

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL REUSO DE LODOS DE DESECHO  
EN EL PROCESO SOLVAY PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA CIVIL**

**PATRICIO ADOLFO JIMÉNEZ GUTIÉRREZ**

**MONTERREY, N.L.**

**MAYO 1999**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL REUSO DE LODOS DE DESECHO  
EN EL PROCESO SOLVAY PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA CIVIL**

**PATRICIO ADOLFO JIMÉNEZ GUTIÉRREZ**

**MONTERREY, N.L.**

**MAYO 1999**



## ABSTRACT

La investigación se enfoca en la determinación de la dosificación óptima para formar una mezcla que nos permita crear ladrillos, utilizando lodos de desecho del proceso Solvay junto con otros componentes como son el barro, cemento, arena, sílice, crioterm, ceniza volante, cal, entre otros. Para la determinación de la composición deseada, se utilizaron datos anteriores y varias pruebas que se desarrollaron durante la investigación para obtener resultados producto de los experimentos.

Por otro lado se efectuó un estudio de factibilidad económica para determinar la rentabilidad de la producción mecanizada de los ladrillos y así poder competir con el mercado. Se calculó la Tasa Interna de Retorno del Proyecto, así como su Valor Presente y el Tiempo de Amortización de la inversión.



"AL TIEMPO NO LE IMPORTA A QUIEN DEJA ATRÁS, ESTÁ SÓLO EN TI DEJAR HUELLA, UNA HUELLA  
QUE PUEDE SER BORRADA POR EL VIENTO O AQUELLA QUE NO SE PERDERÁ JAMÁS."

A mi Padre y Madre, por ser mi guía



## AGRADECIMIENTOS

La investigación realizada no hubiera sido posible sin el apoyo de varias personas e instituciones a las cuales quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

Por sus observaciones, correcciones y sus consejos:

Ing. Ignacio Lujan  
Dr. Gabriel Barraza  
Ing. Eduardo Gutiérrez  
Dr. Salvador García  
Dr. Gustavo Quintanilla

Por su disposición de colaboración y cooperación:

Ing. Gabriel Briseño  
Ing. Omar Huerta  
Ing. Javier García  
Ing. Adolfo Jiménez  
Arq. Alejandra Cabral  
Ing. Francisco Robles  
Ing. Roberto Ramírez

A las facilidades prestadas:

Departamento de Ing. Civil ITESM  
Industria del Álcali S.A. de C.V.  
Centro de Apoyo al Desarrollo Sostenible  
Programa de Graduados en Ingeniería



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>v</b>
<b>Índice de Contenido</b>	<b>iv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de Ilustraciones</b>	<b>viii</b>
<b>Introducción</b>	<b>ix</b>
<b>Problema</b>	<b>xi</b>
<b>Objetivos</b>	<b>xii</b>
<b>Capítulo 1</b>	<b>1</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>1</b>
1.1. Estudios realizados por Industria del Alkali	2
1.1.1. Aspectos Generales	2
1.1.2. Propuesta de Planta Piloto e Implementación	5
1.1.3. Resultados	7
1.2. Investigación presentada como tema de tesis con apoyo de Industria del Alkali	9
1.2.1. Generalidades	9
1.2.2. Metodología	10
1.2.3. Estudio de Factibilidad Técnica	11
<b>Capítulo 2</b>	<b>14</b>
<b>Estudio de Factibilidad Técnica</b>	<b>14</b>
2.1. Condiciones Iniciales	15
2.1.1. Reactivación de Planta Piloto	15
2.1.2. Procuración de los agregados	16
2.2. Metodología para las Dosificaciones	16
2.3. Pruebas Preliminares	18
2.3.1. Pruebas con Barro – Lodo - Arena	18
2.3.2. Pruebas con Lodo – Barro – Finos - Oxido	20
2.3.3. Pruebas con Lodo Húmedo - Barro	21
2.3.4. Pruebas con Lodo Seco – Barro	22
2.3.5. Pruebas con Lodo – Ceniza – Cal – Sílice	23
2.4. Pruebas con Agregados y Aditivos	25
2.4.1. Pruebas LCFA y LBW	25



---

2.4.2. Pruebas LS – LB – LBS	26
2.4.3. Pruebas utilizando Sellador	29
2.5. Pruebas Complementarias	30
2.6. Pruebas Definitivas	32
2.6.1. Resultados detallados de la mezcla 1	34
2.6.2. Resultados detallados de la mezcla 2	35
2.6.3. Resultados detallados de la mezcla 3	36
2.6.4. Resultados detallados de la mezcla 4	37
2.6.5. Resultados detallados de la mezcla 5	39
2.6.6. Mejor Resultado Obtenido	40
<b>Capítulo 3</b>	<b>41</b>
<b>Estudio de Factibilidad Económica</b>	<b>41</b>
3.1. Investigación de Costos	42
3.2. Cálculo del Beneficio Económico	42
3.3. Determinación de la Tasa Interna de Retorno	46
3.4. Determinación del Valor Presente del Proyecto	48
3.5. Determinación de Beneficio/Costo del Proyecto	49
3.6. Determinación del Tiempo de Amortización	50
3.7. Criterio de Aceptación	52
3.8. Precio mínimo de venta del Ladrillo	53
<b>Conclusiones</b>	<b>54</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>56</b>
<b>Anexo 1. Proceso Solvay</b>	<b>57</b>
<b>Anexo 2. Tablas</b>	<b>62</b>
<b>Anexo 3. Análisis CRETIB de los Lodos</b>	<b>70</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>93</b>
<b>Curriculum Vitae</b>	<b>96</b>

---



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de los lodos secos .....	3
Tabla 2. Mejor formulación anterior para la producción de ladrillos.....	4
Tabla 3. Formulación corregida para la producción de ladrillos .....	6
Tabla 4. Porcentaje de humedad de lodos confinados y sin confinar .....	11
Tabla 5. Porcentaje de pérdida de peso de las formulaciones 6 .....	31
Tabla 6. Observaciones de las formulaciones 6.....	32
Tabla 7. Mezclas para la realización de pruebas definitivas.....	33
Tabla 8. Resultados detallados de la mezcla 1 .....	34
Tabla 9. Resultados detallados de la mezcla 2.....	35
Tabla 10. Resultados detallados de la mezcla 3 .....	36
Tabla 11. Resultados detallados de la mezcla 4 .....	37
Tabla 12. Resultados detallados de la mezcla 5 .....	39
Tabla 13. Resumen de resultados de resistencia a compresión de las Pruebas Definitivas .....	40
Tabla 14. Cálculo del Beneficio Total Anual del Proyecto .....	45
Tabla 15. Mejor dosificación de las Pruebas Definitivas.....	54
Tabla 16. Resultados obtenidos de las primeras pruebas de la Planta Piloto enviadas al Instituto de Ingeniería Civil de U.A.N.L. ....	63
Tabla 17. Compuestos de los ladrillos .....	63
Tabla 18. Formulación 1-A.....	64
Tabla 19. Formulación 1-B.....	64
Tabla 20. Formulación 1-C.....	64
Tabla 21. Formulación 2-A.....	64
Tabla 22. Formulación 2-B.....	65
Tabla 23. Formulación 2-C.....	65
Tabla 24. Formulación 3-A.....	65
Tabla 25. Formulación 3-B.....	65
Tabla 26. Formulación 3-C.....	65
Tabla 27. Formulación 4-A.....	66
Tabla 28. Formulación 4-B.....	66
Tabla 29. Formulaciones 5-A.....	66
Tabla 30. Formulaciones 5-A.....	66
Tabla 31. Formulación LCFA-1.....	67
Tabla 32. Formulación LCFA-2.....	67
Tabla 33. Formulación LBW-1 .....	67
Tabla 34. Formulación LBW-2 .....	67
Tabla 35. Formulación LS.....	68
Tabla 36. Formulación LB.....	68





Tabla 37. Formulación LBS.....	68
Tabla 38. Formulación 6-A .....	69
Tabla 39. Formulación 6-B .....	69
Tabla 40. Formulación 6-C.....	69
Tabla 41. Formulación 6-D.....	69
Tabla 42. Formulación 6-E .....	69
Tabla 43. Formulación 6-F .....	69



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. . Foto de caseta de vigilancia construída con ladrillos de la planta piloto _____	8
Ilustración 2. Esquema de fabricación de ladrillos (lodo lixiviado) _____	11
Ilustración 3. Ladrillos sobrantes de pruebas de 1996 _____	15
Ilustración 4. Foto de revolvedora y dosificador de la planta piloto de ladrillos _____	16
Ilustración 5. Diagrama de Flujo de la Metodología de la Investigación _____	17
Ilustración 6. Gráficas de resultados de la mezcla 1 _____	34
Ilustración 7. Gráficas de resultados de la mezcla 2 _____	35
Ilustración 8. Gráficas de resultados de la mezcla 3 _____	37
Ilustración 9. Gráficas de resultados de la mezcla 4 _____	38
Ilustración 10. Gráficas de resultados de la mezcla 5 _____	39



## INTRODUCCIÓN

En toda industria se generan residuos, muchos de estos son considerados peligrosos para el medio ambiente, los cuales son destinados a lugares diseñados especialmente para su confinamiento, por otro lado los desechos no peligrosos, en muchas ocasiones son mezclados con los desperdicios domésticos y confinados en los basureros municipales. Si bien es cierto existen los residuos no peligrosos pero que no pueden ser mezclados con la basura municipal, debido a las características, volumen, y composiciones de estos. Industria del Alkali es una empresa encargada de la fabricación de Carbonato de Sodio, Cloruro de Sodio, Cloruro de Calcio, y otros. Dentro del proceso para la producción del Carbonato de Sodio mediante el proceso Solvay, se genera una cantidad considerable de lodos, los cuales son sedimentados en una Planta Separadora de Sólidos.

Los lodos provenientes del proceso Solvay son clasificados como no peligrosos, y se busca obtener algún producto que se genere con base en los lodos.

Si bien es cierto el proyecto va encaminado a reducir el volumen de lodos inertes que se confinan en la planta de Industria del Alkali, utilizando estos para fabricar ladrillos: Actualmente existen camas de confinamiento dentro del predio de la industria, donde se extienden grandes volúmenes diarios de lodos; este proceso incurre en un costo, además que no provee beneficio alguno para la empresa.

La presente investigación tiene como finalidad retomar previas investigaciones que se generaron hace 4 años, en la que se hicieron una diversidad de experimentos que arrojaron resultados inconclusos. Lo que se busca es tomar como base los resultados obtenidos, así como su comprobación mediante pruebas, y finalmente realizar un estudio de factibilidad económica para verificar la rentabilidad del uso de los lodos para generar elementos constructivos, específicamente ladrillos.

Desgraciadamente los números son fríos y muchas veces proyectos enfocados al bienestar ecológico no son realizados, debido a que no representan un negocio redituable para la empresa, por lo que la opción queda en segundo término. Es necesario realizar una evaluación detallada de todos y cada uno de los costos en los que incurre Industria del Alkali necesarios para la transportación, tendido, y tratamiento de los lodos. En contraparte se buscará la inversión necesaria para desarrollar el proceso de fabricación de los ya mencionados



ladrillos. Asimismo se necesitará realizar una proyección para determinar el tiempo mínimo de recuperación de la inversión, un análisis de Beneficio/Costo, y obtener la Tasa de Retorno Mínima Atractiva para el proyecto a realizarse.

Durante el desarrollo de la investigación se tratará de obtener todas las variables que intervienen dentro del proceso de fabricación, para obtener su dependencia entre ellas, mediante un modelo de análisis, y así poder determinar qué variables son las que van a ser sensibles para el desarrollo del proyecto y como se controlarán.



## PROBLEMA

Las exigencias ambientales actuales nos obligan a buscar alternativas de utilización para los residuos producto de los diversos procesos dentro de la industria.

La gran cantidad de lodos que se generan como desecho en el proceso Solvay, los cuales son depositados sin ninguna utilidad en terrenos internos de la planta, por lo que es necesario encontrar posibles aplicaciones para estos, estas deberán estar encaminadas al aprovechamiento de los lodos. Entre otras alternativas, es conveniente buscar su utilidad dentro del ramo de los productos fabricados para la Industria de la Construcción.

La solución del problema implica la continua experimentación, para determinar la dosificación óptima de la mezcla que permita la fabricación de elementos con las características adecuadas para competir con los ya existentes en el mercado.



## OBJETIVOS

En el siguiente trabajo de investigación se están considerando los siguientes objetivos:

- Encontrar la dosificación adecuada para generar ladrillos a partir de los lodos de desecho, considerando características químicas necesarias para su adecuada interacción del lodo con los demás componentes
- Realizar el estudio de factibilidad técnica para determinar posibilidades de utilización.
- Proponer un proceso de fabricación de los elementos para competir con las exigencias del mercado regional.
- Realizar el estudio de factibilidad económica para determinar el beneficio esperado de la comercialización.

# **Capítulo 1**

## **Antecedentes**



## 1.1. Estudios realizados por Industria del Álcali

### 1.1.1. Aspectos Generales

La presente investigación se desarrolló en Industria del Álcali<sup>1</sup>, planta que produce carbonato de sodio mediante el proceso Solvay (ver la descripción del proceso en el Anexo 1), el cual genera grandes cantidades de desperdicio, tanto líquido como sólido. De aquí surge la necesidad de minimizar dichos desechos; el desperdicio líquido ya se está aprovechando parcialmente en la producción de cloruro de calcio al 94% y, para el caso del desecho sólido, se buscó aprovechar como material de construcción en forma de ladrillos<sup>2</sup>, en combinación con otros agregados y aditivos.

La generación de este desperdicio sólido en la planta es del orden de 150 toneladas diarias, las cuales actualmente se confinan en terrenos de la empresa, implicando altos costos por su manejo. No reporta ninguna utilidad y ocupan grandes áreas para su disposición.

Dentro de la experimentación pasada, se cuenta con la consulta de la bibliografía generada en la planta *Mersin de Turkish Soda Industry* (1990), en la cual se menciona esta aplicación potencial para el desperdicio sólido. De aquí resurge la idea de realizar pruebas tendientes a lograr la fabricación de ladrillos para usarse como material de construcción.

Por lo anterior, a partir de agosto de 1993<sup>3</sup> se generó una investigación, y se realizaron pruebas de laboratorio correspondientes; paralelamente, se desarrolló una tesis con este mismo objetivo, con la variante de utilizar "lodo lavado" para minimizar las sales solubles del lodo, como los cloruros que impiden la adecuada consolidación de los especímenes y, con ello, incrementar la proporción de lodo que se utilizaría en la formulación de ladrillo; sin embargo, se decidió presentar la opción de utilizar el lodo húmedo directamente, para evitar el costo que implica el proceso de lavado del mismo.

Se contó con el análisis de los lodos provenientes de la planta separadora de sólidos, así como de los ya confinados; ambos fueron secados a 150°C en estufa, con la finalidad de observar cuales eran sus principales componentes y así poder experimentar de manera más certera las dosificaciones recomendadas para

---

<sup>1</sup> Ubicada en la Carretera a García Km. 9, García, N.L.

<sup>2</sup> Fabricados en una prensa hidráulica, de 3.0 kg/cm<sup>2</sup> con operación manual, con 12" largo, 6" de ancho y 3" de alto, con 2 huecos verticales de 2 1/8" de diámetro que ocupan el 10.2% del volumen total del ladrillo; secado al medio ambiente

<sup>3</sup> Bitácora de actividades de Industria de Álcali





la conformación de los ladrillos. Asimismo fue de gran utilidad porque posteriormente se realizaron mezclas con diferentes aditivos, los cuales reaccionaban con algunos de los componentes existentes en el lodo.

Componente	Planta S.S. <sup>4</sup>	Lodos secos
CaCl <sub>2</sub>	24.56%	23.34%
NaCl	11.27%	12.11%
KCl	0.30%	0.32%
CaCO <sub>3</sub>	16.83%	30.21%
CaSO <sub>4</sub>	3.73%	4.45%
Ca(OH) <sub>2</sub>	23.30%	15.75%
MgO	6.75%	4.31%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.42%	0.32%
SiO <sub>2</sub>	6.28%	4.30%
H <sub>2</sub> O crist.	6.56%	4.89%

Tabla 1. Análisis de los lodos secos

Por el lado de las pruebas de laboratorio, se efectuó una serie de experimentos con el fin de abatir el efecto negativo de los cloruros (eflorescencia<sup>5</sup> y exfoliación<sup>6</sup>), mediante la adición de aditivos o algún tratamiento que disminuyera el cloruro de calcio contenido en el lodo y, con ello, minimizar los problemas mencionados.

Igualmente, se exploró el modo de utilizar los aditivos con el fin de diluir la concentración de cloruros sin necesidad de la participación de alguna reacción con el cloruro de calcio.

Los aditivos probados como reactivos con el cloruro de calcio de los lodos de desecho fueron:

- Purga de bicarbonato de sodio USP<sup>7</sup>
- Silicato de calcio
- Sulfato de sodio

Los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas con estos aditivos no fueron satisfactorios, por lo cual se dio prioridad en el uso de aditivos como diluyentes y/o agregados con propiedades requeridas para la fabricación de los

<sup>4</sup> Planta Separadora de Sólidos

<sup>5</sup> Proceso de conversión total o superficial de un cuerpo en polvo por la pérdida del agua de cristalización o a consecuencia de una reacción con algún componente del aire.

<sup>6</sup> Pérdida de la corteza de un material, laminaciones superficiales.

<sup>7</sup> Universal Standard Pharmaceutic



ladrillos. Dichas propiedades se refieren a incrementar la resistencia mecánica, disminuir los agrietamientos y evitar la exfoliación. Los aditivos utilizados fueron los siguientes:

- Perlita expandida
- Arena sílica malla #200
- Cemento gris<sup>8</sup> (como agente ligante)
- Cemento blanco (como agente ligante)
- Yeso (como agente ligante)
- Fibra de vidrio
- Barro<sup>9</sup> (arcilla)
- Coke
- Arena #4 y #5
- Lodo de planta recuperadora de agua
- Cal hidratada<sup>10</sup>

De más de diez formulaciones ensayadas<sup>11</sup> incluyendo algunas con lodo parcialmente seco y algunas que fueron sometidas a temperatura (cocidas), la que mejores resultados presentó fue la siguiente (resistencia a la compresión de 7.42 kg/cm<sup>2</sup>, valor por encima del mínimo recomendado de 5 kg/cm<sup>2</sup> como material de construcción):

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Lodo húmedo (60% humedad)	29.85%	100
Barro Álcali (cribado malla #4)	59.70%	200
Cemento gris	4.48%	15
Arena caliza #5	4.48%	15
Crioterm <sup>12</sup>	1.49%	5

Tabla 2. Mejor formulación anterior para la producción de ladrillos

Esta formulación quedó definida en agosto de 1994<sup>13</sup> y es la que se utilizó como referencia para arrancar la operación de la planta piloto efectuada ese mismo mes.

<sup>8</sup> Portland, tipo 1 marca monterrey

<sup>9</sup> Suelo de baja compresibilidad con límite líquido variable entre 28.5 y 36.4%, límite plástico de 14.8 a 17.85%, índice plástico de 13.7 a 18.6% y contracción lineal de 7 a 9%

<sup>10</sup> De Duracal con un 85% mínimo de hidróxido de calcio

<sup>11</sup> Memoria de dosificaciones ensayadas en el Laboratorio de Industria del Álcali

<sup>12</sup> Espuma de carlita expandida con densidad suelta de 40 a 56 kg/m<sup>3</sup> y compacta de 57 a 80 kg/m<sup>3</sup>, con rango de mallas de la 100 a la 16

<sup>13</sup> Memoria de dosificaciones ensayadas de la Planta Piloto



Cabe destacar aunque esta última formulación resultó ser la mejor hasta esa fecha, se continuó haciendo pruebas tanto en el laboratorio como en la planta piloto con el fin de reducir los costos de aditivos, utilizar mayor cantidad de lodo de desecho y mejorar sus propiedades impermeables por parte de los ladrillos.

### **1.1.2. Propuesta de Planta Piloto e Implementación**

A medida que Industria del Álcali (Investigación y Desarrollo) avanzó en el trabajo de laboratorio y en coordinación con Ladrillera Monterrey se negoció la compra del equipo necesario para fabricar los ladrillos. El equipo seleccionado consistió, en primera instancia, en una mezcladora, un equipo dosificador de agua y la prensa correspondiente. Posteriormente se vio la necesidad de comprar un molino de navajas para moler el barro a un tamaño adecuado, o bien, para trabajar con lodo seco y molido.

En lo que respecta al soporte técnico como ya se mencionó, se tiene la referencia de las pruebas de laboratorio efectuadas en la planta *Mersin* en *Turquía*, en la cual trabajaron con lodo húmedo, seco, lavado y sin lavar y fue utilizado para sustituir la cal hidratada en las diferentes formulaciones o pruebas estudiadas.

De acuerdo con lo mencionado en esta bibliografía, y según sus estudios de laboratorio, el lodo de desperdicio de la planta de Carbonato de Sodio presenta un potencial de empleo en la industria de la construcción y puede ser usado en lugar de cal para producir morteros de yeso y mampostería, así como ladrillos de cal y arena con más bajas resistencias.

La operación en Industria del Álcali de la planta piloto inició el 25 de agosto de 1994 con una producción diaria del orden de 90 piezas. Como ya se mencionó la formulación inicial para fines de producción fue la misma que se muestra en la Tabla 2 de la página anterior.

Sin embargo, se siguió trabajando tanto en el laboratorio como en la planta piloto de Industria del Álcali, probando otras formulaciones y buscando aprovechar otros desechos de la planta, así como tratando de reducir costos de materiales, incrementar el uso de lodos de desperdicio y mejorar las características de intemperismo de los ladrillos.

En septiembre de 1994, se enviaron las primeras muestras de la planta piloto al Instituto de Ingeniería Civil de Universidad Autónoma de Nuevo León (U.A.N.L.) para efectuar las pruebas de resistencia a la compresión y absorción de



agua. Los resultados detallados de todas las pruebas realizadas, los podemos encontrar en la Tabla No. 14 ubicada en el Anexo 2.

Se probaron un total de 15 especímenes, los cuales tuvieron un peso promedio de 3611 gramos debido a las dimensiones obtenidas alrededor de 5x10x20 cm. de cada ladrillo, ya que de acuerdo a la literatura consultada, este tipo de ladrillos son los que se fabrican en la actualidad.

Los resultados de resistencia a la compresión fueron variados, concentrándose valores que van desde 47 hasta 73 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual era de esperarse puesto que se conoce que el tamaño de partícula de los lodos (90% del total, es menor a 10 micras), favorece que las piezas fabricadas con este material tengan buena resistencia mecánica (25% de ella es debida al lodo) la cual, combinada con la fuerza aglutinante del cemento, se ve fuertemente incrementada.

Con respecto al porcentaje de absorción de agua, los valores fueron desde un 8.3% hasta un máximo de 16.0%. Se puede observar una gran variación en este parámetro, posiblemente se deba a una variabilidad en el acomodo de la mezcla dentro del molde.

Una vez analizados los primeros resultados, en enero de 1995 se enviaron nuevas muestras a la U.A.N.L. para efectuar pruebas de resistencia a la compresión y flexión, tratando de que dichas muestras realmente se ajustaran a la formulación recomendada. Los resultados reportados fueron mejores que los de las muestras anteriores; sin embargo a raíz de los problemas de manejo de la muestra, el Departamento de Investigación y Desarrollo decidió hacer un ajuste a la formulación, evitando incrementar las 200 partes de barro mediante la utilización de más arena y cemento y, a la vez, disminuyendo la cantidad de perlita requerida.

