3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

3.1 Problemática de los residuos sólidos metálicos.

En la actualidad es esencial buscar el manejo efectivo del as descargas donde se encuentren incluidos los residuos sólidos, debido a esta necesidad existen entidades y normas que se encargan de realizar la búsqueda de las mejores vías de utilización y regularizar la generación de dichos desechos dándoles alguna utilidad a fin de detener la acumulación de esta fuente de contaminación. Una de las entidades en México que más ha reportado métodos viables para la reutilización de estos residuos así como la clasificación de éstos es la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) esto mediante la Gestión Integral de Residuos Sólidos.

3.1.1 *SEMARNAT (Órgano representativo de regulación de contaminantes.)*

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales se encarga de verificar y establecer normas que regulen las descargas de aguas residuales así como la máxima cantidad permisibles de contaminantes que éstas lleven, para mejorar la calidad del agua.

Estas evaluaciones son realizadas siguiendo un conjunto de normas que fueron creadas para atacar de una manera precisa cada problema o según sea el caso verificar si las descargas contienen los parámetros permisibles que éstas estipulan.

Para regular los residuos sólidos que se encuentran específicamente en aguas residuales existen tres normas donde se establecen los parámetros máximos permisibles para dichas descargas según sea el caso, es decir, si las descargas son realizadas en aguas pluviales la norma que aplica es la NOM-001-SEMARNAT-1996, si las descargas son realizadas por las industrias y alcantarillado la norma que corresponde es la NOM-002-SEMARNAT-1996.

Esta secretaría regula las descargas de aguas previamente tratadas y rehusadas, ya que es necesario verificar que éstas cumplan con los parámetros establecidos en la norma NOM-003-SEMARNAT-1997. Con esta última norma se cubre completamente

todo tipo de descarga de residuos sólidos en aguas residuales logrando una reducción de daño al medio ambiente.

La siguiente tabla muestra la cantidad máxima permisible en la que se deben de encontrar los metales pesados en las aguas residuales.

Tabla 3.1 Limites permitidos para metales pesados

Contaminantes (Determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
Arsenico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Cromo	300	840
Mercurio	17	57
Niquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

Fuente NOM-004-SEMARNAT-2002.

3.2 Normas y Reglamentación.

Cada norma que se establece es respaldada por un conjunto de normas previamente analizadas, tal es el caso de las cuatro normas que se utilizan en esta investigación, por ello es necesario mostrar dichas normas para mejorar la explicación.

Lo que se trata de hacer al elaborar estas normas es cubrir en su totalidad cada clase de descargas, abarcando desde emisiones a la atmósfera, descargas en mantos acuíferos, contaminación a los suelos, entre otros. Existen de igual forma normas que estipulan los procedimientos necesarios para realizar las pruebas para identificar los residuos peligrosos y clasificarlos, incluyendo el equipo que se debe de utilizar, los tiempos requeridos por cada prueba y la manera en que se deben de presentar los datos obtenidos de estas pruebas.

A continuación se muestra una tabla que contiene las principales normas utilizadas para la clasificación y manejo de residuos sólidos:

Tabla 3.2 Normatividad de Residuos Sólidos

NORMA	DESCRIPCIÓN
NOM-004-SEMARNAT-2002	Protección ambiental- Lodos y biosólidos- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
NOM-052-SEMARNAT-2005	Que establece las características, el procedimiento de identificación y clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
NOM-053-SEMARNAT-1993	Procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
NMX-AA-015-1985	Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Muestreo - Método de cuarteo.
NMX-AA-016-1984	Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de humedad.
NMX-AA-018-1984	Protección al ambiente - Contaminación de suelo- Residuos sólidos municipales - Determinación de cenizas.

Fuente: Normas Mexicanas

Estas normas son el fundamento utilizado para buscar una alternativa que mejore la calidad del agua sin ser necesario dañar el ecosistema drásticamente y logrando una solución para la sociedad al saber que existe una posibilidad de eliminar los metales pesados por medio del proceso de atropamiento dentro de una matriz sólida, misma que se puede utilizar en edificaciones varias y decoraciones.

3.3 GIRESOL (Gestión Integral de Residuos Sólidos).

Para lograr un buen desarrollo de una técnica para reducir la contaminación por sólidos en aguas residuales, es necesaria una estructura precisa para no dar pauta a posibles errores que interfieran en la metodología.

Es por ello que se deben seguir y discernir toda la clase de trabajos que se hayan realizado y las instituciones que ofrezcan algún método de prevención o recuperación de aguas residuales.

Debido a la necesidad de proteger el ambiente contra los daños causados a lo largo de estos años, fue necesario crear una institución que se encargara de normalizar y buscar alternativas viables para estos tratamientos, este es el caso de la GIRS o GIRESOL que busca la mejor manera de tratar los residuos sólidos producidos por las diferentes fuentes de desechos, es por ello que estableció ciertos pasos a seguir para llevar a cabo un buen tratamiento de residuos sólidos.

Esta institución se basa en una serie de puntos que a su vez hacen una estructura en forma de pirámide logrando un discernimiento eficaz de los puntos más importantes para la mejora y tratamiento de los daños causados al ambiente.

3.3.1 Marco Legal y Referencias

Para poder comenzar a implementar una correcta Gestión Integral de Residuos Sólidos, es necesario contar con un conocimiento de los procedimientos a los que se encuentran sujetos cada modificación o implementación de técnicas para reducir y controlar la contaminación y generación de residuos.

Estos documentos son conformados por un marco legal que se encarga de verificar que las acciones, tomadas por las entidades competentes del sitio donde se implementa el procedimiento, sean las adecuadas y se mantengan bajo las normas estipuladas por las secretarias correspondientes mencionadas con anterioridad.

Debido a que estos procedimientos se han venido realizando existen documentos donde se explican o dan a conocer opciones factibles avaladas por las secretarias adecuadas, gracias a que existen éstas referencias se pude acudir a las mismas para tener un punto de inicio para continuar y concluir el trabajo aportando nuevas técnicas o creando una investigación que surja de las referencias.

