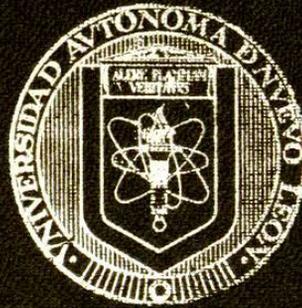


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



ACONDICIONAMIENTO Y OPTIMIZACION
DEL AGUA UTILIZADA PARA LA ELABORACION
DE CERVEZA Y SERVICIOS

POR:

ALEJANDRO BENITEZ VILLEGAS

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con especialidad en
Ingeniería Ambiental

Marzo de 2002

TM

TD424

5

.B4

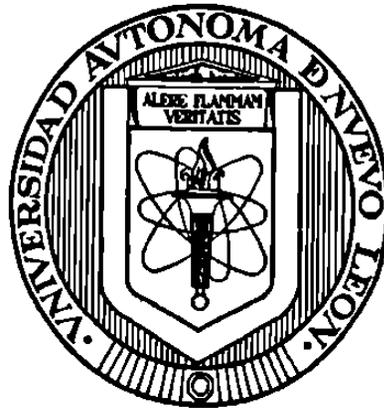
2002

c.1



1080117198

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



ACONDICIONAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DEL AGUA
UTILIZADA PARA LA ELABORACIÓN DE
CERVEZA Y SERVICIOS

Por

ALEJANDRO BENÍTEZ VILLEGAS

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con especialidad en
Ingeniería Ambiental

Marzo de 2002

304458



AGRADECIMIENTOS

Al Creador de todas las cosas, que me permite superar mis expectativas, sin cuya voluntad nada es posible y además me dado un Padre (+), una Madre (+), una esposa y tres hijos maravillosos.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León y a su personal docente por enriquecerme con sus conocimientos.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo, Director de mi tesis, a la Dra. Cecilia Rodríguez de Barbarín y al Dr. Alejandro Ramírez Alcázar por formar parte del Comité de Tesis, por sus valiosas sugerencias e interés, en la revisión del presente trabajo.

A mi esposa, hijos, familiares, compañeros y compañeras, amigos y amigas por el apoyo que siempre me brindaron y a todas las personas que contribuyeron de una forma u otra en la realización de este trabajo.

DEDICATORIAS:

**Para: Sra. Lic. y M.T.S. María Guadalupe Chao de Benítez
A quien ratifico mi promesa: hasta que la muerte nos separe.**

Para nuestro hijo, Embajador en el Cielo: Jesús Alejandro 1983-1983

**Para nuestros hijos: Ángel Alejandro y Diego Francisco a
quienes esperamos ver convertidos en hombres de bien.**

**A mi padre: Sr. Fulgencio G. Benítez González 1920-2000
A mi madre: Sra. Gertrudis Villegas de Benitez 1926-1968**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
SUB-DIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**ING. JUSTINO CÉSAR GONZÁLEZ ÁLVAREZ, M. en I.
SUB-DIRECTOR DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

Presente.-

Asunto: Carta de Aprobación de Tesis.

Estimado Ing. González Álvarez:

Me dirijo a Usted por medio de la presente para comunicarle que he concluido con la revisión de la tesis del I.Q. Alejandro Benítez Villegas, titulada:

**“ACONDICIONAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DEL AGUA
UTILIZADA PARA LA ELABORACIÓN DE CERVEZA Y
SERVICIOS”,**

misma que sirve como requisito para la obtención del Grado de Maestro en Ciencias con orientación en Ingeniería Ambiental.

Después de esa crítica revisión me hallo en condiciones de calificar con aprobación dicho trabajo.

Sin otro asunto en particular le hago llegar un saludo cordial.

Monterrey, N.L. a 18 de Julio de 2002.

ATENTAMENTE

**DRA. CECILIA RODRÍGUEZ DE BARBARÍN
EVALUADORA DE LA TESIS**

c.c.p. I.Q. Alejandro Benítez Villegas



COMPROBANTE DE CORRECCIÓN

Tesista: ALEJANDRO BENÍTEZ VILLEGAS

Tema de la tesis: ACONDICIONAMIENTO Y OPTI-
 MIZACIÓN DEL AGUA UTILIZADA PARA LA
 ELABORACIÓN DE CERVEZA Y SERVICIOS

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

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

Ciudad Universitaria, a 22 de AGOSTO de 2002



Dr Alejandro Ramirez Alcazar
Taxco 265, Col. Regina
Monterrey, N. L.
Tel 83 51 68 22

Ing. Justino César González Álvarez, M en I.
Subdirector de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería Civil, UANL
San Nicolás de los Garza, N. L.