La formulación final, con la que posteriormente se trabajó en la planta piloto y que presentó mejores características que la fórmula recomendada, es la siguiente:

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Lodo húmedo	27.01%	100
Barro Alkali	54.02%	200
Cemento gris	7.00%	26
Arena #4	11.20%	40.8
Crioterm	0.90%	3.3

Tabla 3. Formulación corregida para la producción de ladrillos



Esta fórmula<sup>14</sup> se comenzó a utilizar a partir del día 3 de abril de 1995 a un ritmo de máxima capacidad de acuerdo con las limitaciones del equipo, ya que, hasta esta fecha, no se tenía instalado el molino de navajas, el cual quedó en operación el día 28 de abril de 1995 para el molino de arcilla y para efectuar pruebas con lodo parcialmente seco y molido.

Otro aspecto muy importante que se debe resaltar, es el procedimiento de curado que se aplicó a los ladrillos, el cual consistió en humedecer con agua cada lote de ladrillos dos veces por día (en la mañana y en la tarde) durante tres días y luego secar al ambiente, para que finalmente, después de 28 días, se pudiera disponer de los ladrillos para su uso. Este tipo de curado se aplicó desde el arranque de la planta piloto; sin embargo, a partir del 20 de mayo de 1995, se modificó cubriendo los lotes con plástico durante los tres primeros días, ya que se comprobó que, al hacer esto mejoraban las características de resistencia a la intemperización por parte de los ladrillos.

### **1.1.3. Resultados**

Como se mencionó anteriormente, a partir del 28 de abril de 1995 se trabajó normalmente con la fórmula mejorada y optimizada por el nuevo proceso de curado, a un ritmo de 500 piezas por día aproximadamente, y estas se utilizaron en la construcción de una barda perimetral de 1200 metros de longitud. Esta barda sirvió como muestra de la aplicación de los ladrillos y, el aspecto presentado generó excelentes comentarios de la gente que ha tenido oportunidad de observarla. Asimismo, se construyó una caseta de vigilancia utilizando los ladrillos de manera aparente. Esto último indicó que los ladrillos han tenido muy buena aceptación y que, debido a ello, es de esperarse un gran potencial en cuanto a su aplicación como material de buena apariencia.

La ilustración siguiente muestra la caseta de vigilancia que se construyó con los ladrillos fabricados:

---

<sup>14</sup> Fuente: Bitácora de operación de la Planta Piloto de Industria del Alkali

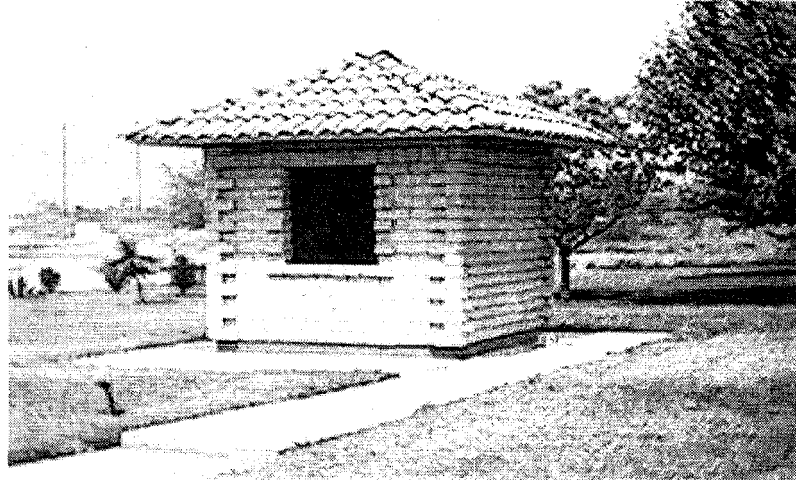


Ilustración 1. . Foto de caseta de vigilancia construída con ladrillos de la planta piloto

Con el fin de validar la resistencia a la compresión de esta nueva formulación, el día 13 de julio de 1995, se ensayaron otras muestras en la U.A.N.L., las cuales reportaron en promedio un valor de  $136 \text{ kg/cm}^2$ . Estas nuevas pruebas de resistencia fueron efectuadas, al igual que las anteriores de acuerdo con el método de ensaye D.G.N.-C-6-1976<sup>15</sup>.

Según lo reportado por el Instituto de Ingeniería Civil de la U.A.N.L. y de acuerdo con las especificaciones de la Dirección General de Normas (D.G.N.), los ladrillos quedarían comprendidos dentro de la clasificación de productos de arcillas y/o similares, comprimidos con maquinas (MQ) y secados al ambiente del subtipo MqM. De acuerdo con su resistencia a la compresión y a los resultados de absorción, su grado de calidad estaría entre C y D, por lo que se consideró que son aptos para trabajos de albañilería con cargas moderadas.

Ahora bien, en cuanto al material que se observó que se desprendía de los ladrillos, no presentó problemas de toxicidad, al ser sometido a la prueba CRETIB<sup>16</sup>. Dichos material desprendido corresponde a las características observadas de los lodos del proceso Solvay, de los cuales también se obtuvo el análisis que se realiza para las sustancias peligrosas; el cual se encuentra detallado en el Anexo 3.

En las pruebas practicadas con los lodos de desperdicio, se observó que estos se vieron afectados en su composición por el resto de los aditivos que se utilizaron en la fabricación de los ladrillos. Se pudo apreciar que según la Tabla 15 que se encuentra en el Anexo 2 (una muestra compuesta de ladrillos fabricados

<sup>15</sup> Procedimiento de ensaye para productos cerámicos constructivos

<sup>16</sup> C-Corrosivo R-Radiactivo E-Explosivo T-Tóxico I-Inflamable B-Biológicamente peligroso



durante el mes de mayo de 1995); el mayor porcentaje de la composición de los ladrillos estuvo representada por inclusiones de Acido Clorhídrico, seguido del Carbonato de Calcio.

Con respecto a la utilización de lodo de desecho, éste correspondió a un 27.01% en la mezcla y cada ladrillo pesó 7.55 Kg, por lo que, para una producción diaria de 500 piezas, el porcentaje de reducción de desecho sólido fue:

$$\begin{aligned} \text{Lodo desperdicio DS} &= 500 (7.55) (0.2701) = 1019.6 \text{ Kg/día} \\ \text{Lodo desp. DS total} &= 150 (1000) = 150,000 \text{ Kg/día} \\ \% \text{ red. Desperdicio} &= 1019.6 (100) / 150,000 = 0.68 \% \end{aligned}$$

Para una reducción del orden de 25% en lodos de desperdicio, la capacidad de producción debería haber sido de:

$$\text{No. de Ladrillos} = 0.25 (150,000) / (0.2701) / (7.55) = 18,389$$

Este nivel producción permitiría, a su vez, pensar en un incremento de la producción de soda manteniendo el mismo ritmo de disposición de desecho de aquella fecha, o bien se buscaría una justificación económica basada en los ahorros que representaría la reducción de desecho y los ingresos por venta de los ladrillos fabricados. Estas dos opciones se estudiarán dentro del desarrollo de la presente investigación.

## **1.2. Investigación presentada como tema de tesis con apoyo de Industria del Álcali**

En julio de 1995 se concluyó una investigación<sup>17</sup> enfocada a la fabricación de ladrillos utilizando los lodos de desecho ya mencionados.

### **1.2.1. Generalidades**

La experimentación para la creación de los ladrillos fue muy similar a los lineamientos marcados anteriormente por Industria del Álcali, con la variante de que los lodos eran lavados, con la finalidad de disminuir la concentración de cloruros en el desecho. La utilización de este método permitió disminuir el efecto

<sup>17</sup> Fuente: Tesis de Maestro en Ciencias. Especialidad en Ingeniería Ambiental. Ing. Miguel Segoviano. ITESM. 1995.



de la exfoliación, ya que la baja concentración de los cloruros no propiciaba la disgregación del espécimen y lo mantenía mejor consolidado.

### 1.2.2. Metodología

Los pasos del método para la generación de los ladrillos puestos a prueba fueron:

1. **Lixiviación.** Primeramente se seleccionaron los lodos a utilizar, ya sea, los que se encuentran confinados, o los que se obtienen periódicamente de la Planta Separadora de Sólidos. Este fue el componente principal del ladrillo conformado. Cabe mencionar que existe una diferencia de humedades entre los dos lodos. En esta etapa se realizó la eliminación de las sales que contenía el lodo y que debieron ser removidas para evitar una reacción dentro del producto final lo que permitió una adecuada cohesión entre los materiales.
2. **Secado.** En este paso, se eliminó el exceso de humedad que tenían los lodos, para realizarse una pasta más trabajable.
3. **Mezcla de Componentes.** Es la etapa donde se mezcló la arena y el cemento de acuerdo a las dosificaciones óptimas obtenidas de la experimentación.
4. **Moldeado.** Una vez elaborada la mezcla se colocó en los moldes de acuerdo a las características (tamaño, forma, etc.) que se querían obtener.
5. **Fraguado.** El fraguado de los ladrillos fue muy rápido debido a las dimensiones unitarias que estos elementos poseían, sin embargo fue necesario esperar que obtuvieran su resistencia, la cual se alcanzó en un periodo no mayor a 5 días.
6. **Evaluación.** Se realizó una evaluación de la resistencia adquirida de una muestra representativa del lote de los elementos realizados con las mismas características.

Estos fueron los pasos seguidos para realizar ladrillos. A continuación se presenta de forma esquemática el proceso de esta fabricación:



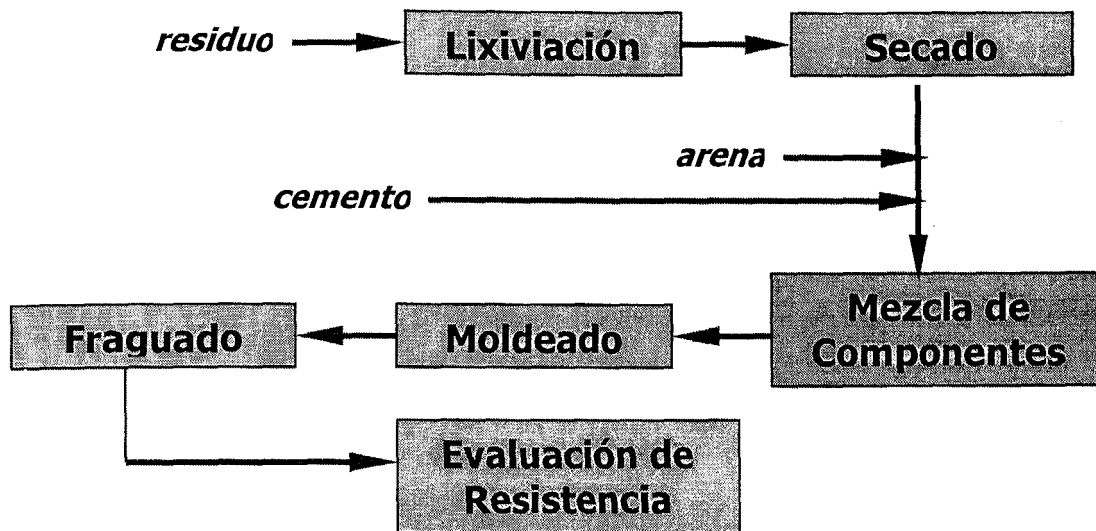


Ilustración 2. Esquema de fabricación de ladrillos (lodo lixiviado)<sup>18</sup>

Una variable involucrada dentro del proceso que afecta el primer paso, es la diferencia existente de humedades entre los lodos confinados y los lodos sin confinar, por lo que se realizó la determinación de dichas humedades. En la siguiente tabla se puede ver el porcentaje de humedad correspondiente a los lodos en sus dos condiciones:

Parámetro	Lodos sin confinar	Lodos confinados
Humedad	64.84%	36.98%

Tabla 4. Porcentaje de humedad de lodos confinados y sin confinar

### 1.2.3. Estudio de Factibilidad Técnica

Debido al enfoque de la investigación realizada anteriormente; la solución fue basada en el mejoramiento de la calidad de los lodos, por lo que se enfocó a la lixiviación del material a utilizar.

El estudio de factibilidad técnica realizado dentro de la investigación de tesis esta dividido de acuerdo a los pasos para la elaboración de los especímenes, haciendo mayor énfasis en las etapas más importantes del proceso.

<sup>18</sup> Idem a la Referencia 17



## Lixiviación

La lixiviación se realizó para remover los cloruros de los lodos de desecho, los cuales se eliminaron como sales solubles de cloruro de calcio, de sodio y potasio, ya que son las formas como está presente el cloruro en este residuo. La lixiviación se realizó, a manera de flujo cruzado utilizando como disolvente agua destilada libre de cloruros, con una reacción 4 a 1 de agua a sólido seco. Se alimentaba en cada etapa agua fresca, en la misma cantidad (en volumen) que fue removida, es decir la cantidad de agua fresca fue igual al agua del extracto, en cada etapa de lixiviado.

## Determinación de Cloruros<sup>19</sup>

Los cloruros en cada uno de los extractos se realizó por el método Mohr<sup>20</sup>.

### Equipo y Materiales.

Para la realización de esta etapa preliminar o de escrutinio, se utilizó el siguiente material y equipo.

- Balanza analítica
- Vaso de precipitados
- Agitador mecánico
- Aspás
- Matraces Erlenmeyer
- Tubos de ensaye
- Pipetas
- Bureta
- Probeta
- Filtros
- Embudo de Goch
- Matraz Kitazato
- Bomba de vacío
- Medidor de PH
- Recipientes para recolección de extractos.

### Sustancias y reactivos.

Las sustancias utilizadas fueron:

---

<sup>19</sup> Idem a la referencia 17.

<sup>20</sup> Análisis de compuestos por medio de Cloruro de doble Hierro (II) y Amonio.



- Agua destilada libre de cloruros
- Nitrato de plata
- Dicromato de potasio
- Cloruro de sodio
- Anaranjado de metilo

### **Procedimiento**

Para realizar la lixiviación, para la remoción de los cloruros presentes en el desecho se procedió como a continuación se explica.

Se pesó una cantidad de 500 gr. de lodo, una muestra de lodo confinado y otra de lodo sin confinar, se le agregó el agua necesaria para la relación 4:1, de agua a sólido seco, se agitó hasta que se observara homogeneidad, y se permitiera que se disolviera el soluto en el agua (10 minutos aproximadamente). Luego se filtró y se analizó el extracto, esto se repitió hasta que se observó que la cantidad de cloruros en el extracto era aproximadamente igual a la cantidad de cloruros presentes en el solvente fresco, (paralelamente se iba cuantificando por titulación el contenido de cloruros). De manera cualitativa se iba identificando etapa por etapa la presencia de cloruros, mediante la adición de nitrato de plata a una pequeña muestra para observar la presencia de un precipitado blanco, cloruro de plata.

## **Capítulo 2**

# **Estudio de Factibilidad Técnica**



## 2.1. Condiciones Iniciales

A partir que se retomaron las investigaciones para continuar con el proyecto de la reutilización de los lodos del proceso Solvay, fue necesario la realización de gestiones para reactivar la planta piloto de elaboración de ladrillos, ya que esta se encontraba parada y abandonada.

Debido al tiempo que se detuvieron las investigaciones y pruebas para generar información referente al estudio; muchos de los datos anteriores se perdieron así como las últimas dosificaciones empleadas para la fabricación de ladrillos. Cabe mencionar que todavía existían muchos especímenes que se quedaron sin ser probados, ubicados junto a la ubicación anterior de la Planta Piloto, como lo muestra la siguiente ilustración:

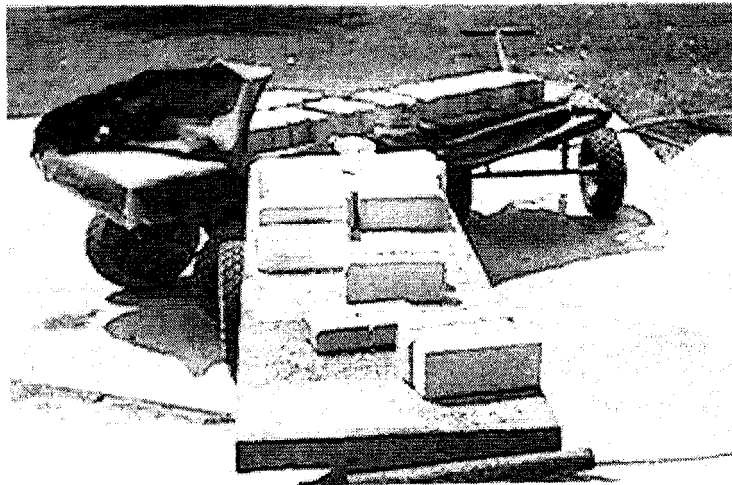


Ilustración 3. Ladrillos sobrantes de pruebas de 1996

### 2.1.1. Reactivación de Planta Piloto

En septiembre de 1998 se autorizó darle mantenimiento y poner en marcha la planta piloto.

572717

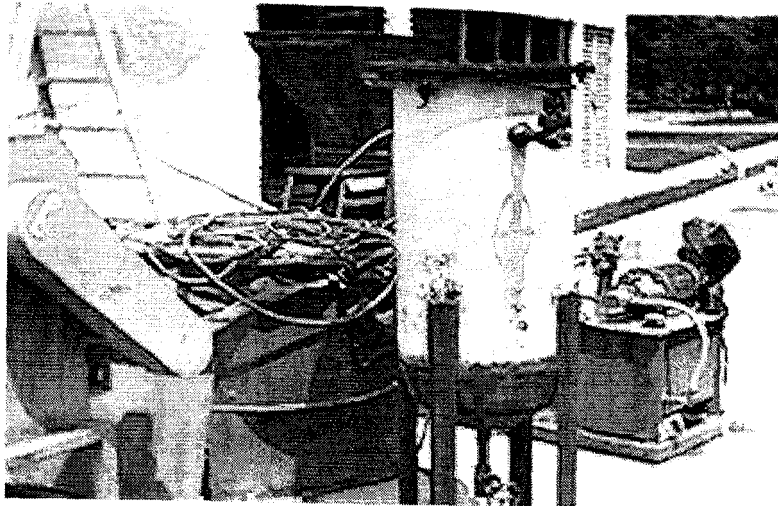


Ilustración 4. Foto de revolvedora y dosificador de la planta piloto de ladrillos

Quedando completamente reacondicionada la planta a mediados del mes de octubre de 1998. Por lo que a partir de este momento se comenzaron a realizar los primeros especímenes para la evaluación de las pruebas correspondientes.

### **2.1.2. Procuración de los agregados**

Una vez que se reinstauró la planta fue necesario procurar todos los agregados necesarios para la conformación de la mezcla. Por lo que se requirió de un volumen considerable de arena, barro y naturalmente lodo.

Se buscó un lugar cercano a los lugares de trabajo para disponer todos los materiales, ya que se trató de homogeneizar las condiciones de humedad para todos los agregados y buscar la mayor proximidad a las instalaciones de la Planta para facilitar la transportación. Cabe mencionar que dentro de las diversas dosificaciones empleadas, se utilizó lodo con diferentes humedades (confinado y sin confinar), por lo que fue necesario verificar constantemente el contenido de agua dentro de cada muestra de lodo utilizada.

## **2.2. Metodología para las Dosificaciones**

Una vez que se reactivó la planta piloto y los materiales y agregados fueron suministrados, se procedió a definir la metodología que se utilizó para ir definiendo cada una de las formulaciones. Se muestra de manera esquemática las diferentes



condiciones que se deben cubrir para dar origen a una nueva formulación partiendo de las ya conocidas:

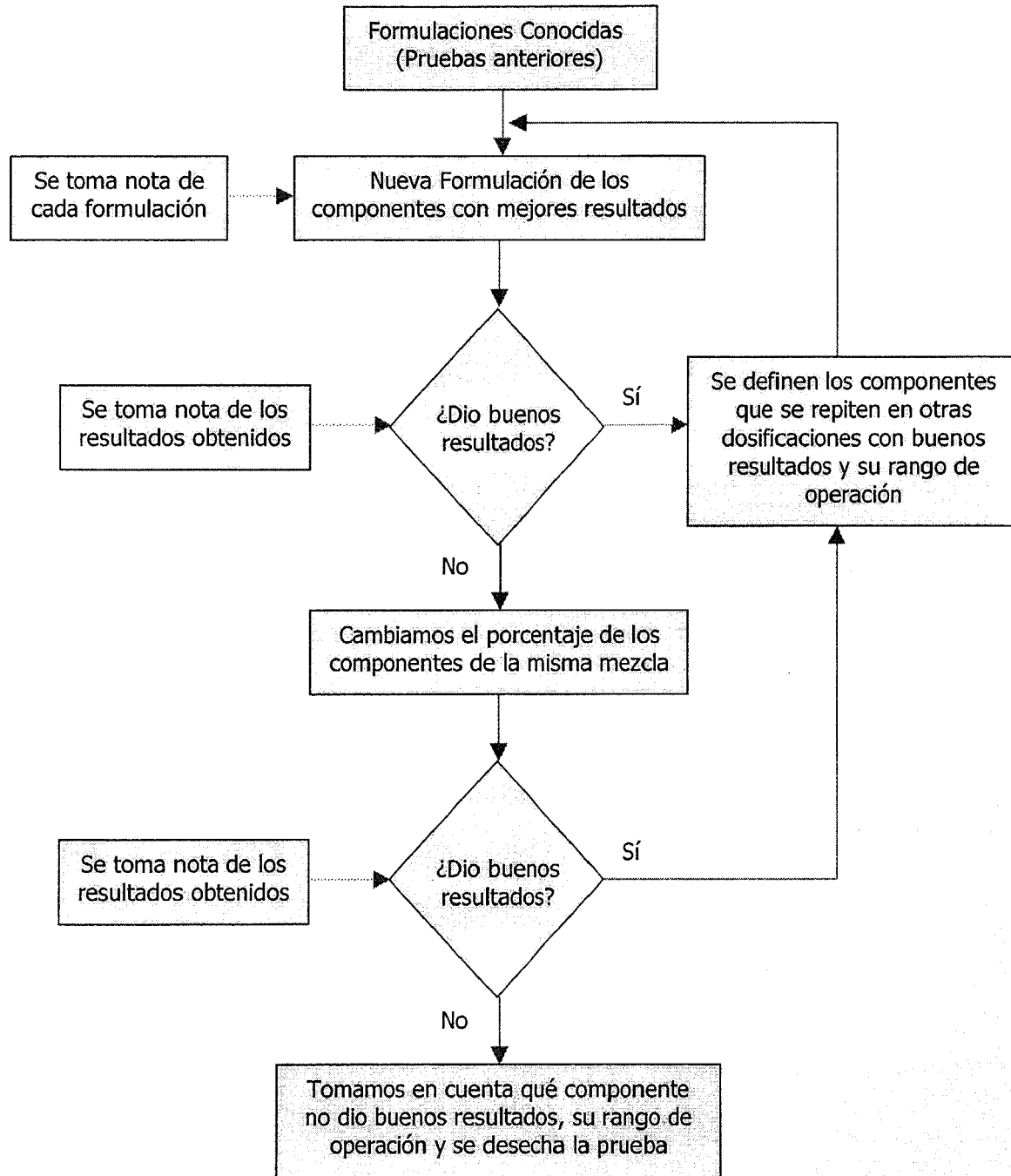


Ilustración 5. Diagrama de Flujo de la Metodología de la Investigación



## 2.3. Pruebas Preliminares

Para la comenzar a realizar las primeras pruebas, se tuvo que revisar toda la información existente a las últimas dosificaciones utilizadas, así como entrevistarse con el diverso personal involucrado anteriormente con el proyecto que fue abandonado.

