

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**MINIMIZACION DE LOS RESIDUOS DE ESMALTE, EN  
UNA PLANTA DE PRODUCTOS CERAMICOS, A TRAVES  
DEL RECICLADO DEL AGUA RESIDUAL.**

**POR**

**FATIMA ISELA FLORES NOLASCO**

**Como requisito parcial para obtener el grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
con Especialidad en Ingeniería Ambiental**

**Esta tesis corresponde a los estudios realizados con una beca  
otorgada por el Gobierno de México, a través de la  
Secretaría de Relaciones Exteriores.**

**JULIO DE 1999**

TM

TP815

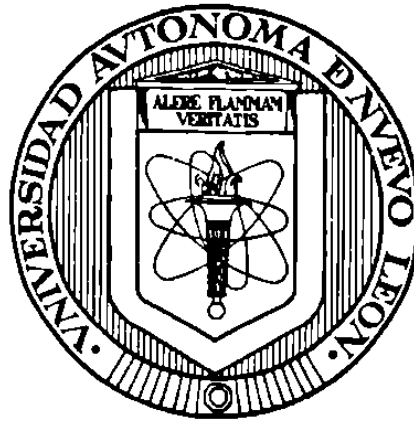
F5

C.1



1080089079

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**MINIMIZACION DE LOS RESIDUOS DE ESMALTE , EN UNA  
PLANTA DE PRODUCTOS CERAMICOS, A TRAVES DEL  
RECICLADO DEL AGUA RESIDUAL.**

**POR:  
FÁTIMA ISELA FLORES NOLASCO**

**Como requisito parcial para obtener el grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
con Especialidad en Ingeniería Ambiental**

**Esta tesis corresponde a los estudios realizados con una beca  
otorgada por el Gobierno de México, a través de la Secretaría de  
Relaciones Exteriores.**

**JULIO DE 1999**

TM  
TP815  
F5



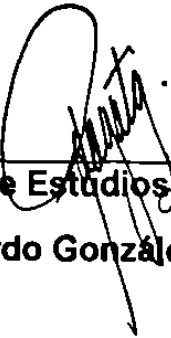
**MINIMIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ESMALTE EN UNA PLANTA DE PRODUCTOS CERÁMICOS, A TRAVÉS DEL RECICLADO DEL AGUA RESIDUAL.**

**Aprobación de la Tesis:**



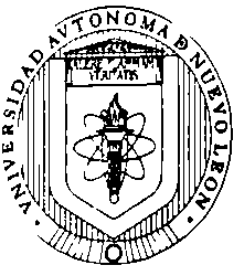
---

**Asesor de la Tesis**  
**Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo**

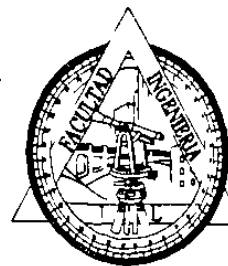


---

**Secretario de Estudios de Posgrado**  
**Dr. Ricardo González Alcorta**



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



COMPROBANTE DE CORRECCION

Tesista: PÁTIMA ISELA FLORES NOLASCO

Tema de la tesis: MINIMIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE  
 ESMALTE, EN UNA PLANTA DE PRODUCTOS CERÁMICOS, A  
 TRAVÉS DEL RECIKLADO DEL AGUA RESIDUAL.

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:

Arq. Ramón Longoria Ramírez

El Secretario de Posgrado:

Dr. Ricardo González Alcorta

Ciudad Universitaria, a 11 de junio de 1999.

Monterrey, N.L. a 15 de Junio de 1999.

**DR. RICARDO GONZÁLEZ ALCORTA  
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
P R E S E N T E.**

Estimado Dr. González:

Por medio de la siguiente y de la manera más atenta me dirijo a usted, para solicitarle la tramitación correspondiente, para sustentar mi examen de grado de Maestría en Ciencias, Especialidad en Ingeniería Ambiental, con la presentación del trabajo de tesis titulado: **“ MINIMIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ESMALTE EN UNA PLANTA DE PRODUCTOS CERÁMICOS, A TRAVÉS DEL RECICLADO DEL AGUA RESIDUAL”** , lo anterior de acuerdo al reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución.

Sin más por el momento, y agradeciendo de antemano sus atenciones a la presente quedo de usted.

