



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

EVALUACIÓN DEL PROYECTO “PRODUCCIÓN DE LA ZEOLITA ZSM-5 EN LA ZONA
METROPOLITANA”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA

ELIA INÉS LUNA CEBALLOS

DIRECTORA DE TESIS

DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

México DF

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el resultado del esfuerzo de muchas personas e instituciones que están muy interesadas en el proyecto de la elaboración de zeolita ZSM-5 para la captura de gases que provocan el efecto invernadero; y que si no hubiese sido por su trabajo previo, esfuerzo y apoyo, yo no estaría presentado este trabajo de grado.

Primero, quiero agradecer a la Dra. Neftalí Rojas Valencia; quien me brindó su apoyo, su atención y su tiempo; me compartió sus experiencias, consejos y demás. No tengo palabras para agradecer todo su apoyo.

Agradezco a la Dra. Rosa María Ramírez Zamora y al Dr. Fabricio Espejel Ayala quienes me compartieron sus conocimientos referentes al tema, y estuvieron siempre disponibles para apoyarme.

Quiero agradecer con especial mención al Ing. Gustavo Cadena Sánchez quien me apoyó en varios puntos de esta tesis; y en especial por el préstamo del software que me ayudó con el cálculo de costos.

Por otro lado, agradezco enormemente al Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal (ICyTDF) por el apoyo económico que me dieron durante la elaboración de este trabajo.

Y no puedo olvidar a mis papás, que siempre han estado conmigo y me han dado todo su apoyo y confianza.

CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| RESUMEN | 7 |
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN | 8 |
| CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO | 9 |
| 2.1 Zeolitas..... | 9 |
| 2.2. Efecto Invernadero..... | 10 |
| 2.3 Descripción de conceptos y términos..... | 11 |
| CAPÍTULO 3: ANTECEDENTES | 12 |
| 3.1 Objetivos..... | 14 |
| 3.2 Justificación..... | 14 |
| CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA | 15 |
| CAPÍTULO 5: RESULTADOS | 16 |
| 5.1 Delimitación del área de estudio y localización de las plantas..... | 16 |
| 5.2 Diagnóstico Integral de la Situación Actual..... | 18 |
| 5.2.1 Fortalezas y Debilidades, Oportunidades y Amenazas..... | 19 |
| 5.3 Estudio de mercado..... | 20 |
| 5.3.1 Descripción del producto..... | 20 |
| 5.3.2 Análisis de la demanda..... | 21 |
| 5.3.3 Análisis de la competencia..... | 24 |
| 5.3.4 Análisis de precios de la competencia..... | 31 |
| 5.4 Estudio técnico..... | 31 |
| 5.4.1 Proceso Propuesto..... | 32 |
| 5.4.2 Recursos..... | 36 |
| 5.4.3 Diagrama de Operaciones..... | 41 |
| 5.4.4 Seguridad en Operaciones..... | 44 |
| 5.4.5 Normas de Seguridad e Higiene..... | 47 |
| 5.4.6 Marco Legal..... | 48 |
| 5.5 Localización de la planta..... | 50 |
| 5.5.1 Localización por centro de gravedad..... | 50 |
| 5.5.2 Proceso de localización por factores ponderados..... | 51 |
| 5.5.3 Localización de una planta en la República Mexicana..... | 54 |
| 5.5.4 Impacto ambiental..... | 59 |

| | |
|---|-----------|
| 5.6 Estudio económico..... | 60 |
| 5.6.1 Costos de inversión..... | 61 |
| 5.6.2 Costos de operación..... | 61 |
| 5.6.3 Flujo anual uniforme equivalente..... | 65 |
| 5.6.4 Punto de equilibrio..... | 66 |
| 5.7 Evaluación económica..... | 68 |
| 5.8 Análisis de riesgos..... | 69 |
| CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES..... | 72 |
| CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES..... | 73 |
| REFERENCIAS..... | 74 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 76 |
| ANEXO | 80 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | Página |
|--|--------|
| Ilustración 1: Diagrama de Flujo del Proceso..... | 33 |
| Ilustración 2: Diagrama de Operaciones..... | 42 |
| Ilustración 3: Mapa de localización de plantas de interés y planta óptima obtenida por el método de centro de gravedad..... | 52 |
| Ilustración 4: Mapa de localización de plantas de interés y planta óptima obtenida por el método de centro de gravedad..... | 56 |
| Ilustración 5: Mapa de localización de las posibles ubicaciones de la planta de producción de ZSM-5..... | 56 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | Página |
|---|--------|
| Gráfica 1: Sensibilidad a las ventas..... | 69 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|---|--------|
| Tabla 1: Resultados de fluorescencia de distintas muestras de lodo proveniente de la industria | 16 |
| Tabla 2: Lista de empresas de interés localizadas en la ZMVM..... | 17 |
| Tabla 3: Complemento de DISA: Fortalezas y Debilidades..... | 19 |
| Tabla 4: Complemento de DISA: Oportunidades y Amenazas..... | 19 |
| Tabla 5: Usos de la zeolita ZSM-5..... | 20 |
| Tabla 6 Patentes de síntesis de zeolita ZSM-5..... | 24 |
| Tabla 7: Productoras de ZSM-5..... | 30 |
| Tabla 8 Patentes existentes de síntesis de ZSM-5..... | 34 |
| Tabla 9: Materia prima requerida y proporción de cada una..... | 37 |
| Tabla 10: Coordenadas encontradas para localización de planta..... | 51 |
| Tabla 11: Evaluación de factores intangibles..... | 53 |
| Tabla 12: Coordenadas encontradas para localización óptima de planta..... | 55 |
| Tabla 13: Evaluación de factores intangibles para localización de planta en República Mexicana..... | 57 |
| Tabla 14: Inversión fija total en miles de pesos (00/100 MN)..... | 61 |
| Tabla 15: Costos directos para los primeros 5 años (00/100 MN)..... | 62 |
| Tabla 16: Costos indirectos para los primeros cinco años (00/100 MN)..... | 64 |
| Tabla 17: Flujo anual de efectivo en miles de pesos (00/100 MN)..... | 65 |

| | |
|--|----|
| Tabla 18: Costos directos con una eficiencia de cristalización del 95% (00/100 MN)..... | 66 |
| Tabla 19: Flujo anual de efectivo con una eficiencia de cristalización del 95% (00/100 MN).... | 67 |
| Tabla 20: TIR anual de los primeros 5 años..... | 68 |
| Tabla 21: Costo de Materia prima anual en miles de pesos..... | 80 |
| Tabla 22: Gasto total del personal en miles de pesos. (00/100 MN)..... | 80 |
| Tabla 23: Gastos de servicio para la producción en miles de pesos. (00/100 MN)..... | 80 |
| Tabla 24: Inversión fija total desglosada en miles de pesos. (00/100 MN)..... | 81 |

RESUMEN

Este trabajo presenta la evaluación técnica, económica, ambiental y social de un proyecto de industria productora de zeolita ZSM-5 en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM); con el objetivo de estimar el riesgo en el mercado, riesgos financieros y la aceptación del producto.

Para la evaluación del proyecto se identificaron 10 empresas en la ZMVM que se dedican a la industria papelera, las cuales son la fuente de materia prima; se hizo un estudio de mercado donde se identificaron los procesos de síntesis ya existentes y la competitividad del proceso que se propone.

Se tomaron en cuenta aspectos como la disposición de materia prima; la disposición de tecnología; la posible localización de la planta; y los aspectos económicos que componen la implantación de una industria de este tipo; así como los riesgos financieros, tecnológicos y aquellos que corre en el mercado el producto final.

Se hizo un análisis económico, planteando un flujo anual uniforme con el cual se determina si el proyecto es rentable o no; también se planteó la situación con las características mínimas de eficiencia del proceso para que éste sea rentable. Junto con esto se hizo un análisis de riesgos para proporcionar más elementos para decidir invertir o no en este tipo de industria.

En el mercado la zeolita ZSM-5 resultó ser un producto con alta demanda. Los principales competidores son Estados Unidos y China, siendo estos lugares donde hay más patentes relacionadas con la síntesis de esta zeolita. Anualmente se consumen aproximadamente 77.200 toneladas de esta zeolita en el mundo, y existe la posibilidad de cubrir gran demanda potencial insatisfecha.

El resultado del análisis del proyecto de elaboración de zeolita ZSM-5 por el momento, no es factible porque la eficiencia actual del proceso es del 20%, lo que resulta en una materia prima muy costosa que impacta en el costo de fabricación, y el costo de la zeolita ZSM-5 en el mercado no alcanza a cubrir los costos de operación.

Se recomienda seguir con la investigación de síntesis de ZSM-5 para lograr reducir los costos de producción. Por un lado se deben de reducir los costos de materia prima y se debe aumentar la eficiencia del proceso.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

En busca de otras alternativas de uso de los lodos de la industria papelera, el Instituto de Ingeniería, con apoyo del departamento de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal, está trabajando en un proyecto para reducir los gases del efecto invernadero en la ciudad de México. La propuesta del Instituto de Ingeniería es reducir estos gases con ayuda de un catalizador con base en zeolita ZSM-5; la cual puede ser sintetizada a partir de los lodos producidos en la industria papelera. Existen registros de que se ha logrado sintetizar zeolitas a partir de esta fuente; por ejemplo Wajima, *et al* en el año 2005 publicaron un artículo explicando las condiciones y el método para la síntesis de zeolitas P. ^[1]

Este trabajo representa un fragmento de la primera parte del proyecto mencionado; la cual es la síntesis de la zeolita ZSM-5 a partir de los lodos de la industria papelera. Para la síntesis de esta zeolita se requiere una fuente de aluminio y una fuente abundante de silicio; con los análisis que se han hecho en el laboratorio se ha encontrado que los lodos provenientes de la industria papelera no tiene suficiente silicio para la formación de la zeolita deseada, si se utilizaran productos convencionales como fuente de silicio para este proceso los precios de producción subirían, por lo cual se optó utilizar vidrio plano como materia prima alternativa. El vidrio se utiliza triturado, y se puede obtener de varias fuentes como la separación de basura (botellas, frascos, etc.), o de la industria de la construcción, por citar algunos ejemplos.

El vidrio es un recurso cuantioso dentro del país, y dentro de la ZMVM. En el Inventario de Residuos Sólidos del Distrito Federal ^[2] del año 2009 se reportaron 154.92 toneladas por día de vidrio generado como residuo, de los cuales se recuperó el 44%. La principal rama generadora de vidrio dentro del DF es la industria, con lo que se confirma que el vidrio es un residuo abundante, y su aprovechamiento cuando este proviene de la basura contribuye con la reducción de la misma, y resulta más económico que comprar cualquier otro complemento de silicio.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Zeolitas

Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos cristalinos. La primera zeolita se describió en 1756, por Cronstedt, un mineralogista sueco, que les dio el nombre de origen griego “piedras hirviendo”, refiriéndose a la evolución del vapor de agua cuando la roca se calienta. Actualmente se conocen unas cincuenta zeolitas naturales y más de ciento cincuenta se sintetizan para aplicaciones específicas como la catálisis industrial o como carga en la fabricación de detergentes.

Hoy en día, el término zeolita incluye otros minerales naturales y sintéticos que tienen un esqueleto cristalino en forma de tetraedro unidos entre sí mediante átomos comunes de oxígeno. En los espacios libres, se encuentran los cationes de compensación (microporosidad). Esta estructura permite el intercambio de materia entre el espacio libre y el medio que lo rodea; sin embargo, el intercambio se encuentra limitado por el espacio intermolecular de cada zeolita, el cual depende de su estructura y componentes.

Se puede clasificar a las zeolitas según el tamaño del poro. Las de poro extra grande (mayor a 9 Å, y de 18 átomos de oxígeno), poro grande (6 Å < poro < 9 Å 12 átomos de oxígeno), poro mediano (5 a 6 Å, y 10 átomos de oxígeno) y de poro pequeño (3 a 5 Å, 8 átomos de oxígeno).

La propiedad de interés en éste trabajo es que éstas al deshidratarse formen una estructura tridimensional abierta. Se sustituye el Si^{4+} por el Al^{3+} , como consecuencia, presenta un exceso de carga negativa desarrollando una capacidad de adsorción de gases y vapores, a lo que se le llama intercambio catiónico; los iones desplazados por otros de amoníaco o metales pesados, en este caso el propósito es que sean gases NO_x .

Las características generales de las zeolitas son: baja densidad; retienen partículas; al deshidratarse, su estructura no se ve afectada; tienen una gran capacidad de adsorción de gases y vapores; tiene capacidad de intercambio de iones; y además, poseen propiedades catalíticas (aceleran reacciones químicas).

Las zeolitas, por sus propiedades se utilizan en áreas como la agricultura, donde son adicionadas a los fertilizantes, a mejoradores de suelo, compostas o como parte de sustratos para hidroponía; en la ganadería en donde son utilizadas para algunos alimentos de animales de granja y en la acuicultura para reducción de concentración de metales pesados para la producción de camarones y peces; como aligerantes de concretos y bloques; para el tratamiento de aguas y purificación de gases; etc.

2.2 Efecto invernadero

El efecto invernadero es la retención de calor en la baja atmósfera debido a la absorción y a la re-radiación de las nubes y de algunos gases. Esto ocurre debido a que la tierra recibe energía del sol por medio de radiación infra-roja; la cual llega siendo de onda corta. Una parte de las radiaciones es reflejada por las nubes antes de entrar a la atmósfera, casi en su totalidad de lo que resta de radiación es absorbida por la tierra, de esta manera la superficie terrestre se calienta, y un mínimo de radiación es reflejada por la tierra.

La radiación infra-roja emitida por la tierra es radiación de onda larga. De esta, una parte sale de la atmósfera y otra es reflejada de nuevo a la tierra gracias a que es absorbida en parte por los gases de efecto invernadero. Estos gases se encuentran en la atmósfera en pequeñas cantidades y reflejan hacia todas las direcciones las radiaciones térmicas de onda larga, provocando que las radiaciones de onda larga regresen a la tierra y vuelvan a ser reflejadas por ésta.

Algunos gases ahora identificados como de efecto invernadero, se encuentran en la atmósfera normalmente, sin embargo su concentración en la atmósfera ha ido cambiando a lo largo del tiempo; a medida que la población ha ido aumentando y las industrias junto con esta, las concentraciones de algunos gases han ido en aumento también. Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) los gases de efecto invernaderos son aquellos componentes de la atmósfera, naturales como producidos por actividad humana, que absorben y reemiten la radiación infrarroja.

Los gases de efecto invernadero naturales son los responsables de mantener al planeta a temperaturas óptimas para la vida; y estos son: vapor de agua (H_2O), bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), Ozono (O_3). Sin embargo, hay otros gases que también producen el efecto invernadero pero que son generados por la actividad humana; y estos son: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), perfluorometano (CF_4) y

perfluoroetano (C_2F_6), hidrofluorocarbonos (HFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). [Protocolo de Kioto]. Existen otros gases que además de destruir la capa de ozono también tienen la capacidad de reflejar la radiación de ondas largas, estos no se encuentran dentro del Protocolo de Kioto pero sí dentro del protocolo de Montreal; y son: clorofluorocarbonos (CFC), halones y clorocarbonos (bromuro de metilo (CH_3Br), tetracloruro de carbono (CCl_4) metil cloroformo (CH_3CCl_3)).

2.3 Descripción de conceptos y términos

- Absorción: proceso por el cual un sólido incorpora líquidos a su volumen.
- Adsorción: proceso por el cual un sólido retiene líquidos en su superficie.
- Calcinación: proceso mediante el cual se calienta una sustancia a temperaturas muy elevadas, en el caso de la ZSM-5 los lodos se calientan arriba de $550^{\circ}C$, con lo que se logra eliminar agua y materia orgánica, convirtiendo los lodos en polvo.
- Cristalización: proceso mediante el cual se forma un sólido cristalino, en el caso de la ZSM-5 se forma a partir de una disolución.
- Hidrólisis: reacción química en la que una molécula de agua se divide y sus átomos forman una molécula distinta con el componente que se encontraba al inicio.
- Lixiviación: proceso de extracción de uno o más solutos de un sólido, en el caso de la ZSM-5 se separa el calcio de las cenizas de los lodos.
- Lodos residuales de la industria papelera (paper sludge): lodos que quedan después del tratamiento de aguas residuales al finalizar el proceso de producción de papel.
- Síntesis: formación artificial de un cuerpo compuesto a partir de sus elementos.
- Vidrio: Según la ASTM (*American Society for Testing and Materials*) es un material inorgánico fundido que se ha enfriado hasta un estado rígido sin experimentar cristalización.
- Zeolitas: del griego *Zeo*: que ebulle y *lithos*: piedra. Son una familia de minerales aluminosilicatos cristalinos. Existen zeolitas naturales y sintéticas, tienen un esqueleto cristalino en forma de tetraedro unidos entre sí mediante átomos comunes de oxígeno. En los espacios libres, se encuentran los cationes de compensación (microporosidad). Esta estructura permite el intercambio de materia entre el espacio libre y el medio que lo rodea; el intercambio se encuentra limitado por el espacio intermolecular de cada zeolita, el cual depende de su estructura y componentes. ^[3]

CAPÍTULO 3

ANTECEDENTES

Los lodos que se producen en la industria papelera, después del tratamiento de sus aguas residuales deben ser confinados en un lugar autorizado para lo cual se debe pagar una cuota en el tiradero de basura o el lugar donde se desecharán. Se ha demostrado en varias partes del mundo que utilizar estos lodos como materia prima para hacer composta y/o vermicompostaje contribuye con la ecología y resulta con buenos productos, algunos ejemplos se mencionan más adelante en la aplicación en suelos.

En la Zona Metropolitana de Valle de México (ZMVM), deshacerse de estos residuos es relativamente fácil; si se trata de lodos provenientes de fabricación de papel con pulpa virgen (lodos primarios) son regalados a otras empresas que se dedican a la producción de papel a partir de reciclaje, estas empresas no pagan por los lodos, pero sí cubren el costo del transporte; y los lodos provenientes de estas industrias recicladoras (lodos secundarios) son enviados a otras empresas para que éstas les den otros usos dentro de su proceso productivo, por ejemplo en la fabricación de láminas. Éste último transporte es pagado por la productora de papel a pesar de que es materia prima para las industrias destino.

Existen varios antecedentes de la utilización de los lodos de la industria papelera, y hay una publicación de la síntesis de zeolitas P a partir de estos lodos. Entre algunas aplicaciones que se le han dado a estos lodos son:

Construcción:

- a) En el 2007 en la escuela de Ingeniería de Antioquia Medellín, se propuso utilizar los lodos en la fabricación de paneles prefabricados, los cuales son elementos no estructurales para casa habitación; este tipo de estructura no soporta carga. Propusieron utilizar una mezcla de 20% de peso en yeso y 80% de lodo de papel. Las ventajas que ofrecieron estos paneles son: un 24% menos de peso que los paneles comerciales de yeso y un 64,7% menos que las de fibrocemento; además, cumplieron con las especificaciones establecidas por la ASTM.^[4]
- b) En el 2010 los investigadores Yan, Sagoe-Crentsil y Shapiro publicaron un artículo donde propusieron utilizar los lodos como materia prima para la fabricación de cemento con arena, para hacer bloques de mampostería y revoques de cemento. Los resultados obtenidos fueron un cemento con menor flujo, o sea mayor viscosidad, y con un tiempo de secado mayor al del cemento normal.^[5]

Suelos:

- c) En el 2008, en el primer Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Castellón, en Castellón España, se presentó una propuesta experimental del uso de estos lodos para atenuar la movilidad de metales pesados en suelos. Debido a distintas actividades industriales, principalmente mineras, los suelos se encuentran contaminados con metales pesados como cadmio, plomo, zinc, etc. En este experimento se mezclaron los lodos con la tierra y se sometieron a pruebas de lixiviación para comprobar si había retención de metales pesados. Los resultados fueron favorables: Los metales pesados fueron retenidos.^[6]
- d) En varios artículos se ha propuesto utilizar los lodos papeleros como un aditivo para mejorar la tierra de la agricultura. Por ejemplo, en el 2004 Gea, Artola y Sánchez publicaron un artículo donde propusieron utilizar los lodos de destintado para compostaje.^[7]
- e) En el 2008 Pardini, Vila, Gispert, Pelach y Mutjé publicaron un artículo donde propusieron utilizar los lodos de destintado como reparador de suelos.^[8]

Otros usos:

- f) En el 2002 Beauchamp, Boulanger, Matte y Saint-Laurent publicaron una propuesta para utilizar los lodos de papel como cama para animales de granja, sustituyendo la paja. Esta idea está sustentada en el hecho de que los lodos tienen una capacidad de adsorción de 250% (humedad) hasta 700% (secado).^{[6][9]} Propusieron camas para puercos y gallos, y observaron que no hay efectos secundarios en los animales en caso de que estos se coman su cama.^[9]
- g) En el 2005 Takaaki Wajima, Mioko Haggaa, et al., publicaron un artículo donde proponen sintetizar zeolita P a partir de lodos provenientes de la industria papelera, utilizando como base diatomeas como medio de control. Encontraron que las zeolitas sintetizadas de este manera tienen una capacidad de intercambio iónico de hasta 2.5 veces más que las naturales.^[1]
- h) En el 2011 Barriga, Méndez, Cámara, Guerrero y Gasco publicaron un artículo a cerca de la síntesis de zeolita NaP-GIS a partir de lodos de la industria papelera y dos diatomeas diferentes, utilizando una temperatura de 110 °C.^[10]

3.1 Objetivos

Objetivo general

Evaluar la factibilidad técnica, económica, ambiental y social de la síntesis de zeolitas ZSM-5 a partir de los lodos generados de la industria papelera y residuos de vidrio y estimar el riesgo en el mercado financiero y aceptación del producto.

Objetivos específicos

Analizar en el ámbito nacional e internacional la factibilidad técnica y económica de la síntesis de zeolitas.

Hacer un estudio de mercado en donde se incluya la descripción del producto, análisis de la demanda y competencias.

Mediante un análisis de factibilidad política, ambiental, social y con ayuda de los métodos centro de gravedad y factores ponderados para la materia prima; determinar la localización óptima para instalar una planta procesadora de zeolitas en ZMVM y en la República Mexicana.

Hacer un análisis de riesgos que comprenda el mercado, la tecnología y financieros.