3.3.2 Organización y Alcance.

Una vez que se cuenta con el objetivo claramente establecido, es necesario entrar más en detalle. En esta etapa de la gestión yendo de una manera piramidal invertida se establece la parte de la organización y el alcance de ésta. Es fundamental especificar

con detalle cada parte que la integre así como los límites a los que cada órgano puede acceder.

El alcance de cada objetivo de la gestión es de suma importancia ya que delimita perfectamente hasta donde llega cada tarea así como donde comienza otra, por ello es necesario seguir paso a paso cada punto para tener una buena coordinación y distribución de tareas.

3.3.3 Diagnostico

Posteriormente de acuerdo con lo establecido en la etapa de organización y alcances de los objetivos, se elabora un diagnostico en el cual se profundiza a cerca de los puntos que debe cumplir cada líder de proyecto mismo que deberá realizarlos completamente, incluyendo tiempos de termino, horas reales de labores, personal necesario, equipo requerido y los servicios externos que se requieran.

Es obligación del líder de proyecto identifique y notifique en que condiciones encuentra el área donde va a realizar la obra con el fin de utilizar esencialmente el equipo y mano de obra requerida con el fin de viabilizar los proyectos.

3.3.4 Proyecciones

Para seguir con la ejecución efectiva de la gestión integral de residuos sólidos, una vez diagnosticado el problema que se va a restaurar, es preciso hacer una serie de evaluaciones con mira hacia el futuro, estas proyecciones tiene como objetivo el tratar de predecir las condiciones a las que posiblemente se encontraran sujeta la tarea a realizar.

Es importante que la realización de dichas proyecciones abarque un plazo no más de quince años con el objetivo de alargar los proyectos, deben contener las cantidades probables de generación de residuos, el aumento de población y su probable expansión territorial.

3.3.5 Formulación de Objetivos y Metas.

La segunda etapa de estos pasos a seguir es definir, de una manera específica y profunda, los objetivos y metas a realizar para permitir continuar con una gestión integral de residuos adecuada.

Esta formulación de objetivos y metas se divide en dos partes, en generales y especificas lo que hace el desarrollo de cada paso riguroso. Tanto los objetivos como las metas a plantear deben tener credibilidad en materia de los alcances estipulados, con estas restricciones se logra que el personal encargado de estas tareas y la parte que requiere el servicio cumplan con el plazo establecido y así no detener el proceso de reconstrucción ambiental.

3.3.6 Análisis de Factibilidad y Alternativas.

El análisis de factibilidad aplica para los proyectos que de acuerdo a lo establecido anteriormente han sido aceptadas por la gestión integral de residuos sólidos. Este análisis busca fisuras a lo largo de los objetivos y metas siendo el método más efectivo de verificar si el documento se encuentra bien sustentado.

Si fuera el caso que en el análisis se encontrara alguna fisura éste debe de proponer una serie de alternativas para la solución total o parcial de dicho problema según sea la debilidad del documento. Las alternativas inclusive tienen el poder para proponer alguna modificación o cambio radical de de alguno de los puntos en cuestión.

3.3.7 Estructura y Presupuesto.

Al haber concluido los requisitos anteriores, definidos con claridad y objetividad, se proceden a estructurar los pasos a seguir de acuerdo con los objetivos y metas establecidas con el fin de contar con un cronograma de trabajo que estipule los tiempos de ejecución de cada tarea.

Es de suma importancia el hacer un presupuesto que incluya la maquinaria a emplear, el personal requerido, materia prima existente, permisos necesarios si así lo

requiera la obra, entre otros. Este presupuesto se elabora con el fin de presentarlo a las entidades correspondientes para su aceptación.

Al haber culminado satisfactoriamente los paso de la pirámide de GIRS se dice que el proyecto propuesto adquiere factibilidad, credibilidad y es posible la implementación de éste en las áreas que cuenten con las características que se hayan descrito.

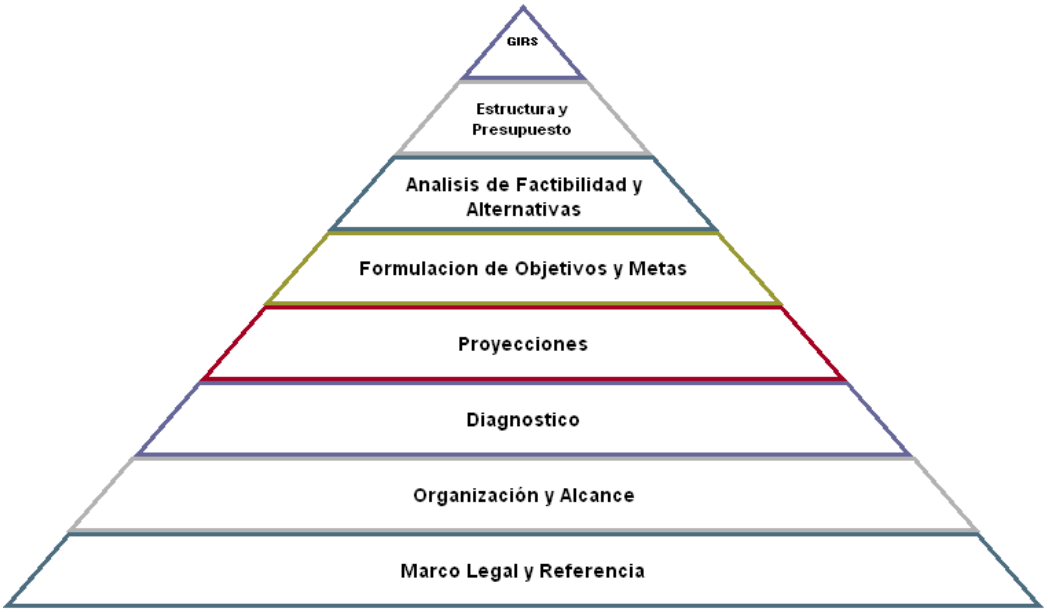


Figura 3.1 Pirámide para una metodología GIRS

3.4 Reuso y Reciclaje.

El reciclaje debe entenderse como una estrategia de la gestión Integral de residuos sólidos. Un método para dicha gestión similar a la de incineración de residuos o el vertedero, sin embargo, el reciclaje tiene mayor aceptación.

