



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍA

APLICACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN APLICADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA POPULAR

PARA OPTAR EL GRADO DE:
MAESTRA EN ARQUITECTURA

PRESENTA:
ARQ. GABRIELA CARBAJAL ARELLANO

TUTOR
MTRO. Y ARQ. ENRIQUE J. DÍAZ BARREIRO Y SAAVEDRA
FES ARAGÓN

SÍNODOS:
MTRO. ERNESTO OCAMPO RUÍZ
ARQUITECTURA UNAM
MTRO. HUMBERTO ISLAS RAMOS
FES ARAGÓN
MTRO. JORGE RANGEL DÁVALOS
ARQUITECTURA UNAM
MTRA. ABRIL LÓPEZ VILLEDA
FES ARAGÓN

AGOSTO 2018
CIUDAD NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



**LA CENIZA DE CARBÓN:
RESIDUO REDIMIBLE DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS DE CARBÓN,
COMPONENTE EN LA INNOVACIÓN DE UN REVESTIMIENTO CERÁMICO**

ARQ. GABRIELA CARBAJAL ARELLANO



JURADO

TUTOR

MTRO. Y ARQ. ENRIQUE J. DÍAZ BARREIRO Y SAAVEDRA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

COMITÉ TUTOR

MTRO. ERNESTO OCAMPO RUÍZ **ARQUITECTURA UNAM**

MTRO. HUMBERTO ISLAS RAMOS
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

MTRO. JORGE RANGEL DÁVALOS **ARQUITECTURA UNAM**

MTRA. ABRIL LÓPEZ VILLEDA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

A la vida... por la gran dicha de rodearme de personas irreales y de
circunstancias maravillosas, todas llenas de aprendizaje y fortaleza,
pero en especial a Carolina, mi hermana,
gracias por enseñarme tanto y por el gran ser humano que eres.
Gracias por existir en mi existencia.

Te amo.



“Nada cae sólo por el talento, los sueños no se cumplen si no se trabajan.”

Mayra González Velasco





CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a mis padres, por enseñarme a enfrentar la vida y porque gracias a ellos soy todo lo que soy.

Agradecimiento especial a mi tutor, el Mtro. y Arq. Enrique J. Díaz Barreiro y Saavedra por todo su apoyo, por sus oportunos consejos, por compartir sus conocimientos, por la confianza y principalmente por una gran amistad incondicional, gracias infinitas.

Gracias a mi asesor de experimentación, el maestro, diseñador industrial y ceramista, el Dr. Leandro Mendoza Cuenca, por sus conocimientos, su confianza, su paciencia y su valioso tiempo que de manera incondicional proporciono a este proyecto.

Gracias a todos y cada uno de mis sínodos por el tiempo y consejos brindados, por todo el aprendizaje académico, profesional y espiritual que dejan en mi:

Mtro. Ernesto Ocampo Ruíz,
Mtro. Humberto Islas Ramos,
Mtro. Jorge Rangel Dávalos,
Mtra. Abril López Villeda.

Gracias interminables a cada una de las personas que hicieron posible este proyecto:

Mtro. Israel Garduño Bonilla. UNAM

Ing. Alejandro Morales. CFE

Biólogo. Andrés Hernández. CFE

Ing. Marco Guerrero. CFE

Ing. Abel Ledesma. CFE

Y con gran cariño a mi gran amigo, el Diseñador y Mtro. Hugo Jiménez Martínez por su gran colaboración a lo largo de todo este proyecto.

Gracias a la Universidad Autónoma de México, campus Xochimilco.
A mi casa la Universidad Nacional Autónoma de México, campus Aragón.
Y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Gracias porque sin todos ustedes este proyecto no hubiese sido posible...



RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3
1.0 LOS DESECHOS Y SU TRASCENDENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE EN EL SIGLO XXI	7
1.1 Origen de los desechos industriales a través del tiempo	9
1.2 Desechos redimibles más utilizados en la industria de la construcción	17
1.3 Las particularidades de la Ceniza de Carbón Volante producida en una Central Termoeléctrica	25
1.4 La Ceniza de Carbón Volante, alternativa de aplicación en la industria de la construcción	28
2.0 LOS RETOS ECOLÓGICOS DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA EN MÉXICO	33
2.1 Los inicios de la electrificación en México y las fuentes productoras de energía eléctrica	35
2.2 Centrales Termoeléctricas de Carbón en México	45
2.3 Central Termoeléctrica: Presidente Plutarco Elías Calles	53
3.0 LA CENIZA DE CARBÓN VOLANTE COMO UN ELEMENTO CONFORMADOR DE REVESTIMIENTOS CERÁMICOS	60
3.1 La cerámica: Inicios y evolución	62
3.2 Las aplicaciones más convencionales en la industria	70
3.3 Materiales característicos en la fabricación de cerámica	74
4.0 EXPERIMENTACIÓN Y PROTOTIPO	78
4.1 Metodología y proceso de experimentación	80
4.2 Ejecución del prototipo final	89
CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	98

RESUMEN

La ceniza de carbón volante, producto de desecho en la generación de electricidad en las centrales termoeléctricas de carbón, por su extrema volatilidad y su gran magnitud, se ha convertido en un problema de almacenamiento a nivel mundial.

México no es ajeno a este contexto al contar con tres centrales termoeléctricas de carbón, las cuales, generan grandes cantidades de este desecho almacenado en enormes patios permanentes que conforman montañas artificiales de gran altura a cielo abierto ocasionando, por su característica volante resultado de la partícula tan pequeña que la constituye, (que simula una apariencia de “talco”), que ocasiona inconvenientes ambientales, sociales, y por ende, políticos que a la fecha no han sido resueltos.

Al ser la ceniza de carbón un desecho de una central termoeléctrica, su contenido de metales pesados la hace tendente a contener características de toxicidad, por lo que, la Comisión Federal de Electricidad ha realizado múltiples estudios donde se ha confirmado su "nula toxicidad", aseverando que este desecho puede ser considerado como redimible y aplicable.

Para dar respuesta a la problemática anterior, se creó un producto que puede ser utilizado como material para revestimiento cerámico en edificios arquitectónicos.

Un revestimiento cerámico se conforma principalmente por diversas arcillas. Actualmente la obtención nacional de algunas de estas ha disminuido de manera crítica en nuestro país, obligando a los productores a importar cantidades que repercuten en el costo de la manufactura de los recubrimientos cerámicos.

En esta investigación se realizó la sustitución de una de las arcillas más costosas para la fabricación de revestimientos cerámicos por la ceniza de carbón volante, obteniendo como resultado: la sustitución total con este desecho por la arcilla de mayor costo, disminuyendo así los problemas ambientales que éste genera y la reducción del costo de la producción de revestimientos cerámicos para la industria de la construcción.

Palabras clave: *ceniza de carbón volante, reinserción de un desecho industrial, materiales cerámicos.*



FIGURA 01. Patio de almacenamiento temporal, Central Termoeléctrica de Carbón “Presidente Plutarco Elías Calles”, Petacalco, Gro, 2016
Fuente: Colección propia

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos a nivel mundial se ha convertido en un problema de dimensión incontrolable, ya que se producen millones de toneladas de todo tipo de desechos, que año tras año, aumenta exponencialmente, que dificulta su manejo y almacenamiento que genera problemas de contaminación visual y ambiental.

Uno de estos desechos es la Ceniza de Carbón Volante (CV EN ADELANTE) producida por la generación de electricidad ocasionada por la combustión de carbón en las Centrales Termoeléctricas (CT) distribuidas por todo el mundo. Actualmente, existe una reserva mundial de carbón para 200 años de explotación¹, distribuida principalmente en 10 minas de carbón ubicadas en Estados Unidos, China,

¹ International Energy Agency. “Carbón”. [en línea]. Disponible en:<<http://www.iea.org/topics/coal/>>. [fecha de consulta: 16 octubre 2016].

Mozambique, Australia, Rusia y Colombia, sumando entre todas, una factible producción equivalente, al menos, de 930 mil millones de toneladas.²

El carbón al ser un recurso natural abundante de fácil manejo y almacenamiento, así como, de bajo costo, genera en su combustión el 40% de la energía eléctrica en el mundo³, este proceso origina grandes cantidades de desecho de CV, lo cual da origen a problemas de contaminación visual y ambiental, al no ser utilizada en la mayoría de los sitios donde se produce y genera.

México no es ajeno a esta problemática al contar con tres centrales termoeléctricas de carbón (CTC EN ADELANTE), las cuales producen desmesuradas cantidades de ceniza de carbón almacenadas en exuberantes proporciones en patios temporales y permanentes a cielo abierto, que facilita así su dispersión por su característica volante resultado del tamaño de partícula tan pequeño que la constituye, esta simula una apariencia semejante a un "talco", hecho que provoca inconvenientes sociales y ambientales, lo cual causa, problemas políticos que a la fecha no han sido resueltos.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE EN ADELANTE) es el organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonios propios (creada en 1937), la encargada de abastecer en la República Mexicana de energía eléctrica y la responsable de la prestación del servicio en condiciones de cantidad, calidad y precio.⁴

Esta Empresa Pública, cumple con sus objetivos en cuanto al abastecimiento de energía eléctrica, pero, descuida el uso o eliminación de los residuos que dicha actividad produce, remitiéndose solamente en almacenarlos en patios temporales y permanentes destinados para ese fin. Al no formar parte de sus objetivos y misión

² Fieras de la ingeniería. "Las minas de carbón más grandes del mundo". [en línea]. Disponible en: <<http://www.fierasdelaingenieria.com/las-minas-de-carbon-mas-grandes-del-mundo/>>. [fecha de consulta: 127 agosto 2017].

³ International Energy Agency, op. cit.

⁴ Comisión Federal de Electricidad. "Informe de sustentabilidad 2008: Actualidad de la CFE". México: CFE, México. Pg: 04-06.

como empresa la reutilización de dichos residuos, CFE se ha preocupado en comprobar en múltiples estudios la "no toxicidad" de este desecho afirmando con esto su calidad de redimible y aplicable.⁵

El consumo anual de este combustible fósil para la generación de energía eléctrica equivalente a 16 millones de toneladas (Mt) al año, consumiendo 43,000 toneladas diarias de carbón, incrementándose año con año en un 2.8% (cifras aproximadas).⁶

Para dar respuesta a esta problemática, surge la premisa de utilizar la CV en la industria de la construcción, a través de elaborar un revestimiento cerámico, donde uno de sus elementos conformadores sea este desecho, circunstancia que surge después de investigar y analizar sus componentes, así como, a países en donde ya existe una aplicación para esta escoria, encontrando características particulares que la hacen compatible como elemento-sustituto en la elaboración de revestimientos cerámicos.⁷

Un revestimiento cerámico es un elemento arquitectónico utilizado desde tiempos remotos en espacios interiores y exteriores de edificios públicos, privados e industriales; se elijen estos materiales por su acabado duradero, de fácil limpieza y variedad de colores y acabados,⁸ los cuales se aglutinan en una pasta compuesta por tres arcillas, de las cuales, una se ha visto mermada su explotación de manera considerable en los últimos años por la limitada producción de los yacimientos, que si bien, tienen una tasa media anual de crecimiento del 25 % aproximadamente, la baja calidad en su extracción por parte de los ejidatarios provoca lunares pequeños de diversas calidades en un mismo lote, esto impide que se empleen en la

⁵ Ibid.

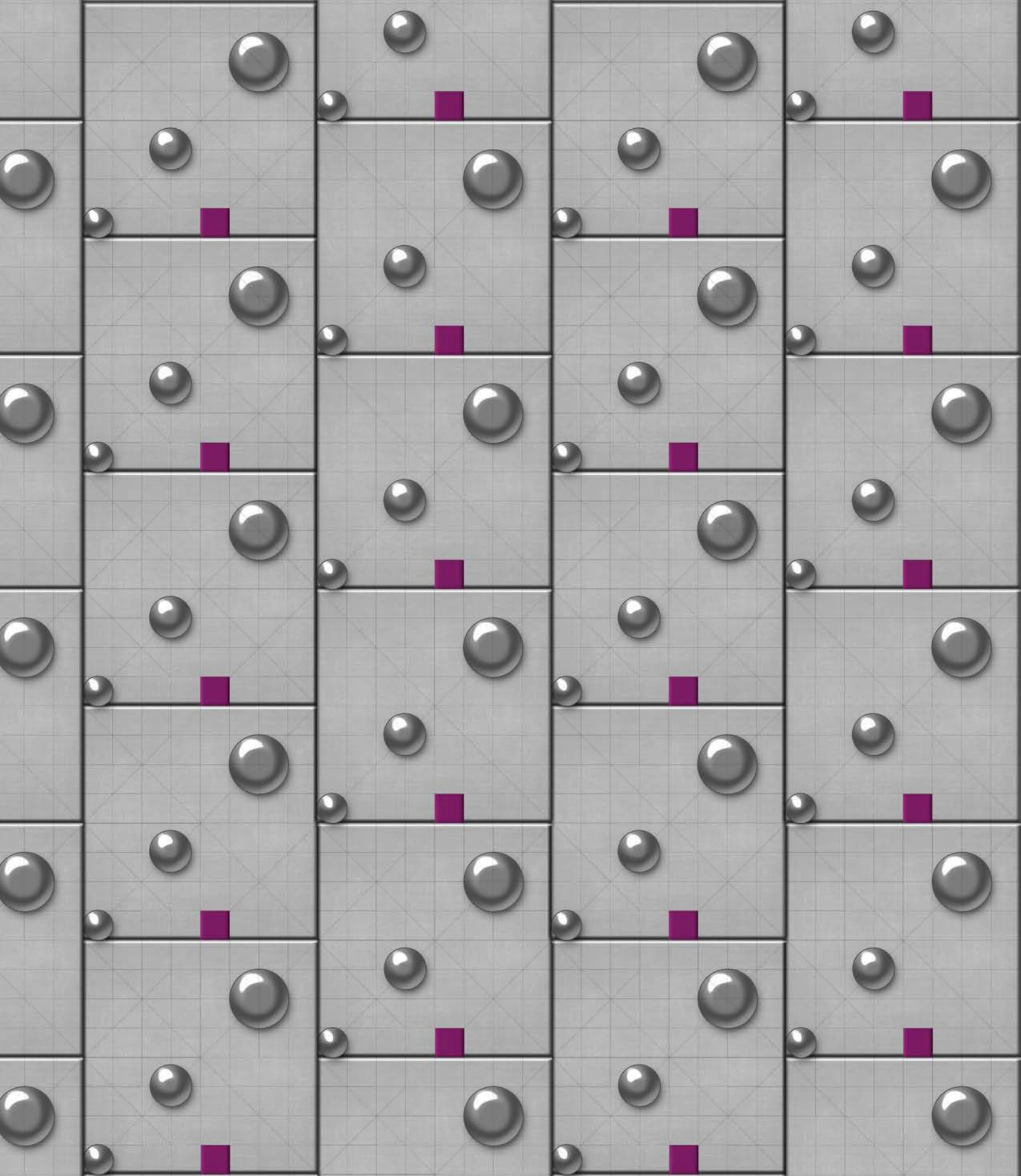
⁶ Comisión Federal de Electricidad. "Conformación del Sistema Eléctrico Nacional: Consumo de combustibles". pg: 24. [en línea]. Disponible en: <<http://www.cfe.gob.mx/>>. [fecha de consulta: 24 agosto 2016].

⁷ SANTAELLA V., L. Elena. "Caracterización física, química y mineralógica de las cenizas volantes". Sistema de Información Científica: Red de revistas científicas de América Latina. No. 10, julio 2001; pg: 48-60. ISSN: 0124-817.

⁸ NORTON, F. Harwood. Cerámica Fina: Tecnología y aplicaciones. 3ª ed. Barcelona: Omega, S. A., 1988. Pg. 370. ISBN: 84-282-0388-1.

fabricación por las impurezas que al someterse a quema disminuyen la calidad de las piezas, este hecho provoca la necesidad de dicha arcilla las cuales ascienden a la fecha a 64 millones de dólares.

El resultado de esta investigación da respuesta a dos problemas planteados: el almacenamiento de un producto de desecho que no se utiliza y el aumento de los costos de producción de la materia prima del un revestimiento cerámico, a través de sustituir, en este último, una de las arcillas de mayor precio con la CV, posibilitando así, la disminución del volúmen de almacenamiento y los problemas ambientales que ocasiona la voltilidad de la ceniza, al ser esta un producto desechable y sin uso, así como la probable disminución del costo de producción y por ende el costo de venta.



CAPITULO 1.0

**LOS DESECHOS Y SU TRASCENDENCIA EN EL
MEDIO AMBIENTE**

INTRODUCCIÓN

La utilización de recursos renovables y no renovables dirigidos a los procesos de producción y consumo inician en la biosfera causando su simplificación. Estos mismos se derivan de la acumulación de residuos: sólidos, líquidos y gaseosos que generan polución.

La Revolución Industrial a partir de la segunda mitad del Siglo XVIII, trajo como consecuencias aspectos positivos y negativos en el mundo. Los primeros: originan grandes beneficios económicos, sociales y tecnológicos, mientras que los segundos: gestan problemas con la generación de grandes cantidades de basura, consecuencia de los procesos industriales y de la cultura del reemplazo, producto de la innovación y bajo costo, al disminuir el tiempo de producción por la fabricación en serie.

Para comprender este fenómeno es necesario analizar el origen de los desechos a través de la historia, su trascendencia como forma de vida, costumbres y cultura de los asentamientos humanos, así cómo las sociedades civilizadas los han convertido en redimibles para ser utilizados en su beneficio, mitigando con esto dicha problemática.