3.2 Justificación

Un ingeniero industrial tiene una formación que le permite involucrarse en cualquier proceso productivo y en cualquier actividad administrativa; su formación le permite, entre muchas otras cosas, la evaluación de proyectos. La cual no sólo incluye una actividad, si no muchas más como lo son la planeación, el diseño de procesos, estudio de mercado, evaluación económica, localización de planta, etc.

Este trabajo incluye todas las actividades mencionadas. Para la evaluación del proyecto de elaboración de ZSM-5 en la ZMVM, la Ingeniería Industrial toma un papel muy importante. El objetivo es una excelente toma de decisiones; para lo cual, esta rama se encarga de presentar todos los elementos para tomar la mejor opción.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo propuesto la metodología de este estudio se dividió en cuatro partes:

I) Delimitación de área de estudio y localización de las plantas productoras de papel para la localización de la planta productora de ZSM-5, así como sus coordenadas geográficas. Se utilizó el Mapa Digital de México de consulta en la página del INEGI.

II) Diagnóstico Integral de la Situación Actual (DISA), el cual sirve como herramienta para conocer el estado al día de hoy del proyecto y de la problemática que lo envuelve, a continuación se describen cada uno de los análisis realizados.

- i. Análisis interno
- j. Análisis del entorno
- k. Fortalezas y Debilidades
- l. Amenazas y Oportunidades

A estos dos últimos incisos se les conoce juntos como FODA.

III) Estudio de mercado: Para el estudio de mercado y búsqueda de patentes se utilizó el buscador de patentes del INVI, Google Patents, la WIPO, SIPO, Japan Patent Office y la USPTO; así como las bases de datos ABI Inform y Compendex EI-Village.

VI) Cálculo de costos. Para el cálculo de costos se utilizó un software realizado por Cadena, 2012.⁽¹¹⁾

CAPÍTULO 5 RESULTADOS

5.1 Delimitación del área de estudio y localización de las plantas

Antes de comenzar con el estudio de factibilidad, el primer paso a realizar es delimitar el área de estudio y localizar las plantas productoras de papel en la ZMVM (el D.F. y 32 municipios del Estado de México); según la Cámara del Papel ⁽¹²⁾, en México hay 27 empresas que se dedican a la fabricación del papel con 58 plantas en 20 Estados de la república, la mayoría se encuentra concentrada en el Estado de Nuevo León y en la ZMVM.

Para comenzar con la investigación, se contactaron cuatro plantas productoras de distintos papeles y se analizaron sus lodos con fluorescencia de rayos X, esperando encontrar altas concentraciones de aluminio y silicio. Las empresas donde se hicieron los muestreos fueron: Grupo Mayro quien fabrica cartón, Kimbrelly Clark de papel tissue, Scribe papel bond y Smurfit Kappa de México fabrica Folding Carton; para todas se hicieron dos pruebas excepto para la de Folding Carton.

El análisis de fluorescencia de rayos X consiste en irradiarlas con rayos X para que sean emitidos por las mismas nuevamente; cada elemento tiene características propias de emisión. Mediante la detección de las emisiones es posible identificar los elementos componentes de la muestra. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 1: Resultados de fluorescencia de distintas muestras de lodo proveniente de la industria del papel.

| MUESTRAS | %SiO ₂ | %TiO ₂ | %Al ₂ O ₃ | %Fe ₂ O ₃ | %MnO | %MgO | %CaO | %Na ₂ O | %K ₂ O | %P ₂ O ₅ |
|------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|------|-------|-------|--------------------|-------------------|--------------------------------|
| Cartón M1 | 12.82 | 25.14 | 7.35 | 27.08 | 0.17 | 1.13 | 22.2 | 0.44 | 0.19 | 2.58 |
| Cartón M2 | 12.37 | 25.14 | 8.3 | 28.05 | 0.26 | 1.2 | 20.6 | 0.36 | 0.18 | 2.54 |
| Papel Tissue M1 | 21.94 | 1.58 | 18.79 | 0.69 | 0.22 | 1.84 | 54.65 | -0.3 | 0.13 | 0.41 |
| Papel Tissue M2 | 21.17 | 1.62 | 18.74 | 0.47 | 0.27 | 1.85 | 55.7 | -0.35 | 0.09 | 0.41 |
| Papel bond M1 | 8.23 | 0.06 | 2.4 | 0.81 | 0.19 | 3.15 | 85.09 | -0.4 | 0.04 | 0.42 |
| Papel bond M2 | 6.67 | 0.03 | 2.69 | 0.33 | 0.22 | 3.19 | 86.35 | -0.54 | 0.03 | 0.44 |
| Folding carton | 42.12 | 8.552 | 22.983 | 1.6 | 0.05 | 2.915 | 19.46 | 1.051 | 0.74 | 0.496 |

En la tabla 1 se puede observar que las muestras de Papel Tissue y de Folding Carton son las mejores por su alto contenido de Silicio y de Aluminio; a pesar de que los lodos provenientes

de la producción de cartón también tienen alto contenido de estos elementos no fueron elegidos por su alto contenido de titanio y hierro. Con esto, se determinó el tipo de industria papeleras a localizar en la ZMVM, las productoras de papel Tissue y las de Folding Carton (tipo de cartón para empaques) son las industrias de interés para este estudio, además se incluyeron las productoras de empaques de cartón suponiendo que estos lodos tienen composición similar a los lodos de Folding Carton. En la tabla 2 se muestran las empresas ubicadas, su dirección y los productos que hacen, en el Subcapítulo 5.5, Localización de la Planta, se presenta un mapa con la ubicación de las mismas.

Tabla 2: Lista de empresas de interés localizadas en la ZMVM.

| EMPRESA | DIRECCIÓN | PRODUCTOS |
|--|---|---------------------------------|
| BIO PAPPTEL, S.A.B. DE C.V. | Eje 5 Norte Poniente 140 No. 840 Industrial Vallejo, Azcapotzalco, Distrito Federal | Empaques |
| BIO PAPPTEL, S.A.B. DE C.V. Megaplanta de empaques | Eje 5 Norte Poniente 140 No. 840 Industrial Vallejo, Azcapotzalco, Distrito Federal | Empaques y papel para impresión |
| KIMBERLY CLARK DE MÉXICO, S.A.B. DE C.V. | Av. de las Torres # 87. Col. San Jose Jajalpa, Ecatepec Ed. De México | Tissue |
| MANUFACTURAS SONOCO, S.A. DE C.V.- Planta Izcalli | Carretera Tepotzotlan La Aurora, Col. ExHacienda San Miguel, Cuautitlán Izcalli, Edo. De México | Tissue y cartones |
| MANUFACTURAS SONOCO, S.A. DE C.V.- Planta Atizapán | Atizapan De Zaragoza, Estado De Mexico, Colonia López Mateos | Tissue y cartones |
| MANUFACTURAS SONOCO, S.A. DE C.V.- Planta Santa Clara | Hidalgo No. 175 Col. Santa Clara, Ecatepec, Edo. De México | Tissue y cartones |
| PAPELES ULTRA, S.A. DE C.V. | Carretera Federal México-Puebla KM. 24, Ixtapaluca Edo. De México | Empaque |
| SCA CONSUMIDOR MÉXICO, S.A. DE C.V. | Ave. de las Torres # 146, Col Jajalpa, Ecatepec Edo. De México | Tissue |
| SMURFIT CARTÓN Y PAPEL DE MÉXICO, S.A. DE C.V. | Carretera México Laredo Km 15.5, Col. Santa Clara Coatitla, Ecatepec Edo. De México | Folding Carton |
| SMURFIT CARTÓN Y PAPEL DE MÉXICO, S.A. DE C.V.- Cerro Gordo Folding Cartons | Av. 16 de Septiembre No.25, Col. Alce Blanco, Naucalpan de Juárez, Edo. De México | Folding Carton |

En el caso del vidrio se localizaron las plantas de recolección más grandes de las empresas recicladoras de vidrio; El centro de recolección de Vitro se encuentra en Los Reyes la Paz, y en la Delegación Gustavo A. Madero hay cuatro lugares que se dedican a la compra-venta de vidrio únicamente, dos en la colonia Lomas de Cuauhtepic, y las otras dos en las colonias Siete de Noviembre y Zona Escolar.

5.2 Diagnóstico Integral de la Situación Actual

El Diagnóstico Integral de la Situación Actual (DISA) es una herramienta importante para conocer el estado al día de hoy del proyecto y de la problemática que lo envuelve, a continuación se describen cada uno de los análisis realizados.

a) Análisis interno

El Instituto de Ingeniería de la UNAM está haciendo el proyecto de investigación referente a la síntesis de zeolitas a partir de los lodos producidos en la industria papelera; el proyecto fue autorizado y financiado por el departamento de Ciencia y Tecnología del Gobierno del Distrito Federal (GDF).

En México hay tecnología suficiente para sintetizar las zeolitas; además, existe un gran interés por parte de las autoridades ambientales para esto, ya que estas zeolitas serán materia prima para un catalizador que será utilizado en la disociación de gases NOx; aunado a que es una buena propuesta para disposición final de residuos sólidos. Esto representa una ventaja puesto que se puede conseguir un apoyo por parte de estas autoridades para que el proyecto se lleve a cabo.

b) Análisis del entorno

En la ciudad de México según la cámara del Papel, hay 10 empresas productoras de papel que cumplen con las especificaciones requeridas.

Se estima que por cada tonelada de papel producido a partir de reciclaje se producen 60 m³ de agua residual ^[13], y 0.5 toneladas de lodos secos. ^[14]

Los lodos que se producen en la industria papelera no son considerados residuos peligrosos, sin embargo la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 establece los límites máximos permisibles de metales pesados, así como patógenos y parásitos en los lodos para su disposición final y tratamiento.

Hay un proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-161-SEMARNAT-2011 ⁽¹⁵⁾ que desea establecer los criterios para clasificar los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo. Según el proyecto de norma, los lodos por ser provenientes de una planta de tratamiento de aguas están sujetos a presentar plan de manejo siempre y

cuando se produzcan más de 100 ton anuales; con lo que obligaría a las empresas papeleras que hacen papel a través del reciclaje a presentar plan de manejo de residuos si su producción anual promedio se encuentra por arriba de las 200 toneladas.

5.2.1 Fortalezas y Debilidades, Oportunidades y Amenazas

El FODA es la síntesis del DISA, se muestran las tablas 3 y 4 con cada una de las partes analizadas: Fortalezas y Debilidades, Oportunidades y Amenazas.

Tabla 3: Complemento de DISA: Fortalezas y Debilidades.

| FORTALEZAS | DEBILIDADES |
|---|--|
| Se tiene la capacidad tecnológica para desarrollar el proyecto de investigación. | La capacidad tecnológica no sólo compete al Instituto de Ingeniería, si no que se tiene que hace uso de la tecnología del Instituto de Física. |
| Se cuenta con el recurso humano capacitado para desarrolla el proyecto de investigación. | Para tener el personal se debe recurrir a otras áreas de investigación. No se cuenta con tecnología propia. |
| Se tiene la información necesaria relativa a los antecedentes y aspectos generales. | No se tiene antecedentes de síntesis de ZSM-5 a partir de lodos de la industria papelerera. |
| Los resultados obtenidos pueden ser aprovechados vendiendo o rentando la patente. | No se cuenta con un método para dar a conocer los logros a otras industrias, además de que esto implicaría una inversión de promoción. |
| Los beneficios serían para el medio ambiente, para la sociedad y el entorno. | Como se trata de algo nuevo, el resultado inmediato no será significativo/notorio para la sociedad. |

Tabla 4: Complemento de DISA: Oportunidades y Amenazas.

| OPORTUNIDADES | AMENAZAS |
|--|--|
| Es la primera vez que se producirá ZSM-5 a partir de lodos de la industria papelerera. | No se tiene la certeza de que la zeolita cumpla con las características necesarias para su uso final, lo que no asegura su éxito en el mercado porque las empresas tienen desconfianza en arriesgar su tiempo y dinero en un producto nuevo. |
| En México no se produce la zeolita ZSM-5. | La zeolita ZSM-5 se ofrece a nivel internacional con mayor experiencia en ventas y distribución por lo que tienen una ventaja sobre la industria de zeolita ZSM-5 Mexicana. |
| Por ser una zeolita sintética existe un mercado amplio para su venta en México. | La producción de zeolita con los lodos disponibles no puede ser en grandes cantidades porque no se tendría suficiente cantidad de lodos. |
| La materia prima para el proyecto se encuentra disponible dentro del Distrito Federal. | Otras empresas “utilizan” los lodos dentro de sus procesos, lo que no asegura que los lodos puedan ser utilizados para el proyecto. |
| La zeolita ZSM-5 tiene diversos usos en diferentes industrias, sobre todo en petrolera y química. | Otros productores de ZSM-5 y derivados ya cubren el mercado Mexicano, lo que representa una competencia la industria de ZSM-5 nacional. |

Tabla 4: Complemento de DISA: Oportunidades y Amenazas. (Continuación)

| OPORTUNIDADES | AMENAZAS |
|--|--|
| La tecnología para la síntesis de ZSM-5 disponible en México es suficiente para su producción. | La tecnología necesaria es muy cara por lo que hay equipos que no se pueden comprar, tal es el caso del Difractómetro de rayos X. Esto cual implica una renta del equipo o servicio. |
| Se cuenta con el apoyo del Gobierno del Distrito Federal para el desarrollo de la investigación. | No se sabe si se contará con el apoyo necesario por parte del gobierno, ya que el 1 de Julio del presente año pasamos el periodo de elecciones presidenciales en México, y las prioridades de cada partido cambian de acuerdo a sus intereses. |

5.3 Estudio de mercado

El objetivo del estudio de mercado es observar a grandes rasgos la demanda y producción de ZSM-5 a nivel mundial, así como la competencia que existe entre las patentes registradas y utilizadas en el mercado para la producción de la misma.

5.3.1 Descripción del producto

La zeolita ZSM-5, por sus siglas: “Zeolite Socony Mobil”, que corresponde a la empresa que la patentó, y el número 5 corresponde a la apertura de los poros en angstroms. Se caracteriza por su alto contenido de silicio; su fórmula química es $\text{Na}_n \text{Al}_n \text{Si}_{96-n} \text{O}_{192} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$; donde n varía entre 0 y 27. Esta Zeolita fue patentada por Socony-Vacuum Oil Company hoy Exxon Mobil Corporation.

Naturaleza y usos de producto

La zeolita ZSM-5 tiene usos muy específicos que a continuación se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Usos de la zeolita ZSM-5.

| PROCESO EN EL QUE SE UTILIZA | PRODUCTO FINAL |
|---|--|
| Desparafinado Catalítico | Aceites lubricantes. |
| Desproporción de tolueno | Disolventes. |
| Isomerización de Xileno | Ácido tereftálico: diluyente de pinturas y barnices, así como aditivo de alto octanaje en aviones. |
| Crackeo Catalítico Fluido (FCC) | Es la base del catalizador para crackeo del petróleo. |
| Conversión de Metanol a gasolina | Gasolina. |
| Deshidratación catalítica para producir dimetiléter | Combustible para turbinas de gas, aditivo o combustible alternativo (diesel), sustituto de LPG, propelente y refrigerante. |

Tabla 5: Usos de la zeolita ZSM-5. (Continuación)

| PROCESO EN EL QUE SE UTILIZA | PRODUCTO FINAL |
|---|---|
| Aromatización de hidrocarburos de bajo carbono | Hidrocarburos aromatizados. (principalmente propano) |
| Adsorción | Base de catalizador para proceso SCR, o ablandador de aguas |
| Mover formaldehidos y orgánicos volátiles | Tratamiento de aguas. |
| Desalquilación selectiva | Desalquilación de tolueno a benceno y de xileno a benceno. |
| Separación de ácido acético y agua | Ácido acético y agua. |
| Catálisis DCC (Química combinatoria dinámica) | Síntesis de propileno. |

5.3.2 Análisis de la demanda

En el año 2008 se produjeron 1.8 millones de toneladas de zeolitas sintéticas; de las cuales el 72% se utiliza en detergentes, el 17% en catalizadores, el 10% en adsorción y el 1% restante en otros usos. El mercado principal de la zeolita ZSM-5 se encuentra en los catalizadores y otro poco en adsorbentes. De las zeolitas sintéticas destinadas a catalizadores, casi el 99% es destinado a FCC en donde las principales son la zeolita Y y la ZSM-5. ⁽¹⁶⁾

Si el 20% de la zeolita destinada a FCC y el 3% de las zeolitas destinadas a adsorbentes es zeolita tipo ZSM-5, para el 2008 el consumo sería de 66,000 toneladas aproximadamente. Suponiendo un crecimiento anual de la demanda del 4%, para el 2012 se estarían consumiendo 77,200 toneladas.

Consumidores de ZSM-5:

Como ya se había mencionado los consumidores potenciales de la ZSM-5 es la industria química productora de catalizadores basados en ZSM-5; y una porción muy pequeña del mercado que compra esta zeolita para la purificación de agua, adsorción de gases, investigación y otros usos. En México los principales consumidores de ZSM-5 son los de los últimos rubros mencionados: purificación de agua, adsorción de gases, investigación y otros usos.

Por ser un producto difícil de clasificar por la Secretaría de Economía en fracción arancelaria, no se tiene suficiente información sobre los consumidores específicos de este producto, así como de los volúmenes consumidos.

Importaciones y exportaciones

En México no se produce la zeolita ZSM-5, los consumidores deben comprarla a alguna empresa especializada e importarla. Para importar la Zeolita se requieren pagos de impuestos, seguros y transporte.

La zeolita ZSM-5 por ser materia prima de la industria química se encuentra clasificado con el código arancelario mexicano para el cálculo de la Tarifa de La Ley de impuestos Generales de Importación y de Exportación siguiente: 3815.90.99. Dónde:

38: Corresponde a productos diversos de la industria química.

3815: Corresponde a iniciadores y aceleradores de reacción y preparaciones catalíticas no expresadas ni competidas en otra parte.

3815.90 Sobre soporte: los demás

3815.90.99 Los demás (por no ser catalizador preparado)

De acuerdo al Programa de Promoción Sectorial PROSEC, por tratarse de una materia prima dentro de un proceso no paga tasa arancelaria en México. Sin embargo, de acuerdo a la Ley Aduanera se debe pagar un 16% de IVA al entrar al país; el cual se calcula a sobre el precio de la zeolita ZSM-5, el costo de transporte y el de seguro.

La zeolita es producida principalmente en China y Estados Unidos; cuando la ZSM-5 viene de China se paga una prueba de manejo de residuos peligrosos, en la que se detecta si el químico transportado es peligroso o no; como China pertenece a la Organización Mundial del Comercio y su relación comercial con México es de Compensación Comercial según el Acuerdo en Materia de medidas de Remedio Comercial firmado el 1 de junio del 2008, la tasa arancelaria es aproximadamente el 5% del valor del producto; el cual también se calcula sobre el precio de la materia prima más precio de transporte más precio del seguro. Cuando la ZSM-5 viene de Estados Unidos, por el Tratado de Libre Comercio no se paga impuesto arancelario en ninguno de los países (México y EU), pero como se había mencionado antes se debe pagar el 16% de IVA al entrar al país.

Demanda potencial insatisfecha

En México, los consumidores potenciales de zeolita ZSM-5 son PEMEX, aunque este lo consume en muy bajas cantidades e intermitentemente puesto que consume catalizadores basados en ZSM-5; la industria del transporte con tecnología que está bajo la norma Euro-5; las industrias que requieran reducir sus emisiones de NOx en chimeneas; y las universidades o centros de investigación.

Los catalizadores que consume PEMEX son comprados a empresas químicas que les proveen todos los catalizadores que necesitan. Cada año se lanza una convocatoria para la licitación de proveedores en la que participan las tres empresas más grandes de la industria química en la rama de Catalizadores: Albemarle Corporation, W. R. Grace & Co. y BASF SE; de donde se elige una para ser la proveedora de todos los catalizadores utilizados en todos los procesos durante un año. En este caso no hay demanda insatisfecha ya que estas empresas cubren todas las necesidades de catalizadores de todos tipos.

En la industria del transporte existen varias empresas que utilizan el sistema Reducción Catalítica Selectiva (RCS) como una herramienta de reducción de emisiones a la atmósfera en camiones. Por ejemplo ADO, que desde el año 2009 comenzó a comprar camiones Mercedes-Benz con tecnología verde, los cuales trabajan con un tecnología llamada Blue-Tec. Estos camiones tiene la tecnología suficiente para cubrir las legislaciones Euro 4 y Euro 5, la cual incluye un sistema de RCS. La empresa Volvo también ha incluido esta tecnología en sus nuevos camiones. Aunque estos camiones son hechos en Estados Unidos o Brasil, y las materias primas las tienen ahí, aparentemente no hay demanda potencial insatisfecha; sin embargo hay que considerar el mantenimiento de estos camiones y del sistema, que en este caso es donde hay que ver una oportunidad para la zeolita ZSM-5.

Y finalmente, las empresas que por compromiso con el medio ambiente o por su excesiva emisión de gases NOx requieren de un sistema de RCS, para el cual requieren ZSM-5, y la única manera de conseguirla es importándola; son compradoras potenciales de este producto.

Hablando a nivel internacional, las empresas productoras de catalizadores que no cubren su demanda de ZSM-5 con su producción, son clientes potenciales de zeolita ZSM-5.

5.3.3 Análisis de la competencia

La competencia son las empresas productoras de ZSM-5, pero también son las patentes para producción de la misma, ya que el proyecto del Instituto de Ingeniería está proponiendo un nuevo método con materia prima diferente para la síntesis de ésta. Se identificó que la empresa ExxonMobil tiene muchas patentes, tiene su división de química donde produce esta zeolita; y además, vende sus patentes para que otras empresas químicas muy grandes como Grace Davidson la produzcan.

Patentes presentes en el mercado

Tal como se muestra en la tabla 6, se encontraron 34 patentes vigentes en el mundo, relacionadas con la síntesis de Zeolita ZSM-5. Estados Unidos tiene 15 patentes seguido por China con 11; en la Unión Europea tiene 7; Corea del Sur 5; Japón y México tiene 3; Singapur y Sudáfrica tiene 2; y Gran Bretaña, España y Argentina tienen 1. A continuación se muestra una tabla de las patentes encontradas para la síntesis de ZSM-5; para las patentes de Japón no se tiene la información completa ya que la Japan Patent Office no publica en su página los resúmenes.