Después de un análisis de los datos facilitados, se definió la primera formulación a utilizarse para las pruebas iniciales. Es cierto que esta sirvió de plataforma para el desarrollo de las dosificaciones subsecuentes así como parámetro de experimentación de las condiciones de operación.

### 2.3.1. Pruebas con Barro – Lodo - Arena

#### Formulación

Después de la reactivación de la planta piloto, se comenzó a realizar las primeras pruebas de generación de ladrillos, utilizando los componentes más básicos:

- Barro
- Lodo seco
- Arena

Se utilizaron estos materiales ya que son los más baratos en el mercado y con mayor disponibilidad dentro de las instalaciones de la planta Industria del Alkali. Dentro de las diversas formulaciones se utilizó un 50% de Barro para dar constitución a la mezcla y alrededor de un 45% de lodo seco, tratando de utilizar lo máximo posible. Las dosificaciones fueron designadas con el número 1, y se encuentran detalladas en las Tablas 16, 17 y 18 que se encuentran al final en el Anexo 2.

Las mezclas fueron difíciles de homogeneizar; posteriormente se formó una pasta pegajosa lo cual dificultó su manejo y secado. Se llevó a la estufa para secarla hasta 12.5% de humedad en la mezcla. Al final quedó la pasta pegada y el secado no fue uniforme (la parte exterior se secó más que la parte interior de la pasta). En resumen esta mezcla fue difícil de manejar y de secar.

Es necesario mencionar que para la operación de la planta piloto en las primeras pruebas existieron muchas dificultades debido a la inexperiencia y a los





problemas e imprevistos generados por la mala operación de la maquinaria, sin embargo estas pruebas sentaron precedente para facilitar todas la experimentación posterior.

## Resultados

Las briquetas<sup>21</sup> con las primeras formulaciones, fueron sometidas a lo siguiente (después de la cocción a 450° C):

a) Intemperie:

La tercer briqueta (1-C), que tenía únicamente barro y lodo; se exfolió ligeramente

La segunda briqueta (1-B), que tenía el mayor porcentaje de barro; se exfolió severamente

La primer briqueta (1-A), que tenía el mismo porcentaje de barro y de lodo; se exfolió

b) Sumergir en agua la mitad de la briqueta por 72 horas.

Todas las briquetas se suavizan al grado de desmoronarse con una pequeña carga, o raspando la superficie con la uña.

Las briquetas fueron sometidas a cocción, elevando la temperatura a 750°C en hora y media, dando una permanencia de media hora. Después fueron sometidas a:

a) Intemperie:

La segunda y tercer briquetas; se exfoliaron ligeramente

La primer briqueta no se exfolió y fue más dura

b) Sumergidas la mitad de la briqueta en agua.

La segunda y tercer briquetas la mitad sumergida y aún el resto que sobresalía del agua, se suavizaron notablemente.

Sin embargo la primer briqueta, no se suavizó

Además, hay que hacer notar que las briquetas 1-B y 1-C se decoloraron, dando un tono gris.

---

<sup>21</sup> Conglomerado de carbón, en este caso de diferentes materiales en forma de ladrillo.



### 2.3.2. Pruebas con Lodo – Barro – Finos - Oxido

Posteriormente al observar los resultados de las formulaciones anteriores se notó que la arena no dio alguna ayuda significativa para evitar la exfoliación, por lo que se buscó algún nuevo componente que disminuyera la disgregación así como abatiera el problema anterior presentado

Con ayuda de la gente de Álcali se proporcionó lo necesario para la nueva formulación

#### Formulación

Dentro de la nueva formulación se utilizó:

- Lodo
- Barro
- Finos de Sílice
- Óxido de fierro

Los últimos dos componentes se utilizaron con la finalidad de disminuir los cambios volumétricos excesivos en la mezcla, provocados por el cambio de humedad.

Se realizó una pequeña prueba de contracción lineal la cual dio un resultado de 6%<sup>22</sup>, por lo que no se esperó un cambio volumétrico significativo.

Para las pruebas ensayadas, se realizaron 3 formulaciones en las cuales se utilizó un promedio de 60% de barro, 30% de lodo y el resto entre óxido y sílice. Estas diferentes formulaciones fueron designadas con los números 2-A, 2-B, 2-C y su relación en porcentaje de cada componente se puede observar de manera detallada en las Tablas 19, 20, 21 del Anexo 2.

La mezcla se homogeneizo en seco, además que se agregaron 30 ml. de agua tratando de humedecer toda la mezcla, para hacerla más manejable. Los ladrillos que se obtuvieron tuvieron buena apariencia.

Posteriormente los ladrillos se quemaron a 450° C y 750° bajo el ciclo siguiente: una hora en llegar a la temperatura máxima, una permanencia de media hora a misma temperatura.

---

<sup>22</sup> Se considera un límite de 9% y mayor para suelos con cambios volumétricos significativos



## Resultados

Las briquetas después de quemarse, fueron sumergidas en agua por 24 horas, con el resultado siguiente:

a) Grupo "quemado" a 450° C

Briqueta 2-A, se disgregó parcialmente en una lado de la misma  
Briqueta 2-B, 2-C, ídem a la 2-A

Lo anterior, se debió en parte, a defecto del llenado del molde, por lo que se repitió la prueba y solamente la briqueta 2-B se disgregó, quedando 1-A y 1-C sin cambio.

b) Grupo "quemado" a 750° C

No se disgregaron, pero se pudo observar que la 2-A tiene mayor resistencia al ser frotada con la mano, al estar húmedas las briquetas.

Se observó que se mejoraron las características generales con respecto a las pruebas anteriores.

### 2.3.3. Pruebas con Lodo Húmedo - Barro

#### Formulación

Con el objeto de simplificar el proceso y de averiguar si una temperatura de cocción más baja y/o una composición o fórmula de mayor contenido de lodo es resistente a la intemperie, se realizaron briquetas con lodo húmedo (62% de humedad) y con barro, utilizándose tres formulaciones deferentes denominadas 3-A, 3-B y 3-C. Dentro de dichas dosificaciones interactuó el lodo húmedo y el barro.

Para estas pruebas se realizaron briquetas, cuyas relaciones de barro y lodo de cada una se encuentran detalladas en las Tablas 22, 23, 24, ubicadas en el Anexo 2.

Dentro del procedimiento de realización de las briquetas, el lodo húmedo fue mezclado a mano con el barro pulverizado y dejado a secar al sol por 96 horas. Después la mezcla seca fue pulverizada y cribada por malla 20. Se pesaron



porciones de 150 gramos, se le añadieron 15 cm<sup>3</sup> de agua, se homogeneizó la mezcla y se prensaron briquetas a 1000 psi (círculo hidráulico de la prensa), equivalentes a 180 psi en la briqueta. En el proceso de prensado de los especímenes es recomendable que la mezcla no se encuentra tan seca ya que al bajar la prensa y forjar la briqueta, las paredes en contacto con el molde quedan rasgadas, y dan una apariencia final poco recomendable. Una solución que da resultados satisfactorios pero no muy recomendables es el mojado previo de los moldes, para disminuir la fricción entre mezcla y molde.

Se hizo la cocción con el ciclo siguiente: 1½ hora en llegar a 600°C con una permanencia de ½ hora.

## Resultados

Las briquetas 3-A y 3-B, resisten 72 horas en agua, con poca o casi nula suavización a la superficie, mientras que la 3-C, se suaviza y presenta más eflorescencia. Es de esperarse ya que el porcentaje de lodo en esta prueba es mucho mayor que el de barro y la pruebas por sí solas realizadas con lodo, presentan la características observadas.

La formulación 3-A aparenta tener mejores propiedades, a pesar de dar algo de eflorescencia blanca. Debido a la gran cantidad de lodo utilizada en la mezcla.

### 2.3.4. Pruebas con Lodo Seco – Barro

Con el objeto de ensayar el lodo de la "cama 1"<sup>23</sup>, y realizarle pruebas para observar su comportamiento con los resultados obtenidos, se realizaron dos formulaciones.

## Formulación

Dentro de la formación de la mezcla se trabajo únicamente con:

- Lodo seco
- Barro

Se realizaron 2 diferente dosificaciones, las cuales se denominaron 4-A. 4-B. Las cuales se encuentran en las Tablas 25, 26 en el Anexo 2.

---

<sup>23</sup> Primera cama de lodos confinados dentro del predio de Industrias del Alkali



Se quemaron a 600° y 700°C con media hora de permanencia a la temperatura pico.

## Resultados

Estas briquetas no presentan "eflorescencia" y no hay diferencia aparente entre las propiedades físicas, por lo que se escogió la temperatura de 600°C, para futuros ensayos, así como la permanencia de ½ hora en la temperatura pico alcanzada.

Se efectuó una prueba de congelación por 72 horas a 4°C con las muestras. Todas las briquetas elaboradas con las dos formulaciones resistieron las pruebas.

Según los resultados anteriores, es aparentemente viable el fabricar ladrillos con los siguientes límites.

<i>Composición:</i>	Lodo de 25 a 84% (lodo húmedo)
	Barro 16 a 75%
<i>Temperatura de cocción mínima:</i>	600°C
<i>Con media de hora de permanencia máximo:</i>	750°C
<i>Proceso de formación:</i>	Prensado en húmedo

### 2.3.5. Pruebas con Lodo – Ceniza – Cal – Sílice

Dentro de la información consultada se encontró con una serie de posible componentes que podían interactuar con el lodo de desecho, por lo que se realizaron pruebas con diferentes agregados buscando mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla, para esto se utilizó:

- Fly ash<sup>24</sup> (ceniza volante)
- Cal hidratada
- Finos de sílice

Estos últimos ya utilizado en pruebas anteriores. Además la ceniza volante es un producto que de acuerdo a sus propiedades propicia un menor peso volumétrico de los especímenes, así como disminuye el ataque de los cloruros en la mezcla debido a su reacción con estos.

---

<sup>24</sup> Con propiedades para aligerar las mezclas. Tiene un peso volumétrico alrededor de 100 kg/m<sup>2</sup>.



También se empleó lodo semiseco con una humedad de 20.45%. Este lodo fue tomado de la última cama de confinamiento. Ya con los componentes establecidos, se prepararon briquetas para la evaluación de las composiciones.

## Formulación

Se formularon 5 diferentes dosificaciones, utilizando desde un 35% hasta un 80% de lodo, las cuales se denominaron 5-A. El detalle de las dosificaciones está en las Tablas 27, 28 en el Anexo 2. En estas pruebas se utilizó un promedio de 70% de lodo semiseco y en un caso de 50% de ceniza volante.

En ocasiones fue necesaria la adición de agua, debido a lo difícil que significaba su manejo, y para favorecer la homogeneización. Una adecuada humedad propició un prensado de los especímenes más óptimo.

La presión utilizada fue de 1000 psi en el circuito hidráulico (equivalente a 177.7 psi en el dado o sea, en la briqueita).

## Resultados

Para las dos primeras pruebas con la formulación, sin secado, se sometieron a dos ciclos de quemado (por separado). Un ciclo consistió en elevar la temperatura hasta 600°C en tres horas. Una vez enfriadas las briquetas se procedieron a sumergir el extremo de cada una briqueita en agua, con el resultado que sigue:

- Briqueita con fórmula No.2, se disgregó parcialmente
- Briqueita con fórmula No.1, si resistió

El otro ciclo, consistió en calentar en tres horas hasta 350°C y mantener una hora y el resultado después de inmersión en agua fue:

- Briqueita fórmula No.1, se disgregó parcialmente
- Briqueita fórmula No.2, si resistió

Para las últimas tres pruebas con la formulación, únicamente se usó el ciclo de 350°C, con el resultado siguiente:

- Briqueita fórmula No.3, se disgregó parcialmente
- Briqueitas fórmula No.4 y 5, resistieron muy bien

Se observó que la ceniza volante, contribuyó al aumento de las propiedades mecánicas, ya que en la dosificación donde se usó un alto porcentaje de este componente se obtuvieron resultados satisfactorios.

## 2.4. Pruebas con Agregados y Aditivos

### 2.4.1. Pruebas LCFA y LBW

En estas dosificaciones se buscó un agregado que pudiera favorecer la absorción del agua incluida dentro de las muestras, así como para reducir los esfuerzos generados dentro de los especímenes debido a la reacción del agua con el cloruro provocando la disgregación.

Se realizaron cuatro mezclas con dos diferentes formulaciones:

- LCFA. Lodo húmedo, Cal hidratada, Fly Ash
- LBW. Lodo húmedo, Barro, Wollastonita<sup>25</sup>

Se usó lodo húmedo para mejorar su trabajabilidad, ya que en los experimentos anteriores junto con la cal fue necesario la adición de agua extra para su manejabilidad.

### Formulación

Se realizaron 2 diferentes formulaciones de LCFA y otras 2 de LBW, las cuales se encuentran de manera detallada en las Tablas 29, 30, 31, 32 ubicada en el Anexo 2.

Se utilizó un promedio de 50% de lodo húmedo, alrededor de 30% de barro, en dos formulaciones estuvieron conformadas con 50% de ceniza volante y bajos porcentajes de wollastonita y sílice.

Se prepararon ladrillos de 5x10x20 cm. Con un horneado que se programó a 600°C y 700°C, para cada formulación.

### Resultados

- a) Para estas pruebas se realizaron más especímenes de cada experimento de los acostumbrados, por lo que los resultados se promediaron para obtener una mayor significancia.

---

<sup>25</sup> Mineral de la clase de los silicatos que cristaliza en el sistema triclinico, de color blanco, gris o rosado o también incoloro. Tiene brillo vítreo o nacarado.



- b) La fórmula Lodo, Cal, Fly Ash (LCFA-2), al ser horneada a 700°C, pierde el color gris<sup>26</sup> y toma color de barro quemado (amarillento).
- c) En la fórmula LCFA-2, también se observa, que en apariencia, es más resistente mecánicamente cuando fue horneada a 350°C (en experimento previo), que cuando fueron horneadas a 600°C y 700°C.
- d) Las fórmulas LBW-1 y LBW-2, son más resistentes, cuando son horneadas a 600°C, que a 700°C.
- e) Todas las formulaciones ensayadas, presentan laminaciones en los ladrillos.
- f) Se fabricará un aditamento al molde de la prensa, para tratar de eliminar las laminaciones ya referidas.
- g) En el secado y fraguado, esta dosificación presentó pequeños agrietamientos al poco tiempo después de ser moldeados; cabe mencionar que la apariencia final de los ladrillos no fue la mejor que se obtuvo hasta ese momento.
- h) Como datos de interés se tienen los siguientes comentarios:
- Se ha observado que los ladrillos, son más propensos a exfoliarse ó desmoronarse, si la fórmula contiene exceso de cal, no combinada.
  - Si la temperatura de horneado excede de 350°C, la pieza es menos resistente, para aquellas formulaciones que contienen cal y/o fly ash. En cambio, las formulaciones que contienen barro, son más resistentes a 600°C, que a otro nivel de temperatura.
  - Se utilizará la temperatura de 350°C, en las formulaciones subsecuentes en las que se utilice cal o fly ash, para ratificar el punto anterior.

#### 2.4.2. Pruebas LS – LB – LBS

Estas pruebas fueron basadas en las pruebas preliminares en donde se utilizó barro y sílice. La variante para la obtención de los nuevos resultados fue la utilización del proceso de intemperización acelerada para con la finalidad de

---

<sup>26</sup> Color característico debido al carbón ocluido de la ceniza volante





reducir el tiempo de prueba y obtener resultados de experimentación en condiciones extremas.

Se fabricaron ladrillos de 5x10x20 cm, con cada una de las formulaciones siguientes:

- LS. Lodo húmedo, Finos de Sílice
- LB. Lodo húmedo, Barro
- LBS. Lodo húmedo, Barro, Finos de Sílice

## Formulación

Se utilizaron las anteriores combinaciones debido a su gran disponibilidad de los componentes en el lugar y a los resultados, obtenidos anteriormente con pruebas similares, para su comparación con las nuevas observaciones y determinar condiciones óptimas de operación.

Se realizaron 3 formulaciones, las cuales se encuentran detalladas en las Tablas 33, 34 y 35 que se encuentran en el Anexo 2.

En las formulaciones se utilizó un promedio de 50% de lodo seguido del barro y en poca proporción sílice.

Las piezas (ladrillos) fueron secadas por 48 horas en estufa y sometidas a un ciclo de calentamiento constante, que consistió en subir la temperatura a 600°C en 5 horas y mantenerla así durante una hora. Existieron otras piezas que se les aplicó otro ciclo de cocción, el cual se describirá en los resultados de la pruebas efectuadas.

El contenido de lodo seco, obviamente más alto en las fórmulas arriba descritas, hace importante el que estas formulaciones presenten mayor viabilidad para fabricación.

### NOTAS:

1. Cuando las piezas no se secaron previamente, presentaron rajaduras.
2. Las piezas de LS fueron también sometidas a un ciclo de cocción de subir a 600°C y mantener esa temperatura tres horas, sin presentar diferencia con las del ciclo original, pero también requieren secado previo.



3. En las fórmulas con barro LB y LBS, se utilizó barro cribado que pasara la malla No.20<sup>27</sup>.

## Resultados

1. Fórmula LS (primeras pruebas).

Estas piezas fueron sometidas al siguiente ciclo de cocción: Tres horas en subir la temperatura a 600°C y tres horas mantenerla igual.

Las piezas se veían ligeras y frágiles, algunas presentan cuarteaduras en el hueco del ladrillo y otras en la superficie (se cocieron en la estufa, sin secado previo).

2. Fórmula LS (segundas pruebas).

Estas piezas fueron sometidas al siguiente ciclo de cocción: Cinco horas en subir la temperatura a 600°C y una hora en mantenerla así.

Todas las piezas se cuartearon y reventaron. El ladrillo resultante es muy frágil, al manejarlo se rompe fácilmente (fueron secadas previamente a 110°C por 48 horas).

3. Fórmula LS (terceras pruebas).

Estas piezas fueron sometidas al siguiente ciclo de cocción: cinco horas en subir la temperatura a 600°C y una hora en mantenerla así.

La mitad de las piezas están en buenas condiciones y la otra mitad en malas condiciones (se desprende la superficie del ladrillo). Todas tienen defecto de fabricación (se levanta una capa delgada de material en la parte baja del ladrillo). Estas piezas se fabricaron sin el hueco en la parte central del ladrillo, fueron secadas previamente a 110°C, por 48 horas.

4. Fórmula LB

Estas piezas fueron sometidas al siguiente ciclo de cocción: cinco horas en subir la temperatura a 600°C y una hora en mantenerla así.

El 70% de las piezas están en buenas condiciones y el 30% en malas condiciones (inició el ataque de intemperismo). En general se veían macizas, igual a un ladrillo de milpa. Todas las piezas fueron secadas previamente a 110°C, por 48 horas.

---

<sup>27</sup> Según pruebas realizadas por Tyler si se usa lodo sin cribar, la resistencia a la intemperización es baja



## 5. Fórmula LBS

Estas piezas fueron sometidas al siguiente ciclo de cocción: cinco horas en subir la temperatura a 600°C y una hora en mantenerla así.

El 50% de las piezas están en buen estado y el otro 50% inició el ataque de intemperismo. En general, las piezas se ven macizas, igual a un ladrillo de milpa. Estas piezas fueron secadas previamente en estufa a 110°C por 48 horas.

### 2.4.3. Pruebas utilizando Sellador

Para estas pruebas se utilizó un sellador en los ladrillos repelente de agua para fachadas (sikaguard 70)

#### Descripción

El sikaguard 70, es un líquido incoloro con base en silicones, que protege contra la penetración del agua y lluvia en fachadas.

#### Uso

Como repelente de agua, sobre minerales, tales como: Ladrillo, piedra mármol concreto o prefabricados, cantera u otros materiales porosos. Como recubrimiento anti-musgo en tejas de barro

#### Datos técnicos<sup>28</sup>

Color:	Incoloro
Densidad:	0.78 kg/lit
Tiempo de secado:	Aprox. 1 hora a 20°C
Temperatura de aplicación:	+5°C a +40°C

#### Procedimiento de prueba

Para la evaluación del sellador se utilizaron ladrillos de 10x15x30 cm. de las pruebas con lodo, barro y arena anteriormente elaboradas.

El área de aplicación utilizada para la evaluación del sellador, fueron las cuatro caras lisas del ladrillo. Este fue aplicado con brocha, colocando varias

<sup>28</sup> Proporcionados por el distribuidor SIKA MEXICANA, S.A. DE C.V.



capas, según sea el caso, que saturaran completamente la superficie, y dejando un intervalo de una hora entre cada aplicación.

## Formulación

Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

1. Una aplicación de  $200 \text{ g/m}^2$ , para una capa.
2. Dos aplicaciones de  $300 \text{ g/m}^2$ , para las dos capas.
3. Tres aplicaciones de  $400 \text{ g/m}^2$ , para las tres capas.
4. Cuatro aplicaciones de  $500 \text{ g/m}^2$ , para las cuatro capas.
5. Cinco aplicaciones de  $600 \text{ g/m}^2$ , para las cinco capas.

Se utilizaron como testigo, dos piezas (sin aplicación de Sikaguard 70).

## Resultados

Se les realizó pruebas de intemperismo a las pruebas y se observó que las piezas tratadas con Sikaguard 70, tienen un efecto repelente al agua, y no así las utilizadas como testigo, las cuales absorben bastante la humedad.

Existe la problemática de que al ser golpeadas las piezas unas entre otras, pueden sufrir ruptura del sellador, y permitir la entrada del agua a través de una posible grieta, lo que terminaría por botar el sellador y concluir como los resultados observados en las pruebas con lodo, barro y arena.

Por otro lado faltaría evaluar el impacto que tendría la utilización del sellador en el precio final de los ladrillos, ya que posiblemente no sea económicamente viable.

## 2.5. Pruebas Complementarias

En este apartado se mencionarán varias pruebas complementarias realizadas para verificar el porcentaje de pérdida de peso así como la eflorescencia presentada en las briquetas elaboradas.

Las briquetas designadas con el número 6, se sometieron a intemperie durante 20 días, sin mostrar cambio aparente. Los componentes utilizados en las diversas formulaciones:

➤ Lodo



- Finos de sílice
- Barro bajo en cloruros sin cribar
- Barro bajo en cloruros cribado
- Caolín blanco

## Formulación

Con la utilización de los componentes anteriores, se realizaron 6 formulaciones diferentes, las cuales se encuentran en forma detallada en las Tablas 36, 37, 38, 39, 40 y 41 ubicadas en los Anexos1.

En dichas dosificaciones se utilizó un promedio de 45% de lodo, así como una cantidad igual de barro y el resto conformado por finos de sílice.

Se le agregó muy poco agua, utilizada para mejorar el manejo de la mezcla en el moldeado.

Después de quemar a 600°C por dos horas y enfriar, las pérdidas de peso fueron como sigue:

Formulación	Porcentaje
6-A	2.50%
6-B	17.00%
6-C	5.50%
6-D	14.00%
6-E	7.00%
6-F	18.00%

Tabla 5. Porcentaje de pérdida de peso de las formulaciones 6

De acuerdo a la tabla, se puede observar que las formulaciones que tuvieron un mayor porcentaje de pérdida de peso (6-F, 6-D, 6-B), se debió a un exceso de humedad en la mezcla así como la utilización de un porcentaje considerable de barro cribado.

Por otro lado, la formulación que tuvo una pérdida de peso insignificante (6-A), se debió al buen acomodo de los finos de sílice con la granulometría del lodo húmedo.

La importancia y significado de estas pérdidas de peso, requieren estudio posterior más detallado.