1.1. Origen de los desechos industriales a través del tiempo.

“La contaminación es el precio que hay que pagar por la inexistencia de un retorno de los residuos a los lugares de donde han sido extraídos los recursos”, Margalef.⁶

Los desperdicios al inicio de la humanidad no existían, ya que lo que se extraía de la naturaleza y que no era aprovechado para alimentarse, cubrirse o satisfacer alguna necesidad del hombre era regresado a ella por medio de una transformación natural mediante la descomposición de la materia orgánica desechada por los seres vivos.⁷

Es así como la invención de la agricultura supuso la producción de excedentes que permitieron que una parte de la población se dedicara a otras funciones concentradas en asentamientos humanos. En el sentido ecológico, estos asentamientos actúan como sistemas heterotróficos muy complejos y bien organizados que han ido explotando zonas cada vez más amplias del territorio para alcanzar, en la actualidad, prácticamente toda la biosfera.⁸

Cuando el ser humano nómada se convierte en sedentario, producto del descubrimiento de la agricultura y la ganadería, al domesticar plantas y animales, se comprobó que una semilla generaba alimento y que, para obtenerlo, se requería esperar un tiempo determinado en un mismo sitio, provocando con esto, el sedentarismo que dio origen al nacimiento de aldeas, de jerarquías sociales, de división de trabajo y, por ende, el surgimiento de ciudades y las primeras civilizaciones.⁹

Al transformarse las aldeas en ciudades y éstas en conglomerados humanos donde el ser humano elaboraba sus propios alimentos y fabricaba todo tipo de

⁶ SAURA I CARULLA, Carles. *Arquitectonics; Mind, Land & Society: Arquitectura y Medio Ambiente*. 1ª ed. Universidad Politécnica de Cataluña, 2003. Pg. 114. ISBN: 84-8301-718-0.

⁷ SAURA I CARULLA, Op. cit, p.115.

⁸ Ibid.

⁹ DEL VAL, Alfonso. "La basura puede ser un tesoro: ha llegado la hora del reciclaje y de la producción limpia". FONGDCAM: Manual Digital de Sostenibilidad Ambiental; pg,10.

instrumentos para producirlos y trasportarlos, generando paralelamente, desechos que se iban acumulando exponencialmente a través del tiempo, esto provocó un problema de almacenamiento y de contaminación.

La acumulación de los desechos transformada en basura a través de los tiempos, se ha convertido en un elemento importante para determinar la forma de vida, costumbres y cultura de toda civilización antigua o contemporánea¹⁰. En la antigüedad, la basura era escasa debido a lo reducido de los habitantes en los asentamientos humanos, y como mencionara Thomas Hobbes en el Siglo XVII:¹¹ "la basura, seguía siendo solitaria, pobre, sucia, brutal y corta", y siglos después, Alfonso del Vidal, comenta:

"En aquella época los materiales que se usaban eran más bien escasos y valiosos—caros—mientras que la mano de obra —el trabajo— era bastante barata. En las sociedades rurales se utilizaban pocos materiales, e incluso energías, que no fueran obtenidos en sus propios territorios los objetos que se producían estaban diseñados para una duración casi eterna, gracias a lo cual muchos de ellos, aunque inservibles, los consideramos objetos valiosos —antigüedades— en lugar de residuos. En los pueblos, el modo de producción agrario no generaba más residuos que los producidos por el propio metabolismo de la alimentación humana y animal, esto es, las heces que, convertidas en estiércol, se reciclaban cada año en forma de abono para la agricultura. El consumo de energía era escaso y de origen animal o bestias de labor, o vegetal (leña). No existían apenas vertidos a los ríos ni emisiones contaminantes a la atmósfera. En los pueblos los objetos se hacían duraderos, se reciclaban y rara vez se abandonan. Todo se aprovechaba. No había residuos, ni basureros, ni vertederos".¹²

A mediados del Siglo XVIII, el panorama en el mundo cambia al sufrir una transformación radical la civilización existente en ese momento histórico, al dar paso a la Revolución Industrial y con ella, cambios, como los que se han producido en

¹⁰ AMPARAN, J. Francisco. "Breve historia de la evolución de la basura" [en línea]. Disponible en: <<https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/307180.breve-historia-de-la-evolución-de-la-basura-los-dias-los-hombres-las-ideas.html>>.[fecha de consulta: 31 de octubre 2016].

¹¹ Ibid.

¹² DEL VAL, Op. cit, p.02.

diferentes momentos a través de la historia, como el paso del nomadismo a la sedentarización. Y como ejemplo de este hecho está la creación de herramientas, utensilios y armas de manera rápida y masiva.

Con la Revolución Industrial, vino la gran explosión de la generación de basura originada por dos razones: la primera, como resultado de los procesos industriales suscitados por escorias y desechos a gran escala en comparación con los producidos por las artesanías. Y la segunda, al ser productos más accesibles y asequibles, a la atracción a deshacerse de ellos al dejar de funcionar, dañarse o ya no ser atractivos al surgir nuevos productos más estéticos, funcionales y contemporáneos, gestándose con esto la necesidad, cada vez mayor, de cambio, de renovación o simplemente, tener algo diferente que los demás, incrementando con este hecho desechos que se convierten en basura.

Durante los últimos cincuenta años, la población se ha incrementado de manera desmesurada por todo el mundo, trayendo como consecuencia la proliferación de grandes cantidades de desechos producidos en los conglomerados urbanos, dando origen a problemáticas de logística para su recolección, manejo y almacenamiento de residuos transformados en basura.¹³

El sistema de ciudades se comporta, en términos ecológicos, como una gran unidad que explota la biosfera en su conjunto, observando en las últimas décadas una tendencia general a la urbanización de la población humana derivada de dos vertientes: la primera, el gran crecimiento demográfico y la segunda, la aplicación de tecnologías agrícolas y ganaderas de carácter intensivo que precisan una mejor dedicación de recursos humanos motivando así el abandono del mundo rural.¹⁴

Los niveles actuales de producción de Residuos Sólidos Urbanos (RSU EN ADELANTE) en el mundo, ha alcanzado niveles preocupantes, ya que se acumulan

¹³ ABENGOA. "La energía del cambio: Soluciones tecnológicas para cambiar". [en línea]. Disponible en: <<http://www.laenergíadelcambio.com/los-residuos-en-cifras>>. [fecha de consulta: 06 de octubre 2016].

¹⁴ SAURA I CARULLA, Op. cit, p.115.

alrededor de 1,300 MT al año y en base a estudios de pronóstico por medio de inferencia estadística se prevé que, para el año 2025, la cifra aumente hasta 2,200 MT por año.¹⁵

Particularmente, México en el año 2004, generó 94,800 toneladas de RSU diarias, equivalente a 34.6 MT anuales. Para el 2015, se estimó un total de 42,890 MT anuales, pronosticando para el 2020 una cifra de hasta 46,700 MT para ese año.¹⁶

En las áreas de alta densidad de población de las grandes urbes, una persona desecha un promedio de 2 kilos de basura diaria, cifra que se ve afectada por el desarrollo económico y el nivel de industrialización del sitio¹⁷, repercutiendo este hecho, en los niveles de ingreso de sus habitantes y por consecuencia, en la producción de basura. En los países de ingresos elevados se producen mayores cantidades de residuos per cápita, mientras que en los de bajos ingresos, la cantidad disminuye, ya que su destino va dirigido a las necesidades básicas¹⁸. Como consecuencia de esto, entidades empresariales nacionales e internacionales, han comenzado a tomar decisiones para revertir o tratar de aminorar esta problemática, tratando de crear conciencia en las sociedades con el fin de hacer "ciudades verdes" que implementen ecotecnias y hábitos de reutilización.

Actualmente, en todo el mundo, se recupera un porcentaje menor al 50% de los desechos señalados como reciclables, distribuido en dos grupos según su volumen. En el primero, los de gran magnitud, conformados por: el papel, el carbón, el vidrio, los plásticos, la hojalata y los textiles. Y en un segundo, de menor cantidad

¹⁵ ABENGOA. "La energía del cambio: Soluciones tecnológicas para cambiar". [en línea]. Disponible en: <<http://www.laenergíadelcambio.com/los-residuos-en-cifras>>. [fecha de consulta: 06 de octubre 2016].

¹⁶ Ibid.

¹⁷ Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. "Tierra. Residuos de limpieza y Ciencia". [en línea]. Disponible en: <https://www3.epa.gov/epawaste/inforesorce/pubs/municipal_sw.htm>. [fecha de consulta: 06 octubre 2016].

¹⁸ World Bank. "Waste Generation: Urban Development Series". [en línea] Disponible en: <<http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/Chap3.pdf>>. [fecha de consulta: 06 octubre 2016].

considerados parcialmente reciclables dado su grado de dificultad para alcanzarlo: la madera, el hule, el trapo y las fibras diversas.¹⁹

El desarrollo económico de las sociedades se sostiene gracias a una serie de actividades que utilizan un importante contingente de recursos naturales, los cuales, cuando están cerca del entorno de los asentamientos humanos y que han sido aprovechados para ello, como consecuencia de la capacidad técnica y tecnológica del momento histórico que se analice. Al no ser renovables, trae consecuencias que pueden ser fatales para el medio ambiente y el ecosistema natural del sitio, por la extracción indiscriminada de los mismos, generando un impacto ambiental en el proceso previo a su manufactura, ocasionado por su extracción, transformación y aplicación; acción característica de las sociedades más desarrolladas económicamente, en la fabricación y consumo de una gran cantidad de productos que satisfagan sus necesidades, sean o no, básicas.

El rápido crecimiento y desarrollo de los países industrializados, la conciencia tecno centrista, la creencia de que los recursos disponibles son ilimitados, así como, el excesivo crecimiento demográfico, unido a que los impactos que se producen sobre el entorno son, generalmente, tan a largo plazo que no se aprecian directamente, hacen que los efectos del modelo de desarrollo que predomina en todo el mundo le afecte y lo sufran las generaciones venideras.²⁰

Todo lo anterior provocó que en Noruega surgiera la inquietud por analizar, criticar y replantear las políticas de desarrollo económico globalizador, reconociendo que el actual avance social se está llevando a cabo a un costo medioambiental alto.²¹ El informe fue elaborado por distintas naciones en 1987 para la ONU, por una

¹⁹ Instituto Nacional de Ecología. "Residuos sólidos urbanos". [en línea]. Disponible en: <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/495/residuos.html>>. [fecha de consulta: 03 noviembre 2016].

²⁰ RODRÍGUEZ, Fernando. FERNÁNDEZ, Gonzalo. "Ingeniería sostenible: Nuevos objetivos en los proyectos de construcción". *Revista de ingeniería de Construcción*. Vol. 25, (Agosto, 2010); pg: 147-160.

²¹ El Informe Brundtland es un informe que enfrenta y contrasta la postura de desarrollo económico actual junto con el de sustentabilidad ambiental, realizado por la ex-primer ministro noruega Gro Harlem Brundtland, con el propósito de analizar, criticar y replantear las políticas de desarrollo económico globalizador, reconociendo que el actual avance social se está llevando a cabo a un costo medioambiental alto.

comisión encabezada por la doctora Gro Harlem Brundtland, entonces primera ministra de Noruega. Originalmente, se llamó Nuestro Futuro, en este informe, se utilizó por primera vez el término desarrollo sostenible o desarrollo sustentable, definido como aquel que *“satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones”*.

Esto detono en la aparición de otros proyectos también de carácter mundial, los cuales tenían el mismo propósito que el Informe de Brundtland, plantear la necesidad de un nuevo modelo social y económico, denominado ya, como, “Desarrollo Sustentable o Sostenible”, a estos proyectos se les nombro “Cumbres”, la primera de ellas, la Cumbre de Rio en 1992, donde se declara como principio, que las acciones de los años sucesivos deben de estar basados en tres pilares fundamentales: la sociedad, el medio ambiente y la economía.²² El desarrollo sostenible y el cambio climático aparecen, a partir de ese momento, como dos nuevos desafíos que presentan sinergias e independencias mutuas.

La salud humana, la ecología terrestre y acuática, los sistemas sociales y económicos se convierten en acciones vitales para el desarrollo y el bienestar, siendo a su vez, sensaciones vulnerables a los cambios climáticos.²³ Asimismo, los modelos sociales y económicos se transforman, dando como resultado que la ingeniería de la construcción evolucione y se transforme. La introducción, con este hecho, del desarrollo sostenible en la ingeniería, da origen a un nuevo desafío que trata de conciliar las necesidades del ser humano con la capacidad del planeta, ya que, si los patrones actuales no cambian, la expansión de la construcción destruirá o al menos perturbará hábitats naturales y vida salvaje en más de un 70% de la superficie de la tierra para el 2032, como resultado del incremento de la población, la actividad económica y la urbanización.²⁴

²² Ibid.

²³ Ibid.

²⁴ NACIONES UNIDAS. Programa para el Medio Ambiente: “Programa de Eficiencia de Recursos del PNUMA”. [en línea]. Disponible en: <<http://www.unep.org/resourceefficiency/Home/UNEPsResourceEfficiencyProgramme/tabid/55552/Default.aspx>>. [fecha de consulta: 09 noviembre 2016].

En la Unión Europea (UE) se consumen 14 toneladas de materias primas, generando más de 5 toneladas de residuos al año, de los cuales, la mitad terminan enterrados en vertederos de basura. Informes de la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA), indican que en los últimos 100 años, el consumo mundial per cápita de materiales se duplicó, mientras que el de energía primaria, se triplicó.²⁵ En un mundo de recursos menguantes éstas cifras son alarmantes e insostenibles. En el último informe del AEMA, Austria, Alemania y Bélgica son los países que reciclan mayor proporción de residuos urbanos.²⁶ En total, en la UE se recicló el 35 % de los RSU en 2010, una mejora significativa respecto al 23 % registrado en 2001. Sin embargo, a muchos países les resultará extremadamente difícil alcanzar los objetivos impuestos por la UE de reciclar el 50% de los residuos domésticos y similares para el año 2020.²⁷

De acuerdo con el informe mencionado anteriormente, el Reino Unido incrementó el porcentaje de reciclado de RSU de un 12% en 2001 a un 39% en el 2010, mientras que Irlanda del Norte lo realizó en el mismo período de un 11% a un 36%. Eslovenia, Polonia y Hungría también mejoraron las tasas de reciclado desde su adhesión a la UE.²⁸

Asimismo, se menciona que las tasas de reciclado más elevadas se registran en Austria, con una tasa del 63%, seguida por Alemania con un 62%, Bélgica con un 58% y los Países Bajos con el 51%, siendo estos los únicos miembros que ya superan el objetivo ideal obligatorio de reciclaje de residuos.²⁹

²⁵ AEMA. "El contexto". [en línea]. Disponible en: <<https://www.eea.europa.eu/es/publications/92-827-5122-8/page003.html>>. [fecha de consulta: 17 septiembre 2017].

²⁶ AEMA. "¿Qué porcentaje de nuestros residuos urbanos reciclamos?". [en línea]. Disponible en: <<http://www.eea.europa.eu/es/pressroom/infografia/que-porcentaje-de-nuestros-residuos/view>>. [fecha de consulta: 10 noviembre 2016].

²⁷ AEMA. Eficiencia en el uso de los recursos y residuos: "Transiciones hacia la sostenibilidad". [en línea]. Disponible en: <<https://www.eea.europa.eu/es/pressroom/newsreleases/las-mayores-tasas-de-reciclado>>. [fecha de consulta: 17 septiembre 2017].

²⁸ Ibid.

²⁹ Ibid.

En Finlandia se ha creado un gran negocio con el uso de la basura que se presume debería ser adoptado por los demás países, ya que se prevé que para el año 2025 los RSU aumenten en hasta un 70% a nivel global. Este negocio se basa en las estadísticas de los desechos anuales que ascienden a más de 1,300 Mt en todo el mundo, por esta razón Finlandia impulsa la llamada “economía circular”³⁰, la cual tiene como objetivo que el valor de las cosas, materiales y recursos como la energía sean útiles todo el tiempo.³¹

Un ejemplo de cómo el país aplica la economía circular y aprovecha los residuos es la planta de energía Lahti, que es el primer complejo en el mundo que genera de manera eficiente electricidad y calefacción a partir de combustibles sólido recuperado.³²

Las Naciones Unidas han ratificado en distintas ocasiones su compromiso con la calidad de vida en conexión con el medio ambiente expresando al desarrollo económico, social y la protección del medio ambiente como componentes del desarrollo sostenible los cuales tienen una interdependencia reforzándose recíprocamente.

Resumiendo que, la calidad de vida se asocia y depende del entorno vital en el que nos movamos, la humanidad tiene así el reto de adecuar sus conductas individuales y colectivas para hacer posible un futuro de esperanza que conserve un medio ambiente adecuado para nuestro desenvolvimiento colectivo con una sociedad más justa y solidaria.³³

³⁰ La economía circular es reparadora y regenerativa, y pretende conseguir que los productos, componentes y recursos en general mantengan su utilidad y valor en todo momento. Este concepto distingue entre ciclos técnicos y biológicos. Disponible en: <<https://www.forbes.com.mx/el-gran-negocio-de-basura-que-mexico-deberia-copiar-a-finlandia/>>. [fecha de consulta: 28 diciembre 2017].

³¹ Forbes México. “El gran negocio de basura que México debería de copiar a Finlandia”. [en línea]. Disponible en: <<https://www.eea.europa.eu/es/pressroom/newsreleases/las-mayores-tasas-de-reciclado>>. [fecha de consulta: 28 diciembre 2017].