Tabla 6: Patentes de síntesis de zeolita ZSM-5

| EMPRESA | PAÍS | AUTORES | TÍTULO | FECHA DE PUBLICACIÓN | RESUMEN |
|-----------------|------|-------------------------|--|----------------------|---|
| MOBIL OIL CORP. | US | Clarence D. Chang et al | Synthesis of crystalline ZSM-5 type material | 29/12/1992 | Una nueva forma de sintetizar zeolita tipo ZSM-5, y utilizado como catalizador por compuesto orgánico. |
| MOBIL OIL CORP. | US | Dwyer et al | Synthesis of large crystal size ZSM-5 | 26/01/1993 | Este proceso involucra el uso de dos cationes orgánicos; especialmente tetrapropilamonio (TPA) y tetrametilamonio (TMA); además de añadir una fuente extra de aluminio como por ejemplo el sulfato de aluminio. |

Tabla 6: Patentes de síntesis de zeolita ZSM-5 (continuación)

| EMPRESA | PAÍS | AUTORES | TITULO | FECHA DE PUBLICACIÓN | RESUMEN |
|----------------------------------|----------------|---------------------------------|---|----------------------|--|
| MOBIL OIL CORP. | AR, EP | Oldson, David Harold | Synthesis of large crystal size ZSM-5 | 30/07/1993 | Método para producir cristales largos de ZSM-5 con un diámetro promedio entre 1 y 100 micrones a partir de una reacción de alúmina, silicio, óxido de metal alcalino, agua y compuestos tetraalcalinoamonios. Incluyendo un ion de amonio cuya relación OH/SiO ₂ esta entre 0.1 y 0.5 y la relación amonio/SiO ₂ entre 0.01 y 1.0. |
| MOBIL OIL CORP. | US | Chen | Zeolite synthesis with aminoacid directing agents | 12/11/1996 | Método para sintetizar zeolitas con aminoácidos como agente directriz; en el texto se incluye el ejemplo de la ZSM-5; y las figuras mostradas son de ZSM-5 |
| EXXON CHEMICAL PATENTS INC. | MX | Johanes Petrus Verduijin et al. | Zeolite synthesis with aminoacid directing agents | 17/09/1997 | La presente invención se refiere a una zeolita cristalina de tectosilicato ZSM-5 que se caracteriza porque comprende aglomerados sustancialmente en forma de aguja. |
| EXXON CHEMICAL PATENTS INC. | US, WO 1995 | Johanes Petrus Verduijin et al. | Proceso para producir zeolita cristalina de tectosilicato ZSM-5 y producto resultante | 21/07/1998 | Tectosilicato ZSM-5 cristalinas deben ser preparadas del tal forma que quede aglomerada en forma de aguja. |
| CHINA PETRO-CHEMICAL CORPORATION | US | Wang et al | Rare earth-ZSM-5/ZSM-11 cocrystalline zeolite | 09/02/1999 | Una tierra rara que contiene ZSM-5 y ZSM-11 con una estructura cocrystalina. Originalmente sintetizada en un estado anhídrido. |
| MOBIL OIL CORP. | US, SG, ZA, EP | Chen et al | Large crystal ZSM-5, its synthesis and use | 11/01/2000 | Se sintetiza con un aminoácido como agente directriz. |
| CHEVRON U.S.A. INC. | | MILLER, Stephen, J. | Method for making ZSM-5 zeolites | 31/05/2001 | Es un nuevo método para hacer ZSM-5; se prepara una mezcla reactiva libre de plantilla incluyendo por lo menos una fuente activa de silicio, germanio o ambos. Se calienta la reacción hasta condiciones de cristalización. |

Tabla 6: Patentes de síntesis de zeolita ZSM-5 (continuación)

| EMPRESA | PAÍS | AUTORES | TITULO | FECHA DE PUBLICACIÓN | RESUMEN |
|---|------------|---------------------------------------|---|----------------------|---|
| SHANXI INST. OF COAL CHEMISTRY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES | Ch | Hu Jinxian;Li Yongwang;Xi ang Hongwei | Method for quickly synthesizing small crystal grain ZSM-5 molecular sieve by using guide agent method | 18/07/2001 | Mejora a un proceso de elaboración de ZSM-5 que en vez de plantilla orgánica, utilizan un agente director. |
| KOREAN INSTITUTE OF GEOSCIENCE AND MINERAL RESOURCES | KS | Jung, Geon Saeng | Synthesis of ZSM-5 zeolite from serpentine | 07/11/2001 | Una síntesis de ZSM-5 de serpentina $Mg_3SiO_5(OH)_4$, utilizan carbón blanco en vez de solución de silicio como una fuente de SiO_2 , que es para disminuir el tiempo de reacción y obtener una temperatura más baja de reacción. |
| CHK GROUP, INC. | US | Vempati; Rajan K. | ZSM-5 made from siliceous ash | 29/04/2002 | Método para hacer ZSM-5 partir de cenizas de cáscara de arroz o cualquier desperdicio que contenga silicio amorfo (SiO_2); lo que tiene como resultado una ZSM-5 con un proceso más barato. Primero se ponen las cenizas en agua, después se añade una fuente de aluminio de tal manera que la relación silicio/aluminio se de 15-150. Se añade hidróxido de sodio de tal manera que la relación $SiO_2/NaOH$ sea entre 2-10. Finalmente la solución se siembra con silicio y se calienta a sistema cerrado entre 150-220 °C. |
| CHINESE PETRO-CHEMICAL CO LTD | Ch | Yang Yi;He Mingyuan;Song Jiaqing | Process for preparing ZSM-5 molecular sieve | 12/06/2002 | Proceso con plantilla, sintetizada directamente por método hidrotermal en un sistema Si-Al-Fe |
| EXXON MOBIL OIL CORPORATION | US, ZA, EP | Beck et al | Small crystal ZSM-5, its synthesis and use | 07/01/2003 | El material tiene un área superficial de meso-poro arriba de $4,5 \text{ m}^2/\text{g}$. |
| SHANXI INST. OF COAL CHEMISTRY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES | Ch | Hu Jinxian;Wang Junjie;Ren Jie | Fast synthesis process of strong acid-type ZSM-5 molecular sieve | 14/05/2003 | Procesos para una fuerte acidez en la ZSM-5, con un proceso con agua deionizada. |

Tabla 6: Patentes de síntesis de zeolita ZSM-5 (continuación)

| EMPRESA | PAÍS | AUTORES | TITULO | FECHA DE PUBLICACIÓN | RESUMEN |
|---|------|---|---|----------------------|---|
| CHINA PETROCHEMICAL CORP. | Ch | Wang Dianzhong;Shu Xingtian;Luo Yibin | ZSM-5 molecular sieve synthesizing process | 04/06/2003 | La fuente parcial de silicio es residuo de una planta de fertilizante de fosfato. |
| COUNCIL OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH | | Kulkarni, Shivanand, Janardan | Process for the preparation of ZSM-5 catalyst | 02/10/2003 | Es una mejora de la preparación del catalizador ZSM-5 |
| SHANXI INST. OF COAL CHEMISTRY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES | Ch | Hu Jinxian;Li Xiaobo;Xiang Hongwei | Method for quickly-synthesizing ZSM-5 molecular sieve containing zirconium atom | 10/12/2003 | Zeolita con 90% de cristalinidad y un corto tiempo de síntesis. |
| CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORPORATION | Ch | Zhu Bin;Shu Xingtian;Ru Yingchun | Process for synthesizing ZSM-5 molecular sieve | 16/06/2004 | Tierra de diatomeas es utilizada como la fuente de silicio para la síntesis, y también como fuente parcial de aluminio, la cual puede ser complementada con otra fuente. Método de sembrado. El proceso reduce gelificación, incrementa el contenido de sólido y reduce costos. |
| CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORPORATION , SINOPEC | Ch | Zhang Zhe; Zong Baoning;Mu Xuhong | Method for synthesizing ZSM-5/AIPO4-5 double structure molecular sieve | 01/09/2004 | Proceso para producir estructura doble molecular ZSM-5/AIPO4-5. |
| SINOPEC | Ch | Wang Dianzhong; Zong Baoning; Luo Yibin | Synthetic method for ZSM-5 zeolite | 22/09/2004 | Fuente de silicio de la escoria del alto horno. |
| SINOPEC | Ch | Wang Dianzhong;Shu Xingtian;He Mingyuan | ZSM-5 structure zeolite, preparation and use thereof | 22/09/2004 | Zeolita con un radio Si/Al de 15-200; para ser utilizada para producir ciclohexanoL. |

Tabla 6: Patentes de síntesis de zeolita ZSM-5 (continuación)

| EMPRESA | PAÍS | AUTORES | TITULO | FECHA DE PUBLICACIÓN | RESUMEN |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|--|----------------------|---|
| MOBIL OIL CORP. | MX, KS, EP, SG, Ch | Kennedy Carry | Synthesis of ZSM-5 and ZSM-11 | 13/06/2005 | ZSM-5 y ZSM-11 con valores alfa entre 1000 y 3500 son producidas por síntesis de una reacción mezclando un agente orgánico direccionador seleccionado de una amina no cíclica. |
| SASOL ITALY S P A | ES | Zatta Agostino et al | Improved process for the preparation of zsm-5 zeolites | 25/10/2005 | Una mejora para producir ZSM-5 |
| ENGELHARD CORPORATION | MX, ES, KS, WO 2004 | Mingting Xu | In-Situ ZSM-5 synthesis | 16/05/2006 | Un método nuevo para sintetizar ZSM-5 consiste en agregar micro-esferas de caolita calcinada con silicio y una solución semilla utilizada para la formación de zeolita Y. Bajo ciertas condiciones de temperatura, presión y tiempo se forma ZSM-5 in-situ sin ninguna semilla de ZSM-5. |
| UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS | ES, WO 2005 | José Aguado Alonso | Method of preparing nano-zeolite ZSM-5 having an increased outer surface by crystallization of silicated nuclei. | 12/07/2006 | Proceso para hacer nano-zeolita ZSM-5 teniendo un incremento de la superficie de cristalización núcleos silicatos con los pasos: preparar la síntesis con un precursor de nano-zeolita ZSM-5 adicionando con un agente silicato en una concentración molar entre 0.1 y 15% en relación al silicio total y el contenido de aluminio. Cristalizando, separando, filtrando o evaporando el solvente. |
| SK CORPORATION | US, WO 2003 | Kim et al | Method of preparing ZSM-5 using variable temperature without organic template | 22/04/2008 | La revelación es un método de obtención de ZSM-5 con resultados del 100% de cristalinidad utilizando la variable temperatura en ausencia de una plantilla orgánica; controlando fácilmente el tamaño de los cristales y su distribución. |

Tabla 6: Patentes de síntesis de zeolita ZSM-5 (continuación)

| EMPRESA | PAÍS | AUTORES | TITULO | FECHA DE PUBLICACIÓN | RESUMEN |
|---|-------------|--------------------|--|----------------------|---|
| TECHNO SEMICHEM CO., LTD. | KS | Han, Deok Su | Method of producing high purity ZSM-5 zeolite through hydrothermal synthesis without an organic template and a conductor substrate abrasive containing the produced zeolite. | 16/06/2009 | Método para producir zeolitas con los siguientes pasos: 1. hacer una solución mixta inyectando hidróxido de sodio, alúmina o una fuente de alúmina, una fuente de silicio en una solución de hidróxido de sodio directamente; recolectando y sintetizando por medio del método hidrotermal de la solución a una temperatura de 130 ~ 250°C por 6 ~ 18 horas; removiendo iones de sodio contenidos en la zeolita con un intercambio iónico y ajustando el tamaño de las zeolitas pulverizando la zeolita removida. |
| CHINA PRETROLEUM AND CHEMICAL CORPORATION | US | Wang et al | Process for producing binder-free ZSM-5 zeolite in small crystal size | 13/10/2009 | El proceso que se presenta es para producir ZSM-5 libre de enlaces. Utilizando diatomeas o aerogel de silicio como el material de inicio. Se convierte la ZSM-5 en pequeños cristales con una fase de cristalización vapor-sólido con aminas orgánicas y vapor de agua. |
| CHINA PRETROLEUM AND CHEMICAL CORPORATION | US | Wang et al | Process for producing binder-free ZSM-5 zeolite in small crystal size | 13/10/2009 | El proceso que se presenta es para producir ZSM-5 libre de enlaces. Utilizando diatomeas o aerogel de silicio como el material de inicio. Se convierte la ZSM-5 en pequeños cristales con una fase de cristalización vapor-sólido con aminas orgánicas y vapor de agua. |
| JGC CATALYSTS & CHEMICALS LTD | JP | Kuroda Ryuzo et al | New zsm-5 type zeolite particle and method for synthesizing the same | 31/03/2010 | ----- |
| SHELL OIL COMPANY | US, WO 2008 | Domokos et al | ZSM-5, its preparation and use in Ethylbenzene dealkylation | 26/08/2010 | Nueva configuración de ZSM-5 obtenida a través de una solución de ácido L-tartárico. |
| SK INNOVATION CO. | | Choi Sun | Method of preparing ZSM-5 zeolite using nanocrystalline ZSM-5 seeds | 28/04/2011 | La revelación es un método de obtención de ZSM-5, utilizando como semilla nano cristales de la misma. Las materias primas son las semillas, agua, una fuente de silicio, aluminio y un neutralizador. Las ventajas de la nano-cristalización es que no se sintetizan con impurezas. |

Tabla 6: Patentes de síntesis de zeolita ZSM-5 (continuación)

| EMPRESA | PAÍS | AUTORES | TITULO | FECHA DE PUBLICACIÓN | RESUMEN |
|--------------------|------|---------------|---|----------------------|---|
| CHEVRON U.S.A. INC | | Burton, Allen | Method for making MFI-TYPE molecular sieves | 19/05/2011 | Método para producir zeolitas tipo MFI incluyendo ZSM-5 aluminosilicatos, boro silicatos y silicatos. |

Productoras de ZSM-5

Como ya se había mencionado algunas empresas productoras de ZSM-5 la fabrican para autoconsumo (elaboración de catalizadores con base en esta zeolita), pero hay otras empresas que la elaboran para la venta. Todas las empresas fabrican esta zeolita con el método hidrotermal; las variaciones posibles en los procesos dependen de si usan bases orgánicas o hacen sembrado. En la tabla 7 se muestran las empresas productoras de ZSM-5 así como su ubicación.

Tabla 7: Productoras de ZSM-5

| EMPRESA QUE LA PRODUCE | LUGAR DE PRODUCCIÓN | DESTINO FINAL |
|---|---------------------|--|
| ACS material | US | Venta y Autoconsumo |
| Advanced Refining Technologies LLC (ART) | US | De Chevron y Davidson para autoconsumo |
| Akzo-Nobel Chemicals Inc. | NL | Autoconsumo |
| Albemarle | US | Venta y Autoconsumo |
| Beaumont Chemical Speciality | US | Venta y Autoconsumo de ExxonMobil |
| China Chemical Co., LTD | Ch | Venta |
| Grace Davidson | US | Venta y Autoconsumo |
| Hengye USA | US | Venta y Autoconsumo |
| P&T---Pingxiang PangTai Industrial Co.,Ltd. | Ch | Venta |
| Qingdao Wish Group Limited | Ch | Venta |
| Shaw Group | US, KS, SN y Ch | Autoconsumo |
| Shell | ES | Venta y Autoconsumo |
| SINOPEC | Ch | Venta y Autoconsumo |
| Tianjin Fine Fluoros Intenational Trade Co. | Ch | Venta |
| Tricat | GM, US y Ch | Venta y Autoconsumo |
| Zeochem AG and Zeochem L.L.C. | SZ | Venta |
| Zeolyst International | US | Venta |
| Zibo Xinhong Chemical Trading Co., Ltd | Ch | Venta |

Tabla 7: Productoras de ZSM-5 (Continuación)

| EMPRESA QUE LA PRODUCE | | | LUGAR DE PRODUCCIÓN | DESTINO FINAL |
|--|--|--|---------------------|---------------|
| Zibo Zhuomin International Trading Co., Ltd. | | | Ch | Venta |
| Zibo Zhuomin International Trading Co., Ltd. | | | Ch | Venta |

China produce 12,000 toneladas de zeolitas sintéticas al año, de las cuales el 98% es zeolita ZSM-5 ⁽¹⁷⁾, con lo que estaría absorbiendo (según los cálculos realizados anteriormente) un poco más del 15% del mercado de ZSM-5. Suponiendo que cada región produce ZSM-5 para satisfacer sus necesidades, Estados Unidos estaría cubriendo arriba del 30% del mercado, Europa el 15% y Japón el 5%; el resto, lo cubrirían otros países. ⁽¹⁷⁾

Análisis de precios de la competencia

Los precios de las zeolitas en el mercado varían según la cantidad que se compre; cuando se compra menos de un kilogramo, el precio está alrededor de 1 dólar por gramo de ZSM-5; y cuando se compra más de un kilo el precio promedio es 0.50 dólares por gramo de ZSM-5. Aunque cabe mencionar que si hay contratos con las empresas químicas productoras de ZSM-5 los precios pueden bajar entre la cantidad sea mayor.

Para cualquier proveedor de ZSM-5 el producto se debe importar, lo cual representa un gasto extra puesto que se debe contratar un agente aduanero para hacer cotizaciones y trámites para el ingreso del producto al país. Como se había mencionado antes, se debe pagar arancel en el caso de ser necesario; seguro, transporte e IVA. Y en este caso las empresas Estadounidenses tiene una ventaja sobre las Chinas, puesto que el envío es mucho más barato y por el tratado de libre comercio hay exención en el pago de arancel tanto en Estados Unidos como en México.

5.4 Estudio técnico

Dentro de la evaluación de cualquier proyecto es indispensable el estudio técnico; el cual indica la competitividad del proceso que se tiene a la mano. En esta sección se describirá el proceso a nivel industrial, la maquinaria y los recursos necesarios para llevar a cabo la fabricación de ZSM-5 en la ZMVM; así como las diferencias que existen entre el proceso propuesto y los ya existentes; los cuales se consideraron como aquellos proyectos patentados.

5.4.1 Proceso Propuesto

Los pasos propuestos para la producción son un proceso teórico, para el cual se recomienda hacer una planta piloto antes de montar la maquinaria, el personal y herramientas necesarias; ya que se trata de una inversión muy grande, como se verá en el capítulo 5. Se recomienda confirmar tiempos, observar posibles errores, fallas en el diseño del proceso y observaciones sobre la maquinaria a utilizar en el proceso a una escala mayor.

Cada paso del proceso es indispensable para la formación de ZSM-5, por lo que es indispensable no omitir ninguno de estos. A continuación se explica cada uno de los pasos del proceso.

Diagrama de Flujo del Proceso

En la ilustración 1 se muestra un diagrama de flujo del proceso, cada paso tiene sus especificaciones: la temperatura de secado es de 105°C, la calcinación es a 550°C, se requieren 4 ciclos de lavados para eliminar la presencia de ácido clorhídrico, etc. Más adelante se describirá con mayor detalle en el diagrama de proceso, junto con todas los requerimientos para cada paso.

Comparación de proceso con procesos ya existentes en el mercado

Los procesos ya existentes en el mercado son los procesos que están y/o que estuvieron patentados, todos los procesos utilizados por las industrias incluyen el método hidrotermal. Las principales variaciones son materia prima, temperaturas y tiempos. En la tabla 8 se muestran las patentes existentes de síntesis de ZSM-5 así como las variaciones ya mencionadas.

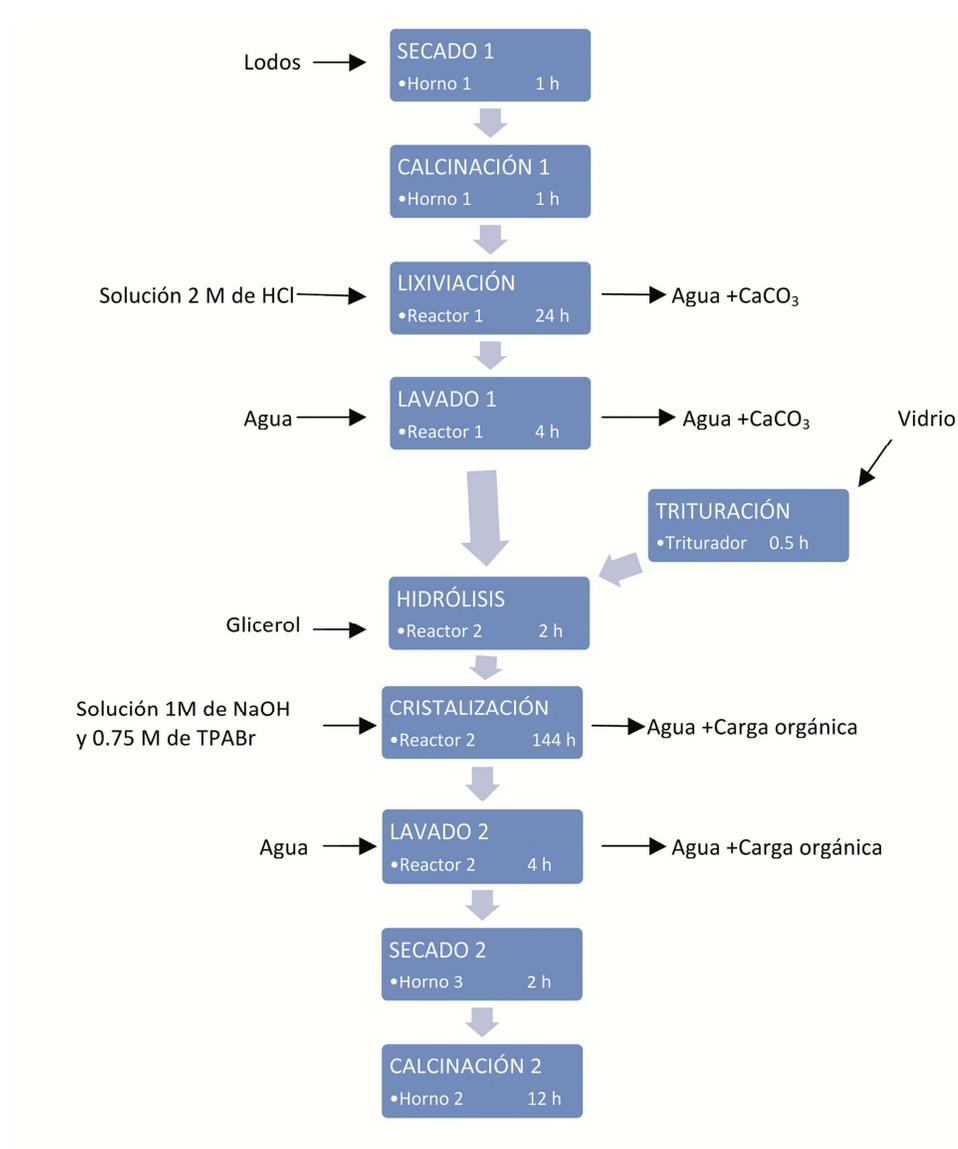


Ilustración 1: Diagrama de Flujo del Proceso. Tiempo total: 194.5 horas.