Las briquetas se sometieron a la acción de agua y después de 96 horas, se observó lo siguiente:



Formulación	Observaciones
6-A	Efluoresce después de 72 horas
6-B	Efluoresce después de 24 horas
6-C	Se desmorona ligeramente de las aristas
6-D	Es más firme y homogénea
6-E	No efluoresce y es muy homogénea
6-F	No efluoresce y es muy homogénea

Tabla 6. Observaciones de las formulaciones 6

## 2.6. Pruebas Definitivas

Estas pruebas fueron realizadas en Industria del Álcali y revisados los resultados por parte del Instituto de Ingeniería Civil, caracterizándose cada uno de los elementos y las propiedades principales de las mezclas, de acuerdo a los requerimientos que se consideran más representativos para definir las propiedades y el comportamiento del producto fabricado.

Las características fueron las siguientes:

- Límites de consistencia
- Contracción lineal
- Peso volumétrico
- Contenido de agua
- Resistencia a la compresión axial simple

Para la evaluación de la última característica se realizaron probetas reproducidas con energía uniforme para proporcionar un peso volumétrico de  $1,755 \text{ kg/m}^3$ . Los ladrillos se probaron a compresión simple y a flexión con carga al centro variando las condiciones de humedad y a diferentes edades. También se realizaron pruebas de disgregación y de absorción.

### Formulación

Para estas pruebas se realizaron 5 mezclas diferentes presentadas a continuación:



Componente	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
Lodo	29.80%	29.80%	29.80%	29.80%	30.00%
Barro	59.70%	59.70%	59.70%	59.70%	55.00%
Cemento	4.50%	0%	3.00%	1.50%	5.00%
Arena	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	10.00%
Crioterm	1.50%	0%	0%	0%	0%
Cal	0%	6.00%	3.00%	4.50%	0%

Tabla 7. Mezclas para la realización de pruebas definitivas

## Resultados

Los principales problemas que afectaron los resultados de los ladrillos que se observaron fueron:

- La alimentación irregular a la prensa
- Deferencias en el contenido de agua de los lodos
- Dosificación de las mezclas por volumen
- La adherencia de la mezcla con el molde
- El agrietamiento de la pieza por un mal fraguado
- La exfoliación de ladrillos en ciertos especímenes
- La apariencia irregular del producto final

De las muestras verificadas por el Instituto de Ingeniería Civil, se obtuvieron incrementos de resistencia a la compresión simple hasta llegar a valores de 5 a 10 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días en todas las mezclas. En todos los casos la tendencia es a incremento del peso volumétrico seco y disminución de la humedad con el tiempo, indicándose con esto que las mezclas elaboradas bajo un control estricto de calidad producen resultados positivos en las mezclas ensayadas.

Se puede concluir que las mezclas 1,2 y 3 son las que producen mejores resultados con los análisis realizados hasta el momento.

Los ladrillos fabricados en planta presentan incrementos de resistencia a flexión y compresión con el tiempo, variando de 30% a 100% en condiciones de humedad al medio ambiente. En el caso de la condición de alta humedad<sup>29</sup> se obtienen resistencias disminuidas tanto a flexión como a compresión en un 50%, no definiéndose para esta condición de humedad la tendencia de comportamiento con respecto al tiempo.

El porcentaje de absorción promedio en los ladrillos, varía de 8% a 14% con un promedio de 10.5%.

<sup>29</sup> Utilizando un cuarto de vapor de fraguado

### 2.6.1. Resultados detallados de la mezcla 1

Parámetros	terminada la mezcla	½ Hora	1 Hora	1 ½ Hora	7 Días	28 Días
Peso volumétrico kg/m <sup>3</sup>	1735	1737	1751	1747	1515	1463
Humedad	30.40	28.20	29.60	31.20	10.30	6.54
Peso volumétrico seco kg/m <sup>3</sup>	1331	1335	1351	1375	1377	1373
Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup>	0.80	0.71	0.73	0.91	7.20	9.70
Módulo de Elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>	41.90	35.89	44.80	40.00	585.00	509.90
Módulo de Reacción Kg/cm <sup>3</sup>	3.08	3.33	3.12	2.86	4.87	3.67

Tabla 8. Resultados detallados de la mezcla 1

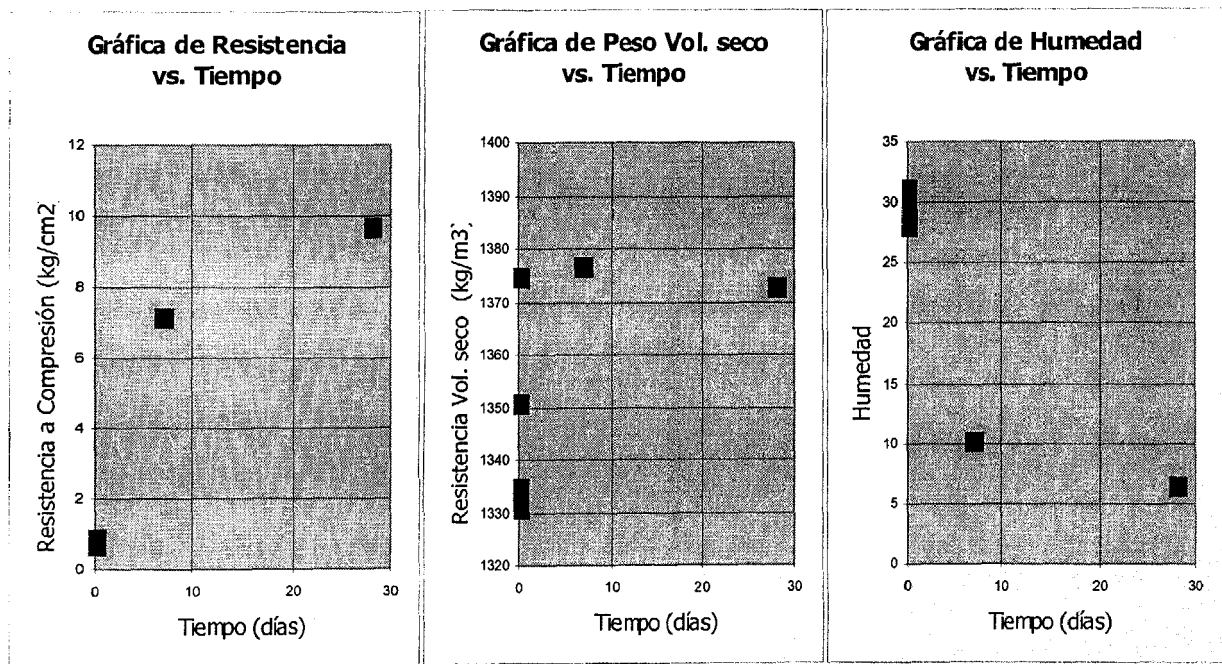


Ilustración 6. Gráficas de resultados de la mezcla 1

En los resultados, podemos apreciar principalmente el incremento del peso volumétrico seco con respecto al tiempo; así como se observa un incremento en la resistencia a la compresión hasta llegar a 9.70 kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días. Esta resistencia fue la mejor observada de las pruebas definitivas, y esta por arriba del valor mínimo necesario para ser usado como material de construcción.



También es importante remarcar la pérdida de humedad, llegando hasta 6.54% a los 28 días. Esto va acompañado de la pérdida del peso volumétrico, ya que en las primeras horas se incrementa debido al curado pero al final decrece hasta 1463 kg/cm<sup>2</sup>, debido a la falta de humedad.

### 2.6.2. Resultados detallados de la mezcla 2

Parámetros	terminada la mezcla	½ Hora	1 Hora	1 ½ Hora	7 Días	28 Días
Peso volumétrico kg/m <sup>3</sup>	1737	1740	1735	1734	1527	1439
Humedad	30.60	30.80	30.10	29.60	14.90	8.07
Peso volumétrico seco kg/m <sup>3</sup>	1330	1370	1334	1338	1329	1332
Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup>	0.60	0.58	0.62	0.63	4.00	4.80
Módulo de Elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>	65.45	33.87	51.72	60.74	131.70	130.50
Módulo de Reacción Kg/cm <sup>3</sup>	4.66	2.73	3.71	4.40	9.50	9.44

Tabla 9. Resultados detallados de la mezcla 2

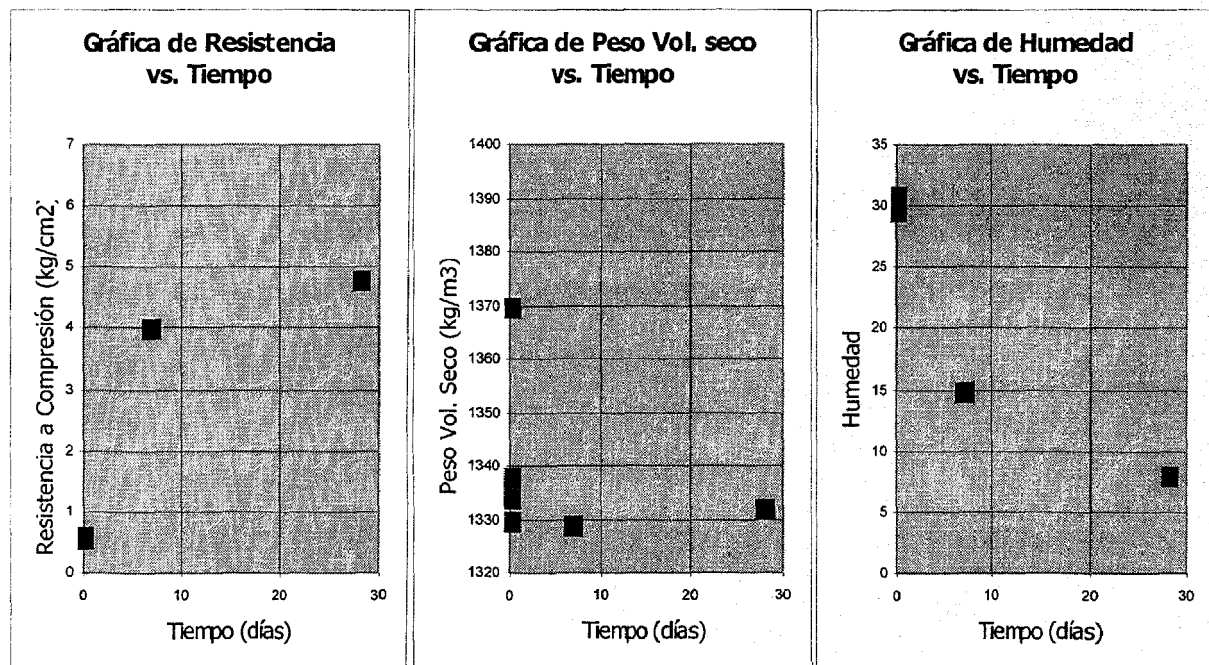


Ilustración 7. Gráficas de resultados de la mezcla 2



En los resultados se observa principalmente un decremento en los primeros días del peso volumétrico seco con respecto al tiempo, factor no presentado en ninguna otra prueba. La causa principal por la que se da este fenómeno es la utilización de cal en la formulación en un 6% del total. Este componente mantiene durante un mayor tiempo la humedad total del espécimen, ya que absorbe agua más que otros componentes, lo que provoca que al ser determinado el peso volumétrico seco, este sea menor que en los otros casos, ya que en las otras dosificaciones se utiliza cemento.

Con respecto a la resistencia, se muestra un incremento en la resistencia en el tiempo, a pesar de que es un valor bajo, llega hasta  $4.8 \text{ kg/cm}^2$ , valor que no cumple con los mínimos requerimientos para ser considerado como material apto para construcción

### 2.6.3. Resultados detallados de la mezcla 3

Parámetros	Terminada la mezcla	½ Hora	1 Hora	1 ½ Hora	7 Días	28 Días
Peso volumétrico $\text{kg/m}^3$	1752	1741	1744	1555	1576	1468
Humedad	33.10	30.70	28.10	25.20	14.50	6.08
Peso volumétrico seco $\text{kg/m}^3$	1316	1332	1363	1370	1376	1384
Resistencia a compresión $\text{kg/cm}^2$	0.69	0.68	0.68	0.96	7.00	7.00
Módulo de Elasticidad $\text{Kg/cm}^2$	49.10	77.50	43.30	10.80	280.00	1188.50
Módulo de Reacción $\text{kg/cm}^3$	3.55	5.52	3.12	7.76	201.00	84.40

Tabla 10. Resultados detallados de la mezcla 3

Principalmente lo que se observa en estos resultados es la gran pérdida de humedad obtenida a los 28 días, quedando en 6.08%. Se debe a que se utilizó cemento en 3% para la realización de esta dosificación.

Por otro lado se puede notar que la resistencia a la compresión aceptable se obtiene desde los 7 días de la elaboración del espécimen, por lo que nos da una muy buena aceptación en cuanto a la producción de este tipo de ladrillo, ya que no requiere mucho tiempo para estar listo para su utilización

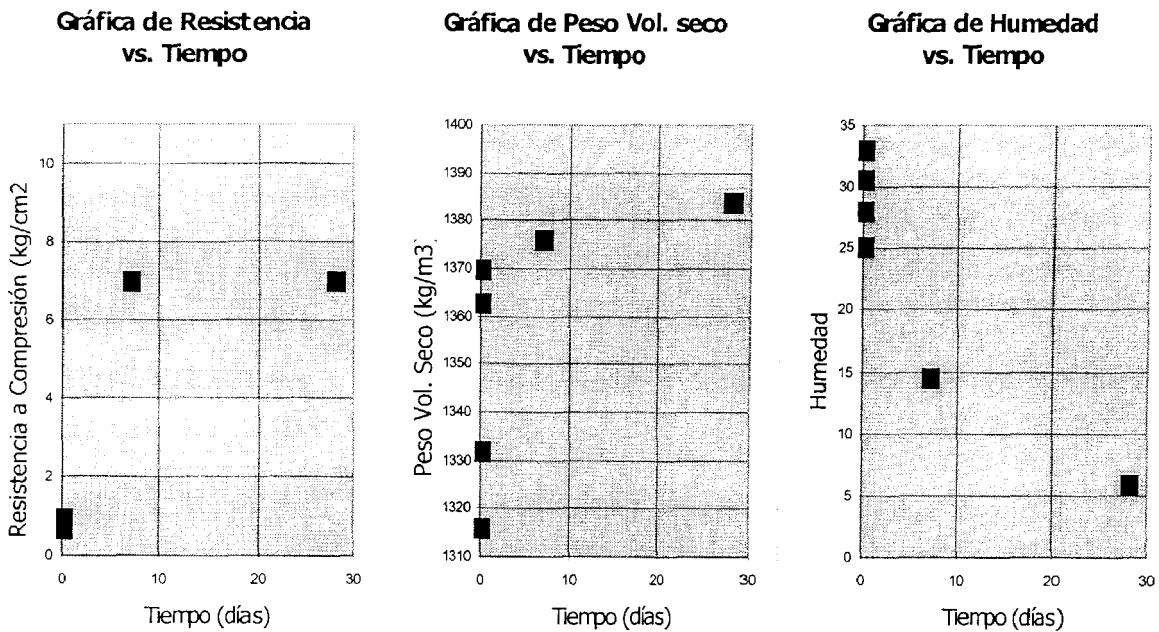


Ilustración 8. Gráficas de resultados de la mezcla 3

### 2.6.4. Resultados detallados de la mezcla 4

Parámetros	terminada la mezcla	½ Hora	1 Hora	1 ½ Hora	7 Días	28 Días
Peso volumétrico kg/m <sup>3</sup>	1732	1723	1733	1741	1548	1517
Humedad	22.70	27.61	23.92	25.32	9.43	8.60
Peso volumétrico seco kg/m <sup>3</sup>	1412	1403	1399	1389	1415	1397
Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup>	0.80	0.89	0.75	1.18	5.40	5.90
Módulo de Elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>	71.69	67.90	92.00	75.47	1403.00	485.00
Módulo de Reacción Kg/cm <sup>3</sup>	5.15	4.81	6.56	5.39	102.70	34.50

Tabla 11. Resultados detallados de la mezcla 4

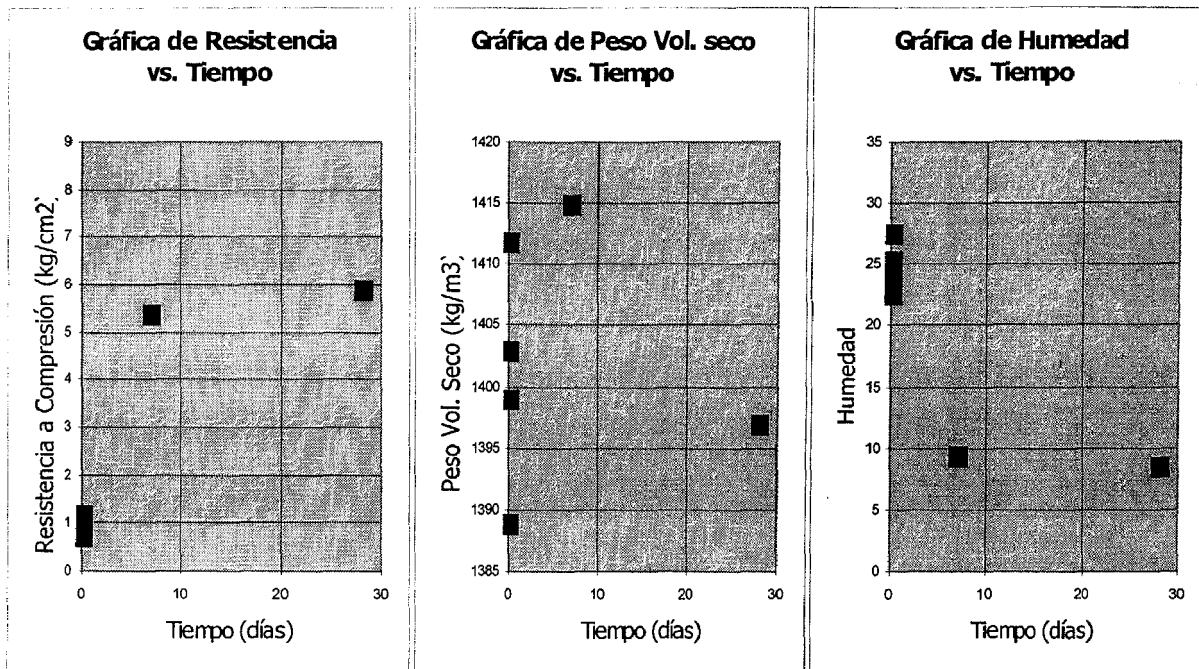


Ilustración 9. Gráficas de resultados de la mezcla 4

En los resultados se puede apreciar que esta prueba nos da la mayor humedad a los 28 días, de 6.08%, debido a la combinación de la cal y en menor porcentaje de cemento.

Asimismo se ve beneficiada la resistencia a la compresión por la adición de cemento a la mezcla, alcanzado un valor máximo de  $5.90 \text{ kg/cm}^2$ , contrariamente a los resultados obtenidos en la prueba 2, que se utilizó únicamente cal.

Por otro lado el Módulo de Elasticidad, al final de los 28 días es mayor que en las pruebas anteriores, con un valor de  $1188.50 \text{ kg/cm}^2$ .

El peso volumétrico está en la media de los resultados obtenidos en general con un valor de  $1468 \text{ kg/m}^3$ . A pesar de la gran caída del peso volumétrico seco con respecto al tiempo, hasta llegar al valor de  $1397 \text{ kg/cm}^3$ .

### 2.6.5. Resultados detallados de la mezcla 5

Parámetros	terminada la mezcla	½ Hora	1 Hora	1 ½ Hora	7 Días	28 Días
Peso volumétrico $\text{kg/m}^3$	1727	1733	1720	1726	1528	1506
Humedad	29.00	30.05	23.86	30.16	9.98	7.05
Peso volumétrico seco $\text{kg/m}^3$	1339	1333	1353	1382	1389	1407
Resistencia a compresión $\text{kg/cm}^2$	0.28	0.41	0.26	0.37	3.90	6.40
Módulo de Elasticidad $\text{Kg/cm}^2$	18.18	61.40	48.27	54.23	1337.00	1241.00
Módulo de Reacción $\text{Kg/cm}^3$	1.29	4.38	3.36	3.88	96.80	88.30

Tabla 12. Resultados detallados de la mezcla 5

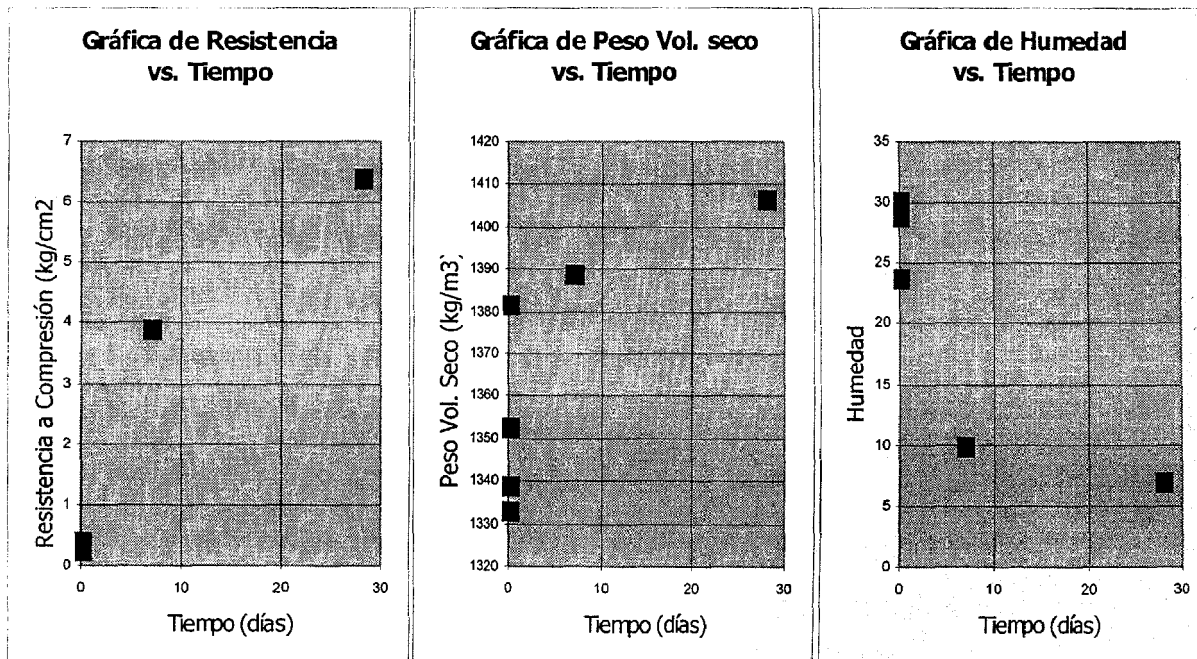


Ilustración 10. Gráficas de resultados de la mezcla 5

Es estos resultados se observa peso volumétrico al final de los 28 días de  $1506 \text{ kg/cm}^3$ , por encima de varias de las otras pruebas. Asimismo se aprecia una buena resistencia a la compresión de  $6.04 \text{ kg/cm}^2$ , así como el mayor Módulo de Elasticidad, que es de  $1241 \text{ kg/cm}^2$ .



### 2.6.6. Mejor Resultado Obtenido

Se generó una tabla resumida de los valores de la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de cada una de las mezclas.

