4. Revisión Bibliográfica.

4.1. Revisión histórica breve.

La aparición de la cerámica es durante el período neolítico, alrededor del año 6,400 antes de nuestra era, las piezas eran muy rudimentarias y hechas a mano. Durante la edad de los metales aparecen los cuencos y ollas ovoides y campaniformes; su decoración consistía en las huellas de los dedos durante su confección y es también en esta época cuando se descubrió que el barro perdía su plasticidad cuando se sometía al fuego; en la decoración se utilizaban tierras coloreadas y su temática eran elementos geométricos, vegetales, formas de ave, etc.

Por otro lado, en Mesopotamia se tiene que los caldeos-asirios usaron el barro, para la construcción de vasijas y fabricación de ladrillos con los que construyeron edificios tanto de tipo civil como religioso. En ocasiones estos ladrillos se decoraron a partir de una pasta silícea coloreada que producía un esmalte vítreo; en occidente todavía no se conocía el esmalte. Se tiene constancia que los babilonios conocían el torno. Los elementos ornamentales de la cerámica son de formas geométricos utilizando colores pardos sobre fondo blanco.

En cuanto a Grecia se tiene que Rodas y Corintio se distinguieron en la producción de cerámica arcaica, teniendo en el siglo V la máxima expresión en la cerámica ática, decorada con figuras rojas sobre fondo negro. Las piezas elaboradas eran vasijas con distintas funciones. La decoración se hacía aplicando una pasta coloreada la cual se aplicaba sobre la pieza en proceso de secado, después se serigrafiaban las figuras con un punzón dejando descubierta la arcilla original.

La cultura romana se caracterizó porque no se preocuparon por embellecer la cerámica, ya que ésta tenía un fin práctico, además su técnica

fue perfecta. Las legiones de Augusto difundieron por todo el imperio la cerámica sigillata por su utilidad en la mesa. Las formas más comunes de las piezas eran tazas, ollas con tapadera, ánforas alargadas de cuello alto y con dos asas laterales.

La porcelana inventada por los chinos en la época Tang (618-907), fue importada en grandes cantidades por los portugueses. Se intento imitar su blancura y su translucidez. En Francia se inició la producción de porcelana blanda y promovieron las manufacturadas. En Sajonia se fabricó en 1759 la primera porcelana dura parecida a la china. El arte del gres descubierto en China hacia el siglo III a. J.C., en Europa se inició en los países nórdicos.

4.2. Arcillas y arenas.

4.2.1 Definición de las arcillas.

El término arcilla se define como la roca sedimentaria dispersa y compuesta por partículas de minerales hojosos compuestos esencialmente de silicatos de aluminio hidratados, y que, en su mayor parte, se hallan como fracción particulada (de 0.001 a 1 micras) e impurezas de otros minerales acompañantes (Avgustinik, 1983).

4.2.2 Clasificación de las arcillas.

Existen diferentes clasificaciones de las arcillas, sin embargo, en el presente trabajo sólo se presenta una de éstas:

- **Arcillas comunes**: Su principal aplicación está en la fabricación de la cerámica de construcción conformada por tejas, ladrillos, baldosas y tubos, así como para la producción de alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres. Por otro lado, casi todo el tipo de arcilla es útil para la manufactura de cemento como fuente de alúmina y sílice.

- **Caolín**: Es un mineral cuya utilidad es amplia, algunos ejemplos son:

  - Fabricación de papel. Cabe mencionar que para esta aplicación, las especificaciones del caolín son estrictas respecto al color, pureza y tamaño de partícula.
  - Cerámica y refractarios. Ejemplos: porcelana, gres, loza sanitaria y de mesa, electrocerámica; aislantes térmicos y cemento.
  - Otros usos: sustituto de resinas en pinturas, aislante y caucho. El caolín calcinado se emplea para catalizadores y fibras de vidrio.

- **Bentonitas**: sus usos generales se enfocan a la fabricación de lodos de perforación, como arenas de moldeo, agente aglutinante en la fabricación de pelets, adsorbentes, material de sellado, etc.

- **Paligorskita y sepiolita**: Este tipo de arcilla es muy raro, sin embargo, sus usos se han observado desde la época de los Mayas. Sus propiedades reológicas, alta superficie específica hacen que sus aplicaciones sean:

  - Adsorbentes en purificación de productos del petróleo.
  - Lodos de perforación.
  - Cerámica y aislantes.