³² Ibid.

³³ REAL FERRER. Gabriel. Calidad de Vida, Medio Ambiente y Ciudadanía : ¿Construimos juntos el futuro?. *NOVOS: Estudios Jurídicos*. [en línea]. Vol., 17. No., 3. (Diciembre, 2012). Disponible en: <<https://siaiap32.univali.br/seer/index.php/nej/article/view/4202>>. [17 septiembre de 2017]. ISSN Electrónico: 2175-0491.

1.2. Desechos redimibles más utilizados en la industria de a construcción.

“Los términos de sostenibilidad y desarrollo sostenible aparecen continuamente mencionados en todas las actividades que tienen que ver con la utilización de recursos, la energía o que tienen un impacto sobre el territorio. El concepto de desarrollo sostenible es nuevo, evolucionando en las últimas décadas hasta tener una importancia capital en muchas decisiones que se toman actualmente, especialmente en los países más desarrollados y más aún con todas las políticas derivadas de una mayor preocupación por el cambio climático, la escases de recursos energéticos o el crecimiento demográfico.” Alejandro López Vidal.³⁴

Gran parte de los residuos que se desechan pueden ser beneficiosos para el medio ambiente al reciclarse, esto evita, su acumulación indiscriminada, a través de transformarlos en materias primas para ser utilizadas en nuevos productos fomentando la innovación y el empleo.

De los desechos señalados como reciclables en nuestro país, y que son de gran magnitud, se encuentran el papel, el carbón, el vidrio, los plásticos, la hojalata y los textiles, y de menor volumen: la madera, el hule, el trapo y fibras diversas³⁵.

De los desechos anteriores: el carbón, el vidrio, los plásticos, la hojalata, los textiles y las fibras, tiene aplicación en la construcción, pero al no ser una actividad respetuosa del medio ambiente como característica natural, es una de las que más contribuyen a la contaminación ambiental por la generación de gran cantidad de residuos que produce.

El desarrollo y las necesidades de la construcción difieren de un país a otro y, en consecuencia, el grado de evolución en temas de sostenibilidad también, pero

³⁴ LÓPEZ VIDAL, Alejandro. “Sostenibilidad: Hacia la sostenibilización de la construcción ¿Dónde estamos?”. ANDECE. [en línea]. Vol. 42, (Mayo, 2015). Disponible en: <<http://www.andece.org/sostenibilidad-2/816-hacia-la-sostenibilizacion-de-la-construccion-i-donde-estamos.html>>. [fecha de consulta: 08 noviembre 2016].

³⁵ Instituto Nacional de Ecología, Op. Cit.

a pesar de esta circunstancia, las tasas de reciclado han mejorado notablemente en los países que se han adherido a la UE.

La construcción tiene una incidencia elevada, tanto a nivel económico como social y, sobre todo, ambiental, ya que ha sido objeto de ciertas exigencias o limitaciones en determinados países o sectores productivos, aspectos que la industria de la construcción apenas ha tomado en cuenta.

Para contrarrestar este hecho, ha surgido el término "Construcción Sostenible" entendida como: aquella que aboga por la creación y funcionamiento de un entorno construido saludable y de calidad, que se basa en la eficiencia de los recursos disponibles, la economía del ciclo de vida y los principios ecológicos, el mayor uso de fuentes de energías renovables, la eficiencia energética, la gestión de los residuos de construcción y demolición; así como, que ejerza un control amplio en toda las fases a través de los análisis de los ciclos de vida.³⁶

Estos principios sobre la sostenibilidad aplicada a la construcción no han sido asimilados y completamente analizados para lograr su consolidación, y por ende, su aceptación, razón por la cual, lo sostenible se identifica, con mucha frecuencia, sólo con el medio ambiente sin incorporarlo a vertientes sociales y económicas.

La construcción emplea aproximadamente la mitad de los recursos que el ser humano consume de la naturaleza, de los cuales, el 25% de estos se convierten en residuos de construcción y demolición, así mismo, absorbe el 70% de la energía que se produce en el mundo.³⁷

Por estas circunstancias, se han comenzado a tomar medidas drásticas en el uso y re-uso de los diferentes RSU, de distinta manera en cada país ya que su desarrollo económico, social y político es particular y único.³⁸

³⁶ LÓPEZ VIDAL, Op. cit.

³⁷ RODRIGUEZ. Op. Cit., p. 149.

³⁸ Ibid.



FIGURA 02. Depósitos de reciclaje de PET, 2016.
Fuente: < <http://bit.ly/2G7nNIG>>

De los desechos señalados como reciclables anteriormente y que tienen aplicación en la industria de la construcción, se encuentra el plástico, que en el año 2004 se reciclaba solamente el 4% de la totalidad generada y, que hoy en día, es un residuo muy utilizado en forma de tereftalato de polietileno, comúnmente denominado PET (por sus siglas en inglés, *polyethylene terephthalate*), como un elemento conformador en la construcción de carreteras, pavimentos y ladrillos. En México y España, se utiliza como agregado para disminuir el volumen de grava, arena y cemento en la elaboración de pavimentos interiores y exteriores;³⁹ asimismo, empresas alemanas y holandesas lo utilizan en la construcción de carreteras, manifestando su calidad de resistentes y económicas.⁴⁰ Este tipo de

³⁹ TEC Review. "Estudiantes usan desechos para materiales de construcción". [en línea]. Disponible en: <<http://tecreview.itesm.mx/estudiantes-usan-desechos-para-crear-materiales-de-construccion/>>. [fecha de consulta:28 octubre 2016].

⁴⁰ Ecología Verde. "Holanda tendrá carreteras de plástico reciclado". [en línea]. Disponible en: <<http://www.ecologiaverde.com/holanda-tendra-carreteras-plastico-reciclado/>>. [fecha de consulta:28 octubre 2016].

aplicaciones, si se generalizan, podrían convertirse en una solución global para la construcción de carreteras y un medio para disminuir los vertederos, así como el volumen de este producto de desecho.⁴¹

Otro de los residuos reutilizados en la industria, son las fibras textiles, producidas y reutilizadas en gran escala en países como: España, Escocia, Venezuela y Estados Unidos de América. En los dos primeros, se utiliza en la fabricación de ladrillos mezclando en su fabricación arcilla, residuos de lana y un polímero extraído de las algas para hacer más resistente el producto.⁴² España, a su vez, reutiliza también estas escorias mezclándolas con desechos agrícolas como refuerzo en matrices poliméricas para incrementar el valor del plástico reciclado y para contribuir con la reducción de desechos vegetales generados por el sector textil y agroindustrial. Entre las fibras vegetales que se recuperan están: el algodón reciclado, el lino, el cáñamo, el kenaf, el sisal (henequén) y el fique.⁴³

Por otra parte, Venezuela produce un material puzolánico a partir de la cascarilla de arroz hecha ceniza con el fin de sustituir parte del cemento Portland utilizado en la construcción de viviendas de interés social.⁴⁴ Finalmente, Estados Unidos crea azulejos que se fabrican a partir de desechos de cáscaras de coco recuperados después de la cosecha, así mismo, con residuos de sorgo y trigo, para la fabricación de paneles sustitutos de la madera.⁴⁵

⁴¹ Instituto Nacional de Ecología, Op. Cit.

⁴² Tendencias21. "Tendencias tecnológicas: Fabrican ladrillos con lana". Revista electrónica de ciencia, tecnología, sociedad y cultura. 07 noviembre 2016. ISSN. 2174-6850. Disponible en: <http://www.tendencias21.net/Fabrican-ladrillos-con-lana_a4916.html> [fecha de consulta: 31 octubre 2016].

⁴³ AMIGÓ, V. Salvador, M.D., Sahuquillo, O. Llorens, R., Martí, F. "Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales". REDISA2008: I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. [en línea]. 24 julio 2008. Disponible en: <<http://www.redisa.uji.es/artSim2008/tratamiento/A2.pdf>>. [fecha de consulta: 31 octubre 2016].

⁴⁴ ÁGUILA ARBOLÁEZ, Idalberto., GRIFFIN SOSA, Milena. Tecnología alternativa de producción de cemento puzolánico con ceniza de cascarilla de arroz. ARTÍCULOS: Tecnología y Construcción. [en línea]. Vol., 18-1. (Marzo, 2002). Disponible en: <<http://www.tribunadelinvestigador.com/ediciones/2000/2/art-4/>>. [17 septiembre de 2017].

⁴⁵ Kirei. "Kirei Coco Azulejos". [en línea]. Disponible en: <<http://www.kirei.usa.com/kirei-o-tiles/>> [fecha de consulta: 17 septiembre 2017].



FIGURA 03. Deposito de reciclaje de papel y cartón, 2016.
Fuente: < <http://bit.ly/2DyjkQR>>

Actualmente, la industria de la construcción demanda grandes volúmenes de recursos, sin embargo, estos no se aprovechan adecuadamente, situación que ha generado la necesidad de reinserción de los residuos no utilizados al ciclo de vida de la construcción de viviendas, a través de insertarlos como elementos inherentes en su construcción. México ha participado en este hecho, al crear un ladrillo ecológico fabricado mediante un proceso sustentable donde se utilizan, en su fabricación, residuos de construcción producto de demolición como materia prima, y energía solar para el secado, sustituyendo con esto la tradicional cocción en las ladrilleras.⁴⁶ Otros países, han aplicado estos residuos en la fabricación de mosaicos, adoquines, concretos y bloques.⁴⁷

⁴⁶ GUZMÁN, Fernando. "Ladrillos ecológicos basados en residuos de construcciones". Órgano informativo de la Universidad Nacional Autónoma de México. No. 4,750. Enero 2016. Pg. 12-13.

⁴⁷ DOMÍNGUEZ, Lepe, J. Martínez L., Emilio. "Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas". Redalyc: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. [en línea]. Vol. 11, No. 3, mayo 2007. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46711305>>. ISSN. 1665-529X. [fecha de consulta: 31 octubre 2016].

Estas aplicaciones, sumadas a otras por ser creadas en la producción industrial, ayudarán a reciclar los sobrantes generados en las miles obras civiles que se construyen en el mundo. Existen también desechos que se utilizan de manera más inusual como resultado de las necesidades, del entorno y de la manera de reutilizarlos.



FIGURA 04. Residuos de la demolición de un edificio arquitectónico, 2016.
Fuente: < <http://bit.ly/2mYywx9> >

Por ejemplo, en España, los residuos de celulosa de fábricas de papel y lodos procedentes de la depuración de aguas residuales, han sido mezclados con arcillas cerámicas en la fabricación de ladrillos en laboratorio, demostrando con este proceso, que utilizando materiales de desecho, se reduce la cantidad de combustible y el tiempo requerido en la producción de ladrillos que podrán ser utilizados en la construcción de viviendas al reducir costo y tiempo de producción.⁴⁸

⁴⁸ Tendencias21. "Tendencias tecnológicas: Usan residuos de la industria del papel para fabricar ladrillos". Revista electrónica de ciencia, tecnología, sociedad y cultura. 07 noviembre 2016. ISSN. 2174-6850. Disponible en: http://www.tendencias21.net/Usan-residuos-de-la-industria-del-papel-para-fabricar-ladrillos_a14444.html. [fecha de consulta: 31 octubre 2016].

Entre otros residuos destacados en este país se encuentra el vidrio, destinando a la empresa mexicana ECV para el manejo total del mismo con el fin de incrementar la tasa de reciclado de este desecho, preservar el medio ambiente y contribuir al desarrollo sostenible, de acuerdo a los principios de economía circular reduciendo con esto 8 MT de emisiones de CO₂ y ahorrando 15 MT de materias prima para la fabricación de envases.⁴⁹

De igual manera, en Colombia, se reutiliza el mismo desecho que se aprovecha de los lodos residuales del tratamiento de las aguas servidas de la industria papelera en la elaboración de paneles prefabricados como elementos no estructurales para la construcción.⁵⁰

Entre los países que reutilizan desechos inusuales, se encuentra China, país con sobrepoblación y sobreproducción industrial, este desarrollo "ladrillos ecológicos" que combinan dos tipos de residuos, uno generado por la población y otro por la industria. Del primero, con los desechos caseros y del segundo, con escorias, con esquisto (roca metamórfica resultante de la transformación de la arcilla sometida a grandes presiones) y cieno (lodo blando que se deposita en el fondo de lugares donde hay agua acumulada o en sitios bajos y húmedos), estos materiales combinados forman ladrillos que, además de consumir menos recursos en su elaboración, son también más económicos en el costo de fabricación.⁵¹

En el último Siglo, las migraciones humanas han tenido prácticamente un sólo sentido: del campo a la ciudad. Un promedio de 160.000 personas se instalan diariamente en las ciudades de todo el mundo tras abandonar la vida rural.⁵²

⁴⁹ Ecovidrio. [en línea]. Disponible en: <<http://www.ecovidrio.es/conocenos/nosotros/nosotros>> [fecha de consulta: 19 septiembre 2017].

⁵⁰ QUINCHÍA, M. Adriana., VALENCIA, Marco., GIRALDO, M. Jorge. "Uso de lodos provenientes de la industria papelera en la elaboración de paneles prefabricados para la construcción". Revista EIA: Escuela de Ingeniería de Antioquia. No. 8, Diciembre 2007; pg: 9-19. ISSN. 1794-1237.

⁵¹ Xinhuanet. "China: China promueve materiales de construcción ecológicos en zonas rurales". [en línea]. Disponible en: <http://spanish.xinhuanet.com/china/2013-11/19/c_132901348.htm>. [fecha de consulta: 31 octubre 2016].

⁵² DEL VAL, Alfonso. Op. Cit., p.5.

Como consecuencia: 3.000 millones de habitantes viven y participan de alguna forma de la vida urbana y del modo de producción industrial, incluidos los residuos.⁵³

En el informe “What a Waste”, publicado por el Banco Mundial en el 2012, el organismo prevé que para 2025 la basura urbana en el mundo aumente 70%. También se estima que la cantidad de RSU incrementará de 1,300 MT anuales a 2,200 MT, donde la mayor parte de la basura se generará en ciudades con rápido crecimiento de los países en desarrollo.⁵⁴ Estimando que el costo anual de la gestión de RSU aumentará 205,000 millones de dolares (mdd) a 375,000 mdd, y que, la variación más fuerte en el costo se registrará en las ciudades de bajo ingreso.⁵⁵

Según el Banco Mundial, más de la mitad de la población global no tiene acceso a servicios regulares de recolección de basura, al tiempo en que los vertederos a cielo abierto ilegales dan servicio a 4,000 millones de personas y contienen más de 40% de los desechos en el planeta. En México se recolectan 86,343 toneladas de basura diarias, las cuales provienen de las viviendas, edificios, calles y avenidas, así como parques y jardines, de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). El 87% de los tiraderos de basura en el territorio nacional son a cielo abierto y 13% son rellenos sanitarios, agrega el Instituto.⁵⁶

El mayor de estos contaminantes, en cantidad aunque no en peligrosidad, es el dióxido de carbono (CO₂), que alcanza anualmente la cifra de 27.000 Mt vertidas a la atmósfera del planeta.⁵⁷ Se le considera el máximo responsable del efecto invernadero que está originando el calentamiento global, además, del vertido directo y contaminación de residuos peligrosos en mares, ríos y cauces subterráneos.

⁵³ Ibid.

⁵⁴ Forbes México. Op. Cit.

⁵⁵ Ibid.

⁵⁶ Ibid.

1.3. Las particularidades de la Ceniza de Carbón Volante en una Central Termoeléctrica.



FIGURA 05. Ceniza Volante en Central Termoeléctrica “Presidente Plutarco Elías Calles”, Petacalco. Gro. 2016.
Fuente: Colección propia

Anualmente se extraen para satisfacer la demanda industrial de materias primas más de 30.000 MT de minerales, a las cuales se deben sumar aproximadamente 10.000 MT de combustibles fósiles, utilizados para la propia extracción de los minerales, de los cuales, la mayoría de estos recursos son convertidos en residuos.⁵⁸

Entre los combustibles fósiles más explotados se encuentra el carbón o carbón mineral, roca sedimentaria de color negro, considerado como un recurso no renovable y utilizado principalmente como fuente productora de energía eléctrica, siendo una de las tres más usadas en el mundo.⁵⁹

⁵⁹ Ecured. “Carbón”. [en línea]. Disponible en: <<https://www.ecured.cu/Carb%C3%B3n>>. [fecha de consulta: 02 octubre 2017].

El carbón es uno de los desechos señalados como reciclables y de gran volumen, que es utilizado en la generación de energía eléctrica en las centrales termoeléctricas de carbón, producen en su combustión dos tipos de residuos sólidos: las CV y las cenizas de lecho o escoria.