Resistencia	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
7 días	7.20 kg/cm <sup>2</sup>	4.00 kg/cm <sup>2</sup>	7.00 kg/cm <sup>2</sup>	5.40 kg/cm <sup>2</sup>	3.90 kg/cm <sup>2</sup>
28 días	9.70 kg/cm <sup>2</sup>	4.80 kg/cm <sup>2</sup>	7.00 kg/cm <sup>2</sup>	5.90 kg/cm <sup>2</sup>	6.40 kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 13. Resumen de resultados de resistencia a compresión de las Pruebas Definitivas

De acuerdo a los resultados de las pruebas anteriores, se pueden apreciar valores de resistencia a la compresión que van desde 4.80 hasta 9.70 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, lo que nos permite concluir que la mezcla 1 fue la que mejor resultados arrojó. Además que su peso volumétrico fue de 1463 kg/m<sup>3</sup>, representa un valor bajo, que resulta satisfactorio a través del tiempo.

Por otro lado, si observamos los resultados de las demás mezclas, podemos apreciar que en la mezcla 2, los resultados no son satisfactorios, ya que no se puede dar un abatimiento del peso volumétrico seco durante el tiempo.

Asimismo se puede apreciar que la resistencia obtenida en la mezcla 1 a los 7 días, representa casi el 80% de la resistencia a los 28 días; característica satisfactoria.

Si bien es cierto los resultados están basados en la dosificación utilizada. En esta se usó crioterm, componente que ayudó en gran manera a la manejabilidad de la mezcla. El porcentaje de Lodo y Barro se mantuvo casi constante en las demás mezclas ya que este rango fue determinado con anterioridad como el óptimo. También la utilización del cemento ayudó al manejo de la mezcla además de servir como agente ligante. La arena nos ayudó a cerrar nuestra granulometría, y tener una mayor consistencia de la mezcla.

**Capítulo 3**  
**Estudio de Factibilidad Económica**



### 3.1. Investigación de Costos

Para evaluar económicamente la producción de ladrillos, se requiere la utilización de un mayor número de maquinaria para incrementar el número diario de ladrillos elaborados; debido a que a la planta piloto o experimental, no cuenta con la capacidad para satisfacer la producción mínima esperada diaria.

Asimismo se requiere realizar un estudio de factibilidad económica con equipo nuevo y determinar si resulta rentable el proyecto de fabricación de ladrillos. Para esto se cotizó la siguiente maquinaria:

- 3 Máquinas ADOPRESS 2000 con molde
- 3 Sistemas de hueco y dala "u"
- 3 Mezcladoras mod. TR/110 5 H.P.
- 3 Molinos "T" de martillo 5 H.P.
- 6 Carros transportadores de 4 llantas para transporte de material fresco o seco
- 3 Arrancadores 5 H.P. para Adopress
- 3 Arrancadores 5 H.P. para Mezcladoras
- 3 Arrancadores 5 H.P. para Molinos

Como se puede observar, se requieren 3 máquinas fabricadoras de ladrillos, ya que cada una nos da una producción promedio por turno de 8 horas de 1200 ladrillos de 10x15x30 cm. o de 800 con dimensiones de 10x20x40 cm.

Por otro lado, se consideró 3 personas de producción por cada máquina y 1 supervisor general de las 3, para efectos de considerara la mano de obra.

Finalmente es necesario fijar un precio unitario de venta al público de los ladrillos a fabricar, para poder realiza una proyección de 10 años y obtener el tiempo de amortización, así como su tasa interna de retorno de la inversión.

### 3.2. Cálculo del Beneficio Económico

Para realizar todo el cálculo se tomó en cuenta los siguientes precios de maquinaria, mano de obra y materiales:

- Máquina ADOPRESS, con mezcladora, molino, arrancador, etc. tiene un costo total en el mercado de \$191,255.35.





- El costo diario de operador es de \$90.00 y del supervisor de \$120.00.
- Los materiales: cemento, arena, cal, etc. precios según el mercado.

También se tomaron en cuenta ciertas consideraciones como:

- Tiempo de depreciación de la maquinaria será de 10 años, utilizando el método de línea recta.
- Se tomó 294 días laborables anuales (descontando los domingos, días festivos, vacaciones, etc.).
- Se consideró un porcentaje de 45% que incluye Impuesto Sobre la Renta (35%) y Participación de las Utilidades a los trabajadores (10%).
- Se utilizó un Factor de Salario Real de 1.51737 para el cálculo del Costo de Mano de Obra.
- Se consideró la Tasa de Retorno Mínima Atractiva (TREMA) de acuerdo a datos de 1998<sup>30</sup> para la utilización de pesos constantes:

Tasa de interés anualizada (i) = 27.36%

Inflación acumulada (f) = 18.61 %

$$\begin{aligned} \text{Tasa de interés efectiva (u)} &= (i - f) / (1 + f) \\ &= 7.37\% \end{aligned}$$

- La Tasa de interés que utilizaremos será 8.00% para efectos de redondeo y simplificar el cálculo.
- El valor de rescate de la inversión al final de la depreciación, es de 10%.

Posteriormente se realizaron los cálculos para determinar ganancias y deductivas involucradas dentro del análisis. Los datos que se utilizaron para generar la tabla de cálculo fueron:

$$\begin{aligned} \text{Mano de obra} &= (9 \text{ operadores} + 1 \text{ supervisor}) (\text{días laborados}) (\text{FSR}) \\ &= (810.00 + 120.00) (294) (1.51737) \\ &= \$ 414,879.00/\text{año} \end{aligned}$$

Años del Proyecto → 10 años

---

<sup>30</sup> Datos obtenidos del Informe Anual de Fondo de Pensiones del ITESM.



Inversión	→	\$ 573,766
Producción de Ladrillos	→	635,040 piezas
Precio de Venta	→	\$ <u>1.90 /pieza</u> <sup>31</sup>
Ingresos	→	\$ 1,206,576 /año
Costos de M. Obra	→	\$ 414,879 /año
Costos de Materiales	→	\$ 414,397 /año
Costos de Manto.	→	\$ <u>28,688 /año</u> <sup>32</sup>
Costos de Operación	→	\$ 857,964 /año
Depreciación Anual	→	\$ 57,366.60

Todos los precios incluyen IVA y fueron las mejores cotizaciones obtenidas del mercado.

A continuación se presenta la Tabla para 10 años del proyecto combinando todos los factores a evaluar dentro de nuestro análisis:

<sup>31</sup> Precio de mercado con características similares a las que se ofrece con los ladrillos de lodos de desecho.

<sup>32</sup> Mantenimiento preventivo, calculado como el 5% de la inversión total anualizada.

**Tabla 14. Cálculo del Beneficio Total Anual del Proyecto**

<b>AÑO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Ingresos		1,206,576	1,206,576	1,206,576	1,206,576	1,206,576	1,206,576	1,206,576	1,206,576	1,206,576	1,206,576
Costo de Operación (-)		857,964	857,964	857,964	857,964	857,964	857,964	857,964	857,964	857,964	857,964
Utilidad Bruta		348,612	348,612	348,612	348,612	348,612	348,612	348,612	348,612	348,612	348,612
Depreciación (-)		57,377	57,377	57,377	57,377	57,377	57,377	57,377	57,377	57,377	57,377
Ut. antes de Impuesto		291,235	291,235	291,235	291,235	291,235	291,235	291,235	291,235	291,235	291,235
ISR y RUT (-)		131,056	131,056	131,056	131,056	131,056	131,056	131,056	131,056	131,056	131,056
Ut. Después de Impto		160,179	160,179	160,179	160,179	160,179	160,179	160,179	160,179	160,179	160,179
Depreciación (+)		57,377	57,377	57,377	57,377	57,377	57,377	57,377	57,377	57,377	57,377
Utilidad Neta		217,556	217,556	217,556	217,556	217,556	217,556	217,556	217,556	217,556	217,556
Inversión (-)	573,766										
Valor de Rescate (+)											\$ 37,295
<b>Beneficio Total Anual</b>	<b>(573,766)</b>	<b>217,556</b>	<b>217,556</b>	<b>217,556</b>	<b>217,556</b>	<b>217,556</b>	<b>217,556</b>	<b>217,556</b>	<b>217,556</b>	<b>217,556</b>	<b>254,851</b>

NOTA: Todas las Cantidades están en Moneda Nacional, pesos constantes de 1999.

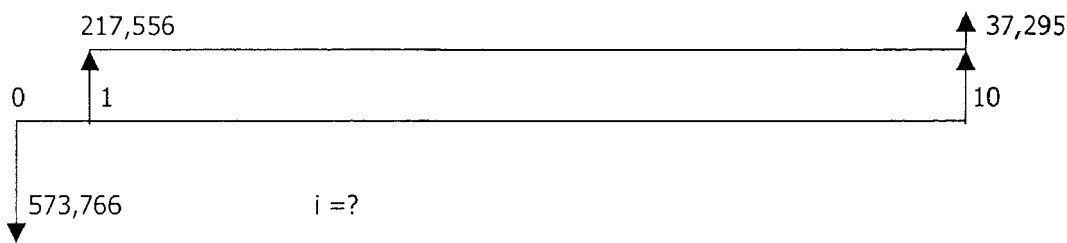
El valor de rescate sólo se consideró en el último periodo y se le quitó un 35% por concepto de impuesto sobre la renta que se aplica a una ganancia en el capital.



Una vez revisados los resultados del beneficio esperado anual, fue necesario el cálculo de los principales indicadores para la evaluación del proyecto.

### 3.3. Determinación de la Tasa Interna de Retorno

Para determinar cual será nuestra Tasa Interna de Retorno (IROR), se realizará un procedimiento similar al del tiempo de amortización, solo que en esta ocasión nuestra incógnita será "i":



Primero tendremos que encontrar una Tasa estimada para comenzar con el procedimiento, para esto, supondremos que el flujo de efectivo del beneficio esta concentrado a la mitad del tiempo:

$$\begin{aligned} 10(217,556) + 37,295 &= 2'212,855 \\ 573,766 &= 2'212,855 (P/F, i^*, 5) \\ (P/F, i^*, 5) &= 0.2592 \end{aligned}$$

Tenemos que  $i = 30\%$ ,  $(P/F, i^*, 5) = .2693$ , por lo que es una buena aproximación para comenzar con el cálculo. Sustituyendo el 30% en la ecuación del flujo de efectivo, nos da:

$$\begin{aligned} NPV &= -573,766 + 217,556(P/A, i, N) + 37,295(P/F, i, N) \\ &= -573,766 + 217,556(P/A, 30, 10) + 37,295(P/F, 30, 10) \\ &= -573,766 + 217,556(3.0915) + 37,295(0.0725) \\ &= -573,766 + 672,574.4 + 2,703.8 \end{aligned}$$

$$NPV = 101,512.2$$

Esto nos muestra que de acuerdo a la tendencia que a mayor Tasa Interna de Retorno, menor será el Valor Presente, aumentaremos la tasa a 40%, y evaluaremos de nuevo el Valor Presente:



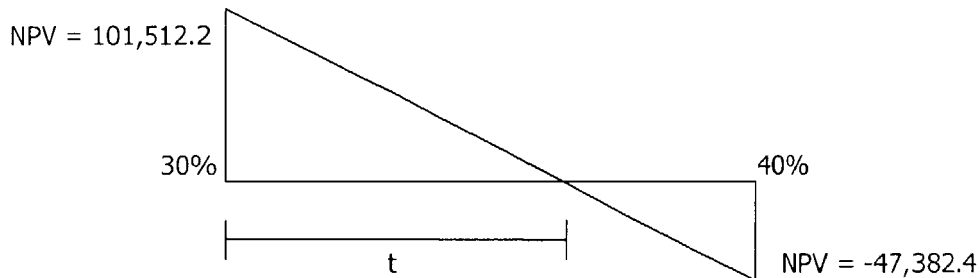
$$\begin{aligned}
 NPV &= -573,766 + 217,556(P/A, i, N) + 37,295(P/F, i, N) \\
 &= -573,766 + 217,556(P/A, 40, 10) + 37,295(P/F, 40, 10) \\
 &= -573,766 + 217,556(2.4136) + 37,295(0.0346) \\
 &= -573,766 + 525,093.2 + 1,209.4
 \end{aligned}$$

$$NPV = -47,382.4$$

Tenemos que:

$$\begin{aligned}
 i = 30\% & \quad NPV = 101,512.2 \\
 i = 40\% & \quad NPV = -47,382.4
 \end{aligned}$$

Por lo que tenemos que determinar la exacta Tasa Interna de Retorno (TIR) de nuestra inversión. Para esto mostraremos de forma esquemática el comportamiento de la Tasa.



El punto exacto en donde el Valor Presente se hace cero es:

$$\begin{aligned}
 t / 101,512.2 &= (10-t) / 47,382.4 \\
 47,382.4t &= -101,512.2t + 1'015,122 \\
 t(101,512.2 + 47,382.4) &= 1'015,122
 \end{aligned}$$

$$t = 6.81$$

una vez obtenido el punto exacto entre 30% y 40%, ya sabemos que nuestra Tasa Interna de Retorno de nuestro proyecto es:

$$TIR (Tasa Interna de Retorno) = 36.81\%$$

Esta información es de gran utilidad ya que nos permite comparar nuestra Costo de Oportunidad que es de 8%, contra el 36.81% que realmente será la Tasa Interna de Retorno del Proyecto.

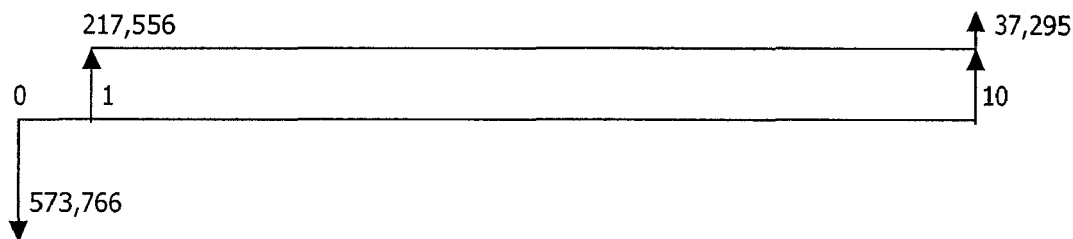


De esta manera podemos comparar diferentes opciones de inversión ya que cada proyecto en particular debe tener una única Tasa Interna de Retorno y así poder escoger la mejor opción que nos dé una mayor rentabilidad, no sin tomar en cuenta el tiempo de amortización, ya que muchas veces lo que se requiere es recuperar rápidamente la inversión.

Posteriormente se analizarán otros indicadores que nos pueden ayudar a visualizar de manera económica el proyecto, a pesar de que la TIR será nuestro principal indicador para realizar nuestras conclusiones

### 3.4. Determinación del Valor Presente del Proyecto

Para determinar el Valor Presente (NPV, Net Present Value), es necesario tomar todos los beneficios anualizados y el valor de rescate de la inversión al décimo año. Siguiendo el procedimiento tenemos:



$$i = 8\%$$

$$N = 10 \text{ años}$$

$$NPV = -573,766 + 217,556(P/A, i, N) + 37,295 (P/F, i, N)$$

Donde:

$$(P/A, i, N) = [(1+i)^N - 1] / [i(1+i)^N]$$

$$(P/F, i, N) = 1 / (1+i)^N$$

$$\begin{aligned} NPV &= -573,766 + 217,556(P/A, 8, 10) + 37,295(P/F, 8, 10) \\ &= -573,766 + 217,556(6.7101) + 37,295(0.4632) \\ &= -573,766 + 1'459,822.5 + 17,275 \end{aligned}$$

$$NPV = 903,331.5$$

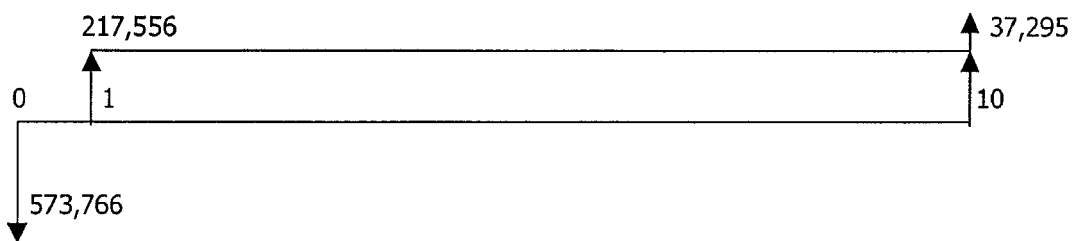


El valor positivo en la determinación del Valor Presente, nos indica que el proyecto es viable y que se obtendrán ganancias en el balance general al final del periodo de 10 años.

Más adelante se analizaran otros indicadores útiles del proyecto que nos servirán para conocer el comportamiento económico a través del tiempo.

### 3.5. Determinación de Beneficio/Costo del Proyecto

El procedimiento es muy similar, sin embargo el resultado nos indica que cual será el beneficio esperado, con respecto al Costo de inversión, el cociente de ambos nos representa el resulta (B/C). Siguiendo nuestro procedimiento, tenemos el mismo esquema:



$i = 8\%$   
 $N = 10$  años

$$(B/C) = 217,556(P/A, i, N) + 37,295 (P/F, i, N) / 573,766$$

Donde:

$$(P/A, i, N) = [(1+i)^N - 1] / [i(1+i)^N]$$

$$(P/F, i, N) = 1 / (1+i)^N$$

$$\begin{aligned} (B/C) &= 217,556(P/A, 8, 10) + 37,295(P/F, 8, 10) / 573,766 \\ &= 217,556(6.7101) + 37,295(0.4632) / 573,766 \\ &= 1'459,822.5 + 17,275 / 573,766 \end{aligned}$$

$$(B/C) = 2.57$$

A pesar de que este tipo de indicador se utiliza para realizar un análisis incremental, es decir, comparando 2 proyectos o más; nos arroja un resultado



mayor a 1, lo que nos dice que nuestro beneficio será mayor que el costo generado por este.

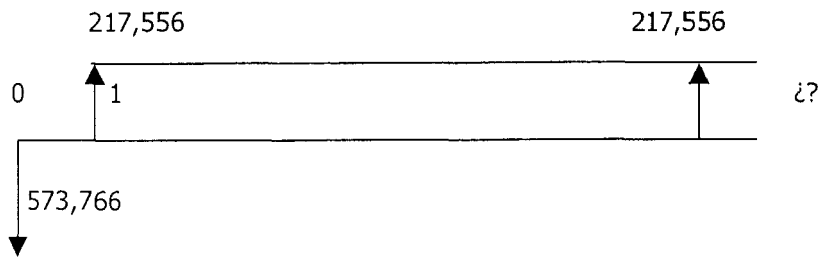
Si tratáramos de explicar nuestro resultado de 2.57, se traduce de la manera que el beneficio es 157% mayor que nuestro costo de inversión, por lo que una vez más se corrobora que existe una rentabilidad positiva con la producción de ladrillos.

### 3.6. Determinación del Tiempo de Amortización

Para determinar en cuanto tiempo nuestra inversión es igual a los beneficios obtenidos utilizaremos el Valor Presente (NPV).

Tendremos que obtener el tiempo necesario para que a una tasa de 8% anual, el Valor Presente sea cero (PB, Pay Back).

Nuestro esquema para la solución del problema es similar a los anteriores, pero no sabremos el tiempo, por lo que primero se evaluará para un tiempo mayor a 10 años; esto nos trae como consecuencia no considerar el valor de rescate al final de los 10 años, ya que suponemos que nuestro punto de equilibrio se celebrará antes.



$$i = 8\%$$

$$N = \text{¿?}$$

$$\text{PB} \rightarrow \text{NPV} = -573,766 + 217,556(P/A, i, N) = 0$$

Donde:

$$(P/A, i, N) = [(1+i)^N - 1] / [i(1+i)^N], \text{ pero estamos buscando } N$$

$$\text{PB} \rightarrow \text{NPV} = -573,766 + 217,556(P/A, 8, N) = 0$$

$$(P/A, 8, N) = 573,766 / 217,556$$

$$(P/A, 8, N) = 2.6373$$





Resolviendo para N con el valor de 2.637, tenemos:

$$\begin{aligned}(P/A, 8, N) &= 2.5771 && \text{para } N = 3 \text{ años} \\ (P/A, 8, N) &= 3.3121 && \text{para } N = 4 \text{ años}\end{aligned}$$

Sabemos que nuestro resultado está entre 3 y 4 años, pero tendremos que determinar con exactitud el tiempo de amortización, por lo que calcularemos el Valor Presente para cada uno de los casos:

$$i = 8\%$$

$$N = 3 \text{ años}$$

$$\begin{aligned}\text{NPV} &= -573,766 + 217,556(P/A, i, N) \\ &= -573,766 + 217,556(P/A, 8, 3) \\ &= -573,766 + 217,556(2.5771) \\ &= -573,766 + 560,663.5\end{aligned}$$

$$\text{NPV} = -13,102.5, \text{ para } N=3$$

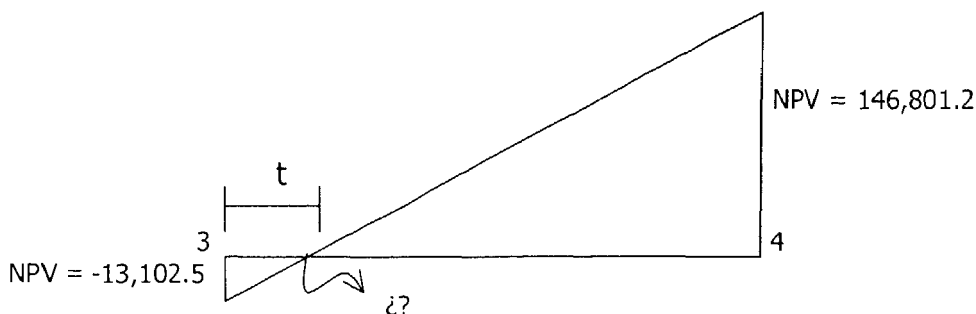
$$i = 8\%$$

$$N = 4 \text{ años}$$

$$\begin{aligned}\text{NPV} &= -573,766 + 217,556(P/A, i, N) \\ &= -573,766 + 217,556(P/A, 8, 4) \\ &= -573,766 + 217,556(3.3121) \\ &= -573,766 + 720,567.2\end{aligned}$$

$$\text{NPV} = 146,801.2, \text{ para } N=4$$

Una vez obtenidos los resultados para 3 y 4 años, realizaremos un diagrama para observar el comportamiento del Valor Presente (NPV) en el tiempo:





El punto exacto en donde el Valor Presente se hace cero es:

$$\begin{aligned}t / 13,102.5 &= (1-t) / 146,801.2 \\146,801.2t &= -13,102.5t + 13,102.5 \\t (13,102.5 + 146,801.2) &= 13,102.5\end{aligned}$$

$$t = 0.082$$

Una vez obtenido el tiempo exacto entre el año 3 y 4 de vida del proyecto, quedó definido el Pay Back (tiempo de amortización).

### **Tiempo de amortización = 3.082 años**

Esto nos dice que a los 3 años y casi 1 mes de realizado el proyecto, se habrá recuperado la inversión inicial, y que a partir de este momento, nuestra ganancia posterior se puede considerar como tal.

Este tipo de indicador nos revela antes de realizar el proyecto el tiempo que estimamos en que recuperaremos la inversión, y posteriormente decidir si seguiremos adelante o se desecha la opción.

## **3.7. Criterio de Aceptación**

Una vez revisados todos los datos obtenidos por medio de los indicadores económicos podemos concluir que la inversión representará un negocio rentable y deberemos revisar siempre la relación:

Si:

$$\text{Tasa Interna de Retorno} > \text{Tasa de Retorno Mínima Atractiva}$$

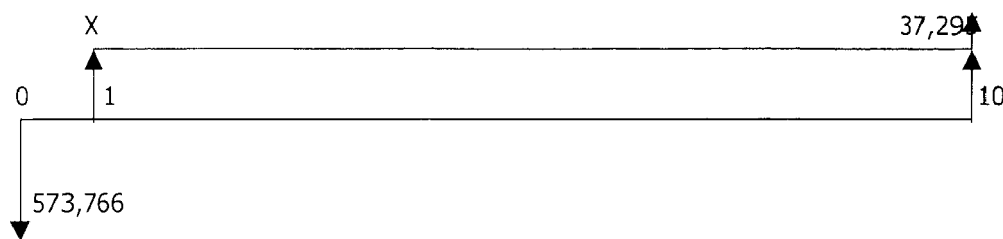
Entonces:

El proyecto se acepta como rentable y se podrán determinar el Valor Presente, el Tiempo de Amortización y la relación Beneficio/Costo, para obtener más datos acerca de nuestro proyecto de inversión.