Por otro lado, según la finalidad que tenga la arcilla, la cantidad de agua requerida en % es:

- Arcilla para ladrillos: 15-25 %.
- Arcilla refractaria: 15-25 %.
- Arcilla de alfarero: 15-50 %.

4.2.3 Estructura de las arcillas.

Desde el punto de vista químico, la arcilla es un silicoaluminato hidratado, es decir, en su composición encontramos silicio, aluminio, oxígeno e hidrógeno, en la figura 4-1 se muestra la estructura química de las arcillas.

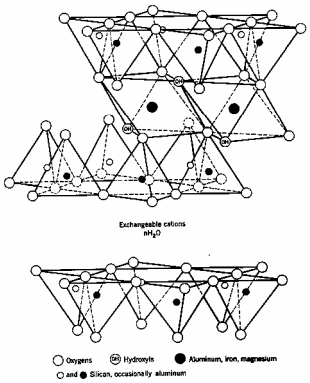

Figura 4-1. Estructura de las arcillas.

Fuente: Avgustinik. *Cerámica* (1983).

4.3. Cerámica.

4.3.1 Definición.

La palabra cerámica deriva del vocablo griego keramos, cuya raíz sánscrita significa quemar. En su sentido más estricto se refiere a la arcilla en todas sus formas. Sin embargo, el uso moderno de este término hace más amplio el significado, incluyendo a todos los materiales inorgánicos no metálicos. Desde la década del '50 en adelante, los materiales más importantes fueron las arcillas tradicionales, utilizadas en alfarería, ladrillos, azulejos y cosas semejantes, junto con el cemento.

4.3.2 Clasificación de las cerámicas.

La clasificación de las cerámicas es la siguiente:

- **Cerámicas tradicionales**, son mezclas de óxidos y arcillas cuyo proceso de aglutamiento se realiza a altas temperaturas, entres sus materias primas se encuentran los alúmino-silicatos, feldespatos y la sílice. Entre sus

desventajas se encuentran defectos y huevos por el tamaños de partícula que es grande, así como pérdida de material o de oxígeno por las altas temperaturas.

- **Cerámicas de alta tecnología**. Son materiales superconductores, resistentes al calor, como ejemplo se tiene el vidrio, la cerámica vítrea. Para su producción se utiliza la alúmina densa, SiC, Si_3N_4, ZrO_2 óxido de zirconio y aditivos especiales.

4.3.3 Reacciones de la ceramización.

En la fabricación de cerámica se llevan a cabo siete reacciones (Avgustinik, 1983):

- Desprendimiento de agua higroscópica en los minerales arcillosos y eliminación del agua en los alofanoides que pueden hallarse en la arcilla.
- Las impurezas orgánicas sufren oxidación.
- Los minerales arcillosos se deshidratan, a esto se le conoce como desprendimiento del agua de constitución.
- Reacciones en fase sólida.
- Reacciones en fase líquida y formación de la solución vítrea.
- Las nuevas fases cristalinas se forman.
- Reacciones de descarbonización y desulfuración.

El primer grupo de reacciones se caracteriza por el efecto endotérmico lo cual da lugar a la formación de vapor de agua que con su presión puede romper el producto en el caso de que se incremente rápidamente la temperatura.

El segundo grupo de reacciones (oxidación de impurezas orgánicas) se caracteriza exotérmico 300-400°C. En esta etapa, una parte de dichas impurezas pueden no quemarse como consecuencia de un aumento rápido de la temperatura y a que la influencia de la difusión de oxígeno del aire en el grosor del objeto es insuficiente. Asimismo, si la combustión es lenta, puede generarse grafitización de una parte del carbono.

La velocidad de combustión se eleva a medida que aumenta la temperatura, hasta la aparición de la fase líquida en la arcilla cocida, después la velocidad disminuye momentáneamente a causa del empeoramiento de la difusión de oxígeno del aire. El valor máximo de la velocidad de combustión tiene lugar entre 780 y 800°C.

El tercer grupo de reacciones, es decir, la deshidratación de minerales arcillosos, se caracteriza por el efecto endotérmico, el cual abarca desde los 500 hasta los 700°C.

4.3.4 Fabricación de cerámica artesanal.

En general, se tiene que el proceso de fabricación artesanal de cerámicas sigue las siguientes etapas:

a) Obtención de la materia prima.
b) Preparación de la materia prima.
c) Modelado de la pieza.
d) Tratamientos anteriores a la cocción.
e) Secado.
f) Cocción.
g) Templado.
h) Tratamientos posteriores a la cocción.