Las CV son materiales pulverulentos de granulometría muy fina, de naturaleza heterogénea, compuesta por partículas vítreas de forma esférica, procedentes de la fusión prácticamente completa de los minerales que constituyen la materia mineral del carbón denominada, ceniza. Durante la combustión del carbón, la materia orgánica quema rápidamente, aunque no en su totalidad, ya que una parte permanece inquemado en la ceniza. La materia inorgánica, por el contrario, sufre transformaciones complejas: deshidrataciones, descarbonataciones, desulfuraciones e, incluso, volatilizaciones. Y las cenizas de lecho y escoria, son las que caen al fondo por gravedad y que se diferencian de las cenizas anteriores por el tamaño de su partícula.⁶⁰

La producción de CV supera a las de cenizas de lecho y escoria, en un 80% de la totalidad de las cenizas generadas en una CT⁶¹. Según la Norma UNE 83-415, "La ceniza volante, es el producto sólido en estado de fina división procedente de la combustión de carbón pulverizado en las Centrales Térmicas".⁶² Su composición química está conformada por cinco componentes mayoritarios: sílice, alúmina, óxidos de hierro, óxidos de calcio y de magnesio, junto a una serie de componentes minoritarios, tales como: sodio, potasio, titanio, fósforo, carbón inquemado y azufre en forma de sulfatos.⁶³ Las CV constituyen el componente principal de los residuos que genera el uso del carbón como combustible. Se considera que anualmente se

⁶⁰ RUIZ-ROMÁN. J.M., SANTOS. C. Alonso, CAMBRONERO. L.E.G., CORPAS. F., ALFONSO. M., MORAÑO.A.J. "Aprovechamiento de las cenizas volantes, clase F, de centrales térmicas para la fabricación de materiales cerámicos". *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*: Universidad Politécnica de Madrid. Vol. 39. No. 3. Junio 2000; pg. 229 - 231.

⁶¹ UMAÑA, J. "Síntesis de zeolitas a partir de cenizas volantes de centrales termoeléctricas a carbón". España, 2002. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería y Minería.

⁶² SANTAELLA, Op. Cit., p. 49.

⁶³ RUIZ-ROMAN, J.M., Op. Cit., p. 229.

quemar más de 380 MT de carbón produciendo alrededor de 75 MT de residuos de combustión formados principalmente por CV que contienen carbón sin quemar. Por ejemplo, en Colombia, según estudio realizado por el Centro de Investigaciones del Carbón, en el año de 1996, 25 empresas consumidoras de carbón quemaron ese año 406,602 toneladas, produciendo aproximadamente 26,852 toneladas de CV de las cuales 4,852 toneladas son residuo inquemado.⁶⁴

La formación de las CV está condicionada por el proceso térmico de una CT, conformada por: temperatura y tipo de carbón (composición granulométrica) que es determinante, así como, de sus características físicas, químicas, mineralógicas y morfológicas, consecuentes para su comportamiento posterior. Las CV no son un material homogéneo, ya que el conjunto de partículas que la constituyen difieren en su composición química, tamaño, granulometría y textura superficial.⁶⁵ Durante el proceso de combustión, supeditado por la temperatura alcanzada, transcurren un gran número de reacciones químicas tales como: la deshidratación de los minerales asociados al carbón, los carbonatos se descomponen, las fases minerales cambian o llegan a la fusión, el yeso se deshidrata y las piritas se oxidan. Cuanto más elevada sea la temperatura de combustión, mayor será la cantidad de material fundido.⁶⁶ El examen al microscopio de las cenizas volantes muestra multitud de pequeños granos de diferente tamaño, forma (predominantemente esferas), composición y textura superficial. En la forma, existen esferas huecas que albergan en su interior otras más pequeñas o bien partículas de inquemado, otras son compactas y otras porosas. Junto a ellas existen otras partículas irregulares como: cuarzo o fragmentos vítreos e inquemado.⁶⁷

⁶⁴ VELAZQUÉZ, V.L. Fabio, Et. Al. "Remoción de carbón inquemado de las cenizas volantes producidas en el proceso de combustión de carbón". Revista Energética: Escuela de Procesos y Energía. Vol. 38. Diciembre 2007: pg. 107-112. ISSN. 0120-9833.

⁶⁵ PARDO, Antonio., LUXÁN, Ma. Pilar. "Normalización española sobre cenizas volantes". Informes de la construcción: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. [en línea]. Vol. 39 No. 394, Marzo-Abril 1988. Disponible en: <[http://digital.csic.es/bitstream/10261/92915/1/Informes%20de%20la%20Construcci%C3%B3n%2039\(394\)%2057-64%20\(1988\).pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/92915/1/Informes%20de%20la%20Construcci%C3%B3n%2039(394)%2057-64%20(1988).pdf)>. [fecha de consulta: 01 noviembre 2016].

⁶⁶ Ibid.

⁶⁷ Ibid.

1.4. La Ceniza de Carbón Volante, alternativa de aplicación en la industria de la construcción.



FIGURA 06. Patio de almacenamiento de ceniza volante en Central Termoeléctrica “Presidente Plutarco Elías Calles”, Petacalco. Gro. 2016.
Fuente: Colección propia

Los procesos industriales y las actividades humanas generan productos secundarios convertidos en residuos, cuyo control o tratamiento constituye uno de los problemas más importantes en la actualidad, principalmente en los países considerados desarrollados. Uno muy significativo, es la dificultad de establecer lugares adecuados para el depósito de los residuos que sólo crean contaminación volumétrica, lo que ha provocado como solución alternativa, el reciclado de los mismos, evitando con este hecho, no solamente el impacto que su acumulación produce sino los costos que su traslado y almacenamiento originan.⁶⁸

⁶⁸ CALIGARIS. R., QUARANTE., CALIGARIS. M., BENAVIDEZ. E. “Materias primas no tradicionales en la industria cerámica”. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*: Universidad Politécnica de Madrid. Vol. 39. No. 5. Octubre 2000; pg. 623 - 626.

Dentro de estos procesos industriales, el uso del carbón como combustible en la producción de energía termoeléctrica, ha formado actualmente grandes cantidades de residuos sólidos conocidos como CV, las cuales, mayoritariamente han sido destinadas como desecho ya sea por ignorancia o por omisión o falta de interés, sin tomar en cuenta que poseen propiedades con una gran gama de posibilidades para ser utilizadas a escala industrial.⁶⁹ A pesar de la implementación de tecnología desarrollada para evitar, disminuir y controlar estas emisiones y, con esto, cumplir con la reglamentación legal al respecto, la generación de este material sólido sigue provocando problemas de manejo y disposición, ya que si se acumulan en grandes cantidades, se convierten en una amenaza ambiental y económica.⁷⁰

En los últimos años, las CV han sido tema de investigación, ya sea como materia prima de diferentes productos o para dilucidar problemas industriales, tales como: escorificaciones y fusiones parciales o totales, desde un punto de vista fisicoquímico acorde con las condiciones donde se realizan los procesos térmicos. Estos estudios pueden contribuir al alivio del problema de disposición y, en consecuencia, acabar con el impacto ambiental que generan.⁷¹

Los avances científicos y tecnológicos han permitido que las CV subproducto común en las CT y que varían según su composición de acuerdo al tipo de combustible del que provienen⁷², tengan diversas aplicaciones, siendo la más probada en la industria de la construcción. Según un informe del año 2009, el 48% de las CV y el 45% de las cenizas de lecho fueron destinados a dicha industria en la UE.⁷³ Actualmente, la CV se emplea principalmente en la industria del cemento y, en un pequeño porcentaje, en rellenos para nivelación de suelos, fabricación de cerámica utilitaria, bloques, materiales refractarios, ladrillos, materiales abrasivos y

⁶⁹ RUIZ-ROMÁN. J.M., Op. Cit., p. 229.

⁷⁰ VELÁZQUEZ V. L., Op. Cit., p. 109.

⁷¹ Ibid.

⁷² CALIGARIS, R., Op. Cit., p.624

⁷³ CABALLERO. A. Lucía., MÉDICO. O. Alejandro. "Caracterización y posible uso de cenizas resultantes de la combustión del carbón, en la futura Termocentral de lecho fluidizado. Río Turbio, Argentina". REDISA: Universidad Nacional de la Patagonia Austral.

pavimentos, acciones que no resultan satisfactorias desde el punto de vista ambiental ni económico, ya que se manejan volúmenes pequeños en comparación a los que se generan.⁷⁴

El cemento Portland convertido en concreto, es el material para construcción más utilizado en todo el mundo, pero, en su constitución se incorpora a la atmósfera una elevada proporción contaminante de CO₂. Hecho preocupante, ya que se estima, que en los países desarrollados, la producción de concreto se incrementará en forma considerable, razón por la cual, se ha impulsado el desarrollo de clinkers modificados para obtener cementos especiales de bajo consumo energético y bajo desprendimiento de CO₂, utilizando CV.⁷⁵

A partir de los inicios de los años ochenta,⁷⁶ se ha ido incrementando el uso de CV, al adicionarlas en la elaboración de concreto en la construcción de carreteras, así como, a pie de obra en construcciones urbanas.

Entre las ventajas que proporciona la adición de las CV en la constitución del cemento se encuentran: el ahorro de cemento en la elaboración del concreto, dada una mayor docilidad de las mezclas debido a la forma esférica de las cenizas; disminución de la segregación, la reducción del calor de hidratación en estructuras de concreto masivo, el aumento de la impermeabilidad y durabilidad de la obra, aumento de la resistencia a la compresión y, a largo plazo, a los ciclos de deshielo.⁷⁷

Actualmente, la cantidad de este desecho ha disminuido considerablemente tanto en Estados Unidos como en la mayoría de los países europeos, gracias a la inserción que se le dio en la industria de la construcción,⁷⁸ priorizando su

⁷⁴ Ibid.

⁷⁵ LELKHADIRI, DIOURI. A., BOUKHARI. A., PUERTAS. F., VÁZQUEZ. T. "Obtención de cementos belíticos de sulfoaluminatos a partir de residuos industriales". MATER CONSTRUCCIONES: Facultad de Ciencias, Universidad Mohamed, Marruecos. Vol. 53, No. 270, Enero 2003; pg. 57-69.

⁷⁶ Ibid.

⁷⁷ SANTAELLA, Op. Cit., p. 48.

⁷⁸ Ibid.

reutilización y reciclaje en cementos para la elaboración de pavimentos y construcción de carreteras, los cuales, están sujetos a normas para su aplicación.

Sin embargo, lo referente al carbón inquemado presente en las CV obtenida en los procesos de combustión de carbón,⁷⁹ (inconveniente principal para su utilización en la industria de la construcción), en la Norma ASTM C618,⁸⁰ plantea que se deberá contar con un mínimo de 6% de inquemado, así mismo, afirma que se puede emplear CV de Clase F⁸¹ con contenidos de hasta el 12%, si se cuenta con registros o resultados de ensayos de laboratorio aceptables. De acuerdo a diversas investigaciones acerca del efecto del carbón inquemado en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de concretos adicionados con ceniza volante, se han reportado resultados diversos y, en términos generales, se estima que este valor debe de ser máximo de un 8%.

El carbón inquemado, normalmente, tiene un tamaño de partícula mayor que el material mineral, por lo tanto, se puede separar en un porcentaje considerable obteniendo doble beneficio: la reutilización del inquemado como combustible o como precursor para la producción de carbón activado, y su utilización como material mineral en la industria de la construcción, ya que se le ha retirado la materia orgánica que imposibilita su utilización⁸². Esta ha sido la causa por la cual, en México, no se utiliza este desecho, ya que en sus CTC se aprovecha al máximo el carbón, desechando un porcentaje muy bajo de inquemado haciendo prácticamente inútil su aplicación. Así mismo, la mayoría de las cenizas de los

⁷⁹ VELÁZQUEZ V. L., Op. Cit., p. 107.

⁸⁰ Esta especificación trata sobre la ceniza volante de carbón y la puzolana natural, en crudo o calcinada para su uso en concreto donde se desee una acción cementicia o puzolánica, o ambas, o donde pueda desearse alguna otra propiedad normalmente atribuida a la ceniza volante oa las puzolanas, o donde se pretenda alcanzar objetivos ambos. Disponible en: <<http://www.astm.org/Standards/C618-SP.htm>>. [fecha de consulta: 26 noviembre 2016].

⁸¹ Existen dos clases de Ceniza Volante, una es la clase C y la otra la clase F, diferenciadas en la composición del material. Las Cenizas Volante de Clase F son las más abundantes, se caracterizan por tener 15% menos de cal y contienen un porcentaje alto de la combinación de sílice, alumina y óxido de hierro (superior al 70%). La Ceniza Volante de clase C, tiene un alto porcentaje de cal, muchas veces superior al 30%. Disponible en: <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3325/55874-5.pdf?sequence=5>>. [fecha de consulta: 28 diciembre 2017].

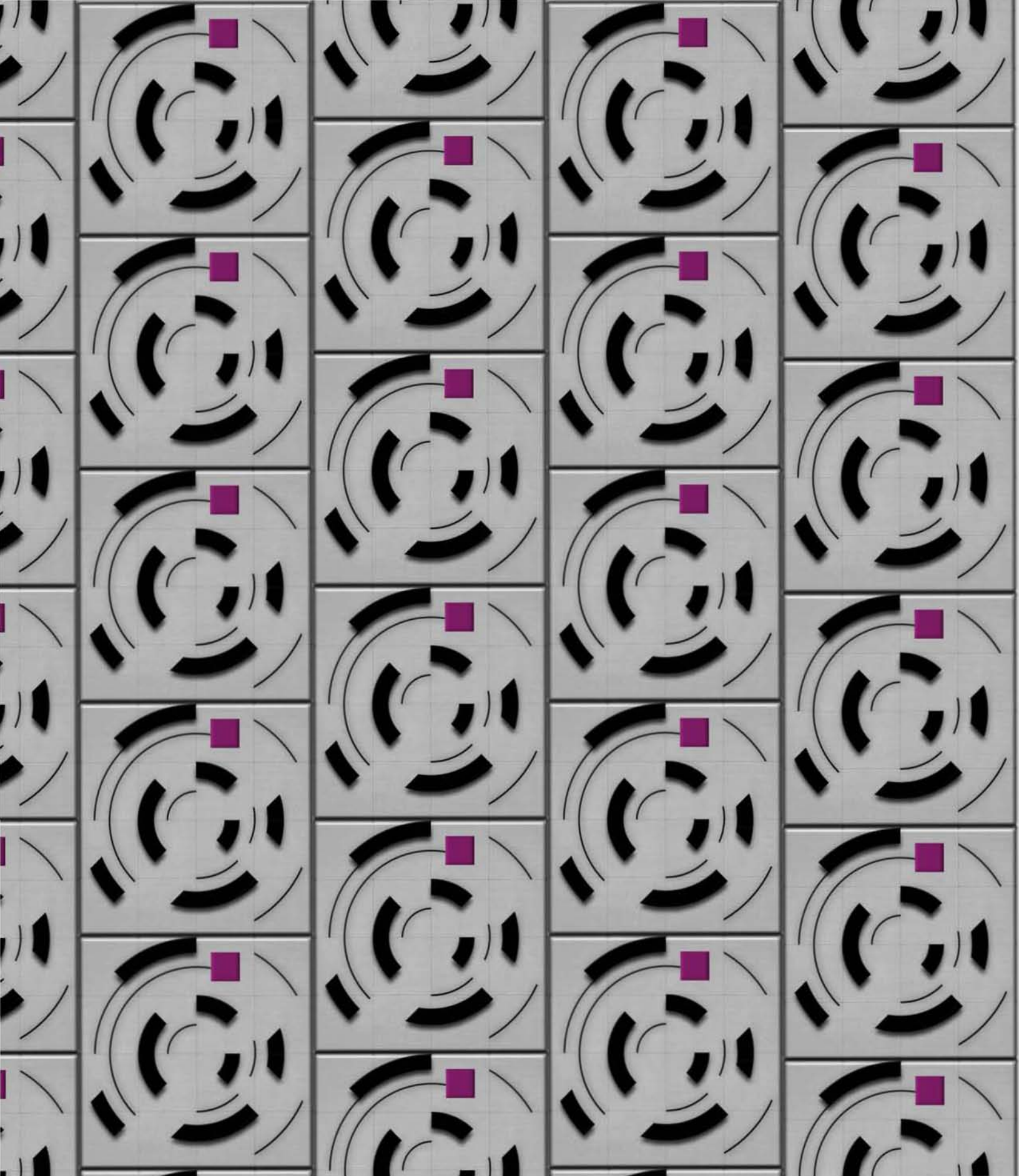
⁸² VELÁZQUEZ V. L., Op. Cit., p. 107.

procesos de incineración y combustión, no se disponen adecuadamente y son abandonados en patios industriales, barrancas y espacios abiertos en donde son arrastrados por el viento a lugares en los que pueden ocasionar daños a la población y afectar los cuerpos de agua y suelo.

La generación de residuos representa la destrucción de los recursos naturales, la cual a su vez amenaza la propia continuidad de vida en la Tierra, sin tener consciencia cuantos de estos son residuos peligrosos, cada año en algunos países Europeos se registran desechos de este tipo por hasta 42 MT sin contemplar los residuos emitidos a las atmósfera, ni los residuos radioactivos.⁸³ Estos residuos generalmente están constituidos por productos químicos inexistentes en la naturaleza, es decir, que no son resultado de la producción de la Biosfera, por lo que no cuentan con microorganismos que los descompongan para poder ser reciclados.

Al permanecer mucho tiempo inalterables se diseminan mediante el agua y la atmósfera, principalmente; estos materiales peligrosos entran así a formar parte de las cadenas tróficas o alimentarias, incorporándose por medio de las plantas y por ende en los animales que son consumidos mediante la dieta humana. El mercurio, el cadmio, el plomo, el cromo e infinidad de residuos industriales vertidos e incinerados son emitidos por chimeneas de la industria que al finalizan alojados en nuestro cuerpo causando severas enfermedades y destruyen el ecosistema.

⁸³ DEL VAL, Alfonso. Op. Cit., p.10.



**LOS RETOS ECOLÓGICOS DE LA PRODUCCIÓN
ENERGÉTICA EN MÉXICO**

INTRODUCCIÓN

La electricidad es una forma preponderante de energía debido a su flexibilidad y fácil distribución, la demanda en todo el mundo esta creciendo impulsada principalmente por: los consumidores de equipos y aparatos electrónicos, la actividad industrial asociada y cada vez mayor acceso de las poblaciones al desarrollo mundial.