### 3.8. Precio mínimo de venta del Ladrillo

Para determinar el precio mínimo de venta al público para no perder, se calcularán las anualidades que representen la inversión inicial a través del tiempo y tomando en cuenta el valor de rescate:



$$i = 8\% \quad X = \text{Anualidad}$$

$$N = 10 \text{ años}$$

$$NPV = 0 = -573,766 + X (P/A, i, N) + 37,295 (P/F, i, N)$$

Donde:

$$(P/A, i, N) = [(1+i)^N - 1] / [i(1+i)^N]$$

$$(P/F, i, N) = 1 / (1+i)^N$$

$$0 = -573,766 + X (P/A, 8, 10) + 37,295(P/F, 8, 10)$$

$$= -573,766 + X (6.7101) + 37,295(0.4632)$$

$$X = (573,766 - 17,275) / 6.7101$$

$$\text{Anualidad} = 82,933.3$$

$$\text{Ingresos Anuales} = \text{Anualidad} + \text{ISR y RUT} + \text{Costos de Operación}$$

$$= 82,933.3 + 131,056 + 857,964$$

$$= 1'071,953.3$$

$$\text{Precio Mínimo} = \text{Ingresos Anuales} / \text{Producción de Ladrillos anual}$$

$$= 1'071,953.3 / 635,040$$

$$\text{Precio Mínimo Unitario de Venta del Ladrillo} = \$ 1.68$$



## CONCLUSIONES

- Se pudo apreciar que las primeras pruebas, sirvieron como plataforma para el desarrollo de las formulaciones subsecuentes dando mejores resultados de acuerdo a los resultados obtenidos
- Se puede concluir que el porcentaje óptimo de los principales componentes para el desarrollo de pruebas, quedó establecido por:

Componente	Mezcla 1
Lodo	29.80%
Barro	59.70%
Cemento	4.50%
Arena	4.50%
Crioterm	1.50%
Cal	0%

Tabla 15. Mejor dosificación de las Pruebas Definitivas

- La adición de Cal en las mezclas produce un abatimiento en el efecto de exfoliación de los especímenes, siempre y cuando se cuide la proporción de los demás componentes ya que una ausencia de cemento produce una disminución en la resistencia a la compresión. Por otro lado, es necesario que la cal este completamente combinada ya que de no de no estarlo daría un efecto contrario.
- El crioterm presentó buenos resultados en la pruebas realizadas, se prefiere usar cal o algún otro similar, debido al costo del material que impactaría en el costo de venta.
- La utilización de ceniza volante dio buenos resultados cuando las piezas eran quemadas a temperatura de 350°C, por el contrario en las que se utilizó wollastonita, tuvo mejores resultados con una temperatura de 600°C.
- La utilización de sellador presentó buenos resultados, sin embargo las piezas deben ser manejadas con mayor cuidado y cuidar de no ser golpeadas ya que esto levantaría al sellador y penetraría el agua. Asimismo el costo es mayor y no es redituable como negocio.



- Se deberá cuidar en todos los casos una posible alimentación irregular de la prensa, ya que esto traería como consecuencia una peso volumétrico no homogéneo entre pruebas con la misma formulación.
- La diferencia de humedades de los lodos fue determinante para la formulación de las pruebas ya que se prefirió la utilización de lodo seco y de esta manera definir la cantidad exacta de agua adicionada a la mezcla.
- Dentro de la factibilidad económica se determinó que el proyecto es viable, resulta rentable como negocio, representando un Valor Presente Neto de 903,331.5 con un interés de 8% y flujos de efectivo en pesos de 1999.
- La amortización de la inversión se genera a los 3 años y 1 mes, teniendo más de 6 años de ganancias netas, considerando un interés de 8% y flujos en pesos de 1999.
- La Tasa Interna de Retorno del Proyecto fue determinada en 36.81%, lo que significa que es una buena opción de inversión.
- En general, en la investigación se obtuvieron resultados satisfactorios y puede servir de escalón para otro estudio alternativo o continuar con más pruebas para tratar de obtener mejores resultados.



## RECOMENDACIONES

- El producto final realizado tiene las características para ser usado como material de construcción con cargas moderadas procurando no estar en contacto directo con zonas de alta humedad.
- Los ladrillos de acuerdo a su apariencia final después de ser quemados, representan una opción para construcción ornamental aparente, ya que toman un aspecto amarillento.
- La mezcla con la que se forman los ladrillos puede ser utilizada para afine y zarpeo en construcciones interiores, siempre y cuando la superficie en la que será colocada no contenga un alto porcentaje de humedad.
- Se podrá dar una protección adicional opcional con sellador ala superficie de los ladrillos, una vez terminada la construcción y preferentemente se realizará con pistola aspersora.
- Se deberá cuidar en todo momento la humedad que contengan los lodos en la dosificación, ya que un aumento propiciará un mal acomodo de la mezcla en el molde y una futura disgregación del espécimen.
- Para futuras evaluaciones económicas se deberá tomar en cuenta la inflación generada en el mismo periodo en el que se tomará la tasa de interés sin inflación a aplicar.

**Anexo 1**  
**Proceso Solvay**



## Descripción del Proceso Solvay para la Manufactura del Carbonato de Sodio

La siguiente descripción no pretende ilustrar los mecanismos químicos de las reacciones ni el funcionamiento mecánico de los equipos, sino mostrar como los materiales utilizados en el proceso se van transformando en los diferentes equipos y etapas para producir uno de los productos básicos para la Industria Química, el carbonato de sodio.

Las materias primas son sal (cloruro de sodio) y piedra caliza (carbonato de calcio). El amoníaco es usado en el proceso, pero no es consumido y sólo una pequeña cantidad se pierde por lo que no se le considera una materia prima en todo el sentido de la palabra. También requerimos de una buena fuente de agua y carbón coke.

Algunos equipos a mencionar en los párrafos siguientes (destiladores, compresores, secadores) requieren de un suministro confiable de vapor, para lo cual se cuenta con una Planta de Generación de Vapor en la que se tiene, aparte de las calderas, una sección de tratamiento de agua en la que se incluyen módulos de Osmosis Inversa y un proceso de suavización Cal-Carbonato de Sodio en caliente.

La piedra caliza, de un tamaño razonablemente uniforme, se mezcla con carbón coke y se transporta hacia los hornos. Esta mezcla se alimenta periódicamente por la parte superior, se sopla continuamente aire por la parte inferior y el gas producido se succiona por arriba. El coke se prende en la llamada "zona de fuego", localizada ligeramente debajo de la parte media del horno. El bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) producido está considerablemente diluido por el nitrógeno del aire usado para quemar el coke. El gas es enfriado y purificado en lavadores húmedos quedando casi libre de polvo y cenizas, para ser conducido a los compresores que lo bombean a las Columnas de Carbonatación. La cal producida de la descomposición de la piedra, es enfriada por el aire alimentado en la parte inferior del Horno, y se descarga periódicamente pasando a tolvas de almacenaje. Luego, es hidratada continuamente con un exceso de agua para dar hidróxido de calcio, esto se lleva a cabo dentro de Hidratadores rotatorios que producen una solución espesa llamada "lechada de cal". La lechada se almacena en tanques agitados y se pasa por cribas para retirar las arenas de piedra que no alcanzó a quemarse. De aquí la lechada se alimentará al proceso de Destilación.





La sal es introducida al proceso como salmuera, la cual se prepara directamente de domos salinos localizados en el subsuelo. Se perfora un pozo profundo y se instalan dos tuberías concéntricas, se inyecta agua hacia el pozo a un flujo tan que la salmuera saturada, mucho más "salada" que el agua de mar, emerge del tubo interior. Ya en la Planta, la salmuera es purificada de manera continua con flujos controlados de cal, carbonato de sodio y purgas de los lodos producidos. Sales indeseables de calcio, magnesio y otros iones metálicos son precipitados en los lodos, los cuales son retirados del fondo de tanques sedimentadores. La salmuera purificada es almacenada y luego bombeada a las torres de Absorción.

El absorbedor de amoniaco es una columna empacada dividida en dos secciones; la parte superior, donde se alimenta la salmuera, recupera el amoniaco de los gases del desfogue de las Columnas de Carbonatación y del gas residual de la sección inferior. En esa parte inferior, se lleva a cabo la mayor parte de la absorción del amoniaco y algo de bióxido de carbono provenientes de la sección de Destilación. Hacia la sección inferior se tiene una recirculación de la salmuera amoniacada la cual es enfriada en intercambiadores de calor con agua de enfriamiento, para mantener un control de temperatura en el absorbedor y lograr una salmuera lo más saturada posible en amoniaco.

La salmuera amoniacada para a las Columnas de Carbonatación. Estas columnas se mantienen prácticamente llenas de licor; la parte superior contiene platos diseñados para romper la corriente de gas ascendente en un gran número de burbujas, y la parte inferior de la columna consiste de "cajas de enfriamiento" las cuales contienen bancos de tubos que atraviesan la columna por los cuales se circula agua para retirar el calor generado por la carbonatación. La carbonatación se lleva a cabo en dos pasos: en el primero, la salmuera absorbe  $\text{CO}_2$  de los gases diluidos producto de los Hornos. Este paso es el de la "limpieza" y la concentración del bióxido de carbono en el licor es controlada por debajo del límite para lograr la precipitación. En el segundo paso, el licor de la columna en "limpieza" se alimenta a las columnas en "producción", donde se inyecta el gas concentrado de  $\text{CO}_2$  proveniente de los Secadores. En ésta segunda etapa precipita el bicarbonato de sodio y se genera una considerable cantidad de calor de manera que se necesita un mayor enfriamiento para mejorar el rendimiento de la reacción, además, el enfriamiento debe ser controlado para lograr una óptima cristalización del bicarbonato. Algo de los cristales se adhieren a las superficies de enfriamiento reduciendo su efectividad, por lo que luego de un tiempo de estar la columna en "producción" se pasa al ciclo de "limpieza", donde la incrustación se disuelve con la salmuera amoniacada fresca.

El magma que se obtiene de las columnas de carbonatación se colecta en tanques de donde se alimenta continuamente a Filtros Rotatorios de Vacío. La torta de los sólidos producida se lava con un flujo medido de agua para controlar



la cantidad residual de cloruros presentes en el producto terminado, a ésta torta se le llama "bicarbonato crudo" y está compuesta principalmente de bicarbonato de sodio y algo de bicarbonato de amonio cristalizado. El aire del filtro de vacío es lavado en absorbedores para recuperar amoniaco que absorbió originalmente la salmuera, una parte está presente como "amoniaco libre", o sea compuestos de amoniaco que se descomponen a temperaturas relativamente bajas; el resto es "amoniaco fijo" como cloruro de amonio. Este licor se envía a la sección de destilación para la recuperación de amoniaco.

La operación de destilación requiere de un control bastante exacto, ya que de la eficiencia en la recuperación del amoniaco depende la factibilidad económica del proceso. La destilación se lleva a cabo en tres columnas y un reactor; la primera es un precalentador donde se alimenta el licor filtrado por los tubos de "cajas de enfriamiento" que condensan vapor de agua de los gases en el interior de la columna. El licor precalentado entra a la segunda columna empacada con anillos de cerámica, donde el calor descompone los compuestos de amoniaco libre y los vapores arrastran el amoniaco y  $\text{CO}_2$  liberados casi totalmente del licor. El licor libre de bióxido de carbono se hace reaccionar con lechada de cal en un tanque agitado para mantener en suspensión las partículas de cal, el cloruro de amonio reaccionado nos da cloruro de calcio (soluble) e hidróxido de amonio, éste licor se envía a un destilador de platos al cual se alimenta vapor de baja presión con el que se libera prácticamente todo el amoniaco de licor. El amoniaco que sale por la parte superior del destilador está en equilibrio con el vapor de agua, y son éstos gases los que proporcionan el calor para descomponer los compuestos de amoniaco libre, para posteriormente concentrarlos al condensar el agua en el precalentador. El amoniaco así recuperado, junto con algo de bióxido de carbono, es el que se reciclo hacia los absorbedores.

El bicarbonato crudo de los filtros es calcinado continuamente en secadores rotatorios dentro de los cuales se encuentran tubos aletados calentados por vapor de alta presión. El material alimentado es calentado hasta una temperatura tal que todos los gases generados de la descomposición de los bicarbonatos de sodio y amonio son retirados con un mínimo de dilución. El gas es lavado y enfriado para condensar el vapor de agua y se mezcla con algo del gas de Hornos para producir el gas concentrado que se inyectará en las columnas de carbonatación. El productos de los secadores es descargado continuamente, a éste se le conoce como carbonato de sodio ligero, o Soda Ligera; el material es transportado a tolvas de almacén o distribución.

Sin embargo, la mayor parte del producto es transformado a Soda Densa, que es químicamente igual al carbonato ligero, pero con una forma física más granular. Para esto, la soda ligera se hidrata a condiciones controladas, luego se filtra en centrífugas y se vuelve a deshidratar en un secador rotatorio. Posteriormente, el carbonato denso es enfriado y almacenado.



Debido a que el proceso es continuo y cíclico, el control químico requiere de muestreos regulares de los licores para ser analizados. Temperaturas, presiones y concentraciones se mantienen tan constante como sea práctico hacerlo. Solo las razones de alimentación y descarga se van variando. Se requiere de la mayor precisión y buen juicio para la operación y control ya que se manejan grandes volúmenes de los diversos y valiosos materiales.

Los problemas involucrados con la operación cíclica y continua no son del todo apreciados por aquellos que sólo han tratado con operaciones tipo batch<sup>33</sup>. Un requerimiento esencial de la operación continua es la provisión de almacenas apropiados para los licores y materiales intermedios; tales almacenes deben no sólo ser del suficiente tamaño para permitir las "idas y venidas" del proceso, sino también deben minimizar el efecto de variaciones en las concentraciones que están más allá del control práctico. Es por lo tanto, una buena práctica el especificar estrechas tolerancias en todos los aspectos del control; sólo las organizaciones más hábiles logran tener éxito para mantener éstas condiciones en el punto óptimo, al compensar por la diversidad en materias primas, condiciones climáticas, incrustaciones de los equipos, fluctuaciones en el embarque del producto debido a la demanda de mercado.

---

<sup>33</sup> Se refiere a la acción interrumpida, no continua.

**Anexo 2**  
**Tablas**

**Tabla 16. Resultados obtenidos de las primeras pruebas de la Planta Piloto enviadas al Instituto de Ingeniería Civil de U.A.N.L.**

<b>Muestra No.</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga (Kg)</b>	<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Absorción de agua (%)</b>
1-A	3.842	220	16,050	73	8.6
2-A	3.824	218	15,700	72	8.8
3-A	3.416	214	13,700	64	10.9
4-A	3.414	214	13,600	63	11.9
5-A	3.732	214	14,800	69	9.1
1-B	3.441	210	10,400	49	16.0
2-B	3.474	214	11,400	53	14.4
3-B	3.533	214	11,500	53	14.9
4-B	3.489	210	11,450	54	11.8
5-B	3.466	214	10,750	50	15.6
1-C	3.479	210	9,850	47	10.8
2-C	3.815	214	10,800	50	9.1
3-C	3.833	214	11,400	53	8.9
4-C	3.828	210	11,200	53	8.3
5-C	3.592	214	10,300	48	10.5

**Tabla 17. Compuestos de los ladrillos**

<b>Componente</b>	<b>% del Peso</b>
CaCl <sub>2</sub>	1.39
NaCl	1.08
KCl	0.33
CaSO <sub>4</sub>	0.76
CaCO <sub>3</sub>	32.70
CaO	8.81
MgO	1.44
H <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.06
Ins. HCl	38.01
Humedad	8.95

## Tablas de pruebas con barro – lodo - arena

Tabla 18. Formulación 1-A

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Barro	46.15%	75
Lodo seco	46.15%	75
Arena #5	7.70%	12.5

Tabla 19. Formulación 1-B

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Barro (malla-40)	51.42%	75
Lodo seco 150° (malla-40)	40.00%	58.35
Arena #4	8.58%	12.5

Tabla 20. Formulación 1-C

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Barro	56.24%	75
Lodo seco	43.76%	58.35

## Tablas de pruebas con lodo – barro – finos - oxido

Tabla 21. Formulación 2-A

Componente	Porcentaje	Gramos
Lodo seco (22% de humedad)	31.25%	62.50 gr.
Barro	61.50%	123.00 gr.
Finos de sílice	7.25%	14.50 gr.



Tabla 22. Formulación 2-B

Componente	Porcentaje	Gramos
Lodo seco (22% de humedad)	32.25%	64.50 gr.
Barro	64.50%	129.00 gr.
Oxido de Hierro	3.25%	6.50 gr.

Tabla 23. Formulación 2-C

Componente	Porcentaje	Gramos
Lodo seco (22% de humedad)	30.35%	60.70 gr.
Barro	60.60%	121.2 gr.
Finos de sílice	6.05%	12.1 gr.
Oxido de Hierro	3.00%	6.00 gr.

### Tablas de pruebas con lodo húmedo – barro

Tabla 24. Formulación 3-A

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Lodo húmedo	50.00%	1
Barro	50.00%	1

Tabla 25. Formulación 3-B

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Lodo húmedo	25.00%	1
Barro	75.00%	3

Tabla 26. Formulación 3-C

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Lodo húmedo	75.00%	3
Barro	25.00%	1



## Tablas de pruebas con lodo seco – barro

Tabla 27. Formulación 4-A

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Lodo seco	33.30%	1
Barro	66.70%	2

Tabla 28. Formulación 4-B

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Lodo seco	67.50%	2
Barro	32.50%	1

## Tablas de pruebas Lodo – Ceniza – Cal – Sílice

Tabla 29. Formulaciones 5-A

Componente	#1	#2
Lodo semiseco	72.00%	80.00%
Cal Hidratada	28.00%	-
Fly Ash (ceniza volante)	-	5.00%
Finos de sílice	-	15.00%

Tabla 30. Formulaciones 5-A

Componente	#3	#4	#5
Lodo semiseco	63.50%	-	35.80%
Cal Hidratada	17.50%	19.00%	9.60%
Finos de sílice	19.00%	-	-
Fly Ash (ceniza volante)	-	81.00%	55.40%





## Tablas de pruebas LCFA y LBW

Tabla 31. Formulación LCFA-1

Componente	Porcentaje	Kilogramos
Lodo húmedo	38.00%	19.0
Cal Hidratada	11.00%	5.5
Fly Ash	51.00%	25.5

Tabla 32. Formulación LCFA-2

Componente	Porcentaje	Kilogramos
Lodo húmedo	45.00%	22.5
Cal Hidratada	4.00%	2.0
Fly Ash	51.00%	25.5

Tabla 33. Formulación LBW-1

Componente	Porcentaje	Kilogramos
Lodo húmedo	66.00%	33.0
Barro	30.00%	15.0
Wollastonita	4.00%	2.0

Tabla 34. Formulación LBW-2

Componente	Porcentaje	Kilogramos
Lodo húmedo	64.00%	32.0
Barro	30.00%	15.0
Wollastonita	2.00%	1.0
Sílice	4.0%	2.0



## Tablas de pruebas LS – LB – LBS

Tabla 35. Formulación LS

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Lodo húmedo (80%)	75.00%	80
Finos de Sílice	25.00%	20

Tabla 36. Formulación LB

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Lodo húmedo (80%)	51.00%	300
Barro	49.00%	100

Tabla 37. Formulación LBS

Componente	Porcentaje	Partes/peso
Lodo húmedo (80%)	37.70%	13.2
Barro	9.00%	9.0
Finos de Sílice	11.10%	2.0



## Tablas de pruebas complementarias

Tabla 38. Formulación 6-A

Componente	Porcentaje
Lodo (26.43% humedad)	80.00%
Finos de Sílice	20.00%

Tabla 39. Formulación 6-B

Componente	Porcentaje
Lodo (26.43% humedad)	80.00%
Sílice malla 200	20.00%

Tabla 40. Formulación 6-C

Componente	Porcentaje
Lodo (26.43% humedad)	45.00%
Barro bajo en cloruros sin cribar	45.00%
Finos de Sílice	10.00%

Tabla 41. Formulación 6-D

Componente	Porcentaje
Lodo (26.43% humedad)	45.00%
Barro cribado (bajo en cloruros)	45.00%
Finos de Sílice	10.00%

Tabla 42. Formulación 6-E

Componente	Porcentaje
Lodo de la P.R.A. <sup>34</sup>	45.00%
Barro cribado	45.00%
Finos de Sílice	10.00%

Tabla 43. Formulación 6-F

Componente	Porcentaje
Lodo Húmedo (26.43% humedad)	45.00%
Caolín blanco	45.00%
Finos de Sílice	10.00%

<sup>34</sup> Planta Recuperadora de Agua

**Anexo 3**  
**Análisis CRETIB de los Lodos**

**CRETIB**

EMPRESA:	INDUSTRIAS DEL ALCALI, S.A DE C.V
FECHA DE MUESTREO:	NOVIEMBRE 11 DE 1993
FECHA DE ANALISIS:	NOVIEMBRE 10 - 18 DE 1993
IDENTIFICACION:	LODOS DE LICOR OS

**CORROSIVIDAD**

PARAMETRO	RESULTADO	PERMISIBLE	METODOLOGIA
UNIDADES DE PH	11.0	2.0 - 12.5	NOM PA-CRP-001/93

EN ESTADO LIQUIDO O EN SOLUCION ACUOSA Y A UNA TEMPERATURA DE 50°C NO ES CAPAZ DE CORROPIR EL ACERO AL CARBON A UNA VELOCIDAD DE 0.33 mm O MAS POR AÑO.

**REACTIVIDAD**

PARAMETRO	RESULTADO	PERMISIBLE	METODOLOGIA
SULFUROS (mg/Kg)	50	500	SW-816 7.3.4.2 NOM-PA-CRP-001/93
CIANUROS (mg/Kg)	N.D.	250	SW-816 7.3.4.2 NOM-PA-CRP-001/93

EN CONDICIONES NORMALES (25°C Y 1 ATM), CUANDO SE PONE EN CONTACTO CON AGUA EN RELACION (RESIDUO-AGUA) DE 5:1, 5:3, 5:5, NO REACCIONA VIOLENTEMENTE FORMANDO GASES, VAPORES O HUMOS.  
BAJO CONDICIONES NORMALES CUANDO SE PONE EN CONTACTO CON SOLUCIONES DE PH, ACIDO (HCl) Y BARIUM (NaOH), EN RELACION (RESIDUO-SOLUCION) DE 5:1, 5:3, 5:5, NO REACCIONA VIOLENTEMENTE FORMANDO GASES, VAPORES O HUMOS.

<b>OBSERVACIONES:</b>
METODOS DE REFERENCIA:
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CRP-001/93 Y SW-816 "TEST METHODS FOR EVALUATING SOLID WASTE", 3rd EDITION NOV. 1986. 7.3.4.2
DEL CODIGO FEDERAL DE REGLAMENTACIONES, VOL. 40 PARTE 264, 1991
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.
N.D. : NO DETECTABLE;

TECNOGER, S.A DE C.V.