En la actualidad existe una generación de basura excesiva desde las casas habitación, microempresas, industrias, gobierno, etc., es por ello que estas mismas

entidades se han dedicado en forma considerable a la cuantificación y evaluación del flujo de residuos sólidos que día con día se desechan.

Los datos recaudados acerca de la caracterización de los residuos sólidos también se utilizan para determinar los compuestos químicos potenciales que, probablemente serán emitidos en forma de lixiviados.

A continuación se muestra un esquema de los componentes de residuos sólidos encontrados principalmente en medios acuosos, éstos residuos la mayoría de las veces tienen un tamaño considerable para la remoción de ellos con facilidad, la problemática surge al momento de eliminar las partículas pequeñas ya que se necesitan otras técnicas de limpieza.

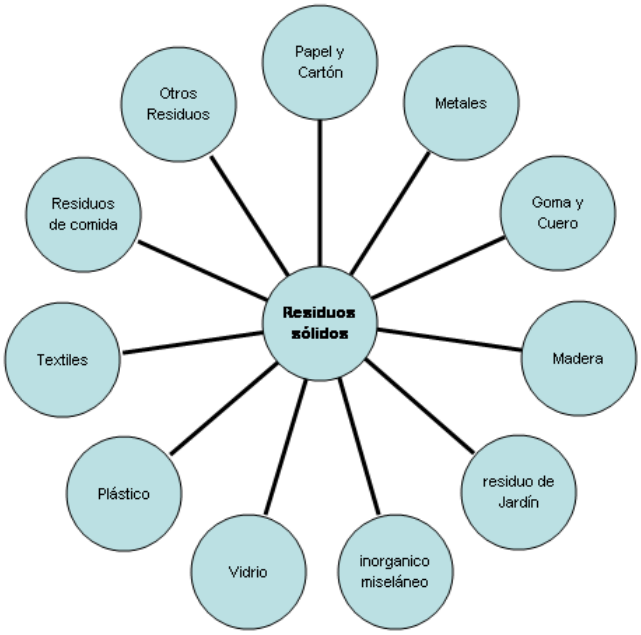


Figura 3.2 Clasificación macro aproximada de las descargas de residuos sólidos.

Como se puede observar los residuos provienen tanto de las industrias como de los hogares, es por ello que se busca el hacer conciente a la comunidad y buscar el reuso o reciclo de los artículos que se desechan cotidianamente.

Desafortunadamente los residuos metálicos se presentan en aproximadamente un 9% de los desechos, éstos se encuentran en formas de partículas muy pequeñas

perfectamente disueltos en el agua residual, es por ello que se ha destinado gran parte de las investigaciones para la remoción de estos residuos.

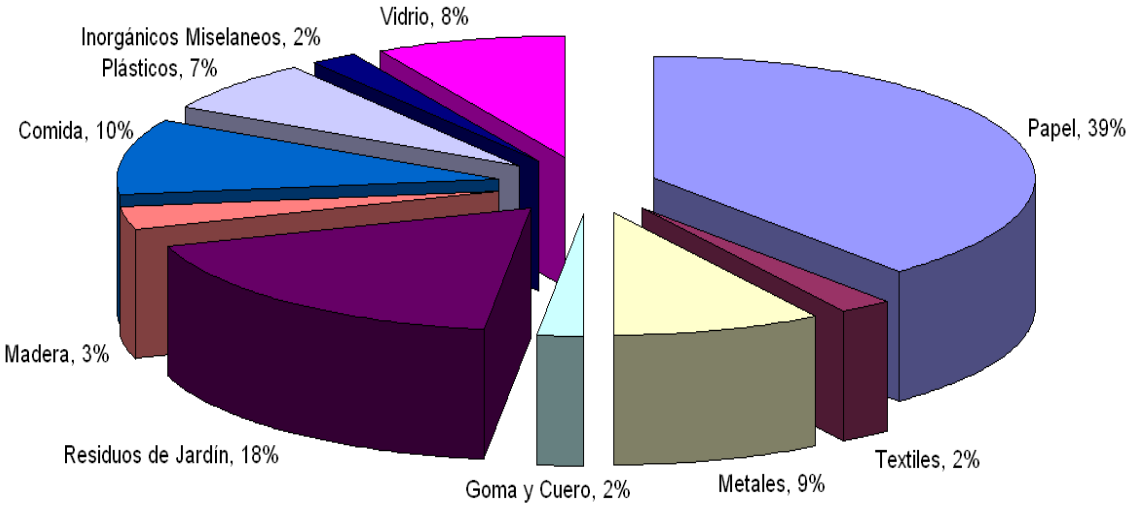


Figura 3.3 Porcentaje de Desechos sólidos en Aguas Residuales. Fuente: Manual de Reciclaje

3.5 Solidificación y estabilización de metales de residuo.

En la actualidad el planeta tiene un nuevo problema ambiental que es el de los residuos sólidos, es por ello que las mismas industrias e instituciones se han dado a la tarea de resolver dicha problemática.

En la búsqueda de una solución a este problema ambiental surge, como una alternativa viable, tres tipos de atropamiento de sólidos, específicamente sales metálicas disueltas en descargas industriales. Estos métodos son conocidos como ceramización, vitrificación y cementación.

Actualmente se esta buscando la manera de fomentar el uso de estos materiales que no causan daño alguno y cuentan con las mismas características de los materiales sin la técnica de atrapado de sólidos.

A continuación se presentan la descripción de los métodos ya mencionados y sus diferentes usos.

3.5.1 Ceramización.

Los materiales cerámicos son una serie de compuestos químicos o soluciones complejas, que contienen elementos metálicos y no metálicos. Debido a esto el material cerámico tiene una propiedad esencial o una combinación particular de propiedades que no pueden ser igualadas por algún otro material.