Se dice que la electricidad define al mundo moderno, cualquier cosa que se piense como modernidad y tecnología dependen para su operación y su existencia de la electricidad.

Las raíces de la industria de generación moderna se encuentran en los primeros años y a mediados del siglo XIX y en el trabajo de hombres brillantes como Benjamín Franklin, Alessandro Volta y Michael Faraday.

El desarrollo amplio de la electricidad coincidió con el desarrollo de la máquina de vapor y con el uso del gas como combustible y para alumbrado. En los Estados Unidos, Thomas A. Edison desarrolló el filamento de carbón que produce luz a partir de la electricidad. El alumbrado constituyó, de hecho, el primer uso de comercial de la electricidad, pero este concepto era insuficiente para el desarrollo de la industria de la generación de energía eléctrica. El crecimiento de esta industria realmente se dio con el uso de la electricidad para tracción eléctrica, como fue el caso de los tranvías para uso de transporte eléctrico, el metro y los ferrocarriles eléctricos; que son de la clase de proyectos eléctricos que estimularon el crecimiento de esta industria en las dos últimas décadas del siglo XIX.

Los orígenes de la electricidad pueden estar en el siglo XIX pero el crecimiento de la industria eléctrica resulto ser un fenómeno del siglo XX.

2.1 Los inicios de la electrificación en México y las fuentes productoras de energía eléctrica en la actualidad

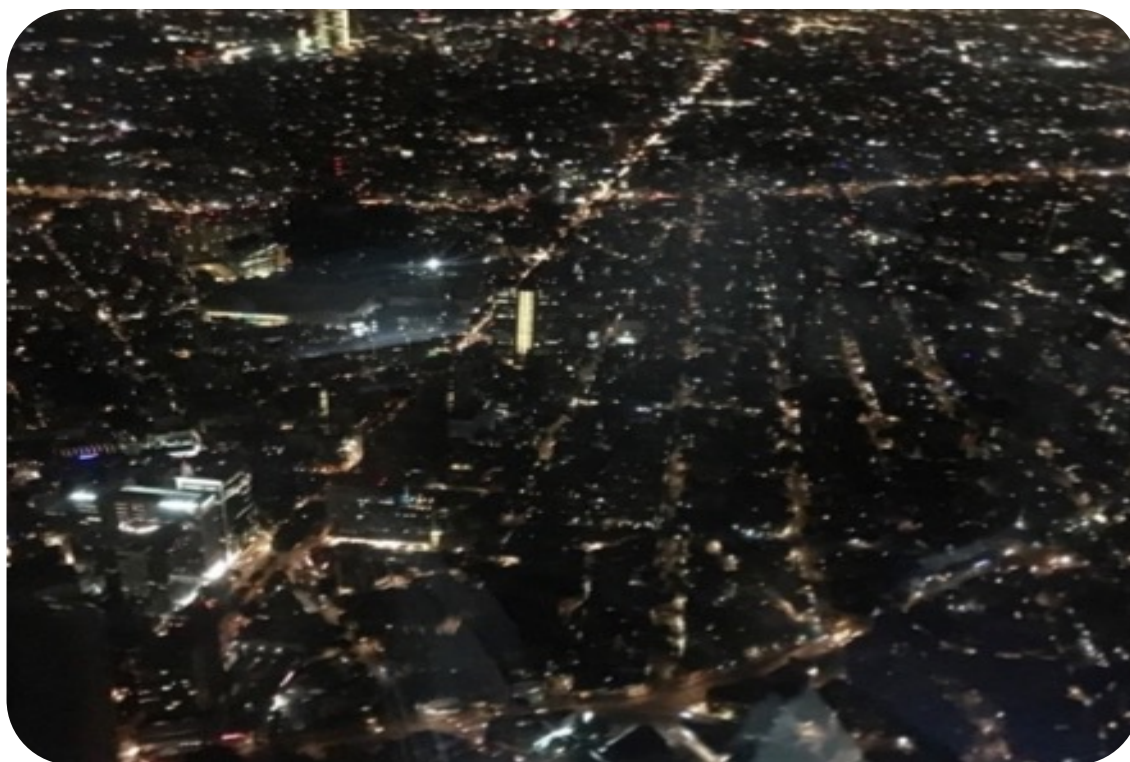


FIGURA 07. Ciudad de México electrificada, 2016
Fuente: Colección propia.

La generación de energía eléctrica inició en México a fines del siglo XIX, la primera planta generadora que se instaló en el país (1879)⁷¹ estuvo en León, Guanajuato, y era utilizada por la fábrica textil “La Americana”. Casi inmediatamente se extendió esta forma de generar electricidad dentro de la producción minera y, marginalmente, para la iluminación residencial y pública.⁷²

En 1889 operaba la primera planta hidroeléctrica en Batopilas (Chihuahua) y extendió sus redes de distribución hacia mercados urbanos y comerciales donde la población era de mayor capacidad económica.⁷³

⁷¹ Comisión Federal de Electricidad. “CFE y la Electricidad en México”. [en línea]. Disponible en: <http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx>. [fecha de consulta: 14 Agosto 2017].

⁷² Ibid.

⁷³ Ibid.

No obstante, durante el régimen de Porfirio Díaz se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público, colocándose las primeras 40 lámparas "de arco" en la Plaza de la Constitución, cien más en la Alameda Central y se comenzó la iluminación de la entonces calle de Reforma y de algunas otras vías de la Ciudad de México. Algunas compañías internacionales con gran capacidad vinieron a crear filiales, como The Mexican Light and Power Company, de origen canadiense, en el centro del país; el consorcio The American and Foreign Power Company, con tres sistemas interconectados en el norte de México, y la Compañía Eléctrica de Chapala, en el occidente.⁷⁴

A inicios del siglo XX México contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50 MW, de los cuales 80% los generaba The Mexican Light and Power Company, con el primer gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla. Las tres compañías eléctricas tenían las concesiones e instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas que sólo funcionaban en sus regiones. En ese período se dio el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la Industria de Generación y Fuerza, conocida posteriormente como Comisión Nacional de Fuerza Motriz. Fue el 2 de diciembre de 1933 cuando se decretó que la generación y distribución de electricidad son actividades de utilidad pública.⁷⁵

En 1937 México tenía 18.3 millones de habitantes,⁷⁶ de los cuales únicamente siete millones contaban con electricidad, proporcionada con serias dificultades por tres empresas privadas. En ese momento las interrupciones de luz eran constantes y las tarifas muy elevadas, debido a que esas empresas se enfocaban a los mercados urbanos más redituables, sin contemplar a las poblaciones rurales, donde habitaba más de 62% de la población. La capacidad

⁷⁴ Ibid.

⁷⁵ Ibid.

⁷⁶ Ibid.

instalada de generación eléctrica en el país era de 629.0 MW. Para dar respuesta a esa situación que no permitía el desarrollo del país, el Gobierno Federal creó, el 14 de agosto de 1937, la CFE, que tendría por objeto organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales. (Ley promulgada en la Ciudad de Mérida, Yucatán el 14 de agosto de 1937 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de agosto de 1937).⁷⁷

La CFE comenzó a construir plantas generadoras y ampliar las redes de transmisión y distribución, beneficiando a más mexicanos al posibilitar el bombeo de agua de riego y la molienda, así como mayor alumbrado público y electrificación de comunidades. Los primeros proyectos de generación de energía eléctrica de CFE se realizaron en Teloloapan (Guerrero), Pátzcuaro (Michoacán), Suchiate y Xía (Oaxaca), y Ures y Altar (Sonora).⁷⁸

El primer gran proyecto hidroeléctrico se inició en 1938 con la construcción de los canales, caminos y carreteras de lo que después se convirtió en el Sistema Hidroeléctrico Ixtapantongo, en el Estado de México, que posteriormente fue nombrado Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.

En 1938 CFE tenía apenas una capacidad de 64 KW, misma que, en ocho años, aumentó hasta alcanzar 45,594 KW.⁷⁹ Entonces, las compañías privadas dejaron de invertir y CFE se vio obligada a generar energía para que éstas la distribuyeran en sus redes, mediante la reventa.⁸⁰

Hacia 1960 la CFE aportaba ya el 54% de los 2,308 MW de capacidad instalada, la empresa Mexican Light el 25%, la American and Foreign el 12%, y el

⁷⁷ Ibid.

⁷⁸ Ibid.

⁷⁹ Ibid.

⁸⁰ Ibid.

resto de las compañías 9%. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, para esas fechas apenas 44% de la población contaba con electricidad. Por eso el presidente Adolfo López Mateos decidió nacionalizar la industria eléctrica, el 27 de septiembre de 1960.⁸¹

A partir de entonces se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización. El Estado Mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las compañías privadas, las cuales operaban con serias deficiencias por la falta de inversión y los problemas laborales.⁸²

Para 1961 la capacidad total instalada en el país ascendía a 3,250 MW. CFE vendía 25% de la energía que producía y su participación en la propiedad de centrales generadoras de electricidad pasó de cero a 54%. En esa década la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura. Se construyeron importantes centros generadores, entre ellos los de Infiernillo y Temascal, y se instalaron otras plantas generadoras alcanzando, en 1971, una capacidad instalada de 7,874 MW. Al finalizar esa década se superó el reto de sostener el ritmo de crecimiento al instalarse, entre 1970 y 1980, centrales generadoras que dieron una capacidad instalada de 17,360 MW.⁸³

Cabe mencionar que en los inicios de la industria eléctrica mexicana operaban varios sistemas aislados, con características técnicas diferentes, llegando a coexistir casi 30 voltajes de distribución, siete de alta tensión para líneas de transmisión y dos frecuencias eléctricas de 50 y 60 Hertz. Esta situación dificultaba el suministro de electricidad, por lo que CFE definió y unificó los criterios técnicos y económicos del Sistema Eléctrico Nacional, normalizando los voltajes de operación, con la finalidad de estandarizar los equipos, reducir sus costos y los tiempos de fabricación, almacenaje e inventariado. Posteriormente se unificaron las

⁸¹ Ibid.

⁸² Ibid.

⁸³ Ibid.

frecuencias a 60 Hertz y CFE integró los sistemas de transmisión en el Sistema Interconectado Nacional.⁸⁴

En los años 80 el crecimiento de la infraestructura eléctrica fue menor que en la década anterior, principalmente por la disminución en la asignación de recursos a la CFE. No obstante, en 1991 la capacidad instalada ascendió a 26,797 MW.⁸⁵

A inicios del año 2000 se tenía ya una capacidad instalada de generación de 35,385 MW, cobertura del servicio eléctrico del 94.70% a nivel nacional, una red de transmisión y distribución de 614,653 kms, lo que equivale a más de 15 vueltas completas a la Tierra y más de 18.6 millones de usuarios, incorporando casi un millón cada año. A partir octubre de 2009, CFE es la encargada de brindar el servicio eléctrico en todo el país.⁸⁶

Actualmente la CFE es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propios. Por ley es responsable de la prestación del servicio público de energía eléctrica en condiciones de cantidad, calidad y precio con la adecuada diversificación de fuentes de energía.⁸⁷

En su misión y objetivos, la CFE considera la protección ambiental y la responsabilidad social.

Esto se traduce en acciones emprendidas para reducir el impacto en sus actividades en el entorno centrándose en cuatro ejes rectores: la reducción del impacto ambiental de las actividades sustantivas de la empresa, la maximización de la eficiencia de la generación, transmisión y distribución, incremento en el uso de fuentes de energía renovables y el impulso al programa de ahorro de energía.⁸⁸

⁸⁴ Ibid.

⁸⁵ Ibid.

⁸⁶ Ibid.

⁸⁷ Secretaría de Gobernación. "Estatuto Orgánico de la Comisión Federal de Electricidad: Disposiciones Generales, artículo 1º". *Diario Oficial de la Federación del 10 Marzo 2004*. [en línea]. Disponible en: <http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=674134&fecha=10/03/2004>. [fecha de consulta: 27 Noviembre 2016].

⁸⁸ Discurso inaugural del Ing. Alfredo Elías Ayub, Director General de CFE en el Primer Simposio de Desarrollo Sustentable del Sector Eléctrico. Octubre 2007. Fuente: Informe de Sustentabilidad 2008, CFE.

Apartir del 2008 la CFE diversificó sus fuentes de producción de electricidad y el aprovechamiento de fuentes renovables de energía, generando 231 296 GWH durante ese año; de los cuales el 19,5% fue generado en centrales hidroeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas y nucleoeeléctricas, el porcentaje de generación libre de emisiones en ese año asciende al 23,74% del total anual. El compromiso de la CFE para 2018 es llegar a generar el 25,9% a partir de fuentes renovables.⁸⁹

Sin embargo, en el 2016 la CFE realizó una compilación de todas las centrales generadoras responsables del abastecimiento de energía eléctrica a toda la República Mexicana,⁹⁰ (Ver tabla 01 y 02) con un total de 163 centrales generadoras de las cuales el 35.38% genera electricidad a partir de fuentes renovables, es decir, un 15.86% más que en el 2008, objetivo cumplido por CFE.⁹¹ La obtención de esta energía es principalmente generada por centrales hidroeléctricas con un 23.27%, sin embargo, este porcentaje es muy bajo considerando que existen 60 centrales de este tipo a lo largo de la República Mexicana, esto se debe a que sólo una pequeña parte de la lluvia se puede utilizar realmente para la generación de potencia eléctrica ya que una parte significativa se pierde por evaporación directa, mientras que otra cantidad similar se filtra en el suelo formando el almacenamiento subterráneo. Alguna porción del agua también es absorbida por la vegetación, por lo tanto, únicamente una parte del agua que cae como lluvia fluye sobre la superficie de la tierra como una corriente de agua en forma directa y que se puede usar en los esquemas hidroeléctricos.⁹²

⁸⁹ “Retos y perspectivas de CFE”. Conferencia magistral a cargo del Ing. Alfredo Elías. Director General de CFE, durante la 14ª Reunión Institucional de Calidad y Competitividad. Diciembre 2008. Fuente: Informe de Sustentabilidad 2008.

⁹⁰ CFE. “Las Centrales Generadoras en México”. [en línea]. Disponible en: <<http://www.cfe.gob.mx/SiteAssets/Lists/PrefuntasFrecuentesTransp/EditForm/Las%20Centrales%20Generadoras%20en%20M%C3%A9xico%20mayo%202016.pdf>>. [fecha de consulta: 10 Octubre 2017].

⁹¹ “Retos y perspectivas de CFE”. Op. Cit.

⁹² HARPER ENRÍQUEZ, Gilberto; Tecnologías de generación de energía eléctrica. 1ª ed. México. Limusa, 2009. ISBN: 978-607-05-0135-7., Pg, 176.

Seguidas por las centrales geotérmicas con 1.63%,⁹³ que a pesar de ser un tipo de energía considerada como “limpia”, es decir, que prácticamente no emite gases invernadero, y que es atractiva para la generación de potencia eléctrica porque es sencilla y relativamente barata de explotar, (el vapor se puede extraer desde una perforación y usar directamente para accionar una turbina de vapor). Tal recurso geotérmico fácilmente explotable es difícil de encontrar y se usa con un poco más de complejidad lo cual conlleva a sistemas tecnológicos costosos y especializados.⁹⁴

La energía eolieléctrica también considerada como energía renovable, produce tan sólo el 1.21% del total de estas,⁹⁵ siendo este un sistema de conversión que transforma la energía del viento en energía mecánica o eléctrica. Esta energía se puede usar en distintas formas, como para bombeo de agua, molino de granos, para proporcionar potencia eléctrica a hogares o pequeñas comunidades solamente.⁹⁶

El 0.02% es generado mediante energía solar fotovoltaica,⁹⁷ la cual, captura energía solar y la convierte en electricidad, involucrando el uso de celdas solares o fotovoltaicas (la celda solar es un dispositivo de estado sólido como un transistor o microchip, usa las características físicas de un semiconductor, tal como el silicio, para transformar en forma directa la luz del sol en electricidad), sin embargo, tiene una debilidad importante, sólo puede generar electricidad cuando el sol es brillante, durante las noches no hay luz solar, y por tanto, no se genera electricidad. Para evadir este problema, una planta solar debe tener alguna forma convencional de soporte de retorno de combustible o bien incorporar almacenamiento de energía.

⁹³ CFE., Op. Cit.

⁹⁴ HARPER ENRÍQUEZ., Op. Cit., Pg, 139.

⁹⁵ CFE., Op. Cit.

⁹⁶ HARPER ENRÍQUEZ., Op. Cit., Pg, 241.

⁹⁷ CFE., Op. Cit.