Atentamente.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'fif' or similar, written over a horizontal line.

Lic. Fátima Isela Flores Nolasco.  
Tesisista.



Monterrey, N.L. a 15 de Junio de 1999.

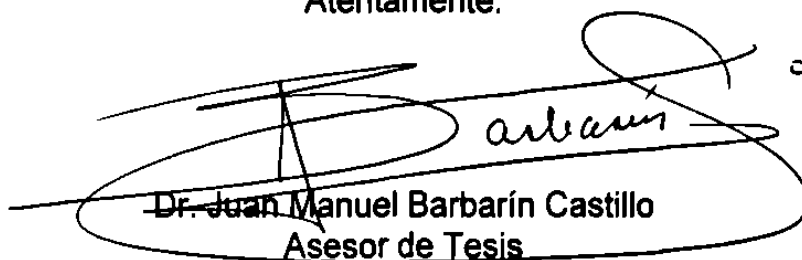
**DR. RICARDO GONZÁLEZ ALCORTA  
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
P R E S E N T E.**

Estimado Dr. González.

Por este conducto me permito comunicar a usted, que la **Lic. Fátima Isela Flores Nolasco**, pasante de la Maestría en Ciencias, con especialidad en Ingeniería Ambiental, ha concluido con su trabajo de tesis titulado: **“MINIMIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ESMALTE EN UNA PLANTA DE PRODUCTOS CERÁMICOS, A TRAVÉS DEL RECICLADO DEL AGUA RESIDUAL”**, por lo que no hay ningún inconveniente para atender la solicitud de Examen de Grado con los requisitos que exige el reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución, he de agradecerle pasar las instrucciones necesarias para que le de el trámite correspondiente en ese departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento, y agradeciendo de antemano sus atenciones a la presente, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente.



**Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo**  
Asesor de Tesis

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios por permitirme realizar y culminar una meta más en mi vida.**

**A mi familia y muy en especial a mi hija Bianca Nicole, que a pesar de su corta edad e inocencia no escatimó en comprensión y apoyo para mí.**

**A la Secretaría de Relaciones Exteriores de México por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios.**

**A la Empresa LAMOSA Revestimientos S.A. de C.V. por su apoyo económico y técnico. En particular deseo reconocerle al Ing. Rodolfo Ramírez Manuel su buena disposición, al personal del Departamento Médico y Seguridad Industrial y, no menos en mi sentir, al personal de todas las áreas que me compartieron de su tiempo y sus capacidades para desarrollar este proyecto.**

**Al Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo por su apoyo brindado como asesor y amigo, por su paciencia y orientación acertada.**

**Al personal académico y administrativo de la División de Estudios de Postgrado del Instituto de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León.**

**A todas aquellas personas, especialmente mis amigos, que de muchas formas me impulsaron a seguir adelante con el trabajo.**

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>Capítulo</b>	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades	1
1.2 Antecedentes	5
1.3 El manejo de los residuos peligrosos en México	10
1.4 Repercusiones ambientales	11
1.4.1 Los impactos ecológicos en los ecosistemas	12
1.4.2 Los impactos en los recursos hídricos	15
1.5 Obstáculos para la minimización de residuos peligrosos	16
1.6 Objetivos del trabajo	17
1.7 Hipótesis	17
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>18</b>
2.1 El proceso de adaptación ambiental de las actividades industriales	18
2.1.1 La reducción de la contaminación en la industria tradicional	20
2.1.2 La renovación tecnológico y ambiental de los procesos industriales	21
2.1.3 La globalización industrial, en el marco del desarrollo sostenible	23
2.2 Criterios para la evaluación de experiencias de mejora de la sostenibilidad ecológica en el ámbito industrial	26
2.3 El agua, recurso renovable pero limitado	28
2.4 Consideraciones y casos en torno al agua	33
2.5 Uso del agua en la industria	34
2.6 Generación del agua residual	35
2.6.1 Características del agua residual en la industria cerámica	36