Gracias a sus enlaces iónicos o covalentes y a que éstos son más fuertes que los enlaces metálicos, los materiales cerámicos por lo general son duros, con gran resistencia a la compresión, con un alto punto de fusión, baja conductividad eléctrica, buena estabilidad térmica y química y una elevada resistencia a la compresión. Aunque también estas características lo hacen frágil, esta característica un tanto negativa se puede prevenir con un buen perfil de templado, reduciendo así su posible fragilidad.

Gran parte de las propiedades de los materiales cerámicos radican en su estructura molecular, los átomos se disponen en agrupaciones llamadas celdas unitarias, estas se repiten a lo largo de el material arcilloso formando cristales. Dependiendo del acomodo que adoptan dichas formas prismáticas es que se forman estructuras vítreas o mixtas (cristal-vítreo).

Otra de las características de los cerámicos es su alta resistencia a la corrosión y a la oxidación, esto se debe a que estos fenómenos forman parte del proceso de elaboración del cerámico puesto que dicho material es un producto calcinado.

3.5.2 Vitrificado.

El vitrificado es un proceso que atrapa, de forma permanente, material nocivo en un bloque sólido de material similar al vidrio, esto impide que el material nocivo se escape al medio ambiente. La vitrificación se puede llevar a cabo bajo tierra o en la superficie.

Para lograr el proceso de vitrificado es necesario utilizar energía eléctrica para fundir el suelo. Se implantan varillas llamadas electrodos los cuales funden el suelo que

se encuentra entre ellos, esta fundición va desde la parte más cercana de la superficie y continúa hacia abajo. Una vez que se fundió la cantidad de suelo deseado los electrodos son apagados provocando que la fundición se enfríe logrando la vitrificación (bloque sólido parecido al vidrio).

La vitrificación es un método bastante seguro siempre y cuando se utilice de una manera adecuada. La cubierta para los gases debe ser suficientemente amplia como para cubrir toda el área contaminada.

3.5.3 Cementado.

El proceso de cementación tiene como objetivo el endurecer la superficie de una pieza sin modificar su núcleo.

El cemento es un material que une fragmentos normalmente arenas o gravas de ciertas rocas clásicas. La precipitación de sustancias como sílice, calcio u óxidos de hierro provocan la formación de este tipo de rocas. En apariencia este material es una especie de polvo seco conformado de sílice, alúmina, cal oxido de hierro y oxido de magnesio mismo que se endurece al mezclarse con agua.

En la actualidad existe un tipo de cemento conocido como Pórtland, este cemento esta compuesto principalmente por silicatos de calcio. Se le conoce como cemento hidráulico y cuentan con la característica de fraguar y endurecerse al hacer reacción con agua.

Gracias a las características del cemento, se abre una gran oportunidad de protección ambiental ya que este puede funcionar como cápsula de materiales de residuos sólidos que pueden ser contaminantes.

3.5.4 Precipitación alcalina.

La precipitación se basa en el proceso físico-químico en el cual los metales solubles e inorgánicos que existen en una solución son modificados de tal manera que

se transforman en insolubles al agregársele un agente precipitante. La razón por la cual se utiliza con frecuencia un reactivo alcalino es para poder aumentar el pH de la solución al que se le desea disminuir la solubilidad del metal seleccionado, produciendo así la precipitación.

La precipitación alcalina es un proceso automático que esta controlado por una solución de pH básico, al aumentar el pH los hidróxidos metálicos correspondientes a las sustancias en cuestión se torna insoluble y precipita en la solución. Cabe mencionar que, debido a que este proceso es una parte química, los resultados teóricos difieren de los prácticos.

Gracias a la adición de coagulantes metálicos es posible acelerar la velocidad de coagulación y favorecer el precipitado de los metales pesados. El hidróxido férrico y el hidróxido de aluminio precipitan y tienden a formar coprecipitados con níquel y cromo, ya que por lo menos tres de estos metales son tóxicos es posible por este método mejorar la calidad de las aguas residuales.

3.5.4. a Sulfuros.

El sulfuro esta compuesto de azufre, con un número de oxidación -2, que se combina con un elemento químico o un radical.

Dentro de los sulfuros más importantes se encuentra el sulfuro de hidrógeno. Dicho compuesto se encuentra en forma de gas mismo que tiene un olor muy parecido a huevos podridos y con un riesgo de intoxicación alto. Este compuesto pertenece a la categoría de los ácidos por lo que también se le conoce como ácido sulfhídrico al estar en una dilución acuosa.

Los sulfuros se pueden encontrar en su forma natural en zonas pantanosas y en la zona de tratamiento de los lodos de aguas residuales mediante transformaciones anaerobias del azufre contenido en las proteínas o por reducción bacteriana de sulfatos.

3.5.4.b Hidróxidos.

Los hidróxidos se caracterizan por tener en su estructura molecular al grupo OH (hidróxido de valencia -1), normalmente este OH va unido a un metal. Estos

compuestos son llamados así debido a su carácter básico que presenta en las diluciones acuosas. Los hidróxidos son compuestos ternarios que cuentan con agrupaciones de OH como el número correspondiente a la oxidación del metal con el que se forma dicho hidróxido.

Una de las características de los hidróxidos metálicos es que su estructura se encuentra en forma de redes tridimensionales, es decir una forma cristalina, y redes laminares o seudo laminares que se encuentran en la mayoría de estos hidróxidos.

En cuanto a estabilidad los hidróxidos alcalinos son los de mayor estabilidad a excepción de LiOH, esta tendencia se aplica de igual manera a la solubilidad de estos compuestos. La estabilidad decrece al aumentar la capacidad de polarización del catión.

3.5.5 Beneficios y Limitaciones.

Como se mencionó anteriormente el buscar una forma de almacenar residuos sólidos es un problema que se debe resolver lo antes posible, es por ello que se han desarrollado maneras viables de contener estos residuos.

La ceramización, cementación y vitrificación son una buena opción para la retención de residuos sólidos debido a las características de estos materiales que básicamente mantienen encapsulados dichos residuos sólidos dentro de su estructura. Sin embargo desde el punto de vista de la ceramización existen ciertas limitaciones para el proceso del cerámico. sin embargo si se cuidan ciertos parámetros de dicho procesos es posible disminuir estas limitaciones a tal grado que desaparezcan logrando una muy buena optimización de este cerámico.