El proceso propuesto por investigadores del Instituto de Ingeniería es un proceso con Bromuro de Tetrapropil Amonio (TPABr) como base orgánica, las materias primas utilizadas como fuente de aluminio son los lodos de industria papelera y la de silicio es vidrio plano (residuos). Las temperaturas manejadas son de 120-180 °C, con un tiempo de cristalización de 6 días.

Tabla 8: Patentes existentes de síntesis de ZSM-5

| TITULO | PROCESO | MATERIA PRIMA | TEMPERATURA | TIEMPO |
|--|---------------|---|-------------|-----------|
| | | | °C | (horas) |
| Synthesis of crystalline ZSM-5 type material | Sembrado | Oxido de aluminio y oxido de silicio | 130 - 180 | 48 – 192 |
| Synthesis of large crystal size ZSM-5 | Base orgánica | Sulfato de aluminio y oxido de silicio | 80 - 200 | 4 – 720 |
| Synthesis of large crystal size ZSM-5 | Base orgánica | Alúmina y oxido de silicio | 82 - 177 | 1 – 4320 |
| Zeolite synthesis with aminoacid directing agents | Base orgánica | Aluminato de sodio y oxido de silicio al 30% | 120 - 180 | 120 – 264 |
| Proceso para producir zeolita cristalina de tectosilicato ZSM-5 y producto resultante ZSM-5 zeolite | ----- | Caolín calcinado | 130 - 240 | 5 – 30 |
| | Sembrado | Solución de silicio coloidal al 30% y alúmina | 130 - 180 | 50 – 145 |
| Rare earth-ZSM-5/ZSM-11 cocrystalline zeolite | Base orgánica | Sulfato de aluminio y tierra rara | 100-200 | 12 – 96 |
| Large crystal ZSM-5, its synthesis and use | Base orgánica | Aluminato de sodio y oxido de silicio (sol 30%) | 80-225 | 24 – 1440 |
| Method for making ZSM-5 zeolites | Sembrado | Oxido de silicio y oxido de aluminio | 100-160 | 48 – 240 |
| Method for quickly synthesizing small crystal grain ZSM-5 molecular sieve by using guide agent method | Base orgánica | ----- | ----- | 65 – 75 |
| Synthesis of ZSM-5 zeolite from serpentine | Base orgánica | ----- | 125-185 | 1 – 48 |
| ZSM-5 made from siliceous ash | Base orgánica | Cenizas de cáscara de arroz como fuente de silicio y aluminato de sodio | 180-190 | 18 – 20 |
| Process for preparing ZSM-5 molecular sieve | Base orgánica | ----- | ----- | ----- |

Tabla 8: Patentes existentes de síntesis de ZSM-5 (Continuación)

| TITULO | PROCESO | MATERIA PRIMA | TEMPERATURA | TIEMPO |
|---|---------------|--|-------------|----------|
| | | | °C | (horas) |
| Fast synthesis process of strong acid-type ZSM-5 molecular sieve | Sembrado | ----- | ----- | ----- |
| ZSM-5 molecular sieve synthesizing process | Base orgánica | Residuos de una planta fertilizadora de fosfato | ----- | ----- |
| Process for the preparation of ZSM-5 catalyst | ----- | Aluminato de sodio y oxido de silicio | 150-250 | 12 – 144 |
| Method for quickly-synthesizing ZSM-5 molecular sieve containing zirconium atom | Base orgánica | ----- | ----- | ----- |
| Process for synthesizing ZSM-5 molecular sieve | Sembrado | Tierras diatomeicas | ----- | ----- |
| Method for synthesizing ZSM-5/AIPO4-5 double structure molecular sieve | Base orgánica | ----- | ----- | ----- |
| ZSM-5 structure zeolite, preparation and use thereof | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Synthetic method for ZSM-5 zeolite | Sembrado | ----- | ----- | ----- |
| Synthesis of ZSM-5 and ZSM-11 | Base orgánica | Aluminato de sodio y ultasil silica | 120-170 | 6 - 240 |
| Improved process for the preparation of zsm-5 zeolites | Sembrado | Aluminato de sodio y caolín | 100-200 | 6-72 |
| In-Situ ZSM-5 synthesis | Sembrado | Micro esferas de caolín y silicato de sodio | 150-200 | 10-25 |
| Method of preparing nano-zeolite ZSM-5 having an increased outer surface by crystallization of silicated nuclei. | Base orgánica | Alúmina y oxido de silicio | 70-200 | 20-40 |
| Method of preparing ZSM-5 using variable temperature without organic template | ----- | Silicio coloidal, silicato de sodio, carbón blanco o bohemia como fuente de silicio. Aluminato de sodio. | 130-170 | 96-200 |

Tabla 8: Patentes existentes de síntesis de ZSM-5 (Continuación)

| TITULO | PROCESO | MATERIA PRIMA | TEMPERATURA | TIEMPO |
|---|---------------|--|-------------|---------|
| | | | °C | (horas) |
| Method of producing high purity ZSM-5 zeolite through hydrothermal synthesis without an organic template and a conductor substrate abrasive containing the produced zeolite. | Sembrado | Alúmina y oxido de silicio | 130-250 | 6-18 |
| Method for manufacturing zsm-5 type zeolite | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Process for producing binder-free ZSM-5 zeolite in small crystal size | Base orgánica | diatomeas o carbón blanco como fuente de silicio y óxidos de aluminio o alúminas | 120-200 | 12-240 |
| New zsm-5 type zeolite particle and method for synthesizing the same | ----- | aluminato de sodio y silicato de sodio | ----- | ----- |
| ZSM-5, its preparation and use in Ethylbenzene dealkylation | Base orgánica | ----- | 170-200 | 5-36 |
| Method of preparing ZSM-5 zeolite using nanocrystalline ZSM-5 seeds | Sembrado | ----- | 120-170 | 12-72 |
| Method for making MFI-TYPE molecular sieves | Base orgánica | ----- | 120-170 | - 360 |

5.4.2 Recursos

Como cualquier industria, se requieren recursos para que esta se lleve a cabo, a continuación se describen los recursos necesarios para que una industria productora de ZSM-5 pueda llevarse a cabo.

Materia prima

La materia prima necesaria para este proceso se muestra en la tabla 9 junto con la proporción aproximada de cada una.

Tabla 9: Materia prima requerida y proporción de cada una para hacer 0.47715 kg de ZSM-5 con una eficiencia del 20%.

| MATERIA PRIMA | (°/MN) | CANTIDAD |
|---------------|---------------------|------------------------|
| Lodos | \$ 4,97 | 1 Kg |
| Vidrio | \$ 2,86 | 2.087 Kg |
| NaOH | \$ 23,53 | 0.596 Kg |
| HCl | \$ 2,36 | 0.995 L de sol. Al 32% |
| Glicerol | \$ 247,63 | 14.911 L |
| TPABr | \$ 18.378,00 | 2.97 Kg |
| Aglutinante | \$ 13,17 | 1 Kg |
| TOTAL | \$ 18.672,52 | --- |

Para obtener la cantidad de materia prima necesaria se extrapolaron las cantidades utilizadas a nivel laboratorio; tomando en cuenta que los lodos en algunas fases del proceso pierden materia. A continuación se muestran los cálculos realizados para determinar la proporción de la materia prima utilizada, comenzando como base 1 kg de lodos.

- a) 1 Kg de lodos entran a secado; pierde el 20% de masa debido a la cantidad de agua que contienen.

$$Masa\ de\ lodos_{Después\ de\ secado} = 0.8 * 1\ Kg\ lodos\ antes\ del\ secado = 0.8\ Kg$$

- b) 0.8 Kg de lodos entran a calcinación; pierde el 45.5%* de masa debido a la cantidad de materia orgánica que contiene.

$$Masa\ de\ lodos_{Después\ de\ calcinación} = 0.545 * 0.8\ Kg\ lodos\ después\ del\ secado = 0.436\ Kg$$

*Dato de estudio de Fluorescencia de rayos X.

- c) 0.436 Kg de lodos entran a lixiviación junto con una disolución de ácido clorhídrico 2 M. A nivel laboratorio se usa 1L de disolución por cada 100 g de lodos; por lo que se deben utilizar 4.36 L de disolución, el cual se obtiene a partir de una disolución de HCl al 32% de la cual su densidad es de 1.261 g/cm³.

$$mL\ requeridos\ de\ HCl_{al\ 32\%} = \frac{36.5\ g\ de\ HCl}{1\ Mol * 1\ L} * 2\ Mol * 4.36\ L}{1.261\ \frac{g}{cm^3}\ al\ 32\% * \frac{1000\ cm^3}{1\ L}} = 252.4\ mL$$

- d) En el proceso de lixiviación se pierde el 37.3% de masa debido a su contenido de calcio. Este dato se sacó haciendo un promedio del contenido de óxido de calcio en las muestras de nuestro interés que se muestran en la tabla 1, estas se eligieron por el alto contenido de calcio y bajo contenido de titanio y hierro; por lo que de la tabla 1 sólo se consideraron los datos del papel Tissue y del Folding Carton. El promedio se hizo considerando que entra la misma cantidad de lodos provenientes de Tissue que de Folding Carton.

$$\text{Masa de lodos}_{\text{Después de lixiviación}} = 0.436 \text{ Kg}_{\text{Después de calcinación}} * 0.627 = 0.2734 \text{ Kg}$$

- e) 0.29822 Kg de lodo entran a la hidrólisis junto con vidrio triturado. Según el proceso desarrollado, por cada gramo de lodo calcinado se necesitan 7 g de vidrio triturado.

$$\text{Masa de vidrio requerido} = \frac{7 \text{ g de vidrio}}{1 \text{ g de lodo}} * 0.29822 \text{ Kg de lodo} = 2.087 \text{ Kg}$$

- f) Para la hidrólisis se necesita glicerol, por experiencia en el laboratorio, por cada 8 g de materia prima (1g de lodo calcinado y 7g de vidrio triturado) se requieren 50 mL de glicerol.

$$\text{mL requeridos de glicerol} = \frac{50 \text{ mL glicerol}}{8 \text{ g mat. prima}} * 2385.77 \text{ g de mat. prima} = 14911.05 \text{ mL}$$

- g) Para la cristalización de la zeolita se necesita una solución que sea 1 M de Hidróxido de Sodio y a su vez 0.75 M de TPABr. Por experiencia en el laboratorio se sabe que por cada 8 g de materia prima se requieren 50 mL de esta disolución.

$$\text{L disolución requerida} = \frac{50 \text{ mL disolución}}{8 \text{ g mat. prima}} * 2385.77 \text{ g de mat. prima} = 14911.05 \text{ mL}$$

Para la cantidad de NaOH:

$$\text{g requeridos de NaOH} = \frac{40 \text{ g de NaOH}}{1 \text{ Mol} * 1 \text{ L}} * 14.911 \text{ L disol.} * 1 \text{ M} = 596.44 \text{ g}$$

Para la cantidad de TPABr:

$$g \text{ requeridos de TPABr} = \frac{266 \text{ g de TPABr}}{1 \text{ Mol} * 1L} * 14.911 \text{ L disol.} * 0.75 \text{ M} = 2974.74 \text{ g}$$

Maquinaria y equipo

Los costos de la maquinaria se encuentran desglosados en la tabla 24 del anexo. Para este proceso se requiere el siguiente equipo:

1. Horno 1: Trabaja a temperaturas de entre 90-120 °C y 550-600°C. No se requiere que tenga ningún recubrimiento especial puesto que es destinado para secar los lodos.
2. Reactor 1: Tipo Batch, en este se llevará a cabo la lixiviación y el lavado 1. El volumen de éste debe ser según la siguiente ecuación:

$$Vol_{Reactor\ 1} = Vol_{cenizas\ del\ horno\ 2} * \left(1 + \frac{1\ L}{100\ g\ cenizas\ del\ horno\ 2}\right)$$

Este reactor debe tener un recubrimiento puesto que utilizará ácido clorhídrico para la lixiviación. En este mismo tanque se harán los 4 lavados para retirar el carbonato de calcio que quedó en las cenizas de los lodos. No se requiere que sea cerrado, puesto que no hay control de temperatura. Se necesita que tenga aspas para mantener agitación constante, una entrada para agua, dos salidas: una de agua y otra de sólidos, y una puerta para mantenimiento.

3. Triturador de vidrio: Se utilizará intermitentemente para triturar el vidrio que se requiera para cada lote. Su capacidad no es relevante porque se puede poner a trabajar unas horas antes de la hidrólisis para obtener la cantidad de materia prima necesaria.
4. Reactor 2: Semicontinuo con chaqueta, puesto que primero se hace la hidrólisis y después se agregan otros químicos para continuar con la cristalización; la chaqueta es para el control de temperatura, la cual será de entre 170°C y 210°C. Se requiere que tenga aspas, dos entradas, una puerta para mantenimiento, dos salidas, y que sea un sistema cerrado, recubrimiento especial para trabajar con una base (hidróxido de sodio) y que tenga una capacidad según la siguiente ecuación:

$$Vol_{Reactor\ 2} = 30.8 * Vol_{cenizas\ del\ horno\ 2} + Vol_{vidrio}$$

5. Horno 2: Para secado y calcinación del producto final. El horno trabajará a temperaturas de 120°C-600°C. Este horno contendrá zeolita ZSM-5; por lo cual debe ser distinto a los anteriores para evitar contaminación.
6. Banda transportadora: Dos, para cambiar los lodos del Reactor 1 al Reactor 2 y del Reactor 2 al horno. La banda debe ser porosa de tal manera que sirva para que escurra el agua que restó del proceso anterior.
7. Tanque agitador: Para hacer la disolución de NaOH.
8. Montacargas: Para cargar el vidrio plano cuando llegue a la planta así como para colocarlo dentro de los reactores cuando ya se encuentre molido.
9. Caldera: Para calentar el vapor que correrá en el serpentín del Reactor 2. La capacidad de esta debe ser suficiente para lograr que el reactor llegue a los 210°C. A partir de la capacidad de los reactores y de las temperaturas que se desean se calcula la capacidad de ésta.
10. Condensador: para recircular el agua en el sistema de calentamiento del Reactor 2, con una capacidad acorde con la de la caldera.
11. Máquina para hacer pellets: una vez que se tiene la zeolita ZSM-5 es necesario formar pellets con esta para evitar pérdidas en el transporte y en el empaque.

Hay otro equipo que es necesario para este proceso, pero debido a su alto costo y su poco uso no conviene para este proceso adquirir estos equipos. Uno de estos equipos es el Difractómetro de Rayos X, el cual es excesivamente caro y no hay justificación para adquirir uno de estos; sin embargo es necesario para el control de calidad, por lo que en el capítulo 5 se propone arrendar este servicio.

Recursos humanos

La producción de ZSM-5 es un proceso que requiere mucha precisión y tiempos exactos, por lo que se requiere personal muy capacitado. Cada lote tarda 8 días con 10 horas en estar listo, en una semana se pueden hacer tres lotes al mismo tiempo, por eso se requieren 3 reactores semi-continuos con chaqueta (Reactor 2). Sólo se requiere un turno de trabajo ya que los reactores se pueden dejar trabajando por la noche sin necesidad de intervención, aunque se deben de verificar presiones y temperaturas cada determinado tiempo, pero esa actividad la pueden hacer los vigilantes. Para este tipo de empresas se requieren:

- Gerente General: Ingeniero Industria, Ingeniero Mecánico, Ingeniero Químico o Administrador. Su función es organizar, controlar, dirigir y evaluar todas las actividades

tendientes al control de ventas, producción y funcionamiento general de la empresa, así como recursos humanos.

- Contador: Contador Público para llevar el control de los gastos financieros, balance general, ingresos y egresos, declaraciones.
- Jefe de producción: Ingeniero Químico o Químico para supervisar que los procesos de producción cumplan con los estándares de calidad estipulados por la empresa y solicitados por los clientes; además de verificar que los trabajadores realicen sus operaciones de acuerdo a las normas de calidad estipuladas por la empresa, normas de seguridad higiene para evitar riesgos de trabajo, personales, producción y de materia prima.
- Técnico químico industrial o técnico químico laboratorista: Será el encargado de cumplir con que los procesos productivos se apeguen a las órdenes de producción.
- Ayudante general: Encargado de operar la maquinaria, manipular las materias primas para desarrollar los procesos productivos, mantener limpia y ordenada el área de trabajo y llevar los controles de consumo de materia prima y materiales. Se requieren dos ayudantes generales.
- Vigilante: Encargados de controlar entradas y salidas de personal, proveedores y visitas, verificar que trabajadores y empleados cumplan con las normas generales de seguridad estipuladas por la empresa. Realizar rondines nocturnos por la planta para verificar condiciones específicas de seguridad tales como presiones, temperaturas e informar situaciones de emergencia a Gerente, Jefe de Producción y Protección Civil. Se requieren 2 que trabajen en turnos de 24x24 hrs.

5.4.3 Diagrama de Operaciones

El diagrama de proceso presentado es una representación gráfica de la producción de ZSM-5, en este caso no hay demoras puesto que se trata de un proceso propuesto idealizado.

| Detalles | | Resumen | | | | |
|---|-------------------------|------------|---------|--------|---|---------------------------------------|
| Actividad: | Elaboración de ZSM-5. | Actividad | Símbolo | Actual | | |
| Elaborado por: | Elia Inés Luna Ceballos | Operación | ● | 57 | | |
| Método: | Propuesto | Transporte | ➡ | 7 | | |
| Hoja: | 1 de 3 | Demora | ⏸ | 0 | | |
| Comentarios: No incluye detalles de elaboración de mezclas y trituración de vidrio. | | Inspección | ■ | 6 | | |
| | | Almacenaje | ▼ | 2 | | |
| Descripción de las actividades | Símbolo | | | | | Observaciones |
| | ● | ➡ | ⏸ | ■ | ▼ | |
| Recepción de lodos de la industria papelera. | | | | | ▼ | |
| Encender Horno 1. | ● | | | | | |
| Transporte de los lodos a horno 1. | | ➡ | | | | |
| Establecer temperatura de horno. | ● | | | ■ | | 105°C por una hora. |
| Establecer temperatura de horno. | ● | | | ■ | | 550°C por una hora |
| Apagar Horno 1. | ● | | | | | Solución 2 Molar |
| Preparar solución de HCl. | ● | | | | | |
| Transportar cenizas al reactor 1. | | ➡ | | | | |
| Vaciar cenizas a reactor 1. | ● | | | | | |
| Transportar cenizas al Reactor 1. | | ➡ | | | | |
| Vaciar cenizas a Reactor 1. | ● | | | | | |
| Encender agitador. | ● | | | | | Velocidad media por 24 horas. |
| Descargar líquidos del reactor 1. | ● | | | | | |
| Llenar reactor 1 con agua. | ● | | | | | |
| Encender agitador. | ● | | | | | Velocidad media por una hora. |
| Descargar líquidos del reactor 1. | ● | | | | | |
| Llenar reactor 1 con agua. | ● | | | | | |
| Encender agitador. | ● | | | | | Velocidad media por una hora. |
| Detener agitador. | ● | | | | | |
| Descargar líquidos del reactor 1. | ● | | | | | |
| Llenar el Reactor 1 de agua. | ● | | | | | |
| Encender agitador. | ● | | | | | Velocidad media por una hora. |
| Descargar líquidos del reactor 1. | ● | | | | | |
| Llenar el Reactor 1 de agua. | ● | | | | | |
| Encender agitador. | ● | | | | | Velocidad media por una hora. |
| Descargar líquidos del reactor 1. | ● | | | | | |
| Encender banda transportadora. | ● | | | | | |
| Descargar sólidos del reactor 1. | ● | | | | | |
| Transporte de materia para Reactor 2. | ● | ➡ | | | | |
| Apagar banda transportadora. | ● | | | | | |
| Preparación del vidrio. | ● | | | | | Trituración y transporte a reactor 2. |

Ilustración 2: Diagrama de Operaciones.

| Detalles | | Resumen | | | | |
|---|-------------------------|------------------|----------------|---------------|---|--|
| Actividad: | Elaboración de ZSM-5. | Actividad | Símbolo | Actual | | |
| Elaborado por: | Elia Inés Luna Ceballos | Operación | ● | 57 | | |
| Método: | Propuesto | Transporte | ➔ | 7 | | |
| Hoja: | 1 de 3 | Demora | ⦿ | 0 | | |
| Comentarios: No incluye detalles de elaboración de mezclas y trituración de vidrio. | | Inspección | ■ | 6 | | |
| | | Almacenaje | ▼ | 2 | | |
| Descripción de las actividades | Símbolo | | | | | Observaciones |
| | ● | ➔ | ⦿ | ■ | ▼ | |
| Transporte de glicerol al Reactor 2. | | ➔ | | | | |
| Verter glicerol en reactor 2. | ● | | | | | |
| Encender caldera y ajustar temperatura. | ● | | | ■ | | Para mantener reactor 2 a 200°C por dos horas. |
| Encender agitador. | ● | | | | | Velocidad media por dos horas. |
| Preparación de solución NaOH y TPABr. | ● | | | | | 1 M de NaOH y 0.75 M de TPABr. |
| Verter solución de NaOH y TPABr. | ● | | | | | |
| Ajuste de la caldera. | ● | | | ■ | | Para mantener reactor 2 a 170°C por 144 horas. |
| Detener agitador. | ● | | | | | |
| Descargar líquidos del reactor 2. | ● | | | | | |
| Llenar el reactor 2 de agua. | ● | | | | | |
| Encender agitador. | ● | | | | | Velocidad media por una hora. |
| Descargar líquidos del reactor 2. | ● | | | | | |
| Llenar el Reactor 2 de agua. | ● | | | | | |
| Encender agitador. | ● | | | | | Velocidad media por una hora. |
| Descargar líquidos del reactor 2. | ● | | | | | |
| Llenar el reactor 2 de agua. | ● | | | | | |
| Encender agitador. | ● | | | | | Velocidad media por una hora. |
| Descargar líquidos del reactor 2. | ● | | | | | |
| Encender banda transportadora. | ● | | | | | |
| Descargar sólidos del reactor 2. | ● | | | | | |
| Transporte de materia para Horno 2. | | ➔ | | | | |
| Apagar banda transportadora. | ● | | | | | |
| Ajuste horno 2. | ● | | | ■ | | 105°C por dos horas. |
| Ajuste de horno 2. | ● | | | ■ | | 550°C por 12 horas. |
| Apagar el horno 2 | ● | | | | | |
| Transporte de ZSM-5 a máquina de pellets. | | ➔ | | | | |
| Encender máquina de pellets. | ● | | | | | |

Ilustración 2: Diagrama de operaciones. (Continuación)

| Detalles | | Resumen | | | | |
|---|-------------------------|------------------|----------------|---------------|---|---------------|
| Actividad: | Elaboración de ZSM-5. | Actividad | Símbolo | Actual | | |
| Elaborado por: | Elia Inés Luna Ceballos | Operación | ● | 57 | | |
| Método: | Propuesto | Transporte | ➡ | 7 | | |
| Hoja: | 1 de 3 | Demora | ⏸ | 0 | | |
| Comentarios: No incluye detalles de elaboración de mezclas y trituración de vidrio. | | Inspección | ■ | 6 | | |
| | | Almacenaje | ▼ | 2 | | |
| Descripción de las actividades | Símbolo | | | | | Observaciones |
| | ● | ➡ | ⏸ | ■ | ▼ | |
| Mezclar ZSM-5 con aglutinante. | ● | | | | | |
| Sacar ZSM-5 para su empaque. | ● | | | | | |
| Apagar máquina de pellets. | ● | | | | | |
| Empacar ZSM-5. | ● | | | | | |
| Almacenar producto terminado. | | | | | ▼ | |

Ilustración 2: Diagrama de operaciones. (Continuación)

Por el tiempo tan largo que se toma el proceso de Cristalización en el Reactor 2, se recomienda tener 3 Reactores del tipo 2, y comenzar con un lote de ZSM-5 cada tercer día, el cual debería empezar entre las horas 16-18 de reacción de la Cristalización del lote anterior. Toda la maquinaria siempre estaría disponible para la elaboración de un nuevo lote a excepción de los Reactores tipo 2, por lo cual son necesarios tres.