4.3.5.1 Obtención de la materia prima.

Las materias primas esenciales de un producto de cerámica son la arcilla y el agua. Se pueden añadir productos no plásticos (“desgrasantes”) a la mezcla de arcilla y puede que se necesiten pinturas o barnices para el acabado de las piezas.

Cabe mencionar que la mezcla de arcilla y agua genera un material plástico moldeable que se puede tornear y cocer. Se debe incorporar a la arcilla

sales solubles disueltas en agua mezclando agua salada con la arcilla antes de moldear la pieza o sumergiendo la vasija ya hecha en agua de mar antes de cocerla.

4.3.5.2 Preparación de la arcilla.

Se requiere dos tipos de preparación de la arcilla:

- **Purificación**: **consiste** en la extracción de materiales no deseados, como las raíces y otras sustancias orgánicas, o de guijarros grandes.

- **Alteración de las propiedades del material**. Según la función que tendrán las piezas se necesitarán distintas mezclas de arcilla para su producción. Se pueden mezclar dos o más tipos de arcilla, añadiendo quizás desgrasantes no plásticos.

Las materias primas deben almacenarse en silos cubiertos y se han de proteger de las lluvias, el polvo y el hollín.

En la producción actual para la preparación de la masa se han adoptado dos esquemas tecnológicos: el más antiguo y usado, molido fino de los materiales por vía húmeda, y el moderno que consiste en el molido vía seca.

4.3.5.3 Moldeado.

Existen dos métodos de moldeado: primarios, que nos proporcionan la forma básica de la pieza; y los secundarios, que definen los detalles. El primer tipo de método puede ser a mano o por rotación, este último con un torno.

Cabe mencionar que en el caso del moldeado forjado, se realiza a través de moldes de yeso que se preparan con yeso semihidratado $CaSO_4 \cdot 0.5\ H_2O$, obtenido por la deshidratación parcial de la piedra de yeso dihidratado $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. El material semihidratado tiene la densidad igual a 2.6-2.75 g/cm^3 y la cantidad de agua en él después del fraguado alcanza el 21%.

- **Técnica de moldeado a mano.**

Consiste en ahuecar el centro de una bola de arcilla dándole forma entre el pulgar y los dedos. Esta técnica, por lo general, se usa sólo para hacer pequeñas vasijas redondeadas o como técnica secundaria para realizar elementos adicionales que se añaden a la pieza elaborada.

Una vez que la pieza ha alcanzado cierto tamaño es necesario moverla. Se puede colocarla sobre un soporte móvil, como una estera, o una base fija hecha especialmente para la fabricación de cerámica.

Es común el uso de moldes para hacer cerámica, si bien dentro de esta categoría encontramos una amplia variedad de técnicas, por ejemplo, se puede emplear un objeto hueco, de la base de otra vasija o un molde de cuero. Algunos tipos de moldes tienen una decoración incisa o impresa en la cara interior.

- **Técnica de moldeado por rotación (torno).**

Los tipos de torno son:

- Torno de manubrio o rueda simple, es un sencillo volante que gira sobre un pivote central.
- Torno tipo pozo, compuesto por dos volantes unidos a lo largo de un eje central y sostenidos por una agarradera abajo y un soporte arriba. El disco inferior es más grande y pesado y es el que mantiene el impulso aplicado por la persona que ejerce el movimiento de rotación con el pie.

4.3.5.4 Tratamiento de la superficie.

Las operaciones de desbarbado y raspado sirven para alisar las irregularidades que deja la fabricación con anillos o tiras de barro, así como para unir las distintas partes, pero al mismo tiempo alteran la apariencia de la pieza.

Uno de los tratamientos de la superficie más comunes es el bruñido que consiste en frotar la vasija con un guijarro liso u otra herramienta para que la superficie se vuelva compacta y quede una serie de facetas y cierto lustre sobre la superficie.

4.3.5.5 Secado.

Su fin es eliminar el agua acumulada junto a las partículas de arcilla. Este proceso se puede llevar a cabo al aire libre o en cobertizos calentados especialmente. Durante este proceso la pieza se encogerá lo que puede acabar en grietas. Asimismo, en esta etapa se concentran las sales disueltas y las partículas finas de arcilla en la superficie debido al movimiento de del agua a través de la pared.

4.3.5.6 Cocción y templado.

El propósito de la cocción es transformar los minerales de arcilla en cerámica. En algunas arcillas los cambios se producen cuando alcanzan los 700-950ºC.