A continuación se presentan las limitaciones más sobresalientes y el manejo de estas para transformarlas a una cualidad de la matriz cerámica.

3.5.5.a Manejo de limitaciones para tornarlas en beneficios.

Una de las limitaciones con mayor peso en la estructura del cerámico que se realizó (ladrillo), fue que las estructuras moleculares que se formaron no eran lo suficientemente resistentes para poder ubicar este producto a la venta.

Este problema se presentó como un área de oportunidad para este trabajo, ya que en tesis anteriores se venia reportando este mismo problema, fue así como se buscaron parámetros que se pudieran variar para lograr la estabilidad del cerámico y ser un posible producto para lanzarse al mercado de la construcción como una alternativa ambiental.

Los parámetros que se implementaron para mejorar la dureza y tenacidad de lo ladrillos son:

- *Menor concentración de sales metálicas*: El haber disminuido la cantidad de sales metálicas que se encuentran encapsuladas en las estructuras cristalinas del ladrillo fue con el propósito de favorecer las formaciones cristalinas que son necesarias para una buena elaboración del ladrillo, esta decisión aumenta considerablemente la buena estructuración del materia cerámico y también atrapa una considerable cantidad de sales metálicas.

- *Tamaño de partícula*: Se decidió utilizar un tamiz más pequeño en cuanto a espacios, debido a que en tesis pasadas se detectó esta problemática, esto se debe a que si existe un menor tamaño de partícula de arenas se permite un mejor mezclado de éstas y en estructura son de mayor resistencia ya que cuentan con un mejor acomodo entre ellas, también las partículas pequeñas provocan la disminución de espacios vacíos en el ladrillo, mismos que se pueden observar de una manera burda en el paso por la calcinación al abrir la mufla para inyectar oxigeno.

- *Elaboración del molde*: Para este trabajo se pensó un molde a escala, no funciona como sistema de estrución, sino para poder darle una apariencia mejor al ladrillo y definir mejor su estructura. Las medidas del molde son 6cm X 6cm X 12cm, esto con el fin de que dicho ladrillo adquiriera una forma rectangular y de acuerdo a los cálculos estas medidas representaban la altura, longitud y profundidad ideales para darle resistencia a la compresión. Este molde cuenta con dos tapas, una superior y una inferior, con el fin de eliminar todas las posibles imperfecciones que se formaban cuando el ladrillo perdía humedad, y que con dichas tapas se corregía este defecto.

- *Figuras Geométricas*: Para mejorar la resistencia a la compresión se implementaron figuras geométricas, se hicieron pruebas con tres diferentes figuras geometrías para saber si la tendencia que se creía era cierta e incluso se realizo esta prueba para observar que porcentaje de resistencia a la compresión existía entre figuras. Estas figuras o prismas sólidos se unieron al molde con el fin de tener medidas específicas entre figuras, para que al momento del moldeado se hicieran perforaciones con las formas prismáticas seleccionadas, mas adelante se enunciaran estos resultados.

- *Tiempo de secado*: El tiempo de secado es de suma importancia ya que dependiendo de cómo se realice éste, se logrará que las sales metálicas no se desplacen a la superficie, es por ello que el secado debe ser uniforme y con una velocidad baja; en cuanto al tiempo de secado es de aproximadamente 24 horas para asegurar que el bloque de arena comprimida (ladrillo sin cocción) se encuentre uniformemente seco y pueda ser sacado con facilidad del molde.

- *Tiempo de cocción*: El tiempo de cocción fue tomado de la tesis de licenciatura de Dora Karen Cruz ya que en esta tesis se desarrolló la investigación del proceso de cocción al hacer una prueba de cocción con los ladrillos elaborados, en esta tesis la respuesta fue satisfactoria. La

aportación que se le dio al proceso de cocción fue la continua oxidación durante dicho procedimiento para asegurar la oxidación del ladrillo y evitar hacer un análisis más detallado para verificar que se formaran las redes cristalinas.

3.6 Materiales formadores de cerámicos.

3.6.1 Arena.

La arena o árido fino es el material que resulta de la desintegración natural de las rocas o se obtiene de la trituración de las mismas, y cuyo tamaño es inferior a los 5mm. Para su uso se clasifican las arenas por su tamaño. A tal fin se les hace pasar por unos tamices que van reteniendo los granos más gruesos y dejan pasar los más finos.

Arena fina: es la que sus granos pasan por un tamiz de mallas de 1mm de diámetro y son retenidos por otro de 0.25mm.

Arena media: es aquella cuyos granos pasan por un tamiz de 2.5mm de diámetro y son retenidos por otro de 1mm.

Arena gruesa: es la que sus granos pasan por un tamiz de 5mm de diámetro y son retenidos por otro de 2.5mm. Las arenas de granos gruesos dan, por lo general, morteros más resistentes que las finas, si bien tienen el inconveniente de necesitar mucha pasta de conglomerante para rellenar sus huecos y ser adherentes. (Cruz, 2005).

3.6.2 *Arcilla.*

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

- Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales, filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 m).

- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas.

Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 m.

- Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2 μm. Según esto, todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan los 2 μm. (García, 2004).

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

3.6.3 Estructura De Los Filosilicatos.

Las propiedades de las arcillas son consecuencia de sus características estructurales. Por ello es imprescindible conocer la estructura de los filosilicatos para poder comprender sus propiedades.

Las arcillas, al igual que el resto de los filosilicatos, presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos. Los grupos tetraédricos $(SiO)_4^{4-}$ se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y fórmula $(Si_2O_5)^{2-}$, que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos. En ellas los tetraedros se distribuyen formando

hexágonos. El silicio tetraédrico puede estar, en parte, sustituido por Al^{3+} o Fe^{3+}. (García, 2004).

Las estructuras cristalinas en cerámicas son:

- Cubo simple: También es llamado estructura de Cloruro de Cesio. Algunos ejemplos son CsCl, CsBr, CsI.