5.4.4 Seguridad en operaciones

En cualquier proceso es indispensable garantizar la seguridad de los operarios y de la industria, incluyendo a la población o industrias que se encuentran en los alrededores. La Secretaría de Trabajo y Previsión Social es la encargada de emitir las normas de seguridad industrial; más adelante se mencionan las normas a las que esta industria se encuentra sujeta, las cuales son las condiciones mínimas de seguridad que debe haber en el ambiente laboral para garantizar la integridad física y mental de los trabajadores.

Para prevenir los accidentes dentro de una industria es indispensable identificar los riesgos que se corren dentro de esta, además los accidentes más frecuentes que se presentan entre el personal, en la maquinaria utilizada y en el manejo de materia prima, a continuación se describen cada uno de estos.

Accidentes más frecuentes

En general los accidentes más frecuentes dentro de cualquier industria química son las caídas, las heridas, quemaduras, corrosiones, salpicaduras en los ojos o boca e ingestión de productos.

Los accidentes se evitan con un buen plan de seguridad e higiene, pero además debe ser conocido por los empleados y se debe cumplir. Los operarios deben utilizar el equipo de seguridad adecuado, el lugar de trabajo se debe mantener limpio y despejado de cualquier obstáculo o líquido que pueda provocar una caída. Es muy importantes un buen comportamiento de los trabajadores: que no corran, jueguen o dejen sus pertenencias tiradas, coloquen la herramienta en su lugar; así como ingerir los alimentos en los lugares designados para ello; ya que se trabaja con sustancias químicas tóxicas en caso de ingestión.

En una empresa productora de zeolita ZSM-5 sus mayores riesgos se encuentran concentrados en la manipulación de la materia prima ya que más del 50% de los accidentes en el trabajo son ocasionados por el error humano.

Maquinaria

Los riesgos que se corren con la maquinaria son de dos tipos: los que corren el personal que opera la maquinaria y los que corre la maquinaria misma de ser dañada.

Los primeros corren el riesgo de quemaduras por radiación y contacto en los hornos, caldera y reactor 2. Esto se puede evitar utilizando la ropa adecuada, así como equipo de protección apropiado; en este caso uso guantes y según el tamaño del horno, trajes de neopreno o algún otro material propio para esta finalidad. Los operarios también corren el riesgo de aplastamiento de miembros en las bandas transportadoras y/o trituradoras de vidrio; esto se puede evitar con un comportamiento adecuado en el área de trabajo, utilizando ropa adecuada, nada suelto, sin uso de joyería, cabello recogido y siguiendo protocolos de emergencia. Otros riesgos muy graves que corren los operarios con el uso de la maquinaria son los accidentes en los montacargas, que pueden ser desde aplastamiento de miembros hasta aplastamiento de cuerpo completo, los cuales pueden terminar en la muerte de la persona que llegara a ser aplastado con el montacargas o con la carga que se está moviendo con éste; estos accidentes se pueden prevenir con una buena capacitación del operario, y con prudencia del mismo para utilizarlo de manera correcta. Todos los accidentes de este tipo se pueden evitar con una buena capacitación del personal.

Los segundos son los riesgos de la maquinaria para ser dañada. En el caso de los hornos estos corren el riesgo de ser dañados por descarga eléctrica o por daño en alguna resistencia. Estos se pueden evitar con reguladores de voltaje y corriente; así como con un programa de mantenimiento bien establecido.

En el caso de los reactores estos se pueden dañar si los operarios llegaran a equivocarse de reactor o materia prima a utilizar ya que en el Reactor 1 se utiliza un ácido y en los Reactores 2 se utiliza una base, y estos son diseñados para estos procesos en específico. Otra manera de dañar los reactores es que el sistema de sellado para el Reactor 2 se encuentre en malas condiciones, lo cual puede provocar que expulse la tapa, también pasaría esto en caso de que la presión que se genere en el sistema supere la presión que soporten los tanques reactores. Otro riesgo es que el serpentín que calienta el reactor se llegue a dañar por falta de vapor o por presiones muy elevadas y llegue a contaminar el producto. Esto se puede evitar con una capacitación de los operarios y los trabajadores de la empresa para identificar en termómetros y manómetros los rangos de temperatura y presión adecuados para el sistema, y rangos donde se pueden presentar peligros.

En el caso de la caldera los riesgos más frecuentes y de mayor importancia es que se queden sin agua, lo cual echaría a perder las tuberías. Esto se puede evitar con una capacitación de los operarios y un buen plan de mantenimiento que se lleva a cabo.

La trituradora y las bandas transportadoras se pueden dañar si se les llegara a atorar alguna pieza entre las cuchillas o los rodillos, respectivamente. Además de que también pueden ser dañadas por descargas eléctricas.

En general, todos los riesgos posibles que corre la maquinaria se pueden evitar con la capacitación de los operarios y con planes de mantenimiento que se hagan junto con el Jefe de Producción, que estén acorde con las necesidades de la planta y la maquinaria; y lo más importante, que se cumplan.

Materia prima

La materia prima a utilizar en la producción de ZSM-5 es de manejo especial. Los tres reactivos que son de mayor cuidado son el hidróxido de sodio, ácido clorhídrico y el TPABr.

En el caso del hidróxido de sodio (también conocido como sosa caústica), se trata de una sustancia extremadamente corrosiva. En caso de inhalación produce irritación en ojos, nariz y garganta; en caso de contacto con la piel produce quemaduras en la piel; en caso de contacto con los ojos provoca quemaduras tan graves que pueden terminar en la ceguera. Si llegara a ser ingerida produce graves heridas en el tracto digestivo. Además, se debe evitar un contacto

con azúcares reductoras ya que en presencia de estas hay formación de monóxido de carbono.

[18]

El ácido clorhídrico (o también conocido como ácido muriático), se almacena en tanques, puesto que es una disolución. Este es altamente corrosivo con la piel y con las membranas mucosas; en caso de inhalación provoca tos, problemas al respirar, úlceras de nariz, tráquea y laringe; en caso de contacto con los ojos provoca quemaduras y puede llevar hasta la pérdida de la vista; en caso de contacto con la piel se provocan quemaduras y foto sensibilidad.^[19]

El bromuro tetrapropilamonio (TPABr) no es un material que represente problemas severos a la salud; sin embargo en caso de incendio este químico produce bromuros de hidrógeno y óxidos de nitrógeno.^[20]

Para evitar accidentes con esta materia prima lo importante es capacitar a los operadores, y hacerlos conscientes de seguir los protocolos de manejo de materiales, y utilizar su equipo de seguridad. Es importante que su almacenamiento sea el correcto, y que no haya contaminación de la materia prima con otros químicos o con residuos provenientes de otras fuentes.

5.4.5 Normas de Seguridad e Higiene

Como ya se había mencionado, la Secretaría del Trabajo y Previsión social es la encargada de establecer las normas de seguridad e higiene para garantizar la protección de los trabajadores durante su jornada laboral, a continuación se tiene la lista de Normas a las que este tipo de industria se encuentra sujeta:

- NOM-002-STPS-2010: Establece condiciones de seguridad, prevención y protección contra incendios.
- NOM-004-STPC-1999: Establece los sistemas de protección y dispositivos de seguridad de la maquinaria y equipo que se utilice.
- NOM-005-STPS-1998: Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.
- NOM-006-STPS-2000: Referente al manejo y almacenamiento de materiales, condiciones y procedimientos de seguridad.
- NOM-010-STPS-1999: Establece las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.

- NOM-011-STPS-2001: Referente a las condiciones de seguridad e higiene los centros de trabajo donde se genere ruido.
- NOM-017-STPS-2002: Establece el equipo de protección personal en los centros de trabajo.
- NOM-018-STPS-2000: Establece el sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
- NOM-020-STPS-2002: Referente a las condiciones de trabajo en donde hay recipientes sujetos a presión y/o calderas.
- NOM-028-STPS-2004: Referente a la organización del Trabajo-Seguridad en los Procesos de centros de trabajo donde se utilicen sustancias químicas.
- NOM-113-STPS-2009: Establece el equipo de protección personal, el calzado y los métodos de prueba.

5.4.6 Marco legal

Para poder abrir una empresa de zeolita ZSM-5 en México se necesita cubrir con ciertos requisitos legales, para los cuales se deben de hacer trámites antes las autoridades gubernamentales, tanto las federales como las locales. La Secretaría de Economía recomienda que se hagan los siguientes trámites en su correspondiente dependencia: ^[21]

1. Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE), que por medio del artículo 27 constitucional autoriza la formación de una sociedad, así como el registro de la denominación o razón social, ésta misma se encarga de determinar si ya existe otra empresa con la misma denominación.
2. Notaría Pública, en donde se hace la escritura constitutiva de la nueva empresa. En esta se establecen las reglas y requisitos para las cuales deberá funcionar la sociedad.
3. Secretaría de Hacienda y Crédito Público, donde se debe declarar la apertura de actividades, así como solicitar su inscripción en el Registro Federal de Contribuyentes de la SHCP. En caso de que se quiera ser proveedor de alguna dependencia del gobierno, se requiere registrarse en la misma secretaría en el Padrón de Proveedores de la Administración Pública Federal
4. Instituto Mexicano del Seguro Social, donde se deben de dar de alta al patrón y a los trabajadores en el IMSS, dentro de un plazo de 5 días una vez que se hayan iniciado las actividades de la empresa, donde se determinará el grado de riesgos de los trabajadores

para fijar las cuotas a cumplir. De igual manera deben estar inscritos al Sistema de Ahorro para el Retiro, con una subcuenta en IMSS.

5. Institución Bancaria, en donde se abra la cuenta de cheques para los trámites que se requieran como pagos de nóminas, pagos de impuestos, solicitud de préstamos, etc.
6. Sistema de Información Empresarial Mexicano, porque de acuerdo a la Ley de Cámaras Empresariales y sus Confederaciones, la empresa debe estar registrada en el SIEM, donde se obtienen beneficios como acceso a información de proveedores, programas de compras del gobierno, apoyo entre empresas, etc.
7. Confederación Patronal de la República Mexicana, en caso de que el patrón lo desee, el cual representaría un apoyo para el patrón en caso de requerirlo.
8. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, en donde se debe de dar aviso cada año desde que se inician operaciones, de manifestaciones estadísticas ante la Dirección General de Estadística, dependiente del INEGI.
9. Secretaría de Economía, en donde se verifican y autorizan todos los instrumentos de medición, especialmente las que se utilizan para la venta de producto; además es la encargada de establecer reglas y normas obligatorias para ciertos productos. También es la encargada de verificar que haya garantías en los productos cuando se especifique que el producto cuenta con una, así como verificar los sistemas de control de calidad en estos casos. Por último, la SE es la responsable de controlar las marcas, nombres comerciales, patentes y demás por medio del Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual.
En el caso de que haya algún accionista extranjero, éste se debe de inscribir en el Registro Nacional de Inversión Extranjera.
10. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, ya que hay emisiones a la atmósfera, y descargas de agua, por lo que hay que pedir la Licencia de Funcionamiento, y comprometerse a sujetarse a los parámetros establecidos.
11. Secretaría del Trabajo y Previsión Social, con quien se reportan las medidas de Seguridad e Higiene, capacitación a los trabajadores y condiciones de ambiente de trabajo.
12. Comisión Nacional del Agua, para abrir tomas de agua y registrar las descargas de agua al alcantarillado, así como atenerse a los límites permisibles de contaminantes en las aguas de descarga.
13. Comisión Federal de Electricidad para abrir contrato de suministro de luz.

5.5 Localización de la planta

Para una evaluación completa de proyecto, es necesario tener claro el lugar donde la planta productora de ZSM-5 será ubicada. Esto representa una guía para calcular costos de renta o compra, así como costos de mano de obra, y transporte de la materia prima. Para las propuestas de ubicación de la planta se utilizaron dos métodos: localización por centro de gravedad y por factores ponderados.

5.5.1 Localización por centro de gravedad

El primer factor que se consideró para la determinación del lugar óptimo para la producción de ZSM-5 es la cercanía a la materia prima: lodos de la industria papelera y vidrio.

Para el caso de los lodos se consideró que en la ZMVM hay 10 plantas productoras de papel interés para este estudio. Y en el caso del vidrio no se tomaron en cuenta las ubicaciones de los centros de recolección de residuos; si no la ubicación de la planta recolectora de vidrio de la empresa más grande en la industria del reciclaje del vidrio en México, suponiendo que esta se encuentra en el lugar óptimo para la recolección de vidrio. Según el INEGI, en México se recicla entre el 10% y el 13% del vidrio generado; por lo tanto una posible estrategia para la obtención de esta materia prima es la de las empresas más grandes recicladoras de vidrio, la cual es hacer tratos con municipios para que estos se encarguen de la recolección del vidrio. A pesar de la facilidad de obtener el vidrio reciclado es importante mencionar que por cada kg de lodo seco se requieren 7 de vidrio, con lo que este pasa a ser nuestra materia prima limitante.

Con el método de centro de gravedad, utilizando la cantidad de papel producido al año, basándonos en el dato que por cada tonelada de papel producido se producen 0.5 toneladas de lodos secos⁽¹⁴⁾, y suponiendo el valor mínimo de lodos de las empresas de las que se tienen datos de producción como la cantidad disponible en aquellas empresas para las cuales no se encontró la producción anual, se determinaron las coordenadas geográficas del lugar óptimo para la planta de fabricación de ZSM-5 con las coordenadas del lugar de ubicación de cada planta. En las pruebas se le dio un orden de importancia al vidrio del 70%, 60%, 50% y 40%. En todas las pruebas los resultados arrojados para la planta óptima fueron en la delegación Gustavo A. Madero. Las coordenadas obtenidas se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Coordenadas encontradas para localización de planta

| PORCENTAJE DE IMPORTANCIA DEL VIDRIO | COORDENADA DE LATITUD | COORDENADA DE LONGITUD |
|---|------------------------------|-------------------------------|
| 70% | 19,491 | - 99,098 |
| 60% | 19,489 | - 99,088 |
| 50% | 19,487 | - 99,079 |
| 40% | 19,485 | - 99,069 |

En la ilustración 3 se encuentra un mapa que localiza a las plantas productoras de papel de nuestro interés, la planta recolectora de vidrio y la ubicación de la planta óptima encontrada a partir del método centro de gravedad.

Las coordenadas encontradas fueron en la delegación Gustavo A. Madero, pero por ser una zona residencial no es una buena opción para la localización de la planta productora de ZSM-5, debido a la dificultad que se presentaría al encontrar un terreno con las dimensiones adecuadas; además, por la misma razón los trámites serían más complicados, trámites como uso de suelo, licencias ambientales, descargas de agua, etc. Aunado a esto que los servicios eléctricos y de agua serían más costosos y complicados debido a que en la zona sólo hay instalaciones para servicios a residencias. Por este motivo se tomó la decisión de contemplar otros lugares en zonas industriales, los cuales fueron evaluados por el método de factores ponderados.

5.5.2 Proceso de localización por factores ponderados

Para este proceso se eligieron 3 localidades para evaluar, las cuales fueron elegidas arbitrariamente, considerando únicamente la cercanía al lugar óptimo obtenido con el método de centro de gravedad (Gustavo A. Madero), las localidades elegidas fueron: Tlalnepantla, Ecatepec y Azcapotzalco.

En la tabla 10 se muestra la evaluación de los tres lugares por medio del método de factores ponderados, donde se califica como 0 lo mejor que puede pasar, y 5 lo peor; por lo que se espera que la mejor opción sea aquella con la puntuación más baja. Se evaluó cualitativamente cada factor en cada población. A cada factor se le asignó un porcentaje de importancia. Para la evaluación se multiplicó la calificación de cada población por el porcentaje de importancia de cada factor; por ejemplo, la disponibilidad de agua tiene una importancia del 25%, Azcapotzalco tiene una calificación de 1, Ecatepec de 2.5 y Tlalnepantla de 1 por lo que el número a evaluar es Azcapotzalco 25, Ecatepec 62.5 y Tlalnepantla 25.

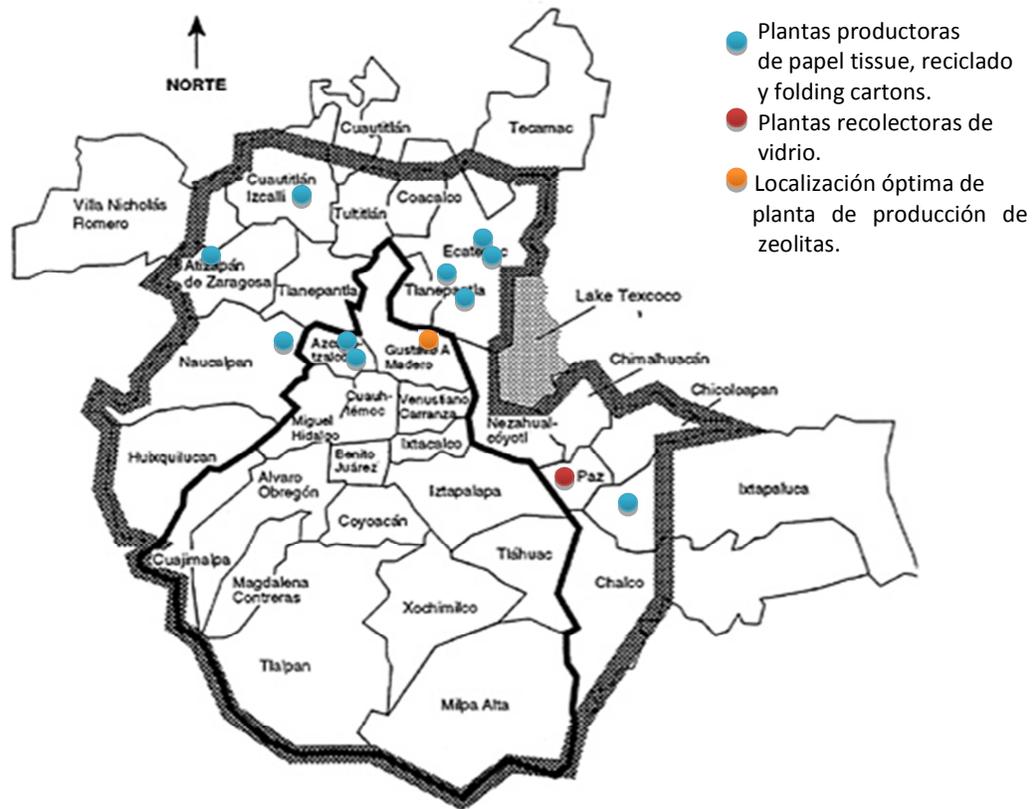


Ilustración 3: Mapa de localización de plantas de interés y planta óptima obtenida por el método de centro de gravedad.

El mejor lugar entre los tres evaluados es Tlalnepantla; aunque Azcapotzalco también es buen lugar para la localización de la planta ya que las calificaciones en casi todos los rubros evaluados fueron iguales entre estas dos localidades, excepto en la disponibilidad de terrenos para la instalación de este tipo de industrias. Tlalnepantla tiene mayor disponibilidad de terrenos, naves industriales, etc. que Azcapotzalco.

A pesar de lo mencionado, se recomienda descartar Azcapotzalco como un posible lugar para establecer la planta de ZSM-5. En la tabla 11 se observa que Ecapetec obtuvo la mayor puntuación, por lo que esta es la opción que se debe descartar puesto que en dos de los tres puntos más importantes para este tipo de industrias se encuentra mal calificada, que son en el caso del agua y en la distribución eléctrica. Con esto se concluye que la localidad más conveniente de las propuestas para la ubicación de la planta productora de ZSM-5 es Tlalnepantla.