Los tipos de cocción son:

- **Cocción abierta**, también denominada cocción en montón o en hoguera, en la que las piezas y el combustible entran en contacto directo y se amontonan sobre el suelo o en un hoyo excavado en el terreno. La característica más notable de la cocción abierta es el rápido incremento de la temperatura desde el primer momento y su corta duración.

- **Cocción en horno**, en la que la cerámica y el carburante están separados; la pieza suele estar en una cámara calentada por gases calientes y las llamas del combustible. Su característica principal es que la **combustión** se produce en un espacio distinto al lugar en que se depositan los recipientes a

cocer, pero ambos están en comunicación. Esta cocción, a altas temperaturas, es más regular y evita fracturas por cambios fuertes de temperatura.

Por otro lado, el templado consiste en un proceso de enfriamiento tal que la calidad del producto sea la que se requiere. La temperatura alcanzada durante la fase vítrea se disminuye aproximadamente 150°C por hora hasta alcanzar los 750°C, se realiza así ya que a causa de la transición de la fase vítrea a sólido se pueden generar tensiones que agrieten el material. De los 750 a 500°C se aumenta el tiempo de enfriamiento para que no exista transformación reversible del cuarzo.

Cabe mencionar que las etapas de cocción y temple pueden durar de 8 a 11 horas en el proceso total. Los tiempos y temperaturas dependerán de los materiales presentes en la arcilla.

Los tiempos y temperaturas de las fases se muestran en la tabla 3.

Tabla 4-1. Tiempos y temperaturas de las fases durante la cocción de los materiales cerámicos.

Fase	Intervalos/ hora	Temperatura Final	Observaciones
Desprendimiento de agua higroscópica	50-80°C	200°C	
Deshidratación e inicio de reacciones	300°C	800°C	Esperar más de una hora al incrementar la temperatura
Aparición de la fase vítrea	100-150°C	900-950°C	
Temple	< 150 °C	750°C	Evita cuarteadoras
Temple	-	500°C	Aumentar tiempo de intervalos

Fuente: Méndez Martínez, A. (2004).*Ceramización de metales tóxicos.* Tesis Licenciatura en Ingeniería Química Área Ambiental. UDLA-Puebla.

4.3.5.7 Técnicas de decoración.

- Impresión: se aplica un objeto duro sobre la superficie aún blanda de la arcilla. Objetos para la impresión: cestería, dedos, uñas, conchas, punzones, etc.
- Incisión: Se aplica un objeto sobre el recipiente y se desplaza o arrastra por éste. El perfil de las incisiones suele ser en “v” o en “u”, acanaladas.
- Esgrafiado: incisión poco profunda que se realiza cuando el recipiente está seco, incluso cocido.
- Escisión: decoración con zonas en altorrelieve y otras en bajorrelieve.
- Plástica: aplicación sobre la superficie de la cerámica de mamelones, cordones, conchas, piedras, buscando una decoración.
- Pintado: los motivos decorativos se realizan con algún tipo de pigmento.

En la decoración de los materiales cerámicos se utilizan colorantes naturales que consisten en óxidos metálicos o incluso combinaciones de éstos (espinelas, granates, titanios, zirconatos, etc.).

Asimismo, existen dos tipos de colorantes: **de base** y **de cubrir**; el primero es aquél que resiste la temperatura de cochura de afinado por lo que bajo la acción del fuego se disuelven parcialmente en el esmalte, como ejemplo de estos pigmentos tenemos: óxidos de cobalto, cromo e hierro.

Por otro lado, los colores de cubrir se aplican en la superficie de la cerámica después de la cochura de afinado y se fijan al fundirse al mismo tiempo que el esmalte en la tercera cochura a temperaturas moderadas; su gama es más amplia y el aspecto que proporcionan al material es más brillante respecto a los pigmentos de base. Para que se adhieran adecuadamente al esmalte, antes se deben mezclar con fundentes.

La composición de los fundentes es variada, sin embargo, los colorantes básicos conviene mezclarlos con fundentes básicos, así como los pigmentos ácidos con fundentes ácidos.

Los colores de base se preparan moliendo los compuestos con agua, se mezclan hasta obtener el tono deseado, a continuación se calcinan a 900-1400°C, el pigmento obtenido se desmenuza por frotamiento con un molinillo de colores con agua y, finalmente se coloca en una solución de glicerina o dextrina sobre un cristal mate mediante un mecanismo especial. Los colores de cubrir se preparan igual que los de base, lo único que cambia es que se colocan en aguarrás en lugar de emplear una solución de glicerina.

A continuación se muestra los pigmentos principales empleados en materiales cerámicos.