2.6.2 Descarga de las aguas residuales en la industria cerámica	38
2.7 Instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales en la industria cerámica	38
2.8 Reúso del agua por la industria	43
3. EL AGUA EN LA INDUSTRIA CERÁMICA	47
3.1 Tratamiento del agua para uso industrial	47
3.2 Análisis de la situación actual del reuso del agua residual en la industria cerámica	49
3.3 Generalidades de la empresa donde se realizó el estudio	52
3.4 Abastecimiento de agua al proceso de producción	54
3.5 Generación del agua residual	56
3.6 Tratamiento del agua residual en la industria	58
4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	60
4.1 Desarrollo	60
4.2 Balances hídricos	62
4.3 Método de aforo	63
4.3.1 Método que utiliza la fórmula de Manning	64
4.3.2 Método volumétrico	64
4.4 Muestreo	65
4.5 Desarrollo experimental	66
4.6 Origen del agua residual utilizada para este trabajo	68
4.6.1 Caracterización del agua residual	68
4.7 Métodos de análisis	71
4.7.1 Comportamiento reológico	72
a) Determinación de la densidad de la barbotina	72
b) Determinación de la viscosidad	73
c) Determinación del residuo de la barbotina	73
d) Determinación del porcentaje de sólidos	74
4.7.2 Pruebas físicas	75
a) Determinación de carbonatos	75
b) Determinación de la densidad específica por picnometría	77
c) Prensado de la materia prima para la formación de piezas	78
d) Determinación de la pérdida de peso por ignición	79
e) Determinación de la resistencia a la flexión en piezas de producto terminado	80

f) Determinación de las contracciones lineal, parcial y total	81
g) Determinación de la resistencia a la flexión, de piezas en verde y en seco	83
h) Determinación de la absorción de agua en piezas cocidas	83
5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	85
5.1 Caracterización de las aguas residuales	85
5.1.1 Análisis químico	85
5.1.2 Resultados del muestreo	87
5.1.3 Aforo de la descarga	89
5.2 Resultados desarrollo experimental	98
5.2.1 Propiedades en crudo de las composiciones	98
5.2.2 Propiedades en cocido de las composiciones	103
5.2.3 Propiedades en cocido de las composiciones como piezas prensadas	106
6. PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	115
6.1 Introducción	115
6.2 Balance de agua	116
6.3 Depuración y naturaleza de los sólidos	121
6.4 Diagrama de flujo para la reutilización total del agua de desecho	122
6.4.1 Diseño de las pilas de captación con agitación violenta	127
6.4.1.1 Principios de la operación de mezclado	127
6.4.1.2 Criterios de selección del equipo de agitación	129
6.4.1.3 Dimensionamiento de las piletas y sistemas agitación	132
7. CONCLUSIONES	140
REFERENCIAS	141

## **LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1.1 Soportes cerámicos vidriados producidos por diferentes países para el mercado americano durante el año de 1995	6
1.2 Características del lixiviado, por extracción, que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente	9
2.1 Análisis característico de los efluentes de la industria cerámica	37
3.1 Descargas de aguas residuales producto del proceso	57
4.1 Formulación utilizada para cuerpo rojo	67
4.2 Formulación utilizada para cuerpo blanco	67
4.3 Composición en porcentaje de óxido del agua residual	69
5.1 Análisis químico de las aguas residuales de las fosas de decantación	86
5.2 Muestreos realizados en la fosa de decantación de aguas provenientes del lavado del área de esmaltes	88
5.3 Muestreos realizados en la fosa de decantación de aguas provenientes del lavado del área de azulejos	88

<b>5.4 Muestras realizados en la fosa de decantación de aguas provenientes del lavado del área de productos varios</b>	<b>89</b>
<b>5.5 Flujos medidos en la fosa de decantación de aguas provenientes del lavado del área de esmaltes</b>	<b>89</b>
<b>5.6 Flujos medidos en la fosa de decantación de aguas provenientes del lavado del área de azulejos</b>	<b>90</b>
<b>5.7 Flujos medidos en la fosa de decantación de aguas provenientes del lavado del área de productos varios</b>	<b>91</b>
<b>5.8 Resumen de los resultados de los aforos hechos a las tres diferentes fosas de decantación</b>	<b>93</b>
<b>5.9 Gastos determinados en la fosa de productos varios a través del método volumétrico</b>	<b>94</b>
<b>5.10 Gastos determinados en la fosa de azulejos a través del método volumétrico</b>	<b>95</b>
<b>5.11 Gastos determinados en la fosa de esmaltes a través del método volumétrico</b>	<b>96</b>
<b>5.12 Flujos promedio obtenidos por la aplicación de dos diferentes métodos</b>	<b>97</b>
<b>5.13 Densidades en crudo de las diferentes composiciones ensayadas</b>	<b>98</b>
<b>5.14 Viscosidad de las diferentes composiciones ensayadas en crudo</b>	<b>100</b>
<b>5.15 Porcentajes de residuo en malla 200 de las diferentes composiciones ensayadas en crudo</b>	<b>101</b>