Apreciable Ing. Álvarez

Después de saludarle, le informo que el suscrito después de haber revisado el trabajo original y las adecuaciones efectuadas al borrador del trabajo de Tesis que desarrolló el *Ing. Alejandro Benítez Villegas*, como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias, con especialidad en Ingeniería Ambiental, considera que el trabajo de tesis "*Acondicionamiento y optimización del agua utilizada para la elaboración de cerveza y servicios*", es ya adecuado para imprimirse y emplearse para el requisito mencionado.

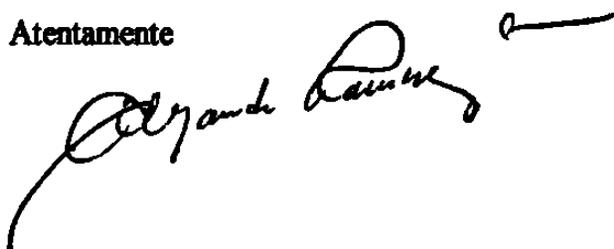
Como Ud. recordará, el suscrito fue amablemente distinguido, para realizar la revisión y efectuar las recomendaciones pertinentes del trabajo de tesis del Ing. Benítez Villegas.

Adjunto envío el borrador final y las modificaciones efectuadas por el Ing. Benítez V. a su borrador de trabajo de tesis.

Sin otro asunto en particular, y en caso de requerir alguna aclaración o información al respecto, quedo de Ud., a sus apreciables órdenes

Monterrey, N. L., 12 de Septiembre de 2002.

Atentamente

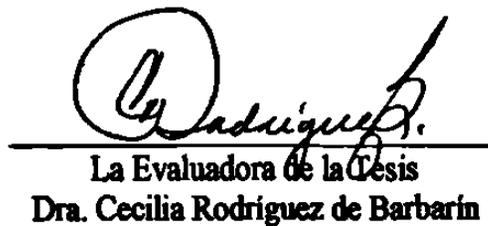


**ACONDICIONAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DEL AGUA UTILIZADA PARA
LA ELABORACIÓN DE CERVEZA Y SERVICIOS**

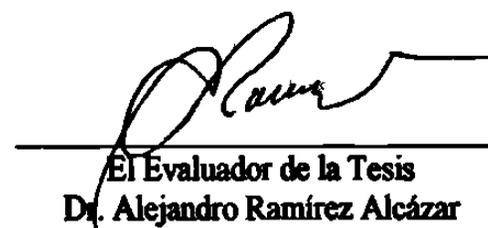
Aprobación de la Tesis



**El Director de la Tesis
Dr. Juan Manuel Barbarin Castillo**



**La Evaluadora de la Tesis
Dra. Cecilia Rodriguez de Barbarin**



**El Evaluador de la Tesis
Dr. Alejandro Ramirez Alcázar**



**El Sub-Director de Estudios de Posgrado
Ing. Justino César González Álvarez, M.I.**

ÍNDICE

Capítulo	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	6
3.1 Introducción	6
3.2 Variables generales de la calidad del agua potable	6
3.2.1 Variables fisicoquímicas	6
3.2.1.1 Temperatura	6
3.2.1.2 Color	7
3.2.1.3 Olor	7
3.2.1.4 Residuos y sólidos suspendidos totales	7
3.2.1.5 Materia suspendida, turbidez y transparencia	8
3.2.1.6 Conductividad	8
3.2.1.7 pH, alcalinidad y acidez	8
3.2.1.8 Potencial redox	8
3.2.1.9 Oxígeno disuelto	9
3.2.1.10 Dióxido de carbono	9
3.2.1.11 Dureza	9
3.2.1.12 Clorofila	9
3.2.2 Nutrientes	10
3.2.2.1 Compuestos de nitrógeno	10
3.2.2.1.1 Amoniaco	10
3.2.2.1.2 Nitrato y nitrito	11
3.2.2.1.3 Nitrógeno orgánico	11
3.2.2.2 Compuestos de fósforo	11
3.2.3 Materia orgánica	12
3.2.3.1 Carbono orgánico total (COT)	12