Tabla 4-2. Pigmentos empleados para la decoración de materiales cerámicos.

Materia prima	Fórmula	Óxido generado	Color	Cantidad recomendada
Carbonato de Cobalto	$CoCO_3$	CoO	Azul	0.1-1 %
Carbonato de Cobre	$CuCO_3$	CuO	Azul a Verde	1-8 %
Óxido de Cromo	Cr_2O_3	Cr_2O_3	Verde	2%
Ilmenita	$Fe\text{-}TiO_2$	$Fe\text{-}TiO_2$	Café	1-3%
	$FeCrO_4$	$FeCrO_4$	Gris	2%
Óxido de Fierro	FeO	FeO	Café marrón a café obscuro	2-6%
Óxido de Fierro	Fe_2O_3	Fe_2O_3	Café	2-6%
Carbonato de Manganeso	$MnCO_3$	MnO	Púrpura	4-6%
Óxido de Níquel	NiO	NiO	Gris a Café	2%
Dióxido de Titanio impuro	TiO_2	TiO_2	Marrón	5%
Óxido de Uranio	UO_2	UO_2	Amarillo	6-10%

Fuente: Stafforf, D. (1980). *Modern Industrial Ceramics*. Indianapolis: Bobbs-Merrill Educational Publishing.

4.3.5 Usos de los cerámicos.

Las aplicaciones de la cerámica tradicional son: productos de la industria alfarera y de la construcción como recipientes y productos de barro, lozas, vajillas, porcelanas, tejas y ladrillos.

En el caso de las cerámicas de alta tecnología, algunas de sus aplicaciones se tienes piezas refractarias, catalizadores, partes automotrices (cubiertas y placas de motores), así como electrocerámicas, en la tabla 4-3 se presentan algunos ejemplos de éstas últimas.

Tabla 4-3. Aplicaciones de las electrocerámicas.

Electrocerámica	Aplicaciones Tecnológica
Ferroeléctricos Ferritas	Memorias no volátiles y capacitores Almacenamientos de datos e información
Electrolitos Sólidos	Conversión y almacenamiento de energía
Piezoeléctricos	Marca pasos
Oxidos Semiconductores	Monitoreo ambiental
Superconductores	Bobinas de campo magnético alto y circuitos de computadoras de alta velocidad

Fuente: La cristalografía y la ciencia de materiales (2002).

4.4. Solidificación y estabilización de residuos.

4.4.1 Definiciones.

El documento de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, *A citizen's guide to solidification/stabilization*, establece que los procesos de solidificación y estabilización son utilizados en el tratamiento de residuos en los que se usa una amplia variedad de desechos tanto sólidos como líquidos, los objetivos de estos procesos son: reducir la movilidad o solubilidad del contaminante reduciendo el riesgo de propagación de éste, mejorar el manejo del contaminantes ya que existe formación de materiales

sólidos, disminuir la superficie expuesta a la transferencia o pérdida de los contaminantes evitándose la contaminación de otros cuerpos.

Por otro lado, la solidificación es la etapa en la que se efectúan cambios en las propiedades físicas para generar un material sólido, dicho cambio puede o no involucrar reacciones químicas entre el contaminante y el aditivo. En cambio, la estabilización se refiere a la conversión del material dañino para el medio ambiente en una forma menos tóxica o móvil, este cambio implica, por lo general, el uso de procesos fisicoquímicos como la solidificación.

La ceramización es una de las tecnologías que permite aprovechar los residuos industriales ya que éstos pueden formar parte de procesos productivos independientes de las fuentes generadoras. A través de esta técnica se estabilizan los contaminantes permitiendo que los residuos cumplan con las pruebas de lixiviación establecidas por la normatividad aplicable (Boccaccini et al.,2002; Boccaccini et al., 1995; Brooks, 1995; Culliname et al., 1986; García et al., 2003; Kavouras et al., 2003; Pelino et al., 200; Perera et al., 2002; Romero et al., 2001; Sun et al., 2003,2001; Tomohiro et al., 2004).

4.4.2 Mecanismos de estabilización.

Se tiene la teoría de que existen dos mecanismos por los cuales los metales pesados se estabilizan en la arcilla. El primero de los caminos, lo constituye la **encapsulación**, la arcilla forma una matriz alrededor de los metales pesados previniendo la lixiviación, sin embargo, si la matriz se rompe, los metales pesados podrán lixiviar. El segundo mecanismo en estudio, es la **incorporación** durante el proceso de ceramización, el resultado es la formación de enlaces entre la arcilla y los metales pesados y la incorporación de éstos últimos a la matriz de la arcilla teniendo como efecto que si se rompe dicha matriz los metales no lixiviarán (Sun et al., 2003). En la figura 4-2 se muestra un diagrama de los mecanismos.