Las celdas solares están frecuentemente acopladas con baterías recargables para proporcionar potencia continua en localidades remotas.⁹⁸

Y por último con un 3.25% se encuentran las centrales nucleoelectricas, ubicando solamente 1 de su tipo en el estado de Veracruz.⁹⁹ La energía nuclear es la más controversial de todas las formas de generación de potencia eléctrica, esta genera electricidad utilizando la energía liberada cuando los núcleos de un átomo grande, tal como el uranio, se fracciona en componentes menores, mediante un proceso llamado fisión nuclear, el inconveniente de este tipo de generación de energía es el tipo de desechos que produce pues son altamente tóxicos.¹⁰⁰

Por otra parte el 70.67% le corresponde a las centrales termoeléctricas de fuentes no renovables (uso de combustibles fósiles como: carbón, combustóleo y gas natural) encontrando las tecnologías con uso de vapor, turbogás, combustión interna, ciclo combinado y carboeléctricas.¹⁰¹ Haciendo un recuento del uso de generación eléctrica a partir de combustibles fósiles, un 63.7% le corresponde al año de 1999, mientras que para el 2007 se seguía manteniendo la misma estadística con un consumo de carbón del 38.1%, seguido del gas natural con 17.1% y el combustóleo con 8.5%. En el 2011 se consumieron 15.52 Mt de carbón, es decir, 42,523 toneladas diarias, teniendo un incremento del 2.8% ese año.¹⁰² Y hoy en día su uso sigue en aumento, siendo el segundo proveedor de energía eléctrica, observando que de acuerdo a los datos proporcionados por CFE el objetivo de reducir el uso de estas fuentes de energía¹⁰³ fue un fiasco al aumentar un 6.97% en el año 2016 con el consumo de combustibles fósiles.

⁹⁸ HARPER ENRÍQUEZ., Op. Cit., Pg, 302.

⁹⁹ CFE., Op. Cit.

¹⁰⁰ HARPER ENRÍQUEZ., Op. Cit., Pg, 150.

¹⁰¹ CFE., Op. Cit.

¹⁰² Comisión Federal de Electricidad, 2011. "Informe Anual 2011: Conformación del Sistema Eléctrico Nacional". [en línea]. Disponible en: <http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/SiteAssets/Paginas/Publicaciones/Informe12011.pdf>. [fecha de consulta: 14 Agosto 2016].

¹⁰³ "Retos y perspectivas de CFE"., Op. Cit.

Centrales generadoras de Energía Eléctrica en la República Mexicana por Tipo y Capacidad Instalada

Tipo de Tecnología o Generación	# de Centrales por tipo	Capacidad Instalada [Mw]*	Capacidad Instalada [%]
Hidroeléctrica	60	11,518.3	23.27
Vapor	15	8,322.1	16.81
Turbogás	30	1,945.3	3.93
Combustión Interna	6	122.9	0.25
Ciclo Combinado	36	19,216.1	38.81
Carboeléctrica	3	5,378.3	10.87
Geotermoeléctrica	3	805.0	1.63
Eoloeléctrica	7	594.8	1.21
Solar Fotovoltaica	2	6.0	0.02
Nucleoeléctrica	1	1,608.0	3.25
TOTALES	163	49,517.01	100

TABLA 01. Centrales generadoras de energía eléctrica en la República Mexicana, por tipo y capacidad instalada, CFE, 2016.
Fuente: <http://bit.ly/2DVVEUd>
Autoría propia

Centrales generadoras de Energía Eléctrica en la
República Mexicana

Entidad Federativa	# de Centrales Generadoras Totales
Baja California	8
Baja California Sur	12
Chihuahua	10
Durango	3
Coahuila	6
Tamaulipas	9
Nuevo León	8
Michoacán	12
Jalisco	3
Nayarit	4
Colima	2
Guerrero	4
San Luis Potosí	5
Estado de México	14
Puebla	3
Hidalgo	3
Querétaro	1
Guanajuato	2
CDMX	2
Veracruz	10
Chiapas	7
Oaxaca	7
Yucatán	2
Sonora	10
Campeche	1
Durango	2
Sinaloa	9
TOTAL	163

TABLA 02. Centrales generadoras de energía eléctrica en la República Mexicana, CFE, 2016.

Fuente: <http://bit.ly/2DVVEUd>
Autoría propia

La ocupación indiscriminada del espacio agota los recursos, destruye el paisaje y aumenta la vulnerabilidad de nuestros asentamientos humanos. La extracción desbordante de recursos naturales tienen diversas consecuencias negativas sobre la economía y el ambiente. Las reservas de recursos no renovables, como la minería y los recursos energéticos, no son infinitos y el manejo inadecuado de los recursos renovables, como la madera, con lleva entre otros, efectos indeseables sobre el medio natural como el agotamiento de las fuentes de recursos hídricos.¹⁰⁴ El aumento de la demanda energética en los últimos años ha promovido la creación de una gran cantidad de proyectos de generación eléctrica. La posible instalación de termoeléctricas en áreas claves para la conservación y manejo de la biodiversidad ha generado conflictos sociales y controversias sobre su ubicación y compatibilidad con los usos propuestos para el área designada, planteando conflictos entre las necesidades a cubrir y los requerimientos energéticos así como la implementación de iniciativas de conservación y manejo de los recursos naturales.

La importancia y relevancia ecológica y económica del área en la cuál se instalan estas CT deben revisar los principales impactos que este tipo de tecnología genera la sociedad humana y los ecosistemas, debiendo proponer enfoques y herramientas que puedan asistir en la toma de decisiones y en la resolución de conflictos.¹⁰⁵

La liberación de una gran variedad de contaminantes aéreos producto de la combustión de carbón, ha sido asociada con diversos riesgos para la salud humana y ambiental en inmediaciones de termoeléctricas. La combustión genera también grandes cantidades de cenizas con diferentes concentraciones de elementos potencialmente tóxicos para plantas y animales, provocando además, problemas con el uso de los suelos.¹⁰⁶

¹⁰⁴ ACOSTA, Domingo., "Arquitectura y construcción sostenibles: CONCEPTOS, PROBLEMAS Y ESTRATEGIAS". *DEARQ*. Revista de Arquitectura. [en línea]. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=341630313002>>. [fecha de consulta: 24 Octubre 2017]. ISSN 2011-3188.

¹⁰⁵ CÁRCAMO, Francisco., Op. Cit.

¹⁰⁶ *Ibid.*

2.2. Centrales termoeléctricas de carbón en México.



FIGURA 08. Central termoeléctrica "Presidente Plutarco Elías Calles, Chimeneas, 2016.
Fuente: Colección propia

Los combustibles fósiles tiene una cosa en común, crean Dióxido de Carbono (CO₂ EN ADELANTE) cuando se queman, estos son una parte clave del ciclo de carbón de largo plazo en la Tierra, los cuales fueron formados en periodos geológicos, cuando el clima fue tropical en una gran parte del planeta y las concentraciones atmosféricas de CO₂ fueron muy altas. El depósito de carbón sobre las plantas y vegetación y su subsecuente conversión a carbón, petróleo y gas redujo de forma dramática los niveles de CO₂ en la atmósfera y jugó un papel importante en el enfriamiento del planeta a temperaturas que pudieron soportar las formas avanzadas de vida.¹⁰⁷

Muestras de hielo que se han tomado indican que el nivel de CO₂ en la atmósfera, fue más o menos estable a unas 280 partes por milló durante los miles

¹⁰⁷ HARPER ENRÍQUEZ., Op. Cit., Pg, 45.

de años hasta el arranque de la Revolución Industrial en los inicios del siglo XIX. Después, los niveles de CO₂ en la atmósfera se elevaron, al principio lentamente como un resultado de la quema de carbón, pero desde la Segunda Guerra Mundial la liberación de CO₂ se ha acelerado reflejando la explotación de un amplio rango de combustibles fósiles.¹⁰⁸ Actualmente los niveles de CO₂ son de 380 ppm y continúan incrementándose rápidamente.¹⁰⁹

El mineral carbón esta compuesto principalmente de carbón, aún cuando también contiene hidrógeno, oxígeno y pequeñas cantidades de variantes de nitrógeno, azufres y otros elementos. Fue formado por la descomposición de la vegetación que crecía en los pantanos o en los deltas de los grandes ríos. El material descompuesto de las plantas y árboles fue transformado primero por acción bacteriana por lodo y luego enterrado en depósitos de sedimentos, después, durante los movimientos de la corteza de la Tierra, las capas de lodo se hicieron más profundas y por la influencia del calor y de reacciones bioquímicas fueron transformados en varios tipos de carbón o lignita, durante este proceso de carbonización el contenido de carbón se aumentó como oxígeno e hidrógeno formando el metano y que fue capturado en capas geológicas, formando reservas naturales de gas contenidas en capas semejantes a aquellas que contienen petróleo.¹¹⁰

Las reservas más importantes de carbón están concentradas en 4 países: Rusia (45%), Estados Unidos (24%), China (13%), Australia (6%). Otros países productores de carbón son Polonia, Alemania, Inglaterra, Sudafrica y la India. Actualmente la mayoría de carbón producido en cada país en sus minas se usa en el propio país, sólo alrededor del 10% se comercializa al exterior y la mayor proporción se usa para generación eléctrica.¹¹¹

¹⁰⁸ Ibid., Pg, 46.

¹⁰⁹ Ibid.

¹¹⁰ Ibid., Pg, 25.

¹¹¹ Ibid., Pg, 29.

Las reservas mundiales de carbón son importantes, pero el carbón es el combustible menos atractivo desde el punto de vista de las emisiones de CO₂ y también mucho más difíciles de extraer. El carbón más barato es el de las minas a cielo abierto, pero este proceso es muy dañino para el medio ambiente.¹¹²

Todas las formas de generación de energía eléctrica tiene algún impacto ambiental pero eso no está en general reflejado en el costo de la energía eléctrica, debido a esto, los costos ambientales adicionales se conocen como externalidades.¹¹³

El esfuerzo actualmente se encuentra en probar una mayor eficiencia en los sistemas de energía convencionales, pero se están desarrollando en paralelo esfuerzos tecnológicos importantes por lograr que los sistemas no convencionales aumenten la eficiencia de conversión de la energía mediante nuevos diseños y procesos de manufactura para incorporar a los sistemas eléctricos tecnologías más competitivas desde una perspectiva que considere los factores económicos y amigables con la sociedad desde el punto de vista ambiental, considerando el problema de la contaminación como un aspecto importante.

En México existen tres CTC que generan el 5.22% del total de la electricidad en el país, ubicadas dos en el Estado de Coahuila en el Municipio de Nava: la CT José López Portillo, con una capacidad de diseño de 1.200 MW con cuatro unidades, cuya característica principal es el manejo de cenizas de fondo y volante y su sistema de enfriamiento cuya agua es transportada a través de un acueducto desde el Río Bravo hasta un estanque, recorriendo 30 km. Y la CT Carbón II que utiliza el carbón mineral no coquizable como fuente primaria de energía, con una capacidad de diseño de 1.400MW, igualmente con cuatro unidades,¹¹⁴ y a tercera CTC, ubicada en el Estado de Guerrero en el Municipio de La Unión de Isidoro

¹¹² Ibid.

¹¹³ Ibid.

¹¹⁴ Global Energy Observatory. "Plutarco Elías Calles: Thermal Power Plant México". [en línea]. Disponible en: <<http://globalenergyobservatory.org/form.php?pid=4826>>. [fecha de consulta: 27 Noviembre 2016].

Montes de Oca, denominada Central Termoeléctrica Petacalco o Presidente Plutarco Elías Calles, con la característica de ser una central dual ya que opera con carbón y combustóleo (en su mayoría carbón), con una capacidad de diseño de 2.100 MW, contando con siete unidades.¹¹⁵ Esta CTC es la más grande de su tipo, generando cantidades exorbitantes de residuos desde, durante y al finalizar el ciclo de producción de energía eléctrica.

Este tipo de tecnologías origina casi el 50% de energía eléctrica en comparación a los sistemas de mayor generación, que son los hidroeléctricos, sin embargo, las CTC solo son el 5% del total de centrales hidroeléctricas. (Veáse cap. anterior, Tabla 01)

Para producir electricidad usando carbón se requiere un contenedor de agua que al calentarse con el carbón se produce vapor de alta presión (entre 120 y 170 Kg/cm²) y alta temperatura (del orden de 520°C), el cual se conduce hasta las aspas o álabes de una turbina, que cuando se activa, al mismo tiempo hace girar el generador eléctrico que esta acoplado al rotor de la turbina de vapor.

En su forma más clásica, las CT queman combustible en un generador de vapor, el cual se expande a continuación en una turbina de vapor que impulsa un alternador, para ser enfriado finalmente en un condensador. Las CT que usan combustibles fósiles liberan a la atmósfera CO₂, considerado el principal gas responsable del calentamiento global. También, dependiendo del combustible utilizado, pueden emitir otros contaminantes como: óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas sólidas (polvo) y cantidades variables de residuos sólidos.¹¹⁶

Estas centrales liberan una cantidad considerable de contaminantes aéreos producto de la combustión del carbón (dióxido de azufre [SO₂], monóxido de nitrógeno [NO], mercurio y otros), razón por la cual, ha sido asociada con diversos

¹¹⁵ Ibid.

¹¹⁶ BLANCO, M. Jesús, PEÑA, Francisco. "Incremento de la Eficiencia en Centrales Termoeléctricas por Aprovechamiento de los Gases de la Combustión". SCIELO: Escuela Superior de Ingeniería. Vol. 22, No. 4, 2011. ISSN. 0718-0764.

riesgos para la salud humana y ambiental. Asimismo, gesta grandes cantidades de ceniza con diferentes concentraciones de elementos potencialmente tóxicos provocando el efecto conocido como “lluvia ácida”¹¹⁷, que puede ocasionar daños a peces y otras formas de vida acuática, animales, bosques, cosechas, edificios y monumentos.

Las termoeléctricas requieren del uso de grandes cantidades de agua para su sistema de enfriamiento. En el caso de las que están cerca de las costas, el agua es obtenida del mar, lo que implica que grandes cantidades de organismos planctónicos sean sometidos a rápidos incrementos de temperatura y presión, provocando daños mecánicos por abrasión y efecto de biocidas antiincrustantes ocasionando impactos negativos sobre su abundancia, composición y sobrevivencia. Una vez terminado el proceso de enfriamiento, el líquido utilizado es regresado con una temperatura incrementada en 6° a 10°C con respecto a la temperatura ambiente, pudiendo alterar, este hecho, la estructura comunitaria de las especies marinas locales, ya que la tolerancia térmica de muchas especies puede ser sobrepasada.¹¹⁸ Las CT de la CFE constituyen la fuente número uno de contaminación en su tipo, por sus emisiones de gases nocivos para la salud y el ambiente en toda la región de Estados Unidos, Canadá y México, según el reporte divulgado por la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (CCAAN).¹¹⁹ En el año 2002, se realizó un estudio donde se exponen datos de mil plantas creadoras de electricidad de México, Estados Unidos y Canadá, donde se observa que cada nación cuenta con una combinación única de combustibles y tecnologías para producirla.

¹¹⁷ *La lluvia ácida se forma cuando la humedad en el aire se combina con el óxido de nitrógeno y el dióxido de azufre emitido por fábricas, centrales eléctricas y vehículos que queman carbón o productos derivados del petróleo. En interacción con el vapor de agua, estos gases forman ácido sulfúrico y ácidos nítricos.*

¹¹⁸ CÁRCAMO, Francisco., COTÉS, Maritza., ORTEGA, Lorena., SQUEO, A. Francisco., GAYMER, F. Carlos. “Crónica de un conflicto anunciado: Tres centrales termoeléctricas a carbón en un hotspot de biodiversidad de importancia mundial”. *SCIELO: Escuela Superior de Ingeniería*. Vol. 84, No. 2, Junio 2011. ISSN. 0716-078X.

¹¹⁹ ENCISO, L. Angelica., “Termoeléctricas de CFE, líderes en contaminación en América del Norte”. *La Jornada*, México, Distrito Federal, 12 Enero 2005. [en línea]. Disponible en: <<http://www.jornada.unam.mx/2005/01/12/046n1soc.php>>. [fecha de consulta: 27 Noviembre 2016].

Asimismo, se reconoce que el carbón, pese a que sólo produce el 44% de electricidad en la región, es responsable del 86% del total de emisiones de dióxido de azufre, (este gas durante su proceso de oxidación en la atmósfera, forma sulfatos los cuales en presencia de humedad conforma ácidos de tipo aerosoles siendo el principal responsable de la lluvia ácida), y del 90% de óxidos de nitrógeno (los óxidos de nitrógeno pueden contribuir a la formación de ozono fotoquímico, principal componente del smog o niebla contaminante), sumando a todo esto, que la mayor parte de emisiones de mercurio, (el mercurio es un material extremadamente tóxico, el cual puede absorberse por las membranas mucosas y por la piel causando envenenamiento), derivadas de la generación de electricidad en cada país se producen con la combustión de carbón. Agregando en este documento, que las principales fuentes de contaminación del aire se agrupan, por lo general, en los estados centrales y del sureste de Estados Unidos, junto con algunas plantas importantes de petróleo y carbón en México.¹²⁰

La contaminación aérea es un aspecto ambiental importante de la generación de energía. Es necesario limitar el crecimiento de la contaminación aérea para mantener la calidad del aire a un nivel razonable y aceptable, y para proteger la salud y el bienestar público.¹²¹

¹²⁰ Ibid.

¹²¹ HARPER ENRÍQUEZ., Op. Cit., Pg, 360.

2.3. Central Termoeléctrica: Presidente Plutarco Elías Calles.



FIGURA 09. Central Termoeléctrica y Ceniza de carbón, 2016
Fuente: Colección propia.

La CT “Petacalco” se encuentra ubicada en el Estado de Guerrero en el Municipio de La Unión de Isidoro Montes de Oca, tiene la característica de ser una central dual que opera con carbón y combustóleo, produce actualmente 2.900 MW diariamente, a través de siete unidades generadoras. Es considerada como una de las plantas más importantes dentro del territorio mexicano y también la más contaminante por las grandes cantidades de combustibles que consume y por ende, la mayor productora de desechos de CV, característica por la cual fue elegida como caso de estudio para convertir este residuo en redimible y así contribuir al mejoramiento del medio ambiente. Esta CTC a pesar de funcionar con dos tipos de combustibles, en los últimos años ha prevalecido el uso del carbón teniendo en el 2011 una producción total de energía eléctrica solamente con este combustible.¹²²

¹²² Comisión Federal de Electricidad, 2011., Op.Cit., Pg. 26.