3.2.3.2	Demanda química de oxígeno (DQO)	12
3.2.3.3	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	13
3.2.3.4	Ácidos húmicos y fúlvicos	13
3.2.4	Iones mayoritarios	14
3.2.4.1	Sodio	14
3.2.4.2	Potasio	14
3.2.4.3	Calcio	15
3.2.4.4	Magnesio	15
3.2.4.5	Carbonatos y bicarbonatos	15
3.2.4.6	Cloruros	16
3.2.4.7	Sulfato	16
3.2.5	Variables inorgánicas adicionales (iones minoritarios)	17
3.2.5.1	Sulfuro	17
3.2.5.2	Sílice	17
3.2.5.3	Fluoruro	18
3.2.5.4	Boro	18
3.2.5.5	Cianuro	18
3.2.6	Iones metálicos	19
3.2.7	Contaminantes orgánicos	20
3.2.7.1	Petróleo y sus productos	20
3.2.7.2	Los fenoles	21
3.2.7.3	Los plaguicidas	21
3.2.7.4	Los surfactantes	22
3.2.8	Indicadores microbiológicos	22
3.3	Principales variables de la calidad del agua en el proceso de elaboración de la cerveza.	24
3.3.1	Bicarbonatos	25
3.3.2	Silicatos	25
3.3.3	Fenoles	25
3.3.3.1	Efectos del fenol en el hombre	25
3.3.3.2	El fenol en el agua natural	25
3.3.4	Arsénico	26
3.3.4.1	Efectos del arsénico en el hombre	26
3.3.4.2	El arsénico en el agua natural	27
3.3.5	Mercurio	28
3.3.5.1	Efectos del mercurio en el hombre	28
3.3.5.1.1	Compuestos inorgánicos del mercurio	28
3.3.5.1.2	Compuestos orgánicos del mercurio	29

3.3.6.2	El mercurio en el agua natural	29
3.3.6	Plomo	30
3.3.6.1	Efectos del plomo en el hombre	30
3.3.6.2	El plomo en el agua natural	31
3.4	Principales variables de calidad en equipos de servicio	31
3.4.1	Dureza	32
4.	OPERACIONES UNITARIAS PARA LA REMOCIÓN O REDUCCIÓN DE LOS CONTAMINANTES.	34
4.1	Introducción	34
4.2	Descripción de las operaciones unitarias	35
4.2.1	Eliminación de contaminación biológica	35
4.2.1.1	Desinfección primaria y secundaria	35
4.2.1.2	Propiedades del dióxido de cloro	38
4.2.1.3	Uso del ClO ₂ en el tratamiento de agua	39
4.2.1.4	Modo de acción del ClO ₂	39
4.2.2	Remoción o reducción de sólidos suspendidos (con filtros arena)	41
4.2.3	(Adsorción) Remoción o reducción de olores, sabores, fenoles (filtro de carbón activado)	41
4.2.4	Esterilización con luz ultravioleta	42
4.2.4.1	Factores que afectan la eficiencia del UV	43
4.2.5	Remoción o reducción de arsénico, mercurio, plomo, silicatos, etc..	45
4.2.6	Remoción o reducción de dureza	52
5.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	54
5.1	Necesidades de flujo de agua	54
5.2	Bases de diseño	54
6.	PROCESO PROPUESTO Y RESULTADOS ESPERADOS	55
6.1	Introducción	55
6.2	Proceso propuesto	55

6.3 Optimización de usos del agua	64
7. EQUIPO PRINCIPAL REQUERIDO, CALCULOS, DIMENSIONAMIENTO ESPECIFICACIONES GENERALES Y ARREGLO DE EQUIPO	68
7.1 Dimensionamiento de los tanques de agua procedente de los pozos	68
7.2 Dimensionamiento de los tanques de agua para retrolavado y agua recuperada de retrolavado	69
7.3 Dimensionamiento del tanque de agua suave	70
7.4 Dimensionamiento del tanque de agua para elaboración	71
7.5 Generador de Dióxido de cloro	72
7.6 Filtro multimedia	73
7.7 Filtro de carbón activado,	74
7.8 Verificación de capacidad de suavizadores existentes	75
7.9 Luz ultravioleta	76
7.10 Ósmosis inversa	77
7.11 Dimensionamiento de la tubería	78
7.12 Cálculo de bombas	82
8. CONCLUSIONES	92
9. BIBLIOGRAFÍA	94
10. ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
2.1 Análisis del agua y datos de la Norma Oficial Mexicana 127 SSA1-1994	5
3.1 Tabla comparativa de la calidad del agua para elaboración	24
3.2 Calidad de agua para calderas	32
4.1 Uso del dióxido de cloro como desinfectante primario en los Estados Unidos de Norteamérica.	35
4.2 Uso del dióxido de cloro como desinfectante secundario en los Estados Unidos de Norteamérica.	36
4.3 Uso de desinfectantes en Alemania	36
4.4 Concentraciones medias de THM en Alemania y Estados Unidos	36
4.5 Reglamentos actuales para THM	37
4.6 Niveles propuestos para los contaminantes en los Estados Unidos en el futuro	38
4.7 Efectos del ClO₂ en el tratamiento de agua potable	38
4.8 Ejemplos de reglamentación europea para NaClO₂ y ClO₂	39
4.9 Eficacia biocida, estabilidad y efecto del pH	40
4.10 Influencia de los factores en el rendimiento de ósmosis inversa	49
4.11 Opciones de pretratamiento en ósmosis inversa	51