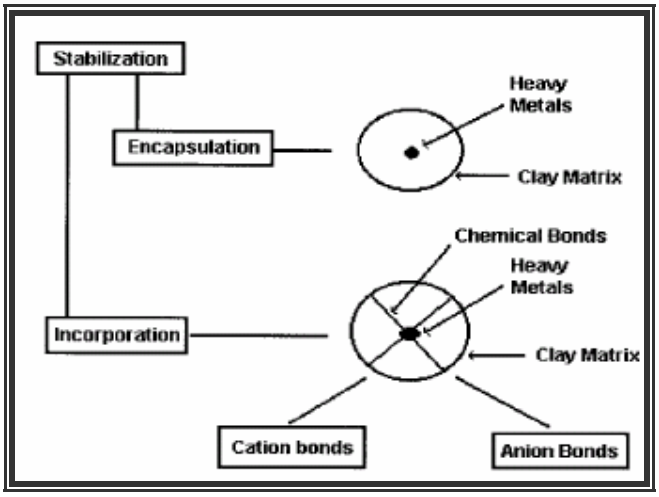

Figura 4-2. Descripción esquemática de los mecanismos propuestos de estabilización.

Fuente: *Recovery and marine clay stabilization of heavy metals present in spent hydrotreating catalysts.*

De la explicación anterior se concluye que la incorporación es más efectiva que la encapsulación. Se sabe que la incorporación se realiza en dos etapas. La primera etapa se efectúa a bajas temperaturas cuando los metales son adsorbidos en la superficie de la caolinita y montmorillonita. Esta adsorción se lleva a cabo por la atracción de los cationes de los metales pesados por la carga negativa de las partículas arcillosas; además, dicha capacidad de adsorción externa se incrementa por el óxido férrico que genera una carga negativa mayor en los minerales.

Un segundo mecanismo para la primera etapa de la incorporación se explica por un proceso de intercambio aniónico que empieza con la liberación de iones OH^- en los minerales, seguida por la reformación de enlaces con los iones de carga negativa de los metales pesados. Por ejemplo, la caolinita tiene como fórmula química de $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, a una temperatura de 600°C, los enlaces de los iones OH^- se rompen lo que hace que la arcilla adquiera una carga negativa ($Al_2Si_2O_5^{+4}$). Esto, como ya se había mencionado, hace que los metales que están en forma de óxidos en estado hidratado, son atraídos por la arcilla generando los enlaces electroquímicos.

En la segunda etapa del proceso de incorporación, la caolinita y la montmorillonita forman de manera irreversible una nueva matriz de mullita y cristobalita, dicha formación se comprueba a través de un análisis de rayos X, esta transformación se lleva a cabo a temperaturas superiores a los 1000°C. La cristobalita al tener una estructura abierta cuenta con espacios en los cuales se atrapan los metales pesados siendo éstos inmovilizados.

Cabe mencionar, que la carga de residuos y las composiciones de las mezclas que se utilicen durante la ceramización determinarán cual de los dos mecanismos, encapsulación o incorporación, regirá la estabilización del residuo (Sun et al., 2001).

4.4.3 Proyectos realizados.

En la industria de refinería del petróleo, en donde se generan residuos peligrosos a partir de los catalizadores de hidrotratamiento Co/Mo/γAl_2O_3 y Ni/Mo/ γAl_2O_3; estos catalizadores después de su uso y debido a su desactivación irreversible es necesario estabilizar los metales pesados para poder ser dispuestos (Sun et al., 2001).

Una de las técnicas que se pueden realizar con frecuencia es la de añadir cemento para producir concreto y así encapsular los metales pesados, sin embargo, estudios han cuestionado esta técnica de estabilización /solidificación ya que en dichos estudios no se ha podido demostrar la estabilidad a largo plazo ni su resistencia a la lixiviación. Asimismo, investigaciones han preferido usar materiales como la arcilla y ceniza seca. Por otro lado, entre los métodos de estabilización/solidificación están aquellos que emplean materiales puzolánicos; termoplásticos, polímeros, y la vitrificación (Sun et al., 2001).

