados de turbidez**

**Contribuciones y conclusiones.- En los ensayos realizados del sistema propuesto, se pudo comprobar que el sistema es eficiente, puesto que se produce mejor calidad de agua que con el sistema anterior, aún duplicando su capacidad y prescindiendo de energía eléctrica y minimizando el mantenimiento de equipos, con lo que se demuestra que no siempre es mejor utilizar tecnología sofisticada.**

**FIRMA DEL ASESOR : \_\_\_\_\_**

## PRÓLOGO

En nuestro país es relativamente fácil, para un Organismo Operador de Agua Potable y Alcantarillado, conseguir recursos para la construcción de una planta de tratamiento y más en la zona fronteriza, debido a la vecindad con los Estados Unidos de América, bajo la condición de elaborar el proyecto por empresas norteamericanas o, en su defecto, por mexicanas pero copiando tecnología sofisticada; sin embargo, durante la etapa de operación, la situación cambia, lo que obliga a los organismos operadores a tratar de aumentar las tarifas de cobro y muchas veces, por razones políticas, esto no se logra, lo que trae como consecuencia una baja de eficiencia global, tanto en las finanzas como en la calidad del agua.

Es por esto que cuando se me presentó la oportunidad de analizar un proyecto de solución para el Clarificador Circular Norte, de la Planta Potabilizadora centro de la Ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas, no dudé en implantar tecnología tradicional (no sofisticada) con la cual, se pudiera mejorar la eficiencia del proceso, esto es: eliminar los costos de energía eléctrica y mantenimiento, mejorando la calidad del agua.

A la fecha, el floculador hidráulico de flujo vertical se encuentra en operación y dando resultados de calidad de agua por encima de los esperados en esta tesis.

## TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
1.- INTRODUCCIÓN . . . . .	1
1.1 Antecedentes de la Planta Potabilizadora Centro de la Ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas . . . . .	1
1.2 Descripción de los problemas . . . . .	4
1.3 Objetivos del trabajo . . . . .	5
2.- MATERIALES Y MÉTODOS . . . . .	6
2.1 Fundamentos de la floculación . . . . .	6
2.2 Generación de alternativas de solución . . . . .	12
2.2.1 Floculadores mecánicos . . . . .	13
2.2.1.1 Floculador mecánico de eje horizontal . . . . .	13
2.2.1.2 Floculador mecánico vertical . . . . .	13
2.2.2 Floculadores hidráulicos . . . . .	14
2.2.2.1 Floculadores de tabiques . . . . .	14
2.2.2.1.1 Floculador de pantallas de flujo horizontal . . . . .	14
2.2.2.1.2 Floculador de pantallas de flujo vertical . . . . .	15
2.3 Selección de la mejor alternativa . . . . .	17
2.4 Procedimiento de diseño . . . . .	18
2.4.1 Parámetros y recomendaciones de diseño de un floculador de pantallas de flujo vertical . . . . .	18
2.4.2 Criterios para el dimensionamiento . . . . .	19
2.4.3 Análisis del proceso a gasto de diseño . . . . .	21
2.4.4 Análisis del proceso a gasto mínimo . . . . .	36
2.4.5 Revisión y análisis del diámetro de los orificios del sedimentador para soportar el caudal del diseño . . . . .	50
2.4.6 Análisis del área de paso inferior de las pantallas para evitar la acumulación de lodos . . . . .	51
2.5 Ensayo de laboratorio . . . . .	52
2.5.1 Sistemas de simulación del proceso . . . . .	52
2.5.1.1 Determinación de la dosis óptima de coagulante. . . . .	53
2.5.1.1.1 Aparato de prueba de jarras . . . . .	54
2.5.1.1.2 Turbidímetro . . . . .	55
2.5.1.1.3 Comparador de color . . . . .	55
2.5.1.1.4 Medidor de Ph . . . . .	55
2.5.1.1.5 Cristalería . . . . .	56
2.5.1.1.6 Reactivos . . . . .	56
2.5.1.1.7 Termómetro . . . . .	58