<b>5.16 Porcentaje de sólidos en las diferentes composiciones ensayadas en crudo</b>	<b>102</b>
<b>5.17 Determinación del porcentaje de carbonatos en el cuerpo o soporte</b>	<b>104</b>
<b>5.18 Determinación de densidades específicas de las composiciones, medidas por picnometría</b>	<b>105</b>
<b>5.19 Resistencia a la flexión de piezas en verde</b>	<b>107</b>
<b>5.20 Resistencia a la flexión de piezas en seco</b>	<b>108</b>
<b>5.21 Resistencia a la flexión de piezas quemadas</b>	<b>109</b>
<b>5.22 Contracción parcial de piezas en verde</b>	<b>110</b>
<b>5.23 Contracción total de piezas quemadas</b>	<b>111</b>
<b>5.24 Pérdida de peso por ignición</b>	<b>112</b>
<b>5.25 Porcentaje de absorción de agua en piezas cocidas</b>	<b>113</b>
<b>6.1 Valores de la constante <math>K_T</math> para los diferentes tipos de impulsores utilizados en la agitación de líquidos en tanques</b>	<b>134</b>
<b>6.2 Dimensiones y valores para el diseño de las piletas de captación del agua residual de la planta de productos cerámicos</b>	<b>139</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
2.1 Usos del agua potable y agua de desecho	45
3.1 Distribución general de agua en la planta, pozo #1	56
5.1 Representación del gasto volumétrico frente al tiempo en la fosa de decantación de aguas provenientes del lavado del área de esmaltes	90
5.2 Representación del gasto volumétrico frente al tiempo en la fosa de decantación de aguas provenientes del lavado del área de azulejos	91
5.3 Representación del gasto volumétrico frente al tiempo en la fosa de decantación de aguas provenientes del lavado del área de productos varios	92
5.4 Gastos medidos en la fosa de productos varios para diferentes períodos de medición	94
5.5 Gastos medidos en la fosa de azulejos para diferentes períodos de medición	95
5.6 Gastos medidos en la fosa de esmaltes para diferentes períodos de medición	96

<b>5.7 Comparación de los resultados de los flujos promedios de las descargas obtenidas por dos métodos de medición</b>	<b>98</b>
<b>5.8 Representación gráfica de las densidades en las composiciones de cuerpo rojo y blanco en función del agua utilizada</b>	<b>99</b>
<b>5.9 Representación gráfica de las viscosidades en las composiciones de cuerpo rojo y blanco en función del agua utilizada</b>	<b>100</b>
<b>5.10 Representación gráfica de los porcentajes de residuo en malla 200 en las composiciones de cuerpo rojo y blanco en función del agua utilizada</b>	<b>101</b>
<b>5.11 Representación gráfica del porcentaje de sólidos en las composiciones de cuerpo rojo y blanco en función del agua utilizada</b>	<b>102</b>
<b>5.12 Porcentaje de carbonatos en función del agua utilizada en las composiciones de cuerpo rojo y blanco</b>	<b>104</b>
<b>5.13 Densidades específicas en función del agua utilizada en las composiciones de cuerpo rojo y blanco</b>	<b>105</b>
<b>5.14 Gráfica de la resistencia a la flexión de las piezas en verde en función del agua utilizada</b>	<b>107</b>
<b>5.15 Gráfica de la resistencia a la flexión de las piezas en seco en función del agua utilizada</b>	<b>108</b>
<b>5.16 Gráfica de la resistencia a la flexión de las piezas quemadas en función del agua utilizada</b>	<b>109</b>
<b>5.17 Gráfica de la contracción parcial de las piezas en verde en función del agua utilizada</b>	<b>110</b>