En el caso de los catalizadores de hidrotratamiento antes mencionados, se propone el uso de arcilla marina para la ceramización del residuo. Esta opción para estabilizar los residuos constituye una excelente opción ya que permite la disposición de dos tipos de residuos, el primero es el generado en

construcciones cerca del mar se generan toneladas de arcilla marina como residuo, el segundo desecho lo constituyen los catalizadores desactivados. Al final del proceso de ceramización se tiene como producto materiales de construcción como ladrillos con valor comercial (Sun et al., 2003, 2001).

La característica que hace factible el uso de la arcilla como un buen aglutinante es su composición ya que está formada por cuarzo, caolinita, montmorillonita que son los minerales presentes en la arcilla normal y son las responsables de la formación de la matriz cerámica (Sun et al., 2001).

Por otro lado, una aplicación interesante de los materiales cerámicos vidriados es su uso en la biorremediación de agua contaminada por metales pesados; estos cerámicos se fabrican a partir de residuos de la industria del papel y cerveza. El cadmio y el plomo son metales que con frecuencia se encuentran en el agua residual de las industrias en concentraciones altas. Existen varias tecnologías para la remoción de dichos metales, no obstante, son complejas y caras. Como consecuencia se ha desarrollado un tratamiento biológico que a groso modo consiste en emplear materiales cerámicos como soporte de microorganismos, es así como por medio de mecanismos de biosorción, bioacumulación y bioprecipitación se logra remediar el agua contaminada (García et al., 2003).

Para que un residuo industrial sea apto para emplearse en la manufactura de vidrio o cerámica es necesario que en su composición contenga óxidos en el sistema R_2O-MgO-CaO-Al_2O_3-SiO_2. Óxidos como TiO_2, P_2O_5, Fe_xO_y actúan como agentes nucleantes y también están presentes en residuos inorgánicos como la escoria metalúrgica y barro de la producción de fertilizantes de fósforo, en el caso de que el material cerámico sea para uso en la construcción se debe tener en cuenta que su color será proporcionado por los agentes nucleantes (Gorokhovsky et al., 2002).

Dependiendo de las proporciones en las que estén las materias primas, se tendrán materiales con diferentes propiedades, por ejemplo, cundo en la

mezcla se tiene presencia de P_2O_5 en lugar de Cr_2O_3 , la resistencia química es mayor, a pesar de una disminución en la microdureza, esto se ocasiona por la formación de minerales como la leucita y orthoclase (silicatos de aluminio y potasio) que se caracterizan por su resistencia al agua. De manera similar, la adición de Al_2O_3 disminuye la microdureza por la formación de conjuntos de leucita promoviendo la no homogeneidad del material cerámico vidriado (Gorokhovsky et al., 2001).

Otro tipo de residuo que es apto para ser empleado como materia prima en la producción de materiales cerámicos son los lodos de las curtidoras, cuando dicho desecho se mezcla con arcilla es posible inmovilizar al cromo el cual constituye el principal contaminante presente en los lodos; la cerámica resultante cuenta con las propiedades necesarias para ser utilizado en la industria de la construcción (Basegio et al., 2002).

Por otro lado, la generación de partículas (ceniza seca) que se colectan con dispositivos para control de la contaminación del aire en los incineradores de basura, representan un problema debido a su contenido de metales pesados, sin embargo, se han analizado varias opciones para su reutilización y disposición, entre las cuales se encuentra la fabricación de cerámica y de cerámica vidriada, debido a que la ceniza tiene alto contenido de cuarzo (silica) (Ferreira et al., 2003; Boccaccini et al., 1995).

No sólo la ceniza recolectada en la parte superior del incinerador puede reutilizarse, sino también la que se almacena en la parte inferior, ya que por su contenido de escoria y cuarzo la hacen factible para fabricar cerámica; a pesar de que también tiene metales pesados provenientes de pigmentos, plásticos, baterías, tintas de impresión que son parte de la basura municipal (Cheeheman et al., 2003; Appendino et al., 2004).

Estudios referentes al mejoramiento de las características físicas de cerámicas vidriadas formadas a partir de residuos con contenido de silicatos para que sus aplicaciones sean arquitectónicas, como componentes de

estructuras de construcción, o como aislantes concluyen que para que dicha mejora se logre se requiere un proceso de cristalización controlada con un tratamiento térmico subsiguiente. Los desechos considerados son cenizas de plantas generadoras, ceniza de incineradores de basura, escorias generadas en la producción de acero, residuos de la fabricación de vidrio y cenizas de combustión (Boccaccini et al., 2002).