2.5.1.1.8 Procedimiento de ensayo . . . . .	58
2.5.1.2 Ensayo de laboratorio con el gasto de diseño. . . . .	60
2.5.1.3 Ensayo de laboratorio con el gasto mínimo . . . . .	61
2.5.1.4 Ensayo de laboratorio con diferentes grados de turbidez . .	61
3.- RESULTADOS . . . . .	62
3.1 Con el gasto de diseño . . . . .	62
3.2 Con el gasto mínimo . . . . .	66
3.3 A diferentes grados de turbidez . . . . .	68
4.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS . . . . .	72
5.- ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO . . . . .	74
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	83
BIBLIOGRAFÍA . . . . .	85
APÉNDICE A.-GRADIENTES DE VELOCIDAD PARA JARRAS CUADRADAS.	86
APÉNDICE B.-TABLA XIX. VALORES DE $\alpha$ . . . . .	87
APÉNDICE C.-TABLA XX. VALORES DE $(\gamma/\mu)^{1/2}$ . . . . .	88
APÉNDICE D.-PLANO DEL PROYECTO . . . . .	89
APÉNDICE E.-REPORTES DE TURBIDEZ DE LABORATORIO DE COMAPA DURANTE EL AÑO 1999 (FLOCULADOR MECANICO) . . . . .	90
APÉNDICE F.-REPORTES DE TURBIDEZ DE LABORATORIO DE COMAPA DURANTE EL AÑO 2001 (FLOCULADOR HIDRAULICO) . . . . .	91
APÉNDICE G.-GLOSARIO . . . . .	92

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Clasificación de floculadores . . . . .	12
II	Análisis del proceso a gasto de diseño . . . . .	22
III	Análisis del proceso a gasto mínimo . . . . .	37
IV	Revoluciones por minuto a diferentes gradientes y tiempo de floculación con el gasto de diseño . . . . .	60
V	Revoluciones por minuto a diferentes gradientes y tiempo de floculación con el gasto mínimo . . . . .	61
VI	Prueba de jarras a gasto de diseño. . . . .	63
VII	Prueba de jarras a gasto de diseño . . . . .	64
VIII	Prueba de jarras a gasto de diseño . . . . .	65
IX	Prueba de jarras a gasto mínimo. . . . .	67
X	Prueba de jarras a gasto mínimo y turbidez alta . . . . .	69
XI	Prueba de jarras a gasto de diseño y turbidez alta . . . . .	70
XII	Prueba de jarras a gasto de diseño y turbidez alta . . . . .	71
XIII	Presupuesto de rehabilitación del floculador mecánico de eje horizontal norte. . . . .	77
XIV	Presupuesto de construcción del floculador hidráulico de flujo vertical. . . . .	78
XV	Análisis del costo de operación y mantenimiento anual de los floculadores mecánicos de eje horizontal de La potabilizadora Centro de Nuevo Laredo. . . . .	79
XVI	Análisis del factor de Inflación ponderado esperado en costos de operación y mantenimiento. . . . .	80
XVII	Análisis financiero del cambio de sistema de floculación del clarificador circular norte de la Planta Potabilizadora Centro, considerando Inflación. . . . .	81
XVIII	Análisis financiero del cambio de sistema de floculación del clarificador circular norte de La Planta Potabilizadora Centro, sin considerar inflación. . . . .	82

XIX	Valores De $\alpha$ . . . . .	87
XX	Valores De $(\gamma/\mu)^{1/2}$ . . . . .	88

## NOMENCLATURA

<b>A.C.</b>	<b>Asbesto-cemento</b>
<b>CTE</b>	<b>Constante</b>
<b>Gr.</b>	<b>Gramo</b>
<b>HP</b>	<b>Caballos de fuerza</b>
<b>Lps.</b>	<b>Litro por segundo</b>
<b>M</b>	<b>Metro</b>
<b>M<sup>3</sup>/S</b>	<b>Metro cúbico por segundo</b>
<b>Min.</b>	<b>Minuto</b>
<b>NOM</b>	<b>Norma Oficial Mexicana</b>
<b>Ph</b>	<b>Indice de alcalinidad</b>
<b>Pulg.</b>	<b>Pulgada</b>
<b>PVC</b>	<b>Policloruro de Vinilo</b>
<b>S</b>	<b>Segundo</b>
<b>U.C.</b>	<b>Unidad de Color</b>
<b>UJ</b>	<b>Indice de Jackson</b>
<b>UNT</b>	<b>Unidades nefelométricas de turbidez</b>
<b>MI</b>	<b>Mililitro</b>
<b>CaO</b>	<b>Óxido de Calcio</b>
<b>Ca (OH)<sub>2</sub></b>	<b>Hidróxido de Calcio</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>Dióxido de Carbono</b>
<b>Gr/l</b>	<b>Gramos por litro</b>
<b>Mg/l</b>	<b>Miligramos por litro</b>