- Empaque cerrado cúbico: También es conocido como estructura de cloruro de sodio (NaCl) y es en realidad una variante de la estructura de cubo simple. Se pueden citar los siguientes compuestos CaO, MgO, MnO, NiO, FeO, BaO, etc. Los iones de oxígeno ocupan las posiciones del cubo simple mientras que los iones metálicos ocupan los intersticios.

- Empaque cerrado Hexagonal: Ejemplos de esta estructura incluyen ZnS, Al_2O_3. (Cruz, 2005).

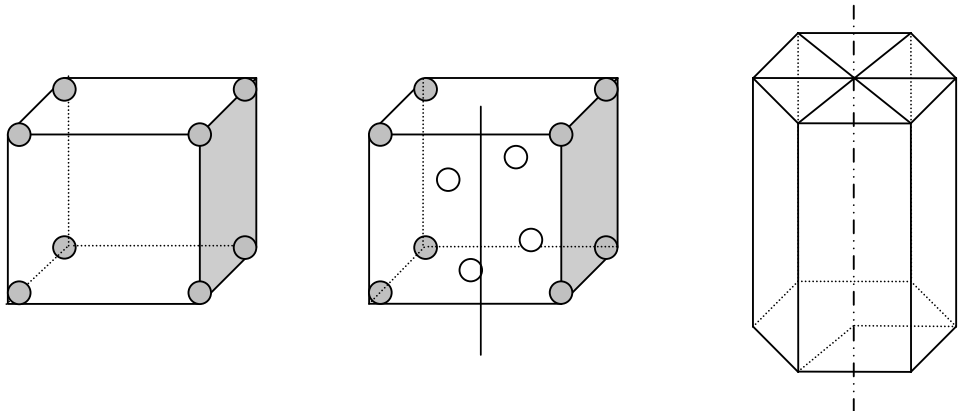
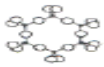
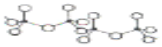


Figura 3.4 Estructuras de los silicatos.

Tabla 3.3 Enlaces de las estructuras de los silicatos

Enlace del tetraedro	Clasificación de la estructura	Esquema	Ejemplos
Tetraedro independiente	Ortosilicatos	SiO_4^{4-}	Zirconio [$ZrSiO_4$], Mulita [$Al_6Si_2O_{13}$], Forsterita [Mg_2SiO_4],
Dos tetraedros unidos por la esquina	Pirosilicatos	$Si_2O_7^{6-}$	Ackermanita [Ca_2MgSiO_7]
Dos esquinas unidas para formar un anillo o cadena	Metasilicatos	 	Berilo [$Be_3Al_2Si_6O_{18}$], Asbesto [$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$]
Tres esquinas compartidas	Estratos de silicatos	$Si_6O_{18}^{12-}$ $[SiO3]n\ 2n-$	Arcilla de Kaolinita [$Al_2(SiO_5)(OH)_4$], Mica [$KAl_2(OH)_2(AlSi_3O_{10})$], Talco [$Mg_3(Si2O_5)_2(OH)_2$]
Cuatro esquinas compartidas	Armazón de silicatos	SiO_2 y derivados	Cuarzo, Tridimita (SiO_2), Feldespato ($NaAlSiO_3$), Zeolita ($(Ca,Na_2)Al_2Si9O_{22}$ $6H_2O$)

Fuente: Modern Ceramic Engineering. p.17.

3.6.4 Propiedades Físico-Químicas.

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 μm).
- Su morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Dadas estas características las arcillas, presentan, una gran superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial con compuestos polares.

Por otra parte, la existencia de carga en el espacio interlaminar es una gran propiedad que permite que las arcillas tengan una gran capacidad de intercambio iónico. Dicha propiedad es la base de multitud de aplicaciones industriales.

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material. (García, 2004).

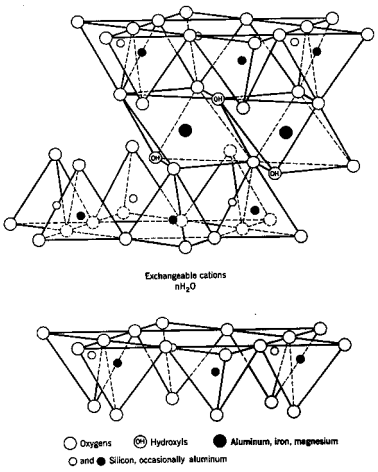


Figura 3.5 Estructura química de la arcilla.

3.7 Elaboración de ladrillo semi-mecanizado

Tras investigar una serie de procesos industriales de elaboración de ladrillos mecanizados y hacer una comparación de éste con la elaboración artesanal para obtener una idea de cómo podría ser el mejor procedimiento de acuerdo con el equipo que se contaba para la elaboración de dicho ladrillo, incluyendo el medio por el cual se iba a añadir las sales metálicas a la mezcla. Fue así como se decidió que las sales irían disueltas en el agua de plastificación determinada y así poder lograr la perfecta mezcla de las arcillas y sales metálicas.

Tabla 3.4 Comparación entre los métodos Mecanizado y Artesanal.

Ladrillo	Artesanal	Mecanizado
Tamizado	Tamices rústicos. Tamaño de malla mayor a los tamices industriales. Tiempo de tamizado lento.	Tamices adaptados con maquinas vibratorias. Tipo de Tamizado eficaz. Previa molienda de aglomerados arcillosos.
Mezclado	Se realiza al aire libre utilizando palas y añadiendo le agua deliberadamente hasta que se considera aceptable la mezcla.	Se cuenta con un equipo de mezclado donde se le añade el agua de plasticidad previamente determinada.
Moldeado	Se utiliza un molde de madera y se depositan en planchas para el proceso de secado, su tamaño varía de acuerdo al molde que se realice.	La mezcla es vertida a moldes que tienen figuras geométricas incluidas para posteriormente pasar a la etapa de corte de los mismos.

Secado	Para este proceso se deja la mezcla moldeada a los rayos del sol y se espera hasta que se seque. El tiempo de esta etapa se encuentra determinada por las condiciones climáticas.	El secado se lleva a cabo en cámaras especiales donde la mezcla moldeada es transportada por bandas y secada por corrientes de aire a una temperatura determinada.
Cocción	Se lleva acabo en un horno elaborado por ladrillos y sin un control de misiones a la atmósfera.	Los hornos empleados el este procesos son aquellos que alcanzan las temperaturas deseadas por medio de combustible en forma de gas.
Templado	Solo se deja enfriar la mezcla hasta tener una temperatura adecuada para extraer el producto.	Se cuenta con un control estricto de temperatura ya que en eso radica la tenacidad del cerámico.