Tabla 11: Evaluación de factores intangibles

| FACTORES INTANGIBLES | AZCAPOTZALCO | ECATEPEC | TLALNEPANTLA |
|--|--------------|--------------|--------------|
| DISPONIBILIDAD DE AGUA | Buena | Regular | Buena |
| Calificación | 1 | 2,5 | 1 |
| 25 | 25 | 62,5 | 25 |
| DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES | Excelente | Excelente | Excelente |
| Calificación | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 |
| CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO | Buena | Regular | Buena |
| Calificación | 1 | 2,5 | 1 |
| 13 | 13 | 32,5 | 13 |
| DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA | Suficiente | Mucha | Suficiente |
| Calificación | 0,5 | 0 | 0,5 |
| 10 | 5 | 0 | 5 |
| VÍAS DE TRANSPORTE (CARRETERAS, AEROPUERTOS, PUERTOS) | Buenas | Buenas | Buenas |
| Calificación | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 10 | 10 | 10 |
| DISPONIBILIDAD DE TERRENOS EN ZONAS INDUSTRIALES | Poca | Mucha | Regular |
| Calificación | 4 | 0,5 | 2,5 |
| 7,5 | 30 | 3,75 | 18,75 |
| IMPACTO AMBIENTAL | Medio | Medio | Medio |
| Calificación | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| 6,5 | 16,25 | 16,25 | 16,25 |
| IMPACTO URBANO | Nulo | Poco | Nulo |
| Calificación | 0 | 1 | 0 |
| 4 | 0 | 4 | 0 |
| NIVEL SOCIOCULTURAL DE LA ZONA | Media Alta | Media Baja | Media |
| Calificación | 1,5 | 1,5 | 0 |
| 1 | 1,5 | 1,5 | 0 |

Tabla 11: Evaluación de factores intangibles (Continuación)

| FACTORES INTANGIBLES | AZCAPOTZALCO | ECATEPEC | TLALNEPANTLA |
|----------------------|---------------|------------|--------------|
| INFLUENCIA SINDICAL | Alta | Media | Media |
| | 4 | 3 | 3 |
| 0,5 | 2 | 1,5 | 1,5 |
| TOTAL | 105,25 | 142 | 92 |

5.5.3 Localización de una planta en la República Mexicana

Además de la evaluación en la ZMVM, se hizo una consideración a nivel República Mexicana, se consideraron los mismos factores y se utilizaron los mismos métodos que anteriormente se mencionaron. Esto con la finalidad de considerar un crecimiento futuro en la empresa productora de ZSM-5 o, que la rentabilidad de la empresa se presente con una producción tan grande que requiera materia prima superior a la que se tiene disponible en la ZMVM, lo que obligaría a localizar la planta fuera de ésta.

Los datos que se utilizaron para esta evaluación son: en la República Mexicana hay 27 empresas productoras de papel⁽²⁾, las cuales tienen 58 plantas en 20 Estados; hay 9 sedes de reciclaje donde se llevan residuos como metales, maderas, plástico y papel. De estas empresas las que generan lodos con las propiedades que nos interesan son las productoras de papel Tissue y Folding Carton (como ya se había mencionado). Se encontraron 32 plantas fabricantes de los productos mencionados anteriormente localizadas en los Estados de: Baja California, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, DF, Estado de México, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Tlaxcala y Veracruz.

En el caso del vidrio, como en la evaluación en la ZMVM, se ubicaron los centros de recolección de las empresas más grandes dedicadas a este giro suponiendo que es ahí donde hay más disponibilidad de esta materia prima.

Con el método de centros de gravedad, dando los mismos porcentajes de importancia al vidrio que en la evaluación de la ZMVM (70%, 60%, 50% y 40%), en todas las pruebas el resultado arrojado fue en el Estado de Veracruz, cerca del norte de Hidalgo. Las coordenadas obtenidas se muestran en la tabla 12.

Tabla 12: Coordenadas encontradas para localización óptima de planta

| PORCENTAJE DE IMPORTANCIA DEL VIDRIO | COORDENADA DE LATITUD | COORDENADA DE LONGITUD |
|---|------------------------------|-------------------------------|
| 70% | 21,14031798 | -97,56116863 |
| 60% | 21,09039598 | -98,73467971 |
| 50% | 21,10703665 | -98,34350935 |
| 40% | 21,12367732 | -97,95233899 |

La ilustración 4 muestra el mapa donde se localizan a las plantas productoras de papel de nuestro interés, las plantas recolectoras de vidrio y la ubicación de la planta óptima encontrada a partir del método de centro de gravedad.

Las coordenadas encontradas indican un lugar cerca de la localidad de Pastoría en el municipio de Chicontepec Veracruz, donde no es factible ubicar una industria de este tipo por muchas razones, entre ellas están la eficiencia del servicio eléctrico, las vías de transporte, el abasto de agua potable, la disponibilidad de mano de obra capacitada, etc. Por estas razones se eligieron cuatro posibles localidades cerca del Chicontepec donde podría ser más factible localizar una planta productora de ZSM-5, a estos lugares se les evaluó para después elegir el óptimo. Los lugares evaluados son: Nueva Necaxa, ubicada en el Estado de Puebla, Tampico en Tamaulipas, Ciudad Valles en San Luis Potosí y Pachuca de Soto en el Estado de Hidalgo. En la ilustración 5 se muestra la ubicación geográfica de estos lugares.

Todos los lugares se eligieron arbitrariamente cumpliendo con la cercanía a Chicontepec, pero cada uno tiene sus respectivas ventajas. Nueva Necaxa tiene una gran disponibilidad de agua, y mano de obra capacitada puesto que mucha gente de ahí se quedó sin empleo con el cierre de la Compañía de Luz y Fuerza. Tampico se trata de una ciudad donde hay disponibilidad de mano de obra capacitada, drenaje, disponibilidad de agua y buenas vías de transporte.

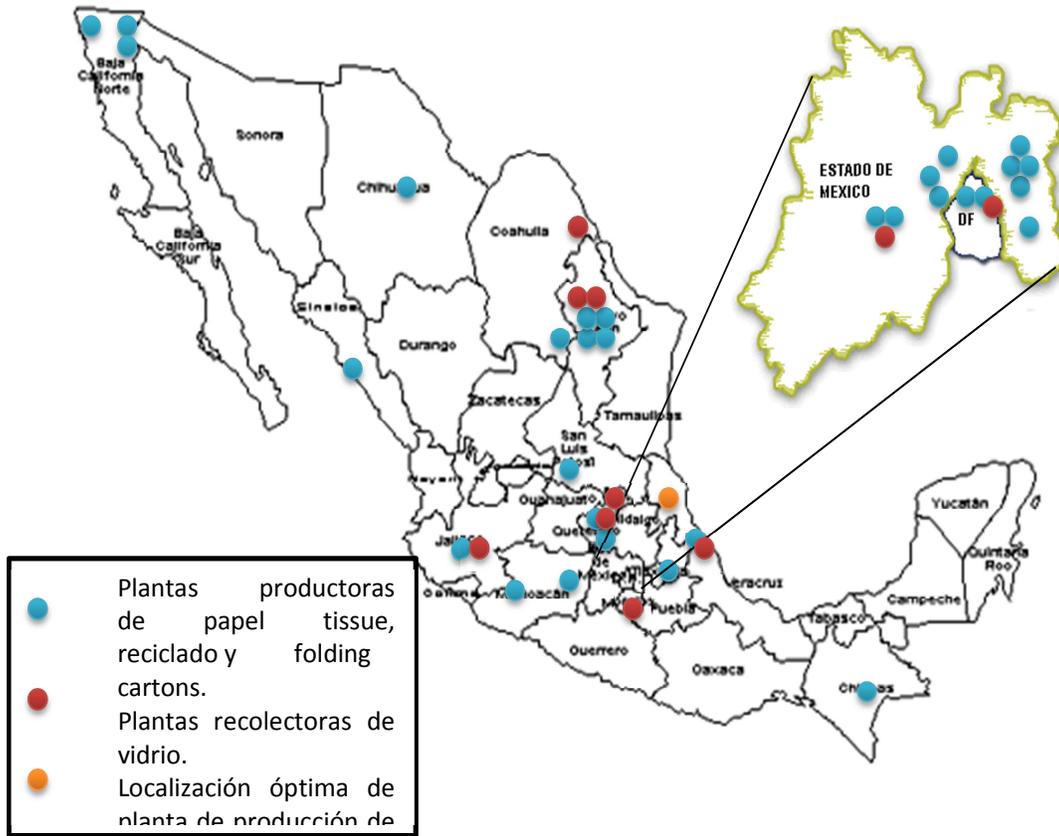


Ilustración 4: Mapa de localización de plantas de interés y planta óptima obtenida por el método de centro de gravedad.



Ilustración 5: Mapa de localización de las posibles ubicaciones de la planta de producción de ZSM-5.

Ciudad Valles tiene buenas vías de transporte, existen varias industrias grandes instaladas ahí, lo que indica que hay disponibilidad de agua y hay buen servicio de distribución eléctrica. Pachuca es una ciudad con muchas vías de transporte, hay disponibilidad de agua, servicios de distribución de energía eléctrica, disponibilidad de mano de obra capacitada, etc.

Con todos los factores intangibles ya mencionados y otros, se evaluaron los lugares para determinar el lugar óptimo. En la tabla 13 se muestran los factores evaluados y las calificaciones asignadas para cada localidad, así como la importancia asignada para cada factor. Se espera la puntuación mínima para determinar que es la mejor opción. El proceso de evaluación fue el mismo utilizado en la tabla 11.

Tabla 13: Evaluación de factores intangibles para localización de planta en República Mexicana.

| FACTORES INTANGIBLES | NUEVO NECAXA | TAMPICO | PACHUCA | CIUDAD VALLES |
|--|-------------------------|----------------|----------------|----------------------|
| DISPONIBILIDAD DE AGUA | Mucha | Suficiente | Media | Suficiente |
| Calificación | 0 | 1 | 2,5 | 1 |
| 25 | 0 | 25 | 62,5 | 25 |
| DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES | Medio | Suficiente | Muy bueno | Pobre |
| Calificación | 2,5 | 1 | 0 | 4 |
| 20 | 50 | 20 | 0 | 80 |
| CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO | Excelente | Excelente | Bueno | Medio |
| Calificación | 0 | 0 | 1 | 2,5 |
| 13 | 0 | 0 | 13 | 32,5 |
| DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA | Buena | Buena | Buena | Baja |
| Calificación | 1 | 1 | 1 | 3,5 |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 35 |
| VÍAS DE TRANSPORTE (CARRETERAS, AEROPUERTOS, PUERTOS) | Media | Muy buena | Buena | Media |
| Calificación | 2,5 | 0,5 | 1 | 2,5 |
| 10 | 25 | 5 | 10 | 25 |
| CERCANÍA A CIUDADES GRANDES | Cerca | Muy cerca | Muy cerca | Cerca |
| Calificación | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 7,5 | 15 | 7,5 | 7,5 | 15 |

Tabla 13: Evaluación de factores intangibles para localización de planta en República Mexicana
(Continuación)

| FACTORES INTANGIBLES | NUEVO NECAXA | TAMPICO | PACHUCA | CIUDAD VALLES |
|---------------------------------------|-----------------|------------|---------------|---------------|
| IMPACTO AMBIENTAL | Medio-alto | Bajo | Bajo | Medio-Alto |
| | 3,5 | 1 | 1 | 3,5 |
| Calificación | | | | |
| 6,5 | 22,75 | 6,5 | 6,5 | 22,75 |
| IMPACTO URBANO | Alto | Bajo | Muy bajo | Medio-Alto |
| | 4 | 1 | 0,5 | 3,5 |
| Calificación | | | | |
| 4 | 16 | 4 | 2 | 14 |
| DISPONIBILIDAD DE DRENAJE | Nulo | Bueno | Deficiente | Bueno |
| | 5 | 1 | 3,5 | 1 |
| Calificación | | | | |
| 2,5 | 12,5 | 2,5 | 8,75 | 2,5 |
| NIVEL SOCIOCULTURAL DE LA ZONA | Medio-Bajo | Medio | Medio-Alto | Medio-Bajo |
| | 3,5 | 2 | 1 | 3,5 |
| Calificación | | | | |
| 1 | 3,5 | 2 | 1 | 3,5 |
| INFLUENCIA SINDICAL | Muy alta | Media | Media | Baja |
| | 5 | 3 | 3 | 1 |
| Calificación | | | | |
| 0,5 | 2,5 | 1,5 | 1,5 | 0,5 |
| TOTAL | 157,25 | 84 | 122,75 | 255,75 |

Con esta información concluyo que el mejor lugar para ubicar la planta de producción de ZSM-5 a nivel República Mexicana es en la ciudad de Tampico en el estado de Tamaulipas, puesto que es la ubicación con menor puntuación; además de que los factores más importantes para nuestra producción son: agua, combustibles, energía eléctrica y disponibilidad de personal capacitado son cubiertos por esta localidad. En general, esta ubicación no muestra inconvenientes, la peor calificación la tiene en influencia sindical, pero como este es un factor que no tiene tanta importancia en esta industria, pues no afecta en la evaluación de este lugar. Tampico tiene ventajas de medios de transporte sobre las demás puesto que tiene disponibilidad de aeropuertos, puertos y carreteras en buen estado.

La opción descartada para ubicar esta industria es Ciudad Valles, ya que la disponibilidad de combustibles es pobre, y además requeriría considerar una fuente alternativa para el abastecimiento de energía en caso de problemas con el suministro, tampoco se tiene una gran disponibilidad de mano de obra capacitada, y las vías de transporte no son suficientes, ya que no hay disponibilidad de aeropuerto, y las carreteras no se encuentran en excelente estado; por lo anterior mencionado, no resulta factible una planta de ZSM-5 en esa zona.

5.5.4 Impacto ambiental

Toda actividad del ser humano tiene un impacto en su ambiente, y en el caso de la instalación de una planta de zeolita ZSM-5 el impacto que ésta representa es considerable. A continuación se presenta un análisis a grandes rasgos de impactos ambientales, donde se describen generalidades del impacto ambiental. Una vez que se decida el lugar exacto para la localización de la planta, se debe de hacer una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) completa considerando todos los puntos importantes como el lugar de a localización, impactos sobre la salud, impactos sociales, etc. los cuales se determinan a partir de lo que rodeará la empresa.

Estimación de impacto ambiental

La SEMARNAT clasifica al impacto ambiental en tres rubros: ⁽²²⁾ aprovechamiento de recursos naturales, contaminación y ocupación del territorio. Esta industria impacta directamente con dos de estos: contaminación y ocupación del territorio, pero indirectamente consume recursos naturales como agua y las materias primas. A continuación se describen brevemente los impactos directos de este tipo de industria:

- a) Ocupación de territorio, la cual depende del lugar donde se establezca la planta, será el impacto por ocupación territorial. Si se trata de un lugar que no esté adecuado para una industria, el impacto será mayor, por lo que es más recomendable buscar zonas industriales para reducir el impacto por ocupación.
- b) Contaminación, la cual se concentra en la contaminación del agua. Como se puede ver en el capítulo 3, en el proceso se utiliza mucha agua y esta sale del proceso con carga orgánica (CaCO_3), ácido clorhídrico (HCl) y Sosa cáustica (NaOH). Por lo que será necesario darle tratamiento a las aguas residuales antes de descargarlas en el alcantarillado. En el caso de emisiones a la atmósfera, el proceso de lixiviación expulsa CO_2 principalmente, por lo que será necesaria una campana de extracción en el Reactor 1 para que no se intoxiquen los

trabajadores. El TPABr si representa un peligro si el reactor quedase abierto, pero esto no debe de ocurrir puesto que el proceso debe ser cerrado.

Estimación de impacto social

Este tipo de industria trae consigo una oferta laboral, aunque como se puede ver en el capítulo 3 la cantidad de gente necesaria en esta industria no es mucha. Aunque no sólo le ofrece empleo a sus trabajadores, si no indirectamente a otras personas, por ejemplo, se requieren estudios de fluorescencia que se deben mandar a hacer, así como la formación de pellets que se debe hacer fuera de la empresa; y otros empleos indirectos.

Ayuda con la reducción de residuos como lo son los lodos y el vidrio; además coloca a México en un lugar competitivo para la producción de zeolitas sintéticas. Por lo que hacer una empresa de este tipo trae más beneficios a la sociedad que desventajas.

Estimación de impacto a la salud

Este tipo de empresas no trae consigo un gran impacto a la salud, porque aunque se trate de una empresa química las emisiones de gases no son suficientes como para provocar daños a la salud, sin embargo, por ser CO₂ el gas que se emite en mayor cantidad, se está contribuyendo al efecto invernadero.

En caso de que no se le diera tratamiento al agua, esta tendría concentraciones altas de carga orgánica, lo que se traduce en niveles altos de DBO que trae como consecuencia actividad patógena alta. Esto si representaría un riesgo a la salud, puesto que puede haber contaminación por sepas como por ejemplo la *Escherichia coli*, corriendo el riesgo de contaminar a la población que esté en contacto con esta agua.

Si se le da tratamiento al agua que sale del proceso, esta industria no representa ningún riesgo para la salud de la población en donde se encuentre la industria.

5.6 Estudio Económico

Para una evaluación completa del proyecto es indispensable la evaluación económica del proyecto. Esta sección se divide en costos de inversión y en costos de operación, los cuales a su vez se dividen en costos directos e indirectos. Debido a que el proyecto no resultó rentable por el costo tan elevado en la materia prima, el punto de equilibrio es una propuesta de

mejora del proceso. Para este capítulo, el valor de dólar utilizado fue el del día 2 de Mayo de 2012, \$13.05 pesos mexicanos.

5.6.1 Costos de inversión

Para el cálculo de los costos de inversión se tomó en cuenta que el mejor lugar para poner una planta es Tlalnepantla, y que se requiere un terreno de 1000 m² para área de producción y almacén, se sabe que el costo por metro cuadrado de una nave industrial en esta zona es de \$5,440 pesos mexicanos. No se requiere comprar transporte para distribución puesto que se arrendaría, y sería un costo cargado al comprador. A continuación se muestra la tabla 14 en donde se especifican los costos de inversión.

Tabla 14: Inversión fija total en miles de pesos (⁰⁰/100 MN)

| INVERSIÓN FIJA TOTAL EN MILES DE PESOS | |
|---|--------------------|
| Equipo y mobiliario de oficina | \$ 50,00 |
| Maquinaria, Herramientas y Mobiliario de planta | \$ 6.600,00 |
| Equipo de Cómputo y Electrónico | \$ 40,00 |
| Equipo de Transporte | \$ - |
| TOTAL DE EQUIPAMIENTO | \$ 6.690,00 |
| Terreno | \$ 6.256,00 |
| Construcciones y acondicionamiento | \$ 310,00 |
| TOTAL DE TERRENO Y CONSTRUCCIONES | \$ 6.566,00 |
| TOTAL DE ACTIVO FIJO | \$13.256,00 |
| Transferencia de Tecnología | \$ 180,00 |
| Gastos de Instalación de maquinaria, herramienta, equipo y mobiliario. | \$ 500,00 |
| Gastos en trámites y licencias | \$ 80,00 |
| Gastos en estudios | \$ 118,00 |
| TOTAL DE ACTIVO DIFERIDO | \$ 878,00 |
| INVERSIÓN FIJA TOTAL EN MILES DE PESOS | \$14.134,00 |
| INVERSIÓN FIJA TOTAL EN USD | \$ 1.083,07 |

Para mayor detalle de la tabla 14 ver anexo.

5.6.2 Costos de operación

Los costos de operación se dividen en costos directos y costos indirectos. Los costos directos son aquellos están estrechamente relacionados con la producción como lo son la materia prima, la mano de obra de producción, servicios eléctricos, de agua, combustibles, etc. Los costos indirectos son aquellos que no están relacionados directamente con la producción pero que sin embargo son necesarios para la producción, ventas y demás actividades.

Se hizo un cálculo de ambos costos para los primeros 5 años, para los cuales se tomó en cuenta lo siguiente:

- a) Valor actual neto del 4%; lo que significa que supongo una inflación anual del 4%.
- b) La producción de la planta es para cubrir el 0.05% de la demanda anual de ZSM-5 en el mundo.
- c) La eficiencia del proceso actual es del 20%.
- d) Las ventas crecen el 12% cada año.
- e) El préstamo a pedir cubrirá inversión fija y la operación del primer mes.
- f) Las ventas son por toneladas por lo que se maneja el menor precio a la venta el cual baja a un 10% de lo que cuesta la zeolita por kilo: 50,000.00 USD la tonelada.
- g) Las ventas son del 85% anual.
- h) El costo del agua en Tlalnepantla es de de 890.65 los primeros 9000 litros, y de 1. 0146 por litro en adelante.
- i) El costo de los servicios (luz, agua teléfono, etc.) no varía con el tiempo.

Para los costos directos se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Cada lote consume 250 L.
- b) Se hacen 3 lotes a la semana, tomando en cuenta 48 semanas laborales.
- c) El costo de la electricidad es por un servicio de alta tensión tipo HS, para un consumo constante con una tarifa para el centro.
- d) Se consume 1 pipa de combustible semanal, el precio utilizado es el de abril de 2012, \$11.17 pesos mexicanos.
- e) El porcentaje de costos de mantenimiento es el 5% del costo de la maquinaria total los primeros 3 años, después es el 10%.
- f) El costo del TPABr se reduce en un 30% cuando se compra en toneladas.

Tabla 15: Costos directos para los primeros 5 años (⁰⁰/100 MN)

| COSTO DIRECTO | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| AÑO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Materias primas y distribución | | | | | |
| Costo total | \$ 68.821,266 | \$ 77.079,817 | \$ 86.329,396 | \$ 96.688,923 | \$ 108.291,594 |
| VPN 4% | \$ 68.821,266 | \$ 74.115,209 | \$ 79.816,379 | \$ 85.956,100 | \$ 92.568,108 |

Tabla 15: Costos directos para los primeros 5 años (⁰⁰/100 MN) (Continuación)

| COSTO DIRECTO | | | | | | |
|--|----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Mano de obra directa | | | | | | |
| Costo total | | \$ 648,000 | \$ 673,920 | \$ 700,877 | \$ 728,912 | \$ 758,068 |
| VPN | 4% | \$ 648,000 | \$ 648,000 | \$ 648,000 | \$ 648,000 | \$ 648,000 |
| Mantenimiento | | | | | | |
| Costo total | | \$ 528,800 | \$ 549,952 | \$ 571,950 | \$ 594,828 | \$ 618,621 |
| VPN | 4% | \$ 528,800 | \$ 528,800 | \$ 528,800 | \$ 528,800 | \$ 528,800 |
| Servicios de producción (luz, agua, combustibles, etc.) | | | | | | |
| Costo total | | \$ 3.007,483 | \$ 3.127,782 | \$ 3.252,894 | \$ 3.383,009 | \$ 3.518,330 |
| VPN | 4% | \$ 3.007,483 | \$ 3.007,483 | \$ 3.007,483 | \$ 3.007,483 | \$ 3.007,483 |
| TOTAL (⁰⁰/100 MN) | | \$ 73.005,549 | \$ 78.299,492 | \$ 84.000,662 | \$ 90.140,383 | \$ 96.752,391 |
| TOTAL EN USD | | \$ 5.594,295 | \$ 5.999,961 | \$ 6.436,832 | \$ 6.907,309 | \$ 7.413,976 |

Para mayor detalle de la tabla 15 ver anexo. En la tabla 15 se muestran los costos directos de la producción; la materia prima representa un 94.3% del total del costo directo; lo cual es sumamente elevado y se debe a la eficiencia del proceso, y a la cantidad de materia prima utilizada.