EMPRESA : INDUSTRIAS DEL ALCALI, S.A DE C.V.  
 FECHA DE MUESTREO : NOVIEMBRE 11 DE 1993  
 FECHA DE ANALISIS : NOVIEMBRE 20-22 DE 1993  
 IDENTIFICACION : Lodos de Ladoros

**EXPLOSIVIDAD**

PARAMETRO	RESULTADO	PERMISIBLE	METODOLOGIA
EXPLOSIVIDAD	N.E.*	N.E.	NOM-PA-059-1993 S47-816 7.3.4.2
NO SE CAPAZ DE PRODUCIR UNA REACCION O DECOMPOSICION DETONANTE O EXPLOSIVA A 25 °C Y 1.05 Kg/cm <sup>2</sup> DE PRESION			

**OBSERVACIONES :**  
 NO PRESENTA CARACTERISTICAS EXPLOSIVAS.  
 METODOS DE REFERENCIA :  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-C-70-001/85 Y QM 846 "TEST METHODS FOR EVALUATING SOLID WASTE", 3<sup>rd</sup> EDITION NOV. 1988 7.3.4.2  
 DEL CODIGO FEDERAL DE REGLAMENTACIONES, VOL. 40 PARTE 280.1001  
 ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.  
 N.E.\* : NO EXPLOSIVO N.E. : NO ESPECIFICADO

TECNOBER, S.A DE C.V.



EMPRESA: INDUSTRIA DE ALUMINOS A DE CV.  
 FECHA DE MUESTREO: NOVIEMBRE 11 DE 1993  
 FECHA DE ANALISIS: NOVIEMBRE 22 DE 1993  
 IDENTIFICACION: LÓDOS DE LÍQUIDOS (B)

**TOXICIDAD**

**CONSTITUYENTES INORGANICOS**

PARAMETRO (mg)	BI	M	MS	QC	L.D.	PERMISIBLE (mg)
ARSENICO	N.D.	N.D.	1.80	1.80	0.50	5.00
CADMIO	N.D.	0.51	1.80	1.40	0.02	1.000
CROMIO	N.D.	N.D.	0.40	0.47	0.03	1.00
CROMIO HEX.	N.D.	N.D.	0.45	0.47	0.02	5.00
COBALTO	N.D.	N.D.	1.00	1.50	0.50	5.00
MERCURIO	N.D.	N.D.	0.002	0.002	0.001	0.20
PLATA	N.D.	N.D.	0.39	0.38	0.02	5.00
PLOMBO	N.D.	N.D.	0.50	0.80	0.10	5.00
ZINC	N.D.	N.D.	2.00	2.60	0.50	1.00

RESULTADOR: N/A  
 BI: BLANCO  
 M: LÓDOS DE LÍQUIDOS  
 MS: MATRIX SPIKE (MATRIZ CON TES (IGO)  
 QC: QUALITY CONTROL (CONTROL DE CALIDAD)  
 L.D.: LÍMITE DE DETECCIÓN  
 N.D.: NO DETECTABLE

OBSERVACIONES:  
 DE ACUERDO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS, CUMPLE CON LA CONCENTRACION MAXIMA PERMITIDA DE ACUERDO A LA NOM-04-CR11-93.  
  
 METODOS DE REFERENCIA:  
 NOM-04-CR11-93 Y EPA-8161 TEST METHODS FOR EVALUATING SOLID WASTE, 3RD EDITION NOV 1986 DEL CODIGO FEDERAL DE REGULACIONES, PARTE 260, 1991 ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

TECNOSOL, S.A. DE C.V.



EMPRESA: IND. SIDA DEL ALCALI S.A. DE C.V.  
 FECHA DE MUESTRO: NOVIEMBRE 11 DE 1993  
 FECHA DE ANALISIS: NOVIEMBRE 22 DE 1993  
 IDENTIFICACION: Lodos de licor de

**TOXICIDAD**

**CONSTITUYENTES ORGANICOS**

PAH/MSRO	BL	CC	M	MMS	GL	Extensión
1,4-DICHLOROBENCENO	N.D.	5.2E+2 R	N.D.	5.2E+2 S	N.D.	N.E.
2-MILITOLUENO	N.D.	5.7E+2 S	N.D.	6.0E+2 S	N.D.	N.E.
4-METILFENOL	N.D.	5.4E+2 S	N.D.	5.2E+2 S	N.D.	N.F.
1,6-DICHLOROBENCENO	N.D.	5.1E+2 S	N.D.	5.5E+2 S	N.D.	3
NITROBENCENO	N.D.	6.2E+2 S	N.D.	6.7E+2 S	N.D.	2
1,4-DICHLOROBENZOL	N.D.	5.1E+2 S	N.J.	5.7E+2 S	N.D.	N.E.
2,4-DICHLOROFENOL	N.D.	5.5E+2 R	N.D.	5.2E+2 S	N.D.	2
2,4,5-TRICHLOROFENOL	N.D.	5.3E+2 S	N.E.	5.8E+2 S	N.J.	401
2,4-DINITROTOLUENO	N.D.	7.0E+2 S	N.D.	5.0E+2 S	N.D.	0.13
1,3-DICHLOROBENZOL	N.D.	6.7E+2 S	N.D.	7.0E+2 S	N.D.	N.E.
PENTACHLOROFENOL	N.D.	8.8E+2 S	N.D.	7.1E+2 S	N.D.	130
TRIFENILAMINA	N.J.	3.7E+2 S	N.D.	4.0E+2 S	N.D.	N.E.

RESULTADOS: #61  
 BL: BLANCO  
 CC: SOLUBILIDAD Y CONTROL (CONTROL DE CALIDAD)  
 M: Lodos de licor de  
 MMS: MATRIX REF. KF (MATRIX CONTROL)  
 GL: BLANCO I  
 N.D.: NO DETECTADO  
 R: MATRIX TESTIGO  
 N.E.: NO EMPLEADO

OBSERVACIONES:  
 METODOS DE REFERENCIA:  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM FA CHP 28/83 Y EPA TEST METHOD 8270  
 (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY SW 816 OFFICE  
 OF SOIL WASTE AND EMERGENCY RESPONSE, JULY 1983).

TECNOSER, S.A. DE C.V.





EMPRESA: INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A. DE C.V.  
 FECHA DE MUESTREO: NOVIEMBRE 11 DE 1993  
 FECHA DE ANALISIS: NOVIEMBRE 22 DE 1993  
 IDENTIFICACION: Lodos de HCON 08

**TOXICIDAD**

**CONSTITUYENTES ORGANICOS**

PARAMETRO	ML	GC	M	MMS	SLI	resultado
1,4-DICLOROBENCENO	N.D.	5.7E+2 S	N.D.	5.5E+2 S	N.D.	N.E.
2-MILIBENOL	N.D.	5.7E+2 S	N.D.	5.5E+2 S	N.D.	N.E.
4-MTILFENOL	N.D.	5.4E+2 S	N.D.	5.5E+2 S	N.D.	N.E.
1,4-DICLOROBENCENO	N.D.	6.1E+2 S	N.D.	5.5E+2 S	N.D.	3
NITROBENCENO	N.D.	6.3E+2 S	N.D.	6.7E+2 S	N.D.	2
1,4-DICLOROBENZOL	N.D.	5.1E+2 S	N.J.	5.1E+2 S	N.D.	N.E.
2,4-DICLOROFENOL	N.D.	2.5E+2 S	N.D.	5.5E+2 S	N.D.	2
2,4,6-TRICLOROFENOL	N.D.	5.3E+2 S	N.D.	5.5E+2 S	N.J.	403
2,4-DINITROFLUORNO	N.D.	7.6E+2 S	N.D.	5.5E+2 S	N.D.	0.13
1,3-DICLOROBENCENO	N.D.	6.7E+2 S	N.D.	7.0E+2 S	N.D.	N.E.
PENTACLOROFENOL	N.D.	8.8E+2 S	N.D.	7.1E+2 S	N.D.	100
TRIBUFA	N.J.	2.6E+2 S	N.D.	4.0E+2 S	N.D.	N.E.

RESULTADOS  
 BL 7 : BLANCO  
 GC : SOLA... Y CONTROL (CONTROL DE CALIDAD)  
 M : Lodos de Licoridos  
 MMS : MATRIX SP AF (MATRIX CON TESTIGO)  
 SLI : BLANCO I  
 N.D. : NO DETECTADO  
 N : MATRIX TESTIGO  
 N.E. : NO SE PUEDE SABER

OBSERVACIONES:  
 METODOS DE REFERENCIA:  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM FA CRP 30/93 Y EPA TEST METHOD 8270  
 (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY SW 8-B OFFICE  
 OF HAZARDOUS WASTE AND EMERGENCY RESPONSE, JULY 1992).

TECNOSIER, S.A. DE C.V.

EMPRESA:	INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A DE C.V
FECHA DE MUESTREO:	NOVIEMBRE 11 DE 1993
FECHA DE ANALISIS:	NOVIEMBRE 22-24 DE 1993
IDENTIFICACION:	LODOS DE LICOR DB

### TOXICIDAD

#### CONSTITUYENTES ORGANICOS

PARAMETRO	RI 2	LIMITE DE DETECCION DEL METODO	METODOLOGIA
1,4 DICHLOROBENCENO	N.D.	4.4E+1	EPA METODO 8270
2 METILFENOL	N.D.	5.0E+1	EPA METODO 8270
4 METILFENOL	N.D.	5.0E+1	EPA METODO 8270
HEXACHIOROTANO	N.D.	1.9E+1	EPA METODO 8270
N. ROBENCENO	N.D.	1.0E+1	EPA METODO 8270
HEXACHIOROUTABENO	N.D.	9.0E+0	EPA METODO 8270
2,4,6 TRICLOROFENOL	N.D.	2.7E+1	EPA METODO 8270
2,4,5 TRICLOROFENOL	N.D.	5.0E+1	EPA METODO 8270
2,4 DINITROCLUENO	N.D.	5.7E+1	EPA METODO 8270
HEXACHIOROBENCENO	N.D.	1.9E+1	EPA METODO 8270
PENTACHIOROFENO..	N.D.	3.6E+1	EPA METODO 8270
PRIMA	N.D.	5.0E+1	EPA METODO 8270

RESULTADOS : ppA  
 BL2 : BLANCO 2  
 N.D. : NO DETECTABLE

#### OBSERVACIONES :

METODOS DE REFERENCIA :  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CRP-001/93 Y EPA TEST METHOD 8270  
 (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY SW-846, OFFICE  
 OF SOLID WASTE AND EMERGENCY RESPONSE, JULY 1982).

TECNOSER, S.A DE C.V.



EMPRESA : INDUSTRIA DEL ALCAHOL S.A. DE C.V.  
 FECHA DE MUESTREO: NOVIEMBRE 11 DE 1993  
 FECHA DE ANALISIS: NOVIEMBRE 22-24 DE 1993  
 IDENTIFICACION: Lodos de licor de caña

**TOXICIDAD**

CONSTITUYENTES ORGANICOS

PARAMETRO	CC	LIMIT DE DETECCION DEL METODO	METODOLOGIA
1,4-DICLORO BENZENO	5.2E+2 S	4.4E+1	EPA METODO 8270
2-METIL FENOL	5.7E+2 S	5.0E+1	EPA METODO 8270
4-METIL FENOL	5.4E+2 S	5.0E+1	EPA METODO 8270
HEXACLORO ETANO	5.1E+2 S	1.6E+1	EPA METODO 8270
NITROBENCENO	5.3E+2 S	1.4E+1	EPA METODO 8270
HEXACLORO BUTADIENO	5.4E+2 S	9.0E+0	EPA METODO 8270
2,4,6-TRICLORO ANILINA	5.3E+2 S	2.7E+1	EPA METODO 8270
2,4,6-TRICLORO FENOL	5.0E+2 S	5.0E+1	EPA METODO 8270
2,4-DINITRO TOLUENO	7.0E+2 S	5.7E+1	EPA METODO 8270
1,2,4-TRICLORO BENCENO	5.7E+2 S	1.8E+1	EPA METODO 8270
PENTACLORO FENOL	5.0E+2 S	3.8E+1	EPA METODO 8270
PIRIDINA	3.7E+2 S	5.5E+1	EPA METODO 8270

RESULTADOS : ppb  
 CC : QUALITY CONTROL (CONTROL DE CALIDAD)  
 S : MATRIZ TESTIGO

OBSERVACIONES:  
 METODOS DE REFERENCIA:  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CRP-001/93 Y EPA TEST METHOD 8270  
 (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY SW-846, OFFICE OF SOLID WASTE AND EMERGENCY RESPONSE, JULY 1982).

TECNOBEN, S.A. DE C.V.



EMPRESA:	INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A. DE C.V.
FECHA DE MUESTREO:	NOVIEMBRE 11 DE 1993
FECHA DE ANALISIS:	NOVIEMBRE 22-24 DE 1993
IDENTIFICACION:	LODOS DE LICOR DS

**TOXICIDAD**

CONSTITUYENTES ORGANICOS

PARAMETRO	M	LIMITE DE DETECCION DEL METODO	METODOLOGIA
1,4 DICHLORODIBENZENO	N.D.	4.4E+1	EPA METODO 8270
2 METILFENOL	N.D.	5.0E+1	EPA METODO 8270
4 METILFENOL	N.D.	5.0E+1	EPA METODO 8270
1,2,4 TRICHLOROETANO	N.D.	1.0E+1	EPA METODO 8270
NITROBENCENO	N.D.	1.0E+1	EPA METODO 8270
HEXACLOROBTUADIENO	N.D.	9.0E+0	EPA METODO 8270
2,4,6 TRICHLOROFENOL	N.D.	2.7E+1	EPA METODO 8270
2,3,5 TRICHLOROFENOL	N.D.	5.0E+1	EPA METODO 8270
2,4 DINITROTOLUENO	N.D.	5.7E+1	EPA METODO 8270
HEXACLOROBENCENO	N.D.	1.0E+1	EPA METODO 8270
PENITACILOROFENOL	N.D.	3.0E+1	EPA METODO 8270
PIRIDINA	N.D.	5.0E+1	EPA METODO 8270

RESULTADOS : µg/l  
M : MUESTRA  
N D : NO DETECTADO

OBSERVACIONES:  
MÉTODOS DE REFERENCIA:  
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CRP-001/93 Y EPA TEST METHOD 8270  
(UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY SW-846, OFFICE OF SOLID WASTE AND EMERGENCY RESPONSE, JULY 1982).

PREPARED BY: RESULT



EMPRESA : INDUSTRIA DEL ALCALI S.A DE C.V.  
 FECHA DE MUESTREO: NOVIEMBRE 11 DE 1993  
 FECHA DE ANALISIS: NOVIEMBRE 24 26 DE 1993  
 IDENTIFICACION: LODOS DE LICOR US

**TOXICIDAD**

**CONSTITUYENTES ORGANICOS**

**RECUPERACION DE MATRIZ CON TESTIGO Y MATRIZ CON TESTIGO DUPLICADA**

PARAMELINO	TESTIGO ANALISIS	COND. DE MUESTRA	CUNC. DE MS	% REC. DE MS	COND. DE MSD	% REC. UL MSD	RPD
1,4-DICHLOROBENCENO	1,000	0	528.6	52.7	.....	.....	.....
2-METILFENOL	1,000	0	595.2	59.6	.....	.....	.....
4-METILFENOL	1,000	0	501.6	50.2	.....	.....	.....
HEXACLOROETANO	1,000	0	532.2	53.2	.....	.....	.....
HEPTACLORO	1,000	0	617.8	61.8	.....	.....	.....
HEXACLOROCICLOHEXANO	1,000	0	557.4	55.7	.....	.....	.....
2,4,6-TRICHLOROFENOL	1,000	0	850.2	85.0	.....	.....	.....
2,4-DICHLOROFENOL	1,000	0	884.2	88.4	.....	.....	.....
2,4-DINITROFLUORURO	1,000	0	795	79.5	.....	.....	.....
HEXACLOROBENCENO	1,000	0	897.4	89.7	.....	.....	.....
1,2-DICHLOROFENOL	1,000	0	705.4	70.5	.....	.....	.....
PIRIDINA	1,000	0	358.2	35.8	.....	.....	.....

RESULTADOS : ppm  
 MS : MATRIZ CON TESTIGO  
 MSD : MATRIZ CON TESTIGO DUPLICADA

OBSERVACIONES :  
 METODOS DE REFERENCIA :  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CRP-001/03 Y EPA TEST METHOD 8270  
 (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY SW-846, OFFICE  
 OF SOLID WASTE AND EMERGENCY RESPONSE, JULY 1982).

TECNOSER, S.A. DE C.V.

EMPRESA:	INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A. DE C.V.
FECHA DE MUESTREO:	NOVIEMBRE 11 DE 1993
FECHA DE ANALISIS:	NOVIEMBRE 18-20 DE 1993
IDENTIFICACION:	LODOS DE LICOR DE (M)

### TOXICIDAD

#### CONSTITUYENTES ORGANICOS VOLATILES

PARAMETRO	BL1	L.D.	PERMISIBLE	METODOLOGIA
CLORURO DE VINILO	N.D.	0.0017	0.2	EPA METODO 8240
1,1 DICLOROETENO	N.D.	0.0012	N.E.	EPA METODO 8240
CLOROFORMO	N.D.	0.0018	6	EPA METODO 8240
1,2 DICLOROETANO	N.D.	0.0024	N.E.	EPA METODO 8240
2-BUTADIENA	N.D.	0.0030	N.E.	EPA METODO 8240
TETRACI CLORURO DE CARBONO	N.D.	0.0015	N.E.	EPA METODO 8240
TRICLOROETENO	N.D.	0.0013	N.E.	EPA METODO 8240
BENCENO	N.D.	0.0016	0.5	EPA METODO 8240
TETRACLOROETENO	N.D.	0.0015	N.E.	EPA METODO 8240
CLOROBENCENO	N.D.	0.0013	100	EPA METODO 8240

**RESULTADOS** : mg/l  
**BL1** : BLANCO No 1  
**N.D.** : NO DETECTADO  
**L.D.** : LIMITE DE DETECCION  
**N.E.** : NO ESPECIFICADO  
**PERMISIBLE** : NOM-PA-CR1-001/93

**OBSERVACIONES:**  
 METODOS DE REFERENCIA:  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CR1-001/93 Y EPA TEST METHOD 8240  
 CON MODIFICACIONES (EPA 816-B-86, TERCERA EDICION; SEPT. 1986; U.S.  
 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, OFFICE OF SOLID WASTE AND  
 EMERGENCY RESPONSE).

**TECNOSER, S.A. DE C.V.**



EMPRESA: INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A DE C.V.  
 FECHA DE MUESTREO: NOVIEMBRE 11 DE 1983  
 FECHA DE ANALISIS: NOVIEMBRE 18-20 DE 1983  
 IDENTIFICACION: LUGOS DE LICOR DS (M)

**TOXICIDAD**

**CONSTITUYENTES ORGANICOS VOLATILES**

PARAMETRO	DI. 2	L. D.	PERMISIBLE	METODOLOGIA
CLORURO DE VINILO	N.D.	0.0017	0.2	EPA METODO 8240
1,1-DICLOROETENO	N.D.	0.0012	N.E.	EPA METODO 8240
CLOROFORMO	N.D.	0.0018	6	EPA METODO 8240
1,2-DICLOROETANO	N.D.	0.0024	N.E.	EPA METODO 8240
2-BUTANONA	N.D.	0.0030	N.E.	EPA METODO 8240
TETRACLORURO DE CARBONO	N.D.	0.0015	N.E.	EPA METODO 8240
TRICLOROETENO	N.D.	0.0013	N.E.	EPA METODO 8240
BENCENO	N.D.	0.0016	0.5	EPA METODO 8240
TETRAFLOROETENO	N.D.	0.0015	N.E.	EPA METODO 8240
CLOROACETENO	N.D.	0.0013	100	EPA METODO 8240

RESULTADOS : mg/l  
 DI 2 : BLANCO No.2  
 N.D. : NO DETECTADO  
 L.D. : LIMITE DE DETECCION  
 PERMISIBLE : NOM PA CRP 001/83

OBSERVACIONES:  
 METODOS DE REFERENCIA:  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CRP-001/83 Y EPA TEST METHOD 8240  
 CON MODIFICACIONES (EPA SW-846; TERCERA EDICION; SEPT. 1985, U.S.  
 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, OFFICE OF SOLID WASTE AND  
 EMERGENCY RESPONSE).

TECNOSER, S.A DE C.V.



EMPRESA:	INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A DE C.V.
FECHA DE MUESTREO:	NOVIEMBRE 11 DE 1993
FECHA DE ANALISIS:	NOVIEMBRE 18-20 DE 1993
IDENTIFICACION:	LODOS DE LICOR DS (M)

**TOXICIDAD**

CONSTITUYENTES ORGANICOS VOLATILES

PARAMETRO	M	L.D.	PERMISIBLE	METODOLOGIA
CLORURO DE VINILO	N.D.	0.09	0.2	EPA METODO 8240
1,1 - DICLOROETENO	N.D.	0.08	N.E.	EPA METODO 8240
CLOROFORMO	N.D.	0.09	6	EPA METODO 8240
1,2 - DICLOROETANO	N.D.	0.12	N.E.	EPA METODO 8240
2 - BUTANONA	N.D.	0.19	N.E.	EPA METODO 8240
TETRACLORURO DE CARBONO	N.D.	0.06	N.E.	EPA METODO 8240
TRICLOROETENO	N.D.	0.07	N.E.	EPA METODO 8240
BENCENO	N.D.	0.06	0.5	EPA METODO 8240
TETRACLOROETENO	N.D.	0.06	N.E.	EPA METODO 8240
CLOROBENCENO	N.D.	0.07	100	EPA METODO 8240

RESULTADOS : mg/l  
M : MUESTRA DE LODOS DE LICOR DS  
N.D. : NO DETECTADO  
L.D. : LIMITE DE DETECCION  
N.E. : NO ESPECIFICADO  
PERMISIBLE : NOM-PA-CRP-001/93

OBSERVACIONES :  
METODOS DE REFERENCIA :  
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CRP-001/93 Y EPA TEST METHOD 8240  
CON MODIFICACIONES (EPA SW-846; TERCERA EDICION; SEPT. 1988; U.S.  
ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, OFFICE OF SOLID WASTE AND  
EMERGENCY RESPONSE).

TECNOSER, S.A DE C.V.



EMPRESA :	INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A DE C.V.
FECHA DE MUESTREO:	NOVIEMBRE 11 DE 1993
FECHA DE ANALISIS:	NOVIEMBRE 18-20 DE 1993
IDENTIFICACION:	LODOS DE LICOR DS (M)

## TOXICIDAD

### CONSTITUYENTES ORGANICOS VOLATILES

PARAMETRO	MMS	L.D.	PERMISIBLE	METODOLOGIA
CLORURO DE VINILO	3.1	0.09	0.2	EPA METODO 8240
1,1 - DICLOROETENO	2.9	0.08	N.E.	EPA METODO 8240
CLOROFORMO	2.8	0.09	8	EPA METODO 8240
1,2 - DICLOROETANO	2.8	0.12	N.E.	EPA METODO 8240
2 - BUTANONA	1.1	0.19	N.E.	EPA METODO 8240
TETRACLORURO DE CARBONO	2.5	0.08	N.E.	EPA METODO 8240
TRICLOROETENO	2.8	0.07	N.E.	EPA METODO 8240
BENCENO	2.7	0.08	0.5	EPA METODO 8240
TETRACLOROETENO	2.3	0.08	N.E.	EPA METODO 8240
CLOROBENCENO	2.8	0.07	100	EPA METODO 8240

RESULTADOS : mg/l  
 MMS : MUESTRA MATRIZ CON TESTIGO  
 L.D. : LIMITE DE DETECCION  
 PERMIGIBLE : NOM-PA-CRP-001/93

**OBSERVACIONES :**  
 METODOS DE REFERENCIA :  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CRP-001/93 Y EPA TEST METHOD 8240  
 CON MODIFICACIONES (EPA SW-846, TERCERA EDICION, SEPT. 1986; U.S.  
 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, OFFICE OF SOLID WASTE AND  
 EMERGENCY RESPONSE).