Asimismo, las rutas para la fabricación de cerámicos vidriados son las siguientes:

- Tratamiento térmico de vidrio sólido (es la ruta tradicional).
- Enfriamiento controlado del vidrio fundido, este método se conoce como el petrúrgico.
- Sinterización y cristalización de polvos de vidrio.

El último método, se considera como el más adecuado para la fabricación de productos cerámicos vidriados cuyas aplicaciones implican una porosidad específica del material o composiciones específicas de la matriz cristalina. Asimismo, tiene la ventaja económica de que el proceso no requiere de temperaturas tan elevadas en contraste con los otros dos procesos. En el caso del método petrúrgico se tiene que el enfriamiento lento y el estado fundido del vidrio es causa de la nucleación y de un cierto crecimiento de fases cristalinas, así que la microestructura final y las propiedades dependen de la composición principal y de la velocidad de enfriamiento (Boccaccini et al., 2002).

De forma similar, el residuo peligroso generado en la actividad hidrometalúrgica de minerales de zinc también sirve como materia prima para fabricar cerámicos vidriados; cabe mencionar que los residuos son peligrosos por su contenido de hierro. Un avance importante en este estudio fue la implementación de una planta piloto que produce 1 tonelada por día de materiales cerámicos y es apta para funcionar en forma continua o por lotes (Pelino et al., 2000).

4.4.4 Ciclo de vida y estabilización.

El ciclo de vida de un producto empieza con la adquisición de materias primas e incluye todas las actividades de transformación y uso hasta finalmente la dispersión de los residuos.

El concepto de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de productos, es también conocido como Evaluación del Ciclo de Vida (ECV) (*Life Cycle Assessment*), en los sistemas industriales desde el punto de vista ambiental se refiere a examinar todos los procesos seguidos por la materia prima, desde su extracción, transformación y uso, terminando con el retorno a la biosfera en forma de residuos.

El ACV puede proveer a una empresa valiosa información interna en el caso de evaluar un sistema productivo sobre la eficiencia del uso de los recursos y manejo de desperdicios, etc. El ACV puede ayudar a la empresa a ganar ventajas competitivas a través del ahorro de costos, incrementar ganancias y mejorar la imagen (de la empresa o de un producto determinado).

El análisis de ciclo de vida puede ser utilizado en:

- Desarrollo de una nueva estrategia de negocio.
- Uso como herramienta para la toma de decisión en las compras de productos ambientales.
- Diseño o mejora de un producto o proceso.
- Definición de un criterio de (*eco-labelling*) etiqueta ambiental.
- Comunicación sobre los aspectos ambientales del producto.
- Rediseño de un servicio.

Los métodos de estabilización como la ceramización tienen un papel importante en el ciclo de vida de un producto ya que permiten la reutilización de los residuos generados tanto en su manufactura como en su consumo o desecho, de esta forma se puede hacer productos que tienen la posibilidad de comercializarse e incluso establecer un criterio de etiqueta ambiental.

4.5. Evaluación de Impacto ambiental.

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA), es una herramienta de la política ambiental, analítica y de alcance preventivo, permite integrar al ambiente un proyecto o una actividad determinada; en esta concepción el procedimiento ofrece un conjunto de ventajas al ambiente y al proyecto, éstas sólo son apreciables después de largos períodos de tiempo y se concretan en economías en las inversiones y en los costos de las obras, en diseños más perfeccionados e integrados al ambiente y en una mayor aceptación social de las iniciativas de inversión.

Para realizar la EIA se emplean indicadores de impactos que se definen como los elementos del ambiente afectados. Los indicadores pueden ser de carácter cuantitativo o cualitativo, que permiten evaluar la cantidad o magnitud de las alteraciones o impactos que resultan como consecuencia de la ejecución de las acciones de un determinado proyecto.

4.5.1 Metodología.

Existen diferentes métodos que permiten la identificación, predicción y la valoración de los impactos ambientales de las distintas alternativas de proyectos.

La selección del método a ser empleado en la realización de un estudio de impacto ambiental para un proyecto determinado, depende de varios factores, entre los cuales se destacan, la disponibilidad de los recursos técnicos, financieros, tiempo, datos e informaciones, las disposiciones legales, las especificaciones de los términos de referencia para la evaluación de impacto ambiental y la preferencia del equipo técnico evaluador.

La utilización de un método de por sí no es suficiente para lograr identificar y predecir todos los impactos que pueden ocurrir con la ejecución de un

proyecto. Los métodos de evaluación que más se utilizan son las listas de control y las matrices simples o complejas; estas se aplican a la mayoría de los proyectos.