6.1 Agua "sin tratar" a procesarse en filtros de carbón activado	57
6.2 Agua a procesarse en ósmosis inversa	58
6.3 Mezclado de agua de ósmosis con agua filtrada	60
6.4 Agua a procesarse en suavizador	61
6.5 Mezclado de agua de ósmosis con agua suave para lavadoras	62
6.6 Mezclado de agua de ósmosis con agua suave, para enjuague de botellas y pasteurizador	63
6.7 Tiempo de tratamiento para eliminar la sílice con diferentes reactivos	65
6.8 Calidad de agua de rechazo de ósmosis, tratada en frío	67
7.1 Cálculo de pérdida de presión en tuberías con la fórmula de Darcy para tubería de acero al carbón.	80
7.2 Cálculo de pérdida de presión en tuberías con la fórmula de Darcy para tubería de acero inoxidable	81
7.3 Cálculo de bombas B-01, B-02 y B-03	88
7.4 Cálculo de bombas B-05 y B-06	89
7.5 Cálculo de bombas B-07 y B-08	90
7.6 Cálculo de bombas B-09 y B-10	91

LISTA DE ANEXOS

- 1. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.**
- 2. Simulación en computadora del agua a procesarse en programa de ósmosis inversa**
- 3. Carta del fabricante de membranas de ósmosis inversa en la que se asegura la reducción de contaminantes que no están contemplados en el programa de computadora.**
- 4. Contaminantes no incluidos en el programa de computadora**
- 5. "Relative Roughness of pipe materials and friction factors for complete turbulence"**
- 6. Calidad de agua requerida para calderas Cleaver Brooks**
- 7. Isométrico para bomba B-05**
- 8. Diagrama de flujo (esquemático) de acondicionamiento de agua**
- 9. Plano de arreglo general de equipo**
- 10. Resumen autobiográfico**

LISTA DE SIGLAS Y SIMBOLOS

CNA	Comisión Nacional del Agua
COT o TOC	Carbono orgánico total
DBO o BOD	Demanda bioquímica de oxígeno
DDT	1,1,1,Tricloro 2,2-bis (4-cloro-fenil) etano
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DQO	Demanda química de oxígeno
epm	equivalente/millón
e. q.	equivalente químico
GEMS	Sistema global de monitoreo ambiental
h_r	Pérdida de presión por accesorios
k	En el agua se refiere a biodegradabilidad (surfactantes)
nm	nanómetros
mg/L	miligramos/litro
mL/L	mililitros/litro
mm	milímetros
NMP	Número más probable
NOM	Norma Oficial Mexicana
NTU o UTN	Unidad de turbiedad nefelométrica
MNPC	Máximo nivel propuesto de contaminante
OD	Oxígeno disuelto
OI o RO	Ósmosis Inversa
OMS	Organización mundial de la Salud
PCB	Bifenilos policlorados
PVC o PCV	Policlorovinilos
ppm	partes por millón
pH	Potencial hidrógeno
psi	libras/pulgada cuadrada
SAAM	Substancias activas al azul de metileno
SDI	Índice de ensuciamiento
SDT	Sólidos disueltos totales
SOC	Productos químicos sintéticos
SSA	Secretaria de Salubridad y Asistencia
THM	Trihalometanos
TON	Threshold Odor Number

UCP
US-EPA
VOC
 $\mu\text{g/L}$
 $\mu\text{S/cm}$
 $\mu\text{vs/cm}^2$

Unidades platino cobalto
Environmental Protection Agency of United States
Productos químicos volátiles
microgramo/litro
microsiemens/centímetro
microvatios/centímetro cuadrado

RESÚMEN

Este estudio trata el de acondicionar el agua extraída de pozos profundos para ser usada como materia prima en la elaboración de la cerveza y en otras áreas como lavado de botellas, pasteurizado, sistemas de enfriamiento, etc..

El equipo principal empleado es un sistema de ósmosis inversa ya que elimina o reduce la gran mayoría de contaminantes presentes en esta agua, el agua permeada será mezclada con agua filtrada y clorada, en tal cantidad que las mezclas cumplan con cada uno de los usuarios, el agua de rechazo del ósmosis se propone darle un tratamiento químico para bajarle la concentración de contaminantes, filtrarla y pasarla después a un sistema de ósmosis, el agua permeada podría ser usada como materia prima en la dilución de la cerveza o bien en otros usos propios de la planta.

En la hoja de Análisis del agua y datos de la Norma 127, Indica que hay ausencia de contaminación biológica, sin embargo por disposiciones de la planta se debe clorar toda el agua, se propone el uso de dióxido de cloro ya que no se forman clorofenoles cuya presencia afecta el sabor de la cerveza, el dióxido de cloro no es común en México como microbicida, por lo cual se buscó documentación internacional que respaldar esta decisión.