A continuación se presenta el diagrama de procesos incluyendo los procedimientos a detalle de la elaboración del ladrillo mecanizado y los equipos utilizados.

3.7.1 Diagrama de proceso.

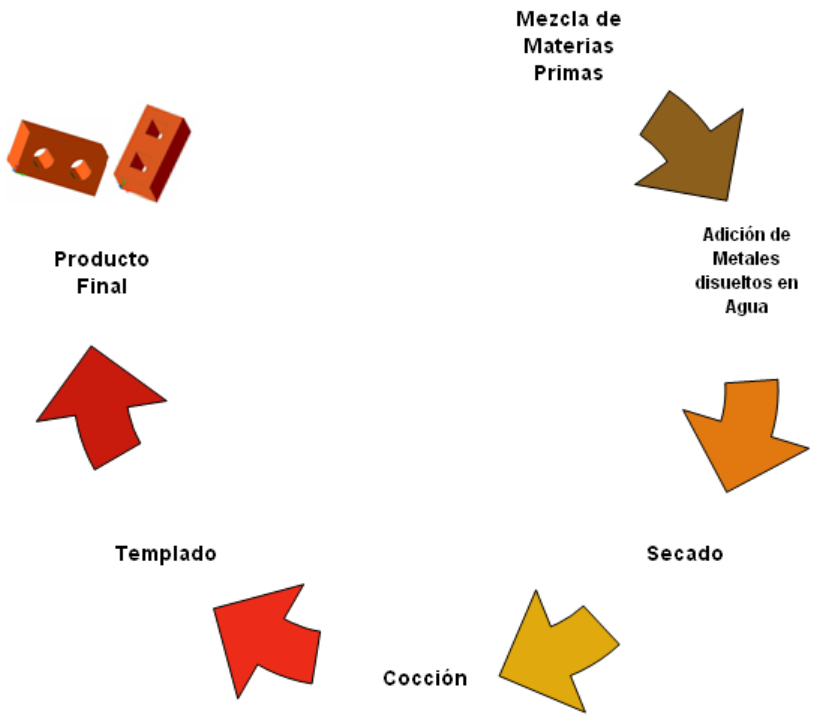


Figura 3.6 Diagrama de elaboración del Ladrillo

3.7.2 Mezcla de materias primas.

Se entiende por mezcla a la combinación homogénea de ciertas materias o sustancias para lograr un conglomerado donde no se pueda distinguir en su totalidad cada una de éstas.

Es necesario que antes de realizar la mezcla de arcillas específicamente se determine en tamaño de partícula, esto permite homogenizar las arcillas y crear una mezcla de igual tamaño. El mezclado de arenas debe hacerse en seco con las proporciones de cada tipo que se define en materiales y métodos.

3.7.3 Agua de plasticidad.

El agua de plasticidad se refiere a la cantidad de agua que una mezcla de arcillas puede retener sin que se colapse. Para poder determinar a simple vista la plasticidad vasta con que la mezcla sea maleable y no se noten gotas de agua en la superficie de la misma.

3.7.4 Moldeado y Desmoldado.

El procedimiento de moldeado, se refiere a insertar un material maleable dentro de otro que se encuentre preparado para dar forma a dicha materia. La función del moldeado es dar un estandarizado al producto que se desea obtener limitando la deformación en todas las caras que se encuentren en contacto con este contenedor sólido.

Se le llama desmoldado al procedimiento de retirar el molde que contiene un sólido que ha adquirido la estructura del recipiente que lo contiene, esta etapa se debe hacer con precaución para evitar alguna deformación periférica como es el caso de la formación de grietas.

3.7.5 Procesos de secado.

El secado se refiere a la remoción parcial o total de líquidos por medio de evaporación paulatina de éstos, para el caso del secado de cerámicos, el procedimiento debe ser lento para evitar fracturas durante el secado.

El proceso de secado se puede realizar de dos maneras, por radiación solar o por secadores de pisos ventilado. En ambos casos se dice que el secado es inducido ya que provees el sitio de una fuente de radiación que eleva la temperatura logrando que el líquido se desplace con mayor facilidad.

3.7.6 Procesos de cocción.

Una vez desmoldados los tabiques secos obtienen una apariencia grisácea y compacta, entonces se procede al proceso de cocción.

El proceso se refiere al eliminar en su totalidad el agua superficial y el agua higroscópica, mediante la elevación de temperatura en un medio oxidado. El propósito es llegar a la calcinación del material en cuestión y éste puede hacerse en hornos provistos de combustible que pueden ser gas, resistencias eléctricas, leña y derivados del petróleo.

3.7.7 Templado del cerámico.

El templado se le conoce como la disminución paulatina de temperatura, mediante a la remoción parcial de temperatura.

El propósito del templado es el dar tenacidad al material que va a estar sujeto a este proceso, cabe mencionar que mientras mejor sea el templado mayor será la eficiencia del producto.

3.7.8 Molino de bolas.

Normalmente las partículas de las arenas son pequeñas pero hay ocasiones en las que incrementan su tamaño por la aglomeración de estas impidiendo así el paso de las misma por el tamiz deseado.

Para una mayor facilidad de tamizado es necesario hacer un procedimiento previo llamado molienda o trituración esta última se utiliza para materiales duros. La formación de partículas grandes en las arcillas es debido a la humedad que estas atrapan, es por ello que al presentarse este problema se utiliza el molino de bolas para reducir así el tamaño y hacer más fácil el tamizado de las partículas.

El molino de bolas consiste en un recipiente de forma cónica o cilíndrica dispuesto en una forma horizontal. Este cilindro es llenado parcialmente con bolas de

acero, la molienda ocurre cuando por fuerza centrifugas las partículas de arena son impulsadas hacia la periferia y se impactan entre las bolas de acero o cerámicas.