Dicha CT cuenta con quince líneas de transmisión de electricidad: cuatro de 400 KV (tres para Michoacán y una para el Estado de México); siete de 230 KV (seis para Michoacán y una para Guerrero), cuatro de 115 KV (tres para Michoacán y una para Guerrero).¹²³ Consume carbón importado proveniente de Australia. El consumo anual de carbón es de aproximadamente 5.47 MT, con un costo cercano a los 449 millones de pesos.¹²⁴ En los últimos años el carbón se ha consolidado en el segundo producto de importación nacional después del petróleo y se estima que bajo las condiciones de mercado actuales, podría superar las importaciones de petróleo.¹²⁵

El carbón es el combustible fósil más abundante en la naturaleza con 984.453 MT¹²⁶ en reservas mundiales medidas a finales del 2003. El 96% de estas reservas se concentran en quince países con la mayor cantidad en Norte América y Asia. De acuerdo con los niveles de producción y consumo actuales, las reservas mundiales de carbón, las mayores de todos los combustibles fósiles, serán suficientes para satisfacer la demanda durante los próximos 200 años.¹²⁷

Desde el 2003 la demanda porcentual de estos energéticos está encabezada por el petróleo y sus derivados con 37,33%, seguido por el carbón con un 26,47% y por el gas natural con 24%.¹²⁸ Actualmente estas cifras han ido cambiando, sin embargo, el consumo de carbón a la fecha se encuentra en los primeros lugares de combustibles consumidos para la generación de energía eléctrica.

Las plantas termoeléctricas que usan combustibles fósiles emiten un cierto número de sustancias nocivas como, óxidos de azufre (dióxido de azufre, trióxido de azufre, sulfatos y ácido sulfúrico), óxidos de nitrógeno (óxido nítrico, dióxido de

¹²³ Ibid.

¹²⁴ Ibid.

¹²⁵ Subdirección de Planeación Minera. "El carbón Colombiano: Fuente de energía para el mundo". UPME. Colombia: Digitos y Diseños, 2005. Pg: 7. ISBN. 958-97750-0-4.

¹²⁶ Ibid.

¹²⁷ Subdirección de Planeación Minera., Op. Cit., Pg, 13.

¹²⁸ Subdirección de Planeación Minera., Op. Cit., Pg, 14.

nitrógeno), partículas, hidrocarburos, monóxido de carbono y residuos de compuestos orgánicos. Ocasionalmente problemas de contaminación, destacando los causados a través de los humos de los gases que son dispersados por la turbulencia atmosférica sobre amplias regiones.¹²⁹

La contaminación aérea de estas CT se puede subdividir en: emisiones de las chimeneas y emisiones de las torres de enfriamiento,¹³⁰ no obstante, el impacto que producen las torres de enfriamiento no es menor al anterior, pues las plantas termoeléctricas convierten calor en electricidad con una eficiencia muy baja, de modo que se puede emitir al medio ambiente en forma de calor desperdiciado de 1.5 a 2.0 MW.¹³¹

Las plantas termoeléctricas de combustibles fósiles descargan alrededor del 15% de calor desperdiciado directamente a la atmósfera y el resto al agua de enfriamiento. En una planta nuclear, todo el calor desperdiciado va al agua de enfriamiento. En la mayoría de los sitios de las plantas termoeléctricas, el agua se hace escurrir y se usan torres de enfriamiento, estas son estructuras hiperbólicas que pueden llegar a medir más de 100 metros de altura y usan las condiciones de cambio del aire natural para enfriar el agua. Bajo condiciones meteorológicas la pluma de la torre puede producir depósitos de brisa y niebla y hasta llegar a alterar el clima de la región en la cual está situada.¹³²

En el año 2003, se estimó que dicha central ocasionó una emisión anual de 17.700 MT de CO₂, principal gas que provoca el efecto invernadero y que acelera el cambio climático.¹³³

¹²⁹ HARPER ENRÍQUEZ., Op. Cit., Pg, 360.

¹³⁰ HARPER ENRÍQUEZ., Op. Cit., Pg, 361.

¹³¹ Ibid.

¹³² Ibid.

¹³³ Greenpeace. "Revolución Energética: Petacalco, la central carbonífera más contaminante de México". [en línea]. Disponible en: <<http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2008/7/petacalco.pdf>>. [fecha de consulta:01 Noviembre 2015].

De acuerdo con la Dirección Municipal de Ecología del Municipio de la Unión, en el año 2003 afirmaba que:¹³⁴

“Las cenizas generadas por la Central Termoeléctrica afectan a la flora de toda la zona de influencia, principalmente los cultivos de mango, limón, toronja y otros propios del lugar; debido a que las cenizas volantes requieren de la extracción, transporte y almacenado de grandes cantidades de carbón. Las cenizas al tener un período de confinamiento a cielo abierto, representan una amenaza potencial para las poblaciones cercanas, porque algunos residuos contienen metales pesados altamente tóxicos, como el Arsénico, Berilio, Vanadio y Cadmio, según lo han demostrado decenas de investigaciones”.

Este tipo de centrales liberan dióxido de azufre (SO₂), monóxido de nitrógeno (NO), mercurio y otros contaminantes a la atmósfera cuando se quema el carbón. Las cenizas de fondo, las cenizas volantes y otros residuos sólidos que se acumulan durante el proceso requieren de un manejo seguro y depósitos especiales para su desecho.¹³⁵ Actualmente se han realizado diversos estudios por CFE que en colaboración con la UNAM (Facultad de Química) y han descartado la posibilidad de que la CV que cubre los cultivos principalmente de mango aledaños a la zona, perjudiquen más allá del aspecto visual. Aunado a estos, entidades como la ONSITE, LABORATORIES DE MÉXICO S.A. DE C.V. ha realizado análisis CRIT a Residuo para corroborar su nula toxicidad, explosividad y Biólogo-Infeciosos de acuerdo a la norma NOM-052-SEMARTAT-2005, estas muestras tomadas en las instalaciones de la CTD, “Petacalco”, el 25 de Noviembre del 2015, entregando resultados satisfactorios el mes de Enero del presente año, mismos que se presentan a continuación.

¹³⁴ Ibid.

¹³⁵ Ibid.

ONSITE Laboratories de México S. A de C. V.
MATRIZ
 Av. Juan Escutia No. 67
 Col. Condesa C. P. 06140
 Tel./Fax: (01) 5241 1190 al 99
 Lada sin costo: 01 800 112 3847

Página web: www.onsite.com.mx
 E-mail: onsiteemex@infose.net.mx
 FORTEC-5.10-02



Nº 11851 B

Reporte para:

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

DIRECCIÓN:

Av. Paseo de la Reforma No. 164
 Col. Juárez
 México, D. F.

Análisis CRIT a Residuo.

Descripción y condiciones de las muestras: Residuo en frasco identificado con cantidad adecuada para su análisis.

Trabajo Subcontratado: Ninguno

Información del reporte:

FECHA	ENERO 15, 2016
No. DE ORDEN	104469
No. DE FOLIO	281638 al 281650

Atención a:

A quien corresponda.

A continuación sírvase encontrar los resultados de los análisis a muestra de residuo para su caracterización de CRIT junto con Explosividad y Biológico-Infecciosos de acuerdo a la norma NOM-052-SEMANARNAT-2005, a la muestra tomada en sus instalaciones por personal de nuestro laboratorio el día 25 de Noviembre de 2015.

Reporte autorizado por:

~~Ing. Susana Elizabeth García Ballesteros
 Directora General
 Ced. Prof. 87185208~~

PACÍFICO
 TEL/FAX: (01) 66 7712 2727
 Lada sin costo: 01 800 215 5584
 Email: uolano@onsite.com.mx

GOLFO
 TEL/FAX: (01) 22 9956 4540
 Lada sin costo: 01 800 228 2221
 Correo: veracruz@onsite.com.mx



LOS RESULTADOS SON REPRESENTATIVOS DE LA(S) MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

ESTE DOCUMENTO CUMPLE CON LA NORMA ISO/IEC 17025:2005 Y LA NORMA MEXICANA NMX-EC-17025-IMNC-2006 "REQUISITOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO Y DE CALIBRACIÓN", DONDE SE INDICA, QUE NO SE DEBE REPRODUCIR EL INFORME O ENSAYO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO





201603
FORTECS-10-03

INFORME DE PRUEBAS

NOMBRE DE LA EMPRESA: COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD-CTPEEC

DIRECCION: KM. 28.5 CARR. FED. 200 LAZARO CARDENAS-ZIHUATANEJO

COLONIA:

ENTIDAD FEDERATIVA: PETACALCO, GRO

AT'N: ING. MARCO A. GUERRERO

Anexo a la presente le remitimos los resultados de la muestra de residuos a la cual se le efectuaron los analisis para determinar sus características de Corrosividad Reactividad, Inflamabilidad, Explosividad, Toxicidad al ambiente y Biológico-Infeciosos. de acuerdo a los procedimientos y parámetros sancionados en la norma NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

Como se puede observar en los analisis efectuados al residuo identificado como:

DEPÓSITO DE CENIZA DE CARBÓN ZONA DE PLAYA

Los datos presentados son representativos exclusivamente de las muestras analizadas.

- NO Es Corrosivo
- NO Es Reactivo
- NO Es Explosivo
- NO Es Toxico al ambiente
- NO Es Inflamable



Esperando que la informacion le sea de utilidad, quedo a sus ordenes para cualquier aclaración al respecto.

~~Atentamente~~

Ing. Susana Garcia Ballesteros.
Directora General
Ced. Prof. 07185208

Matriz

Juan Escutia Sr 2 Sur #67
Col. Condesa C.P 06140
México, D.F.

Tel/Fax
(01) 5241 1190 al 99
(01) 5285 1816

E-mail
onsite@onsite.com.mx

Lada sin costo
01800 112 3947

Pacífico

Tel
(01) 66 7719 2227
(01) 66 7729 7794

E-mail
onsitepacifco@onsite.com.mx

Lada sin costo
01800 215 55 84

Golfo

Tel
(01) 229 956 4340
(01) 229 956 4346

E-mail
onsitegolf@onsite.com.mx

Lada sin costo
01800 229 3221



INFORME DE PRUEBAS

20163



No. DE ORDEN:	104469	No. DE LABORATORIO:	104469-1	FECHA DE EMISIÓN:	15/01/2016
---------------	--------	---------------------	----------	-------------------	------------

DATOS GENERALES					
CLIENTE:	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD-CTPPEC				
DIRECCION:	KM. 28.5 CARR. FED. 200 LAZARO CARDENAS-ZIHUATANEJO			PETACALCO, GRO	
CONTACTO:	ING. MARCO A. GUERRERO				
TELEFONO:		e-mail:		FAX:	

INFORMACION DEL MUESTREO	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	DEPÓSITO DE CENIZA DE CÁRBON ZONA DE PLAYA
FECHA Y HORA DE MUESTREO:	25/11/2015 17:30
MUESTREADO POR:	UBALDO ANTILLON MANDUJANO
SIGNATARIO DE MUESTREO:	ONSITE LABORATORIES DE MEXICO SA DE CV
MATRIZ:	RESIDUOS
PROCEDENCIA DEL RESIDUO:	ASENTAMIENTO DE LOS DEPÓSITOS DE CENIZA DE CARBÓN
PROCESO DEL PRODUCTOR:	COMBUSTIÓN DE CARBÓN PARA ALIMENTAR A LA PLANTA TERMOELÉCTRICA

RECEPCION DE LA MUESTRA		
FECHA Y HORA:	26/11/2015	7:10
No DE FRASCOS:	1	
PRESERVACION ADECUADA:	4°C	

OBSERVACIONES
<p>SE REPORTAN LOS ANALISIS DE EXPLOSIVIDAD Y BIOLÓGICO-INFECCIOSOS A SOLICITUD DEL CLIENTE, DE ACUERDO A LO INDICADO EN EL PUNTO 6.4.1 DE LA NOM-052-SEMARNAT-2005.</p> <p>DE ACUERDO A NUESTRO COMPROMISO AMBIENTAL SE OMITIÓ LA IMPRESIÓN Y ENTREGA DE REGISTROS CROMATOGRAFICOS, DE REQUERIRSE SE PROPORCIONARÁ COMO ANEXO AL INFORME DE RESULTADOS.</p> <p>N.A. = NO APLICA.</p>



CAPITULO 3.0

**LA CENIZA DE CARBÓN VOLANTE COMO UN ELEMENTO
CONFORMADOR DE REVESTIMIENTOS CERÁMICOS**

INTRODUCCIÓN

Los antecedentes de la fabricación de cerámica se pierden en la prehistoria, cuando alguien debió descubrir que la arcilla se endurecía por el fuego. Desde aquellos tiempos, la alfarería ha evolucionado como arte más que como ciencia, porque aún hoy, gran parte de sus productos se fabrican con los métodos de hace 300 años. Sin embargo, a partir de los últimos 20 años la ciencia se ha integrado a la industria de la cerámica fina, demandando materiales con propiedades muy especiales para la electrónica, la industria de la energía nuclear y la era espacial, no solamente para la fabricación de piezas específicas sino para la conformación de herramientas científicas. Aunado a esto, la explotación de los diferentes yacimientos arcillosos a lo largo de los siglos para la fabricación de estas piezas cerámicas ha ido en aumento, mermando severamente la producción e incrementando consigo el costo para adquirir los materiales necesarios para la fabricación cerámica y por ende los costos de venta.

3.1. La cerámica: inicio y evolución.



FIGURA 10. Cerámica antigua, 2018.
Fuente: <<http://bit.ly/2E9R2tD>>

Desde hace tres siglos el uso de materiales y técnicas han sido los mismo en lo que a la fabricación de piezas cerámicas se refiere, sin embargo, entre las muchas ramas que ésta presenta, se retomará la del campo de la cerámica fina, ya que es una forma de cerámica de estructura fina controlada, que puede ser vidriada o no. Cuando esta rama de la cerámica comprendía principalmente el servicio de mesa y cerámica artística, la palabra *whiteware* (cerámica blanca) había sido una expresión genérica utilizada por largo tiempo para definir dicha rama. Las pastas de cerámica fina suelen dividirse en triaxiales, donde predominan los componentes de la arcilla, cuarzo y feldespato; y las no triaxiales que contienen arcillas adicionadas a otros materiales en cantidades importantes.⁷⁹

⁷⁹ HARWOOD NORTON, Frederick. *Cerámica fina; Teconología y aplicaciones*. 3ª ed., Editoriales, McGraw-Hill, Nueva York / Ediciones Omega, Barcelona, 1998. Pg. 2., ISBN: 84-282-0388-1.

El desarrollo de la industria de la cerámica fina ha sido peculiar dado su origen en un arte antiguo. Hubo periodos de estancamiento en los que no se produjo adelanto alguno; no obstante, en algunas ocasiones el progreso a sido extraordinario tanto en la variedad como en rapidez.⁸⁰

La alfarería surgió de forma independiente en varios lugares. Ya se conocía en el año 7.000 a. C. y se ha encontrado la modalidad vidriada que parece datar del año 5.000 a. C. La primitiva alfarería, tal como se encuentra en Egipto, Asia Menor, Creta, Grecia y en el nuevo mundo constaba de utensilios pocos conocidos y muy frágiles.⁸¹

Posteriormente surge el gres,⁸² material que sustituyó a la loza de barro⁸³ en los Países Bajos, en siglo XV. Más tarde este tipo de material, se introdujo en Inglaterra, donde se refinó al emplear arcillas más puras que daban un color blanco grisáceo. El gres se esmaltaba con sal, técnica que parece provenir de los Países Bajos.⁸⁴

Posteriormente surge la porcelana,⁸⁵ el adelanto más importante en toda la historia de la cerámica en su mayoría hecha de pasta vitrificada y transparente. Este producto provino de un refinamiento gradual del gres durante varios siglos. Al mismo tiempo evolucionaban los vidriados del feldespato, de gran variedad y belleza para cocción a alta temperatura. Pero hasta 1709 no se reveló el secreto que estaba en la combinación de caolín, pedernal y feldespato. La formula se extendió por toda

⁸⁰ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 8.

⁸¹ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 9.

⁸² Cerámica vidriada o no, fabricada en gran parte de arcillas gredosas, cocidas a porosidad baja, pero no translúcida. La palabra francesa grès y la alemana steinzeug significan lo mismo. La gres puede dividirse en: natural, fina, técnicamente vítrea, de jaspe y basáltica.

⁸³ Artículos vidriados o no, de porosidad media a alta, puede dividirse en: natural, fina, de talco y semivítrea.

⁸⁴ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 9.

⁸⁵ Variedad dura, translúcida, normalmente de composición triaxial, cocida a baja temperatura (bizcocho) y vidriada a alta temperatura, en algunos casos se somete a cochura (Cocción de la pasta cerámica para su endurecimiento) de un solo paso como la porcelana eléctrica. El material no es poroso y es translúcido.

Europa y surgieron muchas fabricas de porcelana, casi siempre subsidiarias de familias reales.