<b>5.18 Gráfica de la contracción total de las piezas quemadas en función del agua utilizada</b>	<b>111</b>
<b>5.19 Gráfica de la pérdida de peso por ignición en función del agua utilizada</b>	<b>112</b>
<b>5.20 Gráfica del porcentaje de absorción de agua en función del agua utilizada</b>	<b>113</b>
<b>6.1 Balance de agua para el proceso de pasta cerámica esmaltada y cocida</b>	<b>120</b>
<b>6.2 Balance de agua para el proceso de pasta cerámica esmaltada y cocida en el área de preparación de esmalte</b>	<b>124</b>
<b>6.3 Balance de agua para el proceso de pasta cerámica esmaltada y cocida en el área de preparación de azulejos</b>	<b>125</b>
<b>6.4 Balance de agua para el proceso de pasta cerámica esmaltada y cocida en el área de preparación de esmalte</b>	<b>126</b>
<b>6.5 Tipos de impulsores de turbina</b>	<b>131</b>
<b>6.6 Flujo radial producido hacia el exterior de la turbina</b>	<b>131</b>

## LISTA DE SIMBOLOS

### SIMBOLO

CRETIB	Corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico al ambiente, inflamable, biológico infeccioso.
CO <sub>2</sub>	Bioxido de carbono.
CNA	Comisión Nacional del Agua.
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno.
DQO	Demanda química de oxígeno.
HCl	Ácido clorhídrico.
INE	Instituto Nacional de Ecología.
IPROMA	Investigación y Proyectos Medio Ambiente S.L.
NOM	Norma Oficial Mexicana.
OCDE	Organización para la Cooperación Desarrollo Económico.
pH	Potencial de hidrogeno.
SO <sub>2</sub>	Bioxido de azufre

## **RESUMEN**

En los procesos de fabricación de productos cerámicos esmaltados se generan aguas residuales, principalmente como resultado de las operaciones de limpieza de las secciones de molienda de materias primas, preparación y aplicación de esmaltes. Las aguas residuales así generadas en los diferentes procesos contienen sólidos suspendidos que esencialmente corresponden con los materiales que se manejan en la fábrica. Esos materiales son residuos de materias primas diversas, esmaltes, fritas, barbotinas y hasta material horneado.

Las aguas residuales de una planta de productos cerámicos esmaltados deben tener un apropiado tratamiento si su destino es la disposición. Tales tratamientos generan obviamente sólidos cuya composición los ubica en el renglón de residuos peligrosos por contener metales pesados normalmente asociados con las fritas y colorantes utilizados en la industria cerámica. El tratamiento es en sí económicamente demandante pues requiere de la instalación de una planta de tratamiento con todo su espacio, construcciones, aparatos, accesorios, mantenimiento y personal de operación. Los sólidos separados por el tratamiento deben ser luego dispuestos apropiadamente, lo cual también representa una carga económica.

Una mejor opción, en principio hasta económica, es el reutilizar parcial o totalmente las aguas residuales, substituyendo con ellas las aguas limpias que en el mejor de los casos se extraen de pozos, pero que más frecuentemente son tomadas de la red municipal a un alto costo.

En este trabajo se describen las diversas pruebas de laboratorio que fueron efectuadas para determinar la influencia que tiene la substitución parcial y total del agua de amasado por aguas residuales de la misma planta. Las pruebas se centraron en el estudio del comportamiento de las pastas durante su preparación y manejo en los productos terminados a base de ellas. Entre las diversas pruebas se mencionan las determinaciones de densidad y viscosidad en crudo, residuo en malla 200 y porcentaje de sólidos en las diferentes composiciones ensayadas también en crudo, determinación del porcentaje de carbonatos en el cuerpo o soporte, mediciones de resistencia a la flexión de piezas en verde, en seco y quemadas, determinaciones de pérdida de peso por ignición y mediciones de las contracciones parcial y total de piezas en verde y quemadas. También se incluyen en éste trabajo los balances de agua efectuados a nivel de la planta en sus diversas etapas.

En base a los resultados obtenidos, particularmente en el sentido de que el reuso de las aguas residuales no afecta en la preparación ni en la manipulación del material, como tampoco afecta en sus características al producto terminado, se propone un diseño para la captación y homogeneización de las aguas residuales con el fin de su reuso total en la planta. Tal medida

traerá como consecuencia una reducción en la demanda de aguas limpias y eliminará los residuos sólidos pues quedarán confinados o atrapados en los productos terminados.