Para los costos indirectos se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Los trabajadores ocupan cuatro veces al día el baño, gastan 8 L en cada ocasión, con un total de 7 días de trabajo; 7 empleados al día.
- b) El costo de la electricidad es por un servicio de alta tensión tipo HS, para un consumo constante con una tarifa para el centro.
- c) El servicio telefónico es un Paquete Negocio sin límites \$1,499 mensual más costos extras.
- d) Se rentan camiones, transportes aéreos y marítimos esporádicamente, a lo cual se le carga 200,000 anual, ya que el envío del producto se le carga al comprador.
- e) Hay aumento salarial del 4% cada año.
- f) Hay una depreciación del 10% en equipo, mobiliario, maquinaria y herramientas.
- g) Hay una depreciación del 33% en equipo de cómputo.
- h) Hay un 5% de depreciación en terreno y construcción.
- i) El pago de regalías por patente es del 5% de las ventas.

Tabla 16: Costos indirectos para los primeros cinco años (⁰⁰/100 MN)

| COSTO INDIRECTO | | | | | | |
|---|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| AÑO | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Desarrollo de tecnología | | | | | | |
| Costo total | | \$ 120,000 | \$ 24,800 | \$ 129,792 | \$ 134,984 | \$ 40,383 |
| VPN | 4% | \$ 120,000 | \$ 20,000 | \$ 120,000 | \$ 120,000 | \$ 120,000 |
| 120,000 | | | | | | |
| Pago de regalías | | | | | | |
| Costo total | | \$ 1.406,790 | \$ 1.718,842 | \$ 1.925,103 | \$ 2.156,115 | \$ 2.414,849 |
| VPN | 4% | \$ 1.406,790 | \$ 1.652,732 | \$ 1.779,866 | \$ 1.916,778 | \$ 2.064,223 |
| Depreciaciones | | | | | | |
| Equipo y mobiliario | | \$ 5,000 | \$ 5,000 | \$ 5,000 | \$ 5,000 | \$ 5,000 |
| Maquinaria, herramientas mobiliario de planta | | \$ 660,000 | \$ 660,000 | \$ 660,000 | \$ 660,000 | \$ 660,000 |
| Equipo de computo | | \$ 13,200 | \$ 13,200 | \$ 13,200 | \$ - | \$ - |
| Terreno y construcción | | \$ 328,300 | \$ 328,300 | \$ 328,300 | \$ 328,300 | \$ 328,300 |
| TOTAL | | \$ 1.006,500 | \$ 1.006,500 | \$ 1.006,500 | \$ 993,300 | \$ 993,300 |
| Amortizaciones | | | | | | |
| Transferencia de tecnología | | \$ 18,000 | \$ 18,000 | \$ 18,000 | \$ 18,000 | \$ 18,000 |
| Gastos de instalación | | \$ 50,000 | \$ 50,000 | \$ 50,000 | \$ 50,000 | \$ 50,000 |
| Gastos en trámites y licencias | | \$ 8,000 | \$ 8,000 | \$ 8,000 | \$ 8,000 | \$ 8,000 |
| Gastos en estudios | | \$ 11,800 | \$ 11,800 | \$ 11,800 | \$ 11,800 | \$ 11,800 |
| TOTAL | | \$ 87,800 | \$ 87,800 | \$ 87,800 | \$ 87,800 | \$ 87,800 |
| Gastos de administración | | | | | | |
| Personal | | \$ 1.134,000 | \$ 1.179,360 | \$ 1.226,534 | \$ 1.275,596 | \$ 1.326,620 |
| Servicios de capacitación, agua, luz, teléfono, etc. | | \$ 263,110 | \$ 273,634 | \$ 284,580 | \$ 295,963 | \$ 307,801 |
| TOTAL | | \$ 1.397,110 | \$ 1.452,994 | \$ 1.511,114 | \$ 1.571,559 | \$ 1.634,421 |
| VNP | 4% | \$ 1.397,110 | \$ 1.397,110 | \$ 1.397,110 | \$ 1.397,110 | \$ 1.397,110 |

Tabla 16: Costos indirectos para los primeros cinco años (⁰⁰/100 MN) (Continuación)

| COSTO INDIRECTO | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| Gastos de venta | | | | | | | | | | | |
| Promoción | \$ | 100,000 | \$ | 104,000 | \$ | 108,160 | \$ | 112,486 | \$ | 116,986 | |
| VNP | 4% | \$ | 100,000 | \$ | 100,000 | \$ | 100,000 | \$ | 100,000 | \$ | 100,000 |
| TOTAL (⁰⁰/100 MN) | \$ | 4.118,200 | \$ | 4.364,142 | \$ | 4.491,276 | \$ | 4.614,988 | \$ | 4.762,433 | |
| TOTAL EN USD | \$ | 315,571 | \$ | 334,417 | \$ | 344,159 | \$ | 353,639 | \$ | 364,937 | |

Dentro de los costos directos también se debería incluir el pago de intereses por préstamo, sin embargo éste se consideró aparte en el flujo de efectivo. Para mayor detalle sobre la tabla 16 ver anexo.

5.6.3 Flujo anual uniforme equivalente

Para la evaluación completa del proyecto se hizo una propuesta del flujo de efectivo para los primeros cinco años suponiendo que hay una venta del 85%. El resultado, como se puede ver en la tabla 17 es que el proyecto **no es rentable**. Aunque se lograra una venta del 100% no se podría alcanzar a hacer rentable el proyecto debido a que el costo directo de producción es casi tres veces el costo del producto final.

El precio de la zeolita ZSM-5 es de \$6525.00 por tonelada, y como se mencionó anteriormente, se quiere cubrir el 0.05% de la demanda anual (84,750 ton); por lo que debe de haber una producción de 42.375 toneladas anuales.

Tabla 17: Flujo anual de efectivo en miles de pesos (⁰⁰/100 MN)

| FLUJO ANUAL DE EFECTIVO EN MILES DE PESOS | | | | | | | | | | |
|--|----------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| CONCEPTO | PERIODO | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | |
| Ventas totales | \$ | 28.135,80 | \$ | 31.512,10 | \$ | 35.293,55 | \$ | 39.528,77 | \$ | 44.272,23 |
| Total de costo directo | -\$ | 73.005,55 | -\$ | 78.299,49 | -\$ | 84.000,66 | -\$ | 90.140,38 | -\$ | 96.752,39 |
| UM = utilidad marginal | -\$ | 44.869,75 | -\$ | 46.787,40 | -\$ | 48.707,11 | -\$ | 50.611,61 | -\$ | 52.480,17 |
| Total de costo y gasto indirecto | -\$ | 4.118,20 | -\$ | 4.364,14 | -\$ | 4.491,28 | -\$ | 4.614,99 | -\$ | 4.762,43 |
| TCG = utilidad de operación | -\$ | 48.987,95 | -\$ | 51.151,54 | -\$ | 3.198,39 | -\$ | 55.226,60 | -\$ | 57.242,60 |
| Pago de intereses | -\$ | 4.120,00 | -\$ | 4.120,00 | -\$ | 4.120,00 | -\$ | 4.120,00 | -\$ | 4.120,00 |

Tabla 17: Flujo anual de efectivo en miles de pesos (⁰⁰/100 MN) (Continuación)

| FLUJO ANUAL DE EFECTIVO EN MILES DE PESOS | | | | | | | | |
|---|------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|--|--|
| CONCEPTO | | PERIODO | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| Utilidad antes de impuestos | | -\$ 53.107,95 | -\$ 55.271,54 | -\$ 57.318,39 | -\$ 59.346,60 | -\$ 61.362,60 | | |
| Impuesto sobre la renta | 32 % | -\$ 16.994,54 | -\$ 17.686,89 | -\$ 18.341,88 | -\$ 18.990,91 | -\$ 19.636,03 | | |
| Reparto de utilidades | 10 % | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | | |
| Pagos al principal de los créditos | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | | |
| Flujo neto de efectivo (utilidad ó pérdida) (MN) | | -\$ 70.098,91 | -\$ 72.958,43 | -\$ 75.660,27 | -\$ 78.337,51 | -\$ 80.998,63 | | |
| FNE acumulado (utilidad acumulada o pérdida acumulada) (⁰⁰ /100 MN) | | -\$ 70.098,91 | -\$ 143.057,34 | -\$ 218.717,6 | -\$ 297.055,13 | -\$ 378.053,76 | | |
| Flujo neto de efectivo en USD | | -\$ 5.371,56 | -\$ 5.590,68 | -\$ 5.797,72 | -\$ 6.002,87 | -\$ 6.206,79 | | |
| FNE acumulado (utilidad acumulada o pérdida acumulada) en USD | | -\$ 5.371,56 | -\$ 10.962,25 | -\$ 16.759,97 | -\$ 22.762,85 | -\$ 28.969,64 | | |

5.6.4 Punto de equilibrio

Debido a que el proyecto no es rentable por el costo tan alto de sus materias primas, no se puede presentar un punto de equilibrio; sin embargo se encontró el punto de eficiencia mínima en la cristalización para que el proyecto se rentable.

Se llegó a una eficiencia del 95% con ventas del 100%. En las tablas 18 y 19 se muestran las diferencias en costos directos y en el flujo anual. Donde con estas condiciones propuestas se terminaría de pagar el préstamo requerido de 16.05 millones de pesos al quinto año.

Tabla 18: Costos directos con una eficiencia de cristalización del 95% (⁰⁰/100 MN)

| COSTO DIRECTO | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| AÑO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Materias primas y distribución | | | | | |
| Costo total | \$ 14.646,58 | \$ 16.404,17 | \$ 18.372,67 | \$ 20.577,393 | \$ 23.046,681 |
| VPN 4% | \$ 14.646,58 | \$ 15.773,242 | \$ 16.986,569 | \$ 18.293,228 | \$ 19.700,399 |

Tabla 18: Costos directos con una eficiencia de cristalización del 95% (⁰⁰/100 MN)
(Continuación)

| COSTO DIRECTO | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| AÑO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Mano de obra directa | | | | | | |
| Costo total | \$ 648,000 | \$ 673,920 | \$ 700,877 | \$ 728,912 | \$ 758,068 | |
| VPN 4% | \$ 648,000 | \$ 648,000 | \$ 648,000 | \$ 648,000 | \$ 648,000 | |
| Mantenimiento | | | | | | |
| Costo total | \$ 528,800 | \$ 549,952 | \$ 571,950 | \$ 594,828 | \$ 618,621 | |
| VPN 4% | \$ 528,800 | \$ 528,800 | \$ 528,800 | \$ 528,800 | \$ 528,800 | |
| Servicios de producción (luz, agua, combustibles, etc.) | | | | | | |
| Costo total | \$ 3.007,483 | \$ 3.127,782 | \$ 3.252,894 | \$ 3.383,009 | \$ 3.518,330 | |
| VPN 4% | \$ 3.007,483 | \$ 3.007,483 | \$ 3.007,483 | \$ 3.007,483 | \$ 3.007,483 | |
| TOTAL (⁰⁰/100 MN) | \$ 18.830,865 | \$ 19.957,525 | \$ 21.170,852 | \$ 22.477,511 | \$ 23.884,682 | |
| TOTAL EN USD | \$ 1.442,978 | \$ 1.529,312 | \$ 1.622,287 | \$ 1.722,415 | \$ 1.830,244 | |

Debido al cambio en la eficiencia del proyecto el costo de la materia prima se redujo a casi la quinta parte del costo con la eficiencia actual del proceso. De la tabla 19 se obtiene que el costo directo representa el 66.9% de la ventas totales. Y es entonces cuando el proyecto comienza a ser rentable. El pago al crédito se determinó por la capacidad de la utilidad acumulada, de tal manera que al cierre del año no se quede la empresa sin dinero; además de hacerlo lo más pronto posible para que no aumenten los intereses ya que el crédito requerido es de 16.05 millones de pesos mexicanos y en cinco años pagando como se muestra en la tabla 19, se generan intereses de 20.6 millones de pesos mexicanos con una tasa del 20%.

Tabla 19: Flujo anual de efectivo con una eficiencia de cristalización del 95% (⁰⁰/100 MN)

| FLUJO ANUAL DE EFECTIVO EN MILES DE PESOS | | | | | | |
|--|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| CONCEPTO | PERIODO | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Ventas totales | \$ 28.135,80 | \$ 31.512,10 | \$ 35.293,55 | \$ 39.528,77 | \$ 44.272,23 | |
| Total de costo directo | -\$ 18.830,87 | -\$ 19.957,53 | -\$ 21.170,85 | -\$ 22.477,51 | -\$ 23.884,68 | |
| UM = utilidad marginal | -\$ 9.304,93 | -\$ 11.554,57 | -\$ 14.122,70 | -\$ 17.051,26 | -\$ 20.387,54 | |
| Total de costo y gasto indirecto | -\$ 4.118,20 | -\$ 4.364,14 | -\$ 4.491,28 | -\$ 4.614,99 | -\$ 4.762,43 | |
| TCG = utilidad de operación | \$ 5.186,73 | \$ 7.190,43 | \$ 9.631,42 | \$ 12.436,27 | \$ 15.625,11 | |
| Pago de intereses | -\$ 3.210,00 | -\$ 3.050,00 | -\$ 2.630,00 | -\$ 1.870,00 | -\$ 670,00 | |
| Utilidad antes de impuestos | \$ 1.976,73 | \$ 4.140,43 | \$ 7.001,42 | \$ 10.566,27 | \$ 14.955,11 | |

Tabla 19: Flujo anual de efectivo con una eficiencia de cristalización del 95% (⁰⁰/100 MN)
(Continuación)

| FLUJO ANUAL DE EFECTIVO EN MILES DE PESOS | | | | | | | |
|--|------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| Impuesto sobre la renta | 32 % | -\$ 632,56 | -\$ 1.324,94 | -\$ 2.240,45 | -\$ 3.381,21 | -\$ 4.785,64 | |
| Reparto de utilidades | 10 % | -\$ 197,67 | -\$ 414,04 | -\$ 700,14 | -\$ 1.056,63 | -\$ 1.495,51 | |
| Pagos al principal de los créditos | | -\$ 800,00 | -\$ 2.100,00 | -\$ 3.800,00 | -\$ 6.000,00 | -\$ 3.350,00 | |
| Flujo neto de efectivo (utilidad o pérdida) (MN) | | \$ 350,00 | \$ 301,45 | \$ 260,82 | \$ 128,44 | \$ 5.323,96 | |
| FNE acumulado (utilidad acumulada o pérdida acumulada) (MN) | | \$ 350,00 | \$ 651,53 | \$ 912,36 | \$ 1.040,80 | \$ 6.364,76 | |
| Flujo neto de efectivo en USD | | \$ 26,83 | \$ 23,10 | \$ 19,99 | \$ 9,84 | \$ 407,97 | |
| FNE acumulado (utilidad acumulada o pérdida acumulada) en USD | | \$ 26,83 | \$ 49,93 | \$ 69,91 | \$ 79,75 | \$ 487,72 | |

5.7 Evaluación Económica

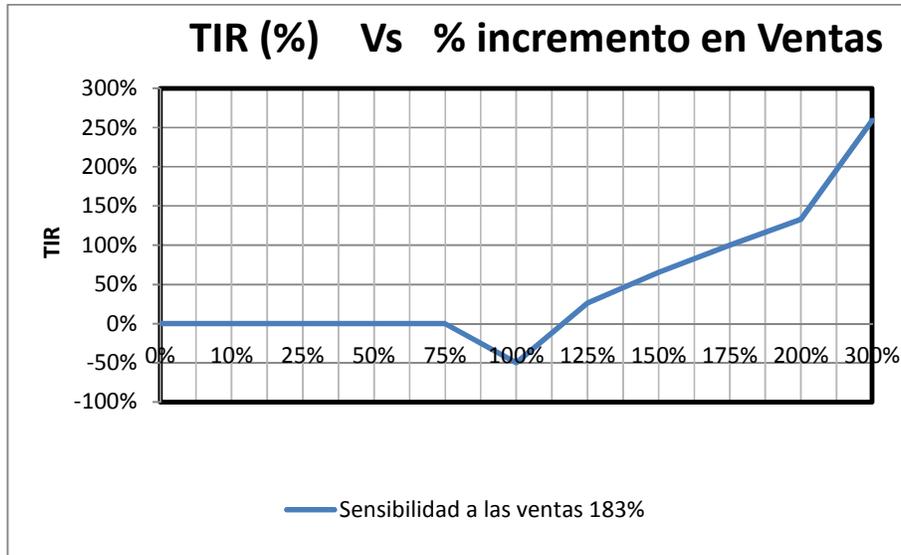
Como el resultado del proyecto de inversión fue negativo, se hizo una evaluación económica suponiendo la eficiencia del 95% en el proceso de cristalización. Con los datos de la tabla 19 se obtuvo la tasa interna de retorno, la cual se muestra en la tabla 20 y se puede observar que es negativa durante los primeros cinco años; con lo que se puede deducir que es hasta el año 6 cuando se comienza a recuperar la inversión. Con este dato se puede rechazar la inversión aun cuando la eficiencia sea del 95%.

Tabla 20: TIR anual de los primeros 5 años.

| FLUJO ANUAL DE EFECTIVO EN MILES DE PESOS | | | | | |
|---|---------|------|------|------|------|
| CONCEPTO | PERIODO | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| TIR | -98% | -84% | -70% | -62% | -16% |

Análisis de sensibilidad

Para este análisis únicamente se tomó en cuenta la sensibilidad a las ventas, ya que es la parte del proyecto más delicada pues la cantidad a producir y vender es muy significativo, y en la gráfica 1 se muestra la sensibilidad que tiene el proyecto a las ventas, superando el 100%, lo cual significa que nuestro proyecto es muy sensible a las ventas, y si hay cualquier cambio en estas el proyecto puede quebrar.



Gráfica 1: Sensibilidad a las ventas

5.8 Análisis de riesgos

El análisis de riesgos es una herramienta para la toma de decisiones, este análisis ayudará a determinar a quien desee invertir en una empresa productora de zeolita ZSM-5 si le conviene invertir en esta industria o no. El riesgo que más impacta este tipo de industria es el riesgo en el mercado.

Riesgos en el mercado

Se han identificado tres riesgos en el mercado principalmente: uno que China siga produciendo la zeolita a bajo costo y de mejor calidad, el segundo que otro producto sustituya a la zeolita ZSM-5 y el tercero que el petróleo ya no sea una fuente primaria de energía.

1. China cubre el 15% de la demanda total de ZSM-5 y hace zeolita ZSM-5 más barata, en los últimos años China se ha caracterizado por la producción de diversos productos a un

precio mucho más bajo que el que se ofrecía originalmente; y aunque al principio la calidad de los productos chinos era muy baja, con los años ésta ha ido mejorando considerablemente. La clave del éxito de China se concentra en dos cosas, la primera es que usan materias primas más baratas y la segunda, y la más importante es que la mano de obra es poco remunerada. El sistema de producción de China se ha caracterizado por pagar poco a sus empleados y hacerlos trabajar en momentos y lugares extremos; un ejemplo es que algunos productos los producen en altamar mientras viajan al lugar donde el producto final será vendido, con lo cual se ahorran dinero pero sobre todo, tiempo.

2. Que otro producto sustituya a la zeolita ZSM-5. Para la elaboración de catalizadores para el FCC, otras zeolitas utilizadas son la X y la Y, la más utilizada de estas es la zeolita Y. En caso de que se encontraran más ventajas de la zeolita Y sobre la ZSM-5, esta sería rápidamente sustituida; cabe mencionar que esto ya está en proceso.

La zeolita Beta es más común en el sistema SCR, y últimamente se han encontrado más ventajas a la zeolita 13X, ambas representan una amenaza para la zeolita ZSM-5. Por otro lado las zeolitas naturales como la Chabazita y la Clintoptilolita también son utilizadas en la captura de gases, y por su bajo costo son más utilizadas.

3. Que el petróleo ya no sea una fuente primaria de energía, por lo que la cantidad de catalizadores para el FCC disminuya. Esto traería como consecuencia que la demanda de ZSM-5 disminuiría como consecuencia. En los últimos años se ha estado buscando una fuente de energía alterna para sustituir la combustión del petróleo; sin embargo, el uso de este no ha ido disminuyendo.

Las consecuencias de que alguna de estas cosas ocurran es que se cerraría el mercado de la zeolita ZSM-5, lo cual provocaría que la producción de esta sea una pérdida enorme de dinero. Esto llevaría la quiebre de la empresa. En este tipo de riesgos no se puede hacer nada para evitarlos ya que están fuera de las manos de la administración.

Riesgos financieros

1. Una devaluación de la moneda mexicana, la última crisis que llevó a una terrible devaluación del peso mexicano fue en el año de 1994; sin embargo en el 2009 pasamos por una crisis mundial en la cual México se vio afectado fuertemente. Aunado a que el peso mexicano ha tenido una depreciación constante en los últimos años. La moneda mexicana no es una moneda fuerte en el mercado.
2. Una crisis mundial económica, la última ocurrida en 2009. Esta golpearía los precios de la materia prima, la liquidez de los compradores y por consecuencia de la empresa. La

posibilidad de que ocurra es muy alta, actualmente Europa está pasando por una crisis muy fuerte, y es muy probable que esta impacte la economía de México.