**TECNOSER, S.A DE C.V.**

EMPRESA : INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A DE C.V.  
 FECHA DE MUESTREO: NOVIEMBRE 11 DE 1993  
 FECHA DE ANALISIS: NOVIEMBRE 18-20 DE 1993  
 IDENTIFICACION: Lodos de Licor DS (M)

**TOXICIDAD**

CONSTITUYENTES ORGANICOS VOLATILES

PARAMETRO	BLR	L.D.	PERMISIBLE	METODOLOGIA
CLORURO DE YANCO	N.D.	0.09	0.2	EPA METODO 8240
1,1 - DICLOROETENO	N.D.	0.06	N.E.	EPA METODO 8240
CLOROFORMO	N.D.	0.09	6	EPA METODO 8240
1,2 - DICLOROETANO	N.D.	0.12	N.E.	EPA METODO 8240
2 - BUTANONA	N.D.	0.19	N.E.	EPA METODO 8240
TETRACLORURO DE CARBONO	N.D.	0.08	N.E.	EPA METODO 8240
TRICLOROETENO	N.D.	0.07	N.E.	EPA METODO 8240
BENCENO	N.D.	0.08	0.5	EPA METODO 8240
TETRACLOROFENILO	N.D.	0.08	N.E.	EPA METODO 8240
CLOROBENCENO	N.D.	0.07	100	EPA METODO 8240

RESULTADOS : mg/l  
 BLR : BLANCO DE REFERENCIA  
 N.D. : NO DETECTADO  
 L.D. : LIMITE DE DETECCION  
 N.E. : NO ESPECIFICADO  
 PERMISIBLE : NOM PA CRP 001/93

OBSERVACIONES :

METODOS DE REFERENCIA :  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CRP-001/93 Y EPA TEST METHOD 8240  
 CON MODIFICACIONES (EPA SW-846; TERCERA EDICION, SEPT. 1986, U.S.  
 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, OFFICE OF SOLID WASTE AND  
 EMERGENCY RESPONSE).

TECNOSER, S.A DE C.V.

EMPRESA: INDUSTRIA DEL ALCAHOL, S.A. DE C.V.  
 FECHA DE MUESTREO: NOVIEMBRE 11 DE 1993  
 FECHA DE ANALISIS: NOVIEMBRE 16-20 DE 1993  
 IDENTIFICACION: Lodos de Licor de S (14)

**TOXICIDAD**

**CONSTITUYENTES ORGANICOS VOLATILES**

PARAMETRO	%REC.	METODOLOGIA
CLORURO DE VINILO	123	EPA METODO 8240
1,1 - DICLOROETENO	114	EPA METODO 8240
CLOROFORMO	103	EPA METODO 8240
1,2 - DICLOROETANO	103	EPA METODO 8240
2 - BUTANONA	75	EPA METODO 8240
TETRACLORURO DE CARBONO	69	EPA METODO 8240
TRICLOROETENO	143	EPA METODO 8240
BENCENO	108	EPA METODO 8240
TETRACLOROETENO	92	EPA METODO 8240
CLOROBENCENO	114	EPA METODO 8240

RESULTADOS : PORCENTAJE (%)  
 % REC. : PORCENTAJE DE RECUPERACION DE LA MUESTRA TESTIGO

OBSERVACIONES:  
 METODOS DE REFERENCIA:  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CHA-001/93 Y EPA TEST METHOD 8240 CON MODIFICACIONES (EPA SW-846, TERCERA EDICION, SEPT. 1990; U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, OFFICE OF SOLID WASTE AND EMERGENCY RESPONSE).

TÉCNOSER, S.A. DE C.V.



EMPRESA:	INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A. DE C.V.
FECHA DE MUESTREO:	NOVIEMBRE 11 DE 1993
FECHA DE ANALISIS:	NOVIEMBRE 18-20 DE 1993
IDENTIFICACION:	LADOS DE LICOR DS (M)

**TOXICIDAD**

**CONSTITUYENTES ORGANICOS VOLATILES**

IDENTIFICACION	% TOL	% BFB	% DCE
BL1	104	105	93
BL2	104	103	93
M	104	104	99
MS	89	104	90
BLR	89	104	91

RESULTADOS	: PORCENTAJE(%)	LIMITES DE QC
% TOL	: % TOLUENO	(88 - 110)
% BFB	: % BROMOFLUOROBENCENO	(88 - 115)
% DCE	: % 1,2 - DICLOROETANO - D4	(76 - 114)
QC	: CONTROL DE CALIDAD	

**OBSERVACIONES:**  
 METODOS DE REFERENCIA :  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CRP-001/93 Y EPA TEST METHOD 8240  
 CON MODIFICACIONES (EPA SW-046, TERCERA EDICION, SEPT. 1986; U.S.  
 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, OFFICE OF SOLID WASTE AND  
 EMERGENCY RESPONSE).

**TECNOSER, S.A. DE C.V.**



EMPRESA:	INDUSTRIA DEL ALCALÍ S.A DE C.V.
FECHA DE MUESTREO:	NOVIEMBRE 11 DE 1993
FECHA DE ANÁLISIS:	NOVIEMBRE 29 30 DE 1993
IDENTIFICACION:	LIXOS DE LICOR DS (M)

**INFLAMABILIDAD**

PARAMETRO	RESULTADO	METODOLOGIA
INFLAMABILIDAD	N - 1	NOM-PA-CRP-001/93
EN SOLUCION ACUOSA, CONTIENE MENOS DE 24% DE ALCOHOL EN VOLUMEN, NO ES CAPAZ DE PROVOCAR FUEGO POR FRICCION, ABSORCION DE HUMEDAD O CAMBIOS QUIMICOS ESPONTANEOS (BAJO CONDICIONES NORMALES DE TEMPERATURA Y PRESION).		

N - : NO INFLAMABLE

**OBSERVACIONES:**  
 METODOS DE REFERENCIA:  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-PA-CRP-001/93 Y EPA TEST METHOD FOR EVALUATING SOLID WASTE, TERCERA EDICION, NOV 1986.

TECNOSER, S.A DE C.V.



EMPRESA: INDUSTRIA DEL ALCAHOL S.A. DE C.V.  
 FECHA DE MUESTREO: NOVIEMBRE 11 DE 1993  
 FECHA DE ANALISIS: DICIEMBRE 1-3 DE 1993  
 IDENTIFICACION: Lodos de Licor (L)

**PESTICIDAS**

IDENTIFICACION	BL1	BL2	QC	M	MS	L.D.	METODO
AMITRIPI	N.D.	N.D.	12	N.D.	14	0.6	EPA 8090
CINIBARO	N.D.	N.D.	0.6	N.D.	0.7	0.5	EPA 8060
METOXIPIORO	N.D.	N.D.	0.5	N.D.	0.7	0.2	EPA 8060
TOXAFENO	N.D.	N.D.	N.D.	H.C.	N.D.	0.2	EPA 8060
ALFA CLOTRIANO	N.D.	N.D.	0.8	N.D.	0.5	0.5	EPA 8060
BAMA CLOTRIANO	N.D.	N.D.	0.8	N.D.	0.5	0.5	EPA 8060
ALIFACLORO	N.D.	N.D.	11	N.D.	11	0.6	EPA 8060
HEPTACLORO	N.D.	N.D.	0.5	N.D.	0.7	0.5	EPA 8060
EPICLORO							
TETRA CLORO-	0.7	0.8	10	0.3	0.5	0.2	EPA 8060
META-XILENO							
DILUIX-	0.3	0.0	10	0.0	0.0	0.2	EPA 8060
CREIDATO							

RESULTADOS:  
 BL1 : BLANCO 1  
 BL2 : BLANCO 2  
 QC : QUALITY CONTROL (CONTROL DE CALIDAD)  
 M : MUESTRA  
 MS : MATRIX SPIKE (MUESTRA CON TOSUROS)  
 L.D. : LIMITE DE DETECCION  
 N.D. : NO DETECTABLE

OBSERVACIONES:  
 METODOS DE REFERENCIA:  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM PA-CRP-001/86 Y EPA TEST METHOD 8060  
 CON MODIFICACIONES (EPA 8060B, TERCERA EDICION; SEPT 1986, U.S.  
 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, OFFICE OF SEA TOWNSHIP AND  
 EMERGENCY RESPONSE).

TECHUSER, S.A. DE C.V.



EMPRESA:	INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A DE C.V.
FECHA DE MUESTREO:	NOVIEMBRE 11 DE 1993
FECHA DE ANALISIS:	DICIEMBRE 15 DE 1993
IDENTIFICACION:	LODOS DE LICOR DE (M)

**PESTICIDAS**

RECUPERACION

IDENTIFICACION	QC	MS	METODO
ENDRIN	120	14	EPA 16310
LINDANO	80	8.7	EPA 16310
METACICLORO	88	97	EPA 16310
TOXAFENO	N.D.	N.D.	EPA 16310
ALFA CLORDANO	98	9.8	EPA 16310
GAMA CLORDANO	68	9.8	EPA 16310
HEPTACLORO	110	11	EPA 16310
HEPTACLORO EPOXIDO	85	8.7	EPA 16310

LAS MUESTRAS SON ATESTIGUADAS CON UN INHIBIDOR DE DIBUTIL-CLOROBLENDO Y 2,4,5,6-TETRACLORO-m-XILENO A 10ppb.

RESULTADOS : PORCENTAJE DE RECUPERACION  
 QC : QUALITY CONTROL (CONTROL DE CALIDAD)  
 MS : MATRIX SPIKE (MUESTRAS CON PESTICIDAS)  
 N.D. : NO DETECTABLE

OBSERVACIONES:  
 METODOS DE REFERENCIA -  
 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-147-1993 Y EPA TEST METHOD 8160-8180  
 CON MODIFICACIONES (EPA SW 846; MERCER PATRICK, SUP. 1, 1990; U.S.  
 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, OFFICE OF SOLID WASTE AND  
 HAZARDOUS WASTE RESPONSE).

TECNOSER, S.A DE C.V.



EMPRESA : INDUSTRIA DEL ALCALI, S.A DE C.V  
 FECHA DE MUESTREO: NOVIEMBRE 11 DE 1993  
 FECHA DE ANALISIS: DICIEMBRE 6 DE 1993  
 IDENTIFICACION: Lodos de Licor CG (M)

**HERBICIDAS**

IDENTIFICACION	BL1	BL2	CC	M	MS	L.D.	METODO
2,4 - D	N.D.	N.D.	1.5	N.D.	44	20	EP-MSDC
2,4,5 - TP	N.D.	N.D.	2.5	N.D.	25	2	EP-MSDC

RESULTADOS : ppm  
 BL1 : BLANCO 1  
 BL2 : BLANCO 2  
 CC : QUALITY CONTROL (CONTROL DE CALIDAD)  
 M : MUESTRA  
 MS : MATRIX SPIKE (MATRIZ CON TUBOS)  
 N.D. : NO DETECTABLE  
 L.D. : LÍMITE DE DETECCIÓN

Observaciones:  
 Método de referencia:  
 Norma DHC-MEXICANA NOM-FA-COP-031-93 y EPA TEST METHOD 8150  
 con modificaciones (EPA 8-16-16, TERCERA EDICION, SEPT. 1989; U.S.  
 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, OFFICE OF SOLID WASTE AND  
 EMERGENCY RESPONSE).

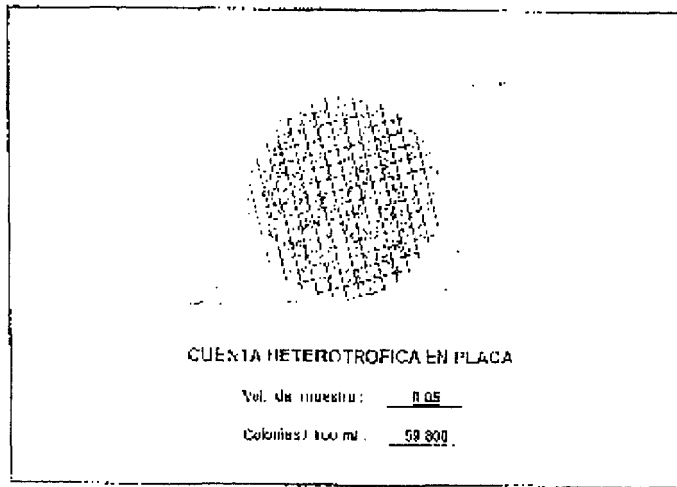
TECNOSER, S.A DE C.V.





**ANALISIS BACTERIOLOGICO**

EMPRESA:	INDUSTRIAS DEL ALCALI S.A. DE C.V.
FECHA DE MUESTREO:	NOVIEMBRE 11 DE 1993
FECHA DE ANALISIS:	NOVIEMBRE 12-15 DE 1993
IDENTIFICACION:	LOOS DE LICOR DE



**OBSERVACIONES:**

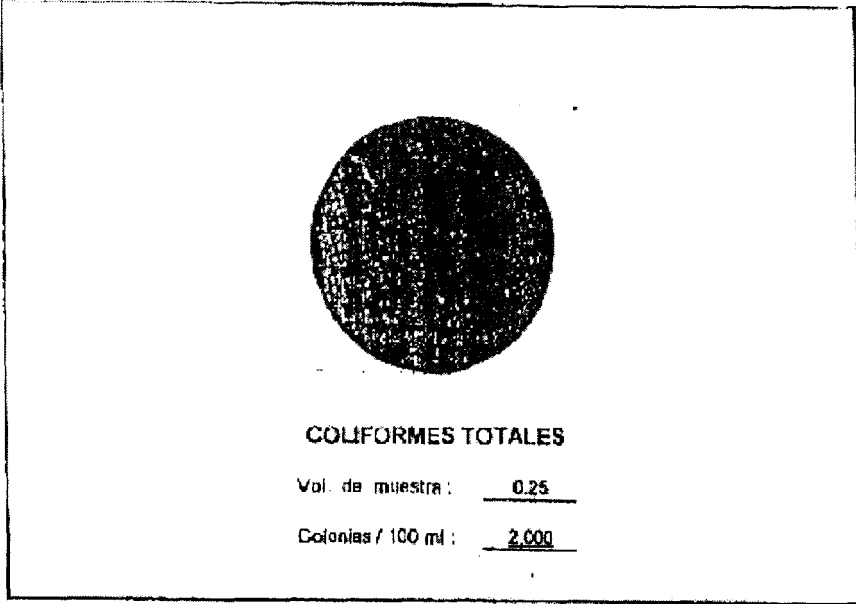
LOOO COLOR GRIS CLARO, EL VOLUMEN DE LA MUESTRA LE TOMADO DE UNA SOLUCION DEL LOOO AL 1%. DE ACUERDO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS, EXISTE UNA ALTA CONCENTRACION DE BACTERIAS

TECNOSER, S.A. DE C.V.



**ANALISIS BACTERIOLOGICO**

EMPRESA: INDUSTRIAS DEL ALCALI, S.A DE C.V.  
FECHA DE MUESTREO: NOVIEMBRE 11 DE 1993  
FECHA DE ANALISIS: NOVIEMBRE 12-15 DE 1993  
IDENTIFICACION: LODOS DE LICOR DS



OBSERVACIONES:  
LODO COLOR GRIS CLARO.  
EL VOLUMEN DE LA MUESTRA ES TOMADO DE UNA SOLUCION DEL LODO AL 1 %.  
DE ACUERDO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS HAY UNA ALTA CONCENTRACION DE COLIFORMES TOTALES.

TECNOLOGIA DE LA ALIMENTACION



## BIBLIOGRAFÍA

- Reed, Sherwood C  
Natural systems for waste management administration
- Segoviano Mendoza, Miguel  
Aprovechamiento de los lodos de desecho del Proceso Solvay
- C. Montgomery, Douglas  
Design and Analysis of Experiments
- Laboratorio de Materiales de Construcción  
ITESM
- Malcolm Steiner, Henry  
Engineering Economic Principles
- Merrit, Frederick S.  
Manual del Ingeniero Civil
- D.D. Double y A. Hellowell  
La solidificación del Cemento
- Asim, Yeginobali  
Possible Uses of Soda industry Waste as a Construction Material  
Z. Wasser-Abwasser-Forsch. Turquía, 1990
- Crespo Villalaz, Carlos  
Mecánica de Suelos y Cimentaciones
- Mellado Hinojosa, Vicente  
Construcción Y Operación De Una Planta Piloto De Lodos Activados
- Ramírez Alvarado, Oscar Felipe  
Funciones de los lodos, cementación y entubado de pozos profundos
- Garduza Rueda, Francisco Javier  
Implementación, arranque y estabilización de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados



- Suárez González, Miriam Gabriela  
Alternativa de remoción de metales pesados usando como agente precipitante un residuo industrial (Lodos blancos de desecho del proceso Solvay)
- Espinosa Medina, Valentín  
Estudio sobre localización de Plantas Industriales Y su Aplicación en la localización de una Planta Manufacturera de Ladrillo en Querétaro, Querétaro
- Moreno García, Franco  
El ladrillo en la construcción
- Smith, Samuel  
La obra de fábrica de ladrillo
- Rodríguez Villareal, Jesús Ramón  
Presupuesto de Operación para una Planta productora de Block de Concreto
- Luna Valdés, Carlos Alberto  
Evaluación del Efecto del Carbonato de Sodio en la Filtración Básica de los Suelos de Vasos de Presas de Villaldama, N.L.
- Aguilar Resendez, Isaias  
El Uso del Carbonato de Sodio sobre Microcuencas para Inducción de Ecurrimiento Y Cuantificaron de la cantidad lixiviada superficialmente de este Dispersante
- Rogoff, Marc Jay  
Approaches to implementing solid waste recycling facilities
- Blackman, William C  
Basic hazardous waste management
- L.J. Goldman  
Clay liners for waste management facilities : design, construction, and evaluation
- Brunner, Calvin R  
Handbook of hazardous waste incineration
- Harry Freeman, editor  
Hazardous waste minimization /



- Wentz, Charles A  
Hazardous waste management
  
- Journal of the Air & Waste Management Association
  
- Coss Bu, Raúl  
Análisis y evaluación de proyectos de inversión
  
- Little, Ian Malcolm David  
Estudio social del costo-beneficio en la industria de países en desarrollo;  
manual de evaluación de proyectos
  
- ITESM. Depto. de Ingeniería Civil  
Apuntes de materiales de construcción
  
- Ceramics industry: encyclopedia construction materials  
Biblioteca de la industria cerámica: materiales de construcción
  
- Orús Asso, Félix  
Materiales de construcción
  
- Bergos Masso, Juan  
Materiales y elementos de construcción: estudio experimental



## CURRICULUM VITAE

### ***DATOS PERSONALES***

---

### **Patricio Adolfo Jiménez Gutiérrez**

**Dirección Permanente**

Dr. Andrés Benavides #212  
Residencial Colón  
Toluca, México, México  
C.P. 50120  
Tel. (72) 12-31-15  
(72) 17-82-69  
e-mail: al524649@mail.mty.itesm.mx

**Dirección Actual**

Playa Mallorca #3307  
Contry Tesoro  
Monterrey, N.L., México  
C.P. 64850  
Tel. (8) 3-57-74-73  
(8) 1-61-05-59  
e-mail: patricio\_jimenez@hotmail.com

**Edad.** 23 años

**Nacionalidad.** Mexicano

**Lugar de nacimiento.** México, D.F.

**Estado civil.** Soltero.

### ***OBJETIVO***

---

Aplicar mi conocimiento y experiencia en el desarrollo y la toma de decisiones a través de la planeación, construcción y administración de los proyectos constructivos, buscando en todo momento la calidad y encaminado al desarrollo profesional integral.

### ***ESCOLARIDAD***

---

**Posgrado**

Maestría en Ingeniería Civil (Ingeniería y Administración de la Construcción) (1998-1999)  
ITESM *Campus Monterrey*  
Monterrey, N.L., México

**Profesional**

INGENIERO CIVIL (1993 - 1997)  
ITESM *Campus Monterrey*  
Monterrey, N.L., México

**Preparatoria**

INSTITUTO CULTURAL PAIDEIA (1990-1993)  
Toluca, México, México

**Secundaria**

INSTITUTO CULTURAL PAIDEIA (1987-1990)  
Toluca, México, México

***EXPERIENCIA***

---

Enero 98 – a la fecha

**Constructora e Inmobiliaria JICO S.A. de C.V.**

*Toluca, México*

Superintendente de Construcción

Actividades desempeñadas:

- ❑ Finalización de la Construcción de la Delegación de la Procuraduría General de la República en Colima, Colima.
- ❑ Supervisión de construcción de Gasera Los Altos en Puente Grande, Jalisco.
- ❑ Representante en Concursos de licitación pública.

Sept. 97 – Febrero 98

**Mc Laren Hart**

*Monterrey, N.L.*

Ingeniero de Proyecto

Actividades desempeñadas:

- ❑ Revisión y corrección de Procedimientos del Sistema de Administración Ambiental de Industrias del Álcali.
- ❑ Corrección de Procedimientos del Plan de Prevención de Accidentes de Industrias del Álcali.

Mayo. 97 – Agosto 97

**Constructora EBSA S.A. de C.V.**

*Toluca, México.*

Supervisor de Obra

Actividades desempeñadas:

- ❑ Supervisión de pavimentación de vialidades en el Municipio de Toluca.
- ❑ Trámites Administrativos.

Mayo 96 – Agosto 96

**Constructora e Inmobiliaria JICO S.A. de C.V.**

*Toluca, México*

Supervisor de Obra

Actividades desempeñadas:

- ❑ Supervisión de ampliación de nave industrial de la planta de EATON ejes en Toluca.
- ❑ Supervisor de Remodelación de los hoteles Arbol Grande y Villa Centurión en Morelia Michoacán.



## ***ACTIVIDADES EXTRACURRICULARES***

---

**SECRETARIO** de la Sociedad de Alumnos de Ingeniería Civil (*SADIC 96-97*)

**ORGANIZADOR** del IV Simposium Internacional de Ingeniería Civil  
Trazando Vías Hacia el Nuevo Milenio

**ORGANIZADOR** del III Día de Ingeniería Civil

**PARTICIPANTE** de I, II, III, IV Simposium Internacional de Ing. Civil  
**ITESM** Campus Monterrey

**PARTICIPANTE** del I, II y III Día de la Ingeniería Civil  
**ITESM** Campus Monterrey

**PARTICIPANTE** del II Congreso Internacional de Arquitectura  
**ITESM** Campus Monterrey

## ***IDIOMAS***

---

<b>INGLES</b>	ORAL (80%)	ESCRITO (80%)
<b>FRANCES</b>	ORAL (30%)	ESCRITO (30%)

## ***INFORMACIÓN ADICIONAL***

---

Manejo de paquetes Computacionales:

### **Ingeniería Civil:**

AutoCAD  
STAADIII  
RISA2D  
Primavera PROJECT PLANNER  
OPUS 98  
Campeón 6 Plus  
MSC Nastran

### **Ambiente Windows:**

Microsoft WORD  
Microsoft EXCEL  
Microsoft POWER POINT

### **Lenguajes de Computación**

Turbo PASCAL  
FORTRAN  
BASIC