Así se desarrolla la porcelana china, este tipo de porcelana se experimentó inicialmente para imitar la porcelana dura.⁸⁶

A principios del Siglo XVIII, la alfarería inglesa consistía en la modalidad de loza de barro sin coser de arcillas locales, como la que se venía fabricando siglos antes, pero, a final de este siglo habían aparecido una serie de pastas y vidriados finos, la mayoría de ellos como los actuales. Entre ellos el Queensware, este fue uno de los adelantos clave para dicho periodo formado una loza fina por adición de pedernal calcinado y molido y más tarde piedra de Cornualles, a las arcillas blancas de Dorset, Cornwall y Devon. Estos materiales con su liso vidriado al plomo, era fáciles de fabricar por lo que pronto desplazaron al gres blanco del mercado.

Durante la ultima mitad del Siglo XVIII, se inventó un material totalmente nuevo llamado “bone china”⁸⁷ compuestos principalmente por huesos de buey calcinados. Esta porcelana muy traslucida y resistente sigue siendo parte principal de la producción inglesa de vajilla.⁸⁸



FIGURA 11. Jarrones de cerámica china, 2018.
Fuente: <<http://bit.ly/2BxIPO9>>

⁸⁶ Ibid.

⁸⁷ Es la forma translúcida, de porosidad escasa o nula, vidriada y madurada por segunda cocción a la misma temperatura o a temperatura algo inferior que el bizcocho. A veces recibe una sola cochura. Las expresiones “soft paste porcelain” (porcelana de pasta blanda) y “porcelaine tendre” tienen el mismo significado. Esta puede dividirse en porcelana: de hotel, doméstica, de huesos (bone china), de frita, de alta resistencia de cocina.

⁸⁸ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 10.

Al mismo tiempo empezaba a hablarse de otros materiales como la porcelana paria, el jaspe y el basalto. Casi ningún material quedo por ensayar como pasta o como vidriado.⁸⁹

La mayoría de los alfareros se formaron en Inglaterra,⁹⁰ por tanto, la primitiva alfarería era muy similar a la inglesa. Así, los primeros objetos de cerámica se fabricaron a partir de la arcilla glacial, que se encontraba por doquier por toda su Costa Este y que podía cocerse en simples hornos a baja temperatura, conocida como “loza de barro cocido o redware”. Se trababa de materiales blandos que se rompían fácilmente, pero que más tarde fueron sustituidos por otros más reacios.

Después de la primera mitad del Siglo XIX,⁹¹ algunos alfareros comenzaron a fabricar una loza amarilla o de color de ante. En Ohio, USA, había buenas arcillas y el carbón empezaba a ser normal como combustible. Este tipo de cerámica hizo surgir la industria de cerámica final en East Liverpool, Ohio.⁹² Posteriormente aparece la cerámica semivítrea, este material cocido a temperatura algo superior que los tipos precedentes, era fuerte, bastante resistente a la aparición de grietas capilares y de color blanco. Los primeros colonos neoyorquinos fueron los que iniciaron la fabricación de objetos de gres con las excelentes arcillas de New Jersey. Dichos objetos eran principalmente cazuelas, tarros, garros y a menudo decorados con barbotina y siempre vidriados con sales exteriormente.⁹³

Tiempo después surge la cerámica vítrea, fabricada en las pequeñas alfarerías que proliferaban en este país en el año 1769. Esta cerámica fina primitiva se debe en gran parte a alfareros de la escuela inglesa, que utilizaban materiales también ingleses.⁹⁴

⁸⁹ Ibid.

⁹⁰ Ibid.

⁹¹ Ibid.

⁹² HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 11.

⁹³ Ibid.

⁹⁴ Ibid.

A principios de siglo XX se inició la fabricación de un tipo de vajilla fuerte, vítrea para hoteles, restaurantes y servicios similares. También se comenzó la producción de accesorio sanitarios vitrificados, estos elementos que se fabricaban en un principio con arcillas refractarias de baja calidad, que daban lugar a una pasta bastante porosa que retrasaba la aparición de grietas en el esmalte. Gradualmente se pasó al material blanco triaxial de porosidad casi nula, resistente y recubierto de esmalte estable.⁹⁵



FIGURA 12. Jarrones de cerámica china, 2018.
Fuente: <<http://bit.ly/2BvRfV8>>

En la industria, la porcelana eléctrica que se inicia a principios del siglo XIX y XX⁹⁶ surge para responder a las necesidades crecientes de la electricidad, esta se componía de una pasta triaxial cocida con el vidriado. Mientras que para la industria automotriz se originó una nueva demanda de aisladores para bujías de motores de combustión interna, sin embargo, la demanda de las mejores piezas para la industria aeronáutica impulsó los adelantos descritos por McDougal, Barlett, Schwartzwalder

⁹⁵ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 12.

⁹⁶ Ibid.

y Riddle, de lo que nacieron aisladores con gran contenido en alúmina cocidos a temperaturas elevadísimas.⁹⁷

En la industria de la construcción en el año de 1883 se fabrican las primeras baldosas de cerámica fina en USA.⁹⁸ Estas baldosas o revestimientos para pisos y muros se fabricaron durante muchos años de pastas triaxiales. El talco se utilizó por primera vez en estos materiales en los años 30, para evitar la aparición retardada de grietas capilares y, actualmente casi todos los revestimientos contienen talco.⁹⁹

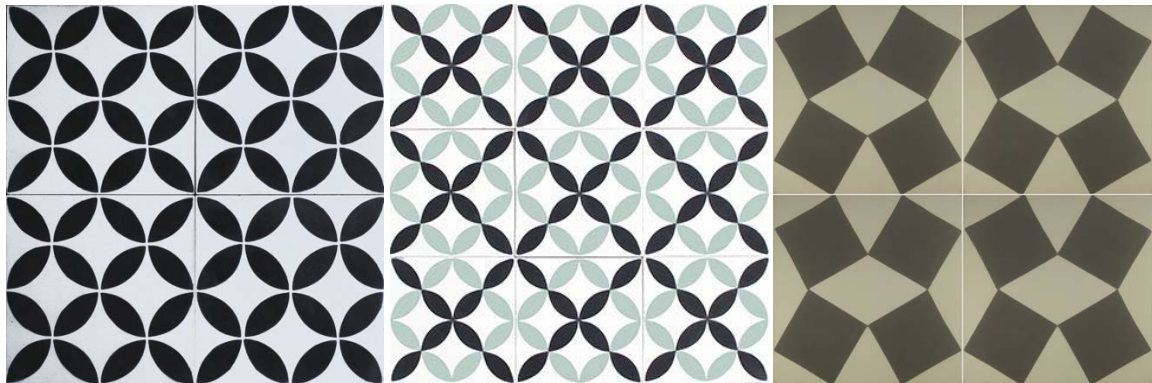


FIGURA 13. Revestimientos cerámicos o baldosas para pisos, decorados diversos, 2018.
Fuente: <<http://bit.ly/2Eddy1>>

La evolución de las técnicas cerámicas actuales afirma que no han cambiado en los últimos 5000 años, dado que las técnicas primitivas siguen siendo las bases de la cerámica actual, no obstante, los adelantos tecnológicos han facilitado la manufactura de cerámica y por ende la calidad de la misma, con esto se determina que la fabricación de cerámica es una mezcla de arte antiguo y de ciencia moderna.¹⁰⁰

La preparación de las pastas compuestas por arcillas hasta hace poco se trabajaban en estado plástico, a mano o pisando el material. Este proceso se

⁹⁷ Ibid.

⁹⁸ Losa, loseta o recubrimiento manufacturado, fabricados en diferentes tipos y técnicas de cerámica, así como en piedra, caucho, corcho, vidrio, metal, plástico, etc

⁹⁹ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 13.

¹⁰⁰ Ibid.

ayudaba con largos periodos de envejecimiento utilizando fuentes de energía como los molinos de agua chinos o con molinos de amasar movidos por caballos.¹⁰¹

A finales de la década de 1880 se utilizaron las máquinas de vapor para moldear la porcelana de huesos. Otro adelanto fue el “horno de barbotina” calentado por combustibles en lugar de la exposición al sol para deshidratar las barbotinas.¹⁰²

El proceso de fabricación de la cerámica está compuesto por diferentes etapas, siendo los más comunes: el modelado, el vidriado, la cocción, la decoración y la medición de la temperatura, las cuales se podrían describir de la siguiente manera.

- **MODELADO.**

Toda la cerámica primitiva se basaba en métodos manuales, en el enroscado, laminado o en el de las losas. La rueda de alfarero nació hasta el 3500 a. C., en Egipto o en el cercano Oriente y hacia 1600 a. C., se utilizaba en Creta. En 1820 ya se empleaban ruedas accionadas por vapor, los objetos planos son difíciles de moldear en la rueda de alfarero, hacia 1825 se inventó el torno para trabajar con moldes que permite sacar piezas iguales, una tras otra. Actualmente la máquina de rodillos lo ha desplazado.¹⁰³

- **VIDRIADO.**

Los primeros materiales de vidriado se molían a mano en morteros de piedras y más tarde entre muelas. El molino de piedra de sílex se introdujo hacia finales del siglo XIX. La aplicación de vidriados por pulverización es una técnica bastante reciente.¹⁰⁴

- **COCCIÓN.**

La primitiva cerámica se cocía de una manera muy sencilla, se apilaba en el suelo y se rodeaba con una hoguera. Este sigue siendo el método de los indios de

¹⁰¹ Ibid.

¹⁰² Ibid.

¹⁰³ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 14.

¹⁰⁴ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 15.

Nuevo México. El siguiente paso fue el horno de paredes bajas para confinar el calor. Uno de los avances más notables fue el de la cámara larga de los chinos que se construyó en rampa, sobre una ladera, para activar el tiro. En Europa se empleaban hornos de cámara para ladrillos, pero no para cerámica. No hubo cambios importantes en los hornos hasta mediados del siglo XVIII. Después de la Primera Guerra Mundial se generalizó el horno de túnel por su bajo consumo de combustibles y la reducción de mano de obra.

- **DECORACIÓN.**

La decoración más primitiva consistía en líneas marcadas en la superficie seca de la arcilla con una concha o una piedra afilada. Durante muchos años se empleaban tierras o sales metálicas como colores, pero ya bien comenzado en Siglo XIX se empezaron a utilizar los colores cerámicos purificados.

Los avances de la impresión litográfica posibilitaron la calcomanía y ampliaron el campo de la impresión por transferencia a los trabajos policromados.¹⁰⁵

- **MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA.**

Una de las mayores preocupaciones de los primeros alfareros fue la estimación de la temperatura apropiada para la cocción. El calor se estimaba a ojo y los montones de objetos quemados en antiguas alfarerías evidenciaban que no siempre era un método fiable. Tiempo después surge el cono pirométrico, inventado por Seger en 1886, el cual consistía en elaborar una pirámide de resistencia y materiales específicos, la cual se desvanecía al llegar al punto de temperatura previamente determinado.¹⁰⁶

¹⁰⁵ Ibid.

¹⁰⁶ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 17.

3.2. Las aplicaciones más convencionales en la industria.

Existen muchas aplicaciones hoy en día en las que encontramos la implementación de diversas técnicas de cerámica, las cuales han respondido a las diferentes necesidades en diferentes campos de la industria, entre los que destacan: la porcelana de hotel, cerámica semivítrea, porcelana dura, porcelana de huesos, cerámica de cocina, artículos sanitarios vitrificados, baldosas, porcelana eléctrica de alta tensión y aisladores de porcelana de baja tensión.

La **porcelana de hotel** surgió de la necesidad de una vajilla duradera en los restaurantes. La porcelana dura europea reunía las propiedades deseadas, pero no cuadraba en la tradición de nuestros ceramistas que era más bien inglesa. Por esto se eligió una pasta triaxial con un fundente auxiliar, como la dolomita,¹⁰⁷ para completar la vitrificación. No obstante, esta pasta no era novedad, ya que en Europa se habían fabricado pastas vítreas de esta clase. El vidriado maduraba a menos temperatura que la pasta en una segunda cochura, donde la decoración, casi siempre va debajo del vidriado para que sea más permanente.¹⁰⁸

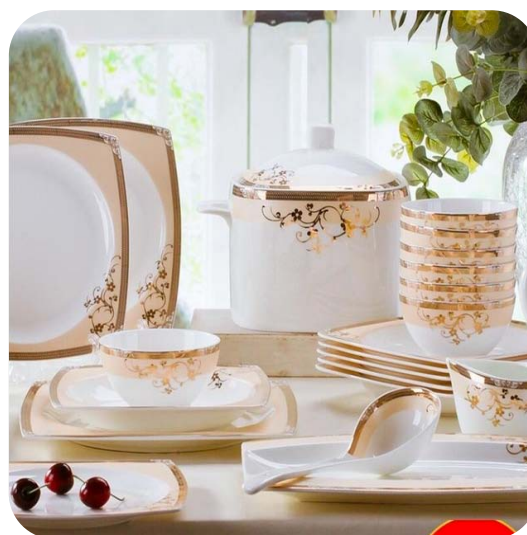


FIGURA 14. Porcelana de hotel, 2018.
Fuente: <<http://bit.ly/2DSzZi7>>

La **porcelana dura** es una pasta triaxial cocida a alta temperatura, fue inventada por los chinos y fabricada en Alemania a mediados del Siglo XVIII. Este conocimiento se difundió pronto y las fabricas se extendieron por toda Europa. La vajilla de mesa de porcelana dura no se había fabricado aún en Inglaterra ni en los Estados Unidos, pero en ambos países se fabricaba porcelana química en

¹⁰⁷ Mineral constituido por un carbonato doble de calcio y magnesio, que es el principal componente de la dolomía.

¹⁰⁸ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 324.

cantidades considerables. Gouls describe la fabricación de porcelana dura y presenta un buen ejemplo de fabricación en los Estados Unidos. En la actualidad, se fabrica mucha vajilla de mesa de porcelana dura en modernas factorías japonesas, sobre todo para exportación. Las piezas son duras, resistentes y duraderas, pero los métodos de colocación en el horno deben ser muy precisos para conservar unas tolerancias estrechas.¹⁰⁹

La **cerámica de cocina** comprende los cuencos de amasado, jarros, cazuelas, tazones, etc, las piezas resistentes al horno y las resistentes a la llama. Los cuencos de mezclado son, tradicionalmente, de loza con vidriado amarillo, como los que solían verse antiguamente en las cocinas. No obstante, los hay más finos, con vidriados de colores brillantes y decoraciones, pero van siendo desplazados por las piezas de vidrio y de vidrio-cerámica. Las piezas que pueden ir al horno sirven también para la mesa y pueden resistir el choque térmico de los 150° de salida del horno a la inmersión en agua fría.¹¹⁰ Las piezas resistentes a la llama deben poderse calentar a la llama directa de gas cuando están vacías. Sin embargo, hay muy pocas marcas cuyas piezas los



FIGURA 15. Porcelana dura, 2018.
Fuente: <<http://bit.ly/2DTmuyA>>



FIGURA 16. Porcelana de hotel, 2018.
Fuente: <<http://bit.ly/2Fi2oez>>

¹⁰⁹ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 333.

¹¹⁰ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 353.

resistan si no se llenan inicialmente de líquido. Las pastas de cerámica para horno y llama son muy distintas de las de la vajilla de mesa corriente.¹¹¹

Referente a los primeros **artículos sanitarios**, estos se fabricaban con una pasta de chamota¹¹² y arcilla refractaria¹¹³ que daba una estructura bastante porosa. Esto dificultaba la correcta aplicación de un vidriado ya que era casi seguro que a la larga se producirían grietas capilares. A principios del siglo XX, la mayoría de los fabricantes adoptaron una pasta blanca vítrea.¹¹⁴

Las baldosas, también conocidas como **losetas cerámicas**, se dividen en dos clases en general: la primera, las que se colocan sobre muros y la segunda sobre pisos, teniendo como característica en común un acabado vidriado blanco o de color, sin embargo, las de muro requieren una absorción de

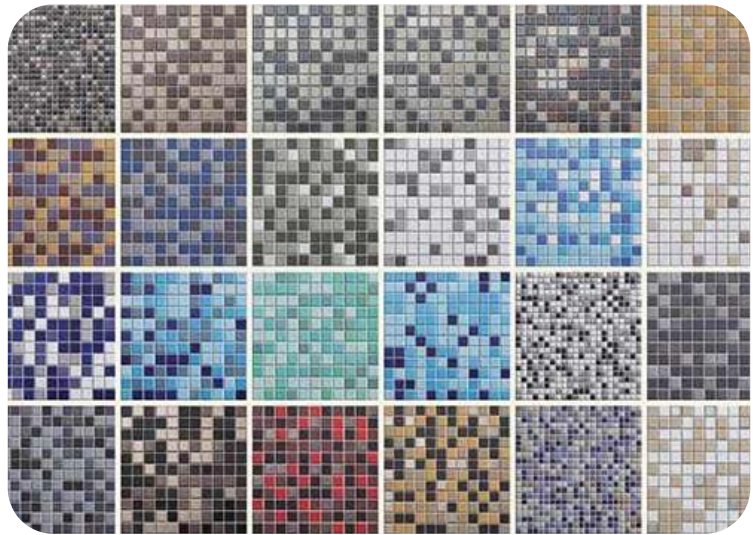


FIGURA 17. Azulejos venecianos, 2018.
Fuente: <<http://bit.ly/2ngejCY>>

un 8 a 18% para una adherencia óptima. La primera baldosa de cerámica producida en USA, fue en 1866. En 1963 había 90 fabricas con un total de 12,800 trabajadores. Un motivo del creciente uso de losetas ha sido la solución al problema de las grietas capilares que en los primeros tiempos de esta industria era muy constante.

¹¹¹ Ibid.

¹¹² Materiales cerámicos que han sido cocidos, molidos