El molino de bolas se caracteriza por tener la longitud y el diámetro semejantes. En cuanto al región de alimentación esta limitada de 2.5 a 4 cm., mismos que sirven para limitar las partículas que se van a triturar a que sean de material frágil siendo el tamaño máximo de partícula aceptada de 1cm. La mayoría de los molinos de bolas tiene una reducción de tamaño de partícula de 20 a 200:1 ya que el tamaño de las bolas mas grandes es de 13 cm., de diámetro y siendo estas de metal o de cerámico duro.

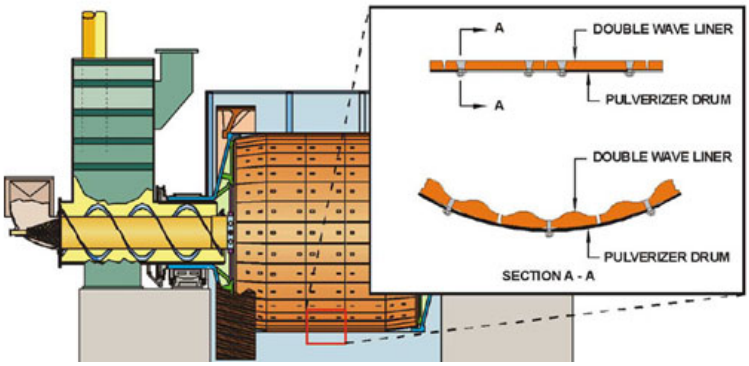


Figura 3.7 ejemplo de Molino de Bolas. Fuente www.taninos.tripod.com

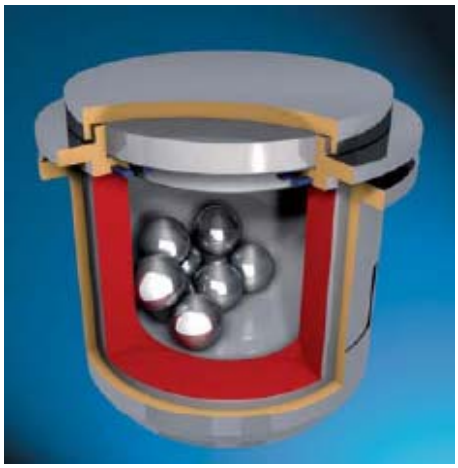


Figura 3.8 Vista interna de un molino de bolas a nivel laboratorio. Fuente www.retsch.com/es/productos/molienda/molinos-de-bolas/

3.7.9 Tamices o Cribas

El tamizado es la separación de una serie de sólidos de diferente tamaño de una forma de aceptación o rechazo. Consiste en una tela de metal cuadriculada que puede estar colocada en una mesa mecánica que hace que se agite la misma y facilite la distribución de los sólidos a lo lardo del área de la criba. Las cribas o tamices de arenas tienen un rango de espacio entre mallas que definen el tamaño de la partícula aceptable.

Las partículas que son rechazadas por el tamiz son regresadas al proceso de molienda para reducir su tamaño. El tamizado es un proceso necesario si se quiere tener una buena estructura de tabique ya que al reducir el tamaño de partícula se reducen los espacios vacíos o porosos del ladrillo final logrando una mejor resistencia a la compresión.

Figura 3.9 Ejemplo de Tamices. Fuente www.centralenrejados.com

3.7.10 Mezcladoras.

Las mezcladoras para este tipo de producto sólido-liquido pueden ser de varios tipos pero siempre cuidando que estos equipos cuenten con un recipiente en el cual pueda ser vertido tanto las arenas como el agua de plasticidad y éste se pueda colocar en diferentes posiciones, este recipiente debe incluir una flecha o barra a la que se unan una serie de paletas para fomentar un excelente mezclado misma que será rotada por un motor externo.

Este tipo de mezcladora es con el fin de tener una producción en cadena, pero también se puede seguir el método común de las ladrilleras, en las que en un área delimitada por la misma arena se hace una especie de cono en el centro de ésta donde se

vierte el agua de plasticidad para posteriormente revolver ésta con la arena que se encuentra alrededor y formar una mezcla homogénea que se vierta a los moldes.

Figura 3.10 Vista anterior y posterior de una mezcladora de paletas serie MBH. Fuente www.botonmac.com

3.7.11 Secadores

La forma más fácil de secar los tabiques es el colocarlos en un área donde la radiación de la luz solar los seque por completo. Pero este método tiene una gran variedad de limitaciones ya que las variables naturales no son controlables como el cielo nublado, lluvias e incluso se pierde tiempo durante la noche ya que no hay sol.

El tipo de secador que se utiliza para la eliminación de humedad a los tabiques de manera industrial es el secador de bandeja con flujo de aire caliente. Los tabiques son colocados en distintas bandejas colocadas de tal forma que el aire pase óptimamente entre ellos y el secado sea uniforme. Este secador cuenta con un regulador de temperatura y un extractor de humedad, así como un cronómetro para indicar el tiempo de secado.

El propósito del secador es disminuir al máximo el porcentaje de humedad existente en los ladrillos que es alrededor de un 3% o menos.

Figura 3.11 Secador que se utiliza para el secado de ladrillos a nivel laboratorio. Fuente www.armfield.co.uk

3.7.12 Hornos de tambor

Este tipo de horno es ideal cuando se requiere para el calentamiento o calcinación de materiales cerámicos. Las operaciones realizadas en ellos incluyen secado, oxidación, calcinación y vitrificación.

Estos hornos de tambor utilizan calcinadores de forma horizontal y combustible que puede ser gaseoso líquido o sólido. Cuando el producto cerámico no peligra este es expuesto a las llamas y a los gases de combustión, pero si se requiere un mejor tratamiento se utilizan hornos de tambor tipo mufla que esta dotado de una resistencia que es la que genera el calor requiriendo así energía eléctrica. Normalmente este tipo de Mufla se utiliza para productos de baja escala o muy especiales ya que aumentan el costo de producción.

Figura 3.11 Ejemplo de Horno Mufla utilizada para la calcinación. Fuente www.inta.gov.ar.