3. Un crédito a tasa variable junto con una crisis financiera. Este riesgo viene pegado con los riesgos anteriores, la consecuencia sería una deuda “infinita” por intereses.
4. Que no se logre vender la cantidad mínima de ZSM-5, lo cual tendría como consecuencia falta de dinero, solicitar más créditos y endeudarse más. Esto podría ser ocasionado por los riesgos que ya se mencionaron en la sección de riesgos en el mercado.

Para el problema de la moneda, las ventas y compras se deben hacer en dólares o euros; no sólo porque esas monedas sean más fuertes, si no porque el comprador manejará esa moneda con mayor facilidad. Por otro lado, no se puede prevenir una crisis como la del 2009; en donde empresas de todo el mundo cerraron. Pero se pueden tomar medidas de prevención como reducción de gastos, etc. Es importante mencionar que algunos ecónomos ⁽²³⁾ esperan una crisis este 2012 debido a la crisis europea.

Para evitar endeudarse infinitamente en caso de una crisis económica, es recomendable buscar un crédito que de preferencia no sea tasa variable.

Riesgos tecnológicos

1. Que exista un proceso mucho más eficiente y económico que el que se utilice en la planta de zeolita. Esto es probable debido al trabajo exhaustivo de investigación en diversos países para hacer más económica la fabricación de ZSM-5. Esto abarataría el costo de la zeolita y el producto dejaría de ser competitivo a menos que se adoptase el mismo proceso.
2. Que se desarrolle constantemente nueva maquinaria que mejore o acelere el proceso de síntesis de zeolitas.

Para prevenir estos riesgos es importante invertir en investigación para la mejora del proceso, de tal manera que se utilice menor cantidad de materia prima, o un aumento en la eficiencia de cristalización.

Se debe de mantener bien capacitado al personal, para evitar lo más que se pueda accidentes, además se garantizaría una producción con mejores resultados y un mayor aprovechamiento de materia prima, ya que este recurso es el más costoso.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

El proyecto de elaboración de zeolita ZSM-5 en la Zona Metropolitana del Valle de México con el proceso de síntesis propuesto por el equipo de investigadores del Instituto de Ingeniería, el cual tiene una eficiencia de cristalización del 20%, no es factible económicamente. El factor económico es el determinante para llevar a cabo un proyecto de inversión, este proyecto tiene el costo de materia prima muy elevado, por lo cual se concluye que la elaboración de ZSM-5 con las características que se tienen hasta el momento no es factible.

El proyecto tiene factibilidad técnica puesto que se cuenta con la disponibilidad de maquinaria, de mano de obra y de materias primas. El proceso no es tan costoso, y aunque se requieren días para terminar un lote, el proceso es competitivo comparado con las patentes existentes. Aunado a esto, el proyecto de elaboración de zeolita ZSM-5 no resulta tener gran impacto ambiental.

El lugar óptimo para la ubicación de una planta de este tipo es Tlalnepantla, Estado de México. Una industria de este tipo favorecería socialmente puesto que ofrece empleos y movimiento en la economía de México; además pondría a México en un país muy competitivo en la rama de las zeolitas, abriendo paso al desarrollo en catalizadores.

Los principales riesgos que este tipo de empresa corre, por su mercado internacional son una crisis financiera, tanto local como internacional; zeolita ZSM-5 más barata producida en China y que otro tipo de zeolitas o materiales desplacen a ésta.

En el ámbito Nacional los consumidores de zeolita son casi nulos, puesto que quien la consume lo hace en cantidades muy pequeñas. Internacionalmente los principales consumidores son Estados Unidos, Alemania, Corea del Sur y China. Los principales productores son los mismos que los consumidores.

Toda esta información puede ser de gran ayuda en un futuro, cuando el proceso tenga una mayor eficiencia y el uso de materias primas sea menor.

Este trabajo terminó siendo un estudio de factibilidad ya que no se tuvieron herramientas suficientes para lograr una evaluación de proyecto puesto que resultó no factible económicamente, lo que truncó una evaluación completa del proyecto.

CAPÍTULO 7

RECOMENDACIONES

Para garantizar la rentabilidad del proyecto utilizando la información presentada en este documento, lo que sigue es continuar con la investigación en materia de síntesis de la zeolita ZSM-5 de tal manera que se aumente lo más que se pueda la eficiencia de la cristalización. Otro aspecto importante que también implica investigación es la reducción de consumo de materia prima, y sobre todo la más costosa como es el caso del TPABr; otra alternativa es la sustitución de esta sustancia.

En caso de implementación de la industria, se recomienda hacer una planta piloto sometida a las condiciones industriales a las que el proceso estaría. Es recomendable buscar un préstamos con intereses fijos, ya que los intereses variables nos pueden afectar en el caso de crisis económica, lo cual es muy probable que ocurra.

Es necesario que la cristalización sea superior al 95% en caso de que no se logre reducir el uso de materia prima costosa, para que sea rentable. Para este caso, es necesario hacer de nuevo un análisis de costos con los datos a utilizar en el futuro proyecto; esperando que el préstamo para la inversión inicial disminuya.

Otra opción que no se consideró en la evaluación económica pero que vale la pena considerar es que la compra del terreno (arriba del 40% de la inversión inicial) puede ser una compra a crédito, esperando pagarla en un plazo de 10 a 20 años. Lo cual reduciría la inversión inicial, pero aumentaría el pago de intereses y pagos a plazos del terreno. Es recomendable evaluar lo más conveniente para la empresa entre las dos opciones. Y en el caso de que los inversionistas no quieran comprar el terreno, también debería considerarse una renta del mismo.

Se recomienda hacer un análisis de impacto ambiental más a fondo, con información directa del proceso; mediciones de contaminantes emitidos a la atmósfera y medición de contaminantes provenientes del agua residual. Así como considerar una planta de tratamiento de agua para esta industria; la cual también debería ser colocada en el plan de negocios para evaluar costos de operación y costos iniciales de la misma.

REFERENCIAS

1. Wajima et al., (2006). *Zeolite synthesis from paper sludge ash at low temperature (90 °C) with addition of diatomite*. Journal of Hazardous Materials B132 244–252, DOI:10.1016/j.jhazmat.2005.09.045
2. Secretaría del Medio Ambiente del DF,(2009). *Inventario de Residuos Sólidos del Distrito Federal*, http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/inventario_residuos_solidos_2009.pdf Fecha de consulta: 08/01/2012
3. Guiseppe giannetto P. (1990). *Zeolitas*. Caracas: Editorial Ediciones Innovación Tecnológica, 3-7,24.
4. Giraldo, Quinchía y Valencia, 2007. *Uso de lodos provenientes de la industria papelera en la elaboración de paneles prefabricados para la construcción*. Revista EIA ISSN 1794-1237 Número 8, p. 9-19, <http://revista.eia.edu.co/articulos8/art.1.pdf>
5. Yan, Sagoe-Crentsil y Shapiro, 2011. *Reuse of de-inking sludge from wastepaper recycling in cement mortar product*. Journal of Environmental Management; Vol. 92 Issue 8, p 2085-2090, DOI:1016/j.jenvman.2011.03.028
6. Beauchamp, Charest, Gosselin, *Examination of environmental quality of raw and composting de-inking paper sludge*. Journal of Environmental Management. Vol. 46 Issue 6, pagina 887, DOI:10.1016/j.jenvman.2011.03.028
7. Gea, Artola y Sánchez, 2005. *Composting of de-inking sludge from the recycled paper manufacturing industry*. Journal of Bioresource Technology, Volume 96, Issue 10, Pages 1161–1167, DOI: 10.1016/j.biortech.2004.09.025
8. Pardini, Vila, Gispert, Pelach y Mutjé, 2008. *Uso experimental de un lodo de la industria papelera para atenuar la movilidad de metales pesados en suelos*. 1^{er} Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos en Castellón España.
9. Beauchamp,Boulanger, Matte y Saint-Laurent, 2002. *Examination of the Contaminants and Performance of Animals Fed and Bedded Using De-Inking Paper Sludge*. Journal of Environmental Contamination and Toxicology, Volumen 42, Number 4, 523-528, DOI: 10.1007/s00244-001-0036-z
10. Barriga, Méndez, Cámara, Guerrero y Gasco, (2011). *Síntesis de zeolita NAP-GIS, con diferentes morfologías a partir de diatomitas*. Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 10, No. 1 (2011), páginas 117-123.
11. Gustavo Ignacio Cadena Sánchez, *Software Plan de Negocios*, México 2012.

12. Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel,
<http://www.camaradelpapel.com.mx/> Fecha de consulta: 09/03/2012
13. Thompson, Swain, Kay y Forster, 2001. *The treatment of pulp and paper mill effluent: a review*. Journal Bioresource Technology, Volumen 77 Issue 3, paginas 275–286. DOI: 10.1016/S0960-8524(00)00060-2.
14. **Venditti, Richard. *Selected Topics in Lignocellulosics for Biofuels*.**
<http://www4.ncsu.edu/unity/users/r/richardv/www/ethanol.html> Fecha de consulta: **12/10/2011**
15. Secretaría de Gobernación, (2011). *PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-161-SEMARNAT-2011*, <http://dof.gob.mx/normasOficiales.php?codp=4482&view=si> Fecha de consulta: 12/10/2011
16. Degan, Chitnis y Schipper, (2009). *History of ZSM-5 fluid catalytic cracking additive development at Mobil*, Microporous and Mesoporous Materials 35-36 (2000), 245-252.
17. Bilge Yilmaz y Ulrich Müller, (2009). *Catalytic Applications of Zeolites in Chemical Industry*, Topics in Catalysis Vol. 52 Number 6-7, 888-895, DOI: 10.1007/s11244-009-9226-0.
18. Oxiquim S.A., (2004). *Hoja de Datos de Seguridad de productos*, Chile. http://www.e-seia.cl/archivos/Soda_Caustica_Solida.PDF Fecha de consulta: 20/04/2012.
19. Química UNAM. *Hoja de Seguridad III, Ácido clorhídrico*,
<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/3hshcl.pdf> Fecha de consulta: 20/04/2012.
20. Merk, (2003). *Ficha de datos de Seguridad, TPABR*,
http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=bromuro+de+tetrapropilamonio+hojka+de+seguridad&source=web&cd=2&ved=0CCKQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.emdchemicals.com%2Fpharmaceutical-ingredients%2Fen_US%2FMerck-GB-Site%2FGBP%2FViewProductDocuments-File%3FProductSKU%3DMDA_CHEM-818735%26DocumentType%3DMSD%26DocumentId%3D%252Fmda%252Fchemicals%252Fmsds%252Fes-ES%252F818735_ES_ES.PDF%26DocumentSource%3DGDS%26Country%3DGB%26Channel%3DMerck-GB-Site&ei=RKWNT9-5BOWl8AG5j-GSBw&usg=AFQjCNFzihTCTo_LP4P-Po5a9XlwzFlIGA&cad=rja Fecha de consulta: 20/04/2012.
21. *Guías empresariales*, Secretaría de Economía, Fecha de consulta: 17 de Abril de 2012
<http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=10&g=4&sg=28>
22. Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, *Impacto Ambiental y Tipos*, SEMARNAT,
<http://www.semarnat.gob.mx/transparencia/transparenciafocalizada/impactoambiental/Paginas/impactoambiental.aspx>

23. Diario Presente, Redacción, (18 de enero del 2012). *Espera México crisis económica para 2012*. <http://www.diariopresente.com.mx/section/economia/49748/espera-mexico-crisis-economica-para-2012/> Fecha de consulta 03/05/2012.

BIBLIOGRAFÍA

México ante el cambio climático, Instituto Nacional de Ecología, Última Actualización: 27/08/2007, <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetas/154/cclimatico.html> Fecha de consulta: 28/09/2011

El programa GEI México cumple 6 años de operación con logros significativos en el tema de cambio climático, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010. <http://www.geimexico.org/> Fecha de consulta: 28/09/11

ChartsBin statistics collector team 2011, Current Worldwide CO₂ Emissions from the Consumption of Energy, <http://chartsbin.com/view/565> Fecha de consulta: 29/09/2011

Jiménez Cisneros, Blanca H., La contaminación ambiental en México, A.C. Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA, México 2001, 926 páginas

Alejandro Aguilar Sierra. El efecto Invernadero (video), Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM, México, agosto del 2003. http://www.youtube.com/watch?v=QD-18YqEPVM&feature=player_embedded Fecha de consulta: 03/10/2011

Eco-logic Maintenances México. ¿Qué es zeolita?, <http://www.emmexico.com/zeoponiaem.pdf> Fecha de consulta: 03/10/2011

Zeolitech, 2009. Zeolitas, <http://www.zeolitech.com/informacion/?cargando=%5Btype+Function%5D&hiloPrecarga=1> Fecha de consulta: 05/10/2011

Fernández Navarro, José María. El vidrio, tercera edición 2003, Consejo Superior de investigaciones científicas, Sociedad española de cerámica y Vidrio, España 1985. PP 54-55

Glosario. Término, Glosario. Net, 2003 - 2012 HispaNetwork Publicidad y Servicios, S.L. <http://ciencia.glosario.net/agricultura/filtro-11235.html> Fecha de consulta: 03/10/11

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, NOM-004-SEMARNAT-2002, Diario Oficial Federal del 12 de Agosto del 2003.

BARRIGA, S.; MÉNDEZ, A.; CÁMARA, J.; GUERRERO, F.; GASCO, G. (2010). Agricultural valorization of de-inking paper sludge as organic amendment in different soils: thermal study. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. DOI 10.1007/s10973-010-0692-1

Régis Baziramakenga, Régis R. Simard, and Roger Lalande, (2000). Effect of de-inking paper sludge compost application on soil chemical and biological properties. Canadian Journal of Soil Science. 81(5): 561-575. DOI: 10.4141/S00-063

Ciesla, William M., Cambio climático, bisques y ordenación forestal: una visión de conjunto. Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma 1996. Pp. 146.

Instituto Nacional de Ecología. Preguntas Frecuentes: Cambio Climático en México, Última Actualización: 08/06/2010 http://cambio_climatico.ine.gob.mx/pregfrecuentes.html#2 Fecha de consulta: 04/01/2012.

Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Diatomeas, http://www.fhcs.unp.edu.ar/catedras/ecologia_acuatica/ecologia_acuatica/Textos%20alumnos/Diatomeas.pdf Fecha de Consulta: 22/10/11

Olgún Gutiérrez, María Teresa. Zeolitas, Características y Propiedades. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares; México D.F.

Coss Bu, Raúl. Análisis y evaluación de proyectos de inversión. 2nda edición, México: Limusa 2005. P. 375

Tarifa de la Ley de Impuestos Generales de Importación y Exportación, 18/06/2007 con modificación 28/12/2010 por la Cámara de Diputados. <http://www.siicex.gob.mx/portalSiicex/SICETECA/Decretos/Arancel/Tigie/tigiex.htm> Fecha de consulta: 04/01/2012

Servicio de Administración Tributaria. Entrada de Mercancías, última modificación 29 de julio de 2010. http://www.aduanas.sat.gob.mx/aduana_mexico/2008/importando_exportando/142_18090.html Fecha de consulta: 04/01/2012

Ríos Bustamante, Luis Alberto; Córdoba C., Luis Fernando; Castro R. Liliana y Montes de Correa Consuelo. *Reducción Catalítica Selectiva de Óxidos de Nitrógeno con Metano Sobre Catalizadores Zeolíticos*, Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia, Medellín Colombia. Colombia, 2001.

<http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/A1-013.pdf> Fecha de consulta: 17/01/2012

Indicador Automotriz. Motor Ambiental. Publicado: 18/05/2009,

<http://www.indicadorautomotriz.com.mx/autobuses/motor-ambiental.html>. Fecha de consulta: 16/01/2012

Vasconcelos, Elizabete. Euro V: el futuro más verde, ctsEMBARQ México,

<http://www.embarq.org/cts-mexico/node/320>, Fecha de consulta: 16/01/2012

Aumenta en México el uso de camiones híbridos-ecológicos, Said Pulid Aranda , febrero del 2011 <http://www.ganar-ganar.com.mx/pdf/r48/60-61.pdf> Fecha de consulta: 16/01/12

Secretaría del Medio Ambiente del gobierno del Distrito Federal. Control de NOx, Programa de contingencias ambientales atmosféricas,

http://www.sma.df.gob.mx/tramite_exencion/index.php?opcion=13 Fecha de consulta: 16/01/2012

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Evaluación de convertidor Catalítico a Diesel, Noviembre del 2007

<http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/publicaciones/Publicaciones/EVALUACION%20DE%20CONVERTIDOR%20CATALITICO%20DIESEL.pdf> Fecha de consulta: 16/01/2012

Leavens , Peter B. Zeolites , Chemistry Explained, <http://www.chemistryexplained.com/Va-Z/Zeolites.html> Fecha de consulta: 17/01/2012

Wu Xianchun. Acidity and Catalytic Activity of Zeolite Catalysts Bound with Silica and Alumina, Texas A&M University, tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Filosofía. Texas, 2003.

Virta, Robert L. Zeolites, , U.S. Geological Survey Minerals Yearbook, 2000;
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zeolites/zeomyb00.pdf> Fecha de
consulta: 16/01/2012

Advanced Chemicals Supplier 2008-2011, Molecular Sieves: Prices.
<http://www.acsmaterial.com/agent.asp> Fecha de consulta: 10/01/2012

Albemarle Corporation, (2012). Catalysts. <http://www.albemarle.com/Products-and-Markets/Catalysts/FCC/Catalysts-192.html> Fecha de consulta: 16/01/2012

ANEXO

Tabla 21: Costo de Materia Prima Anual en Miles de Pesos (°°/MN).

| MATERIA PRIMA | COSTO °°/MN (Miles de Pesos) |
|--------------------|------------------------------|
| Lodos | \$ 33.93906112 |
| Vidrio | \$ 19.62732340 |
| NaOH | \$ 619.03072000 |
| HCl | \$ 293.47472000 |
| Glicerol | \$ 17,746.63968000 |
| TPABr | \$ 49,885.87296000 |
| Aglutinante | \$ 22.681120 |
| TOTAL (MN) | \$ 68,621.265585 |

Tabla 22: Gasto total del personal en miles de pesos. (°°/100 MN)

| GASTO TOTAL DE PERSONAL (°°/100 MN) | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------|--------------|--------------|-------------------|-------------|
| Cargo | Percepción mensual | Prestaciones | No. Personas | Mensual Integrado | Anual Total |
| Dirección de producción | \$20.00 | \$7.00 | 1 | \$27.00 | \$324.00 |
| Técnico | \$10.00 | \$3.50 | 2 | \$27.00 | \$324.00 |
| Dirección general | \$25.00 | \$8.75 | 1 | \$33.75 | \$405.00 |
| Contador | \$12.00 | \$4.20 | 1 | \$16.20 | \$194.40 |
| Compras y ventas | \$12.00 | \$4.20 | 1 | \$16.20 | \$194.40 |
| Ayudante | \$4.50 | \$1.58 | 2 | \$12.15 | \$145.80 |
| Vigilante | \$6.00 | \$2.10 | 2 | \$16.20 | \$194.40 |
| MANO DIRECTA | | | | | \$648.00 |
| MANO INDIRECTA | | | | | \$1,134.00 |
| TOTAL | | | | | \$1,782.00 |

Tabla 23: Gastos de servicio para la producción en miles de pesos. (°°/100 MN)

| GASTO DE SERVICIO PARA LA PRODUCCIÓN (°°/100 MN) | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| PERIODO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Agua | \$47.48 | \$47.48 | \$47.48 | \$47.48 | \$47.48 |
| Energía Eléctrica | \$960.00 | \$960.00 | \$960.00 | \$960.00 | \$960.00 |
| Combustibles | \$2,000.00 | \$2,000.00 | \$2,000.00 | \$2,000.00 | \$2,000.00 |
| Control de la calidad | \$432.00 | \$432.00 | \$432.00 | \$432.00 | \$432.00 |
| Total servicios producción | \$3,007.48 | \$3,127.78 | \$3,252.89 | \$3,383.01 | \$3,518.33 |
| VPN i= | 4% | \$3,007.48 | \$3,007.48 | \$3,007.48 | \$3,007.48 |

Tabla 24: Inversión fija total desglosada en miles de pesos. (⁰⁰/100 MN)

| INVERSIÓN FIJA TOTAL | | ⁰⁰/100 MN |
|---|--|-----------------------------|
| EQUIPAMIENTO | | \$ 6,690.00 |
| Equipo y mobiliario de oficina | | \$ 50.00 |
| | Mobiliario de producción | \$ 15.00 |
| | Mobiliario de oficinas administrativas | \$ 35.00 |
| Maquinaria, Herramientas y Mobiliario de planta | | \$ 6,600.00 |
| | Trituradora | \$ 100.00 |
| | Horno (2) | \$ 2,000.00 |
| | Reactor (4) | \$ 3,200.00 |
| | Cardera (2) | \$ 500.00 |
| | Máquina para hacer pellets | \$ 800.00 |
| Equipo de cómputo y electrónico | | \$ 40.00 |
| | Cómputo para producción | \$ 10.00 |
| | Cómputo para administración | \$ 30.00 |
| Equipo de transporte | | \$ - |
| TOTAL DE TERRENO Y CONSTRUCCIONES | | \$ 6,566.00 |
| Terreno | | \$ 6,256.00 |
| | Terreno para producción | \$ 5,168.00 |
| | Terreno para administración | \$ 1,088.00 |
| Construcciones y acondicionamiento | | \$ 310.00 |
| | Acondicionamiento administración | \$ 10.00 |
| | Acondicionamiento producción | \$ 300.00 |
| TOTAL DE ACTIVO DIFERIDO | | \$ 878.00 |
| Transferencia de tecnología | | \$ 180.00 |
| | Investigación | \$ 120.00 |
| | Pruebas | \$ 60.00 |
| Gastos de instalación maquinaria, herramienta, equipo y mobiliario | | \$ 500.00 |
| Gastos en trámites y licencias | | \$ 80.00 |
| | Acta constitutiva | \$ 14.00 |
| | Licencia de operaciones | \$ 30.00 |
| | Licencia de funcionamiento ambiental | \$ 6.00 |
| | Trámites y otras licencias | \$ 30.00 |
| Gastos en estudios | | \$ 118.00 |
| | Estudio de mercado | \$ 39.00 |
| | Diseño de la línea de producción | \$ 30.00 |
| | Diseño de almacén de materias primas | \$ 20.00 |
| | Elaboración de planos | \$ 29.00 |
| INVERSIÓN FIJA TOTAL | | \$ 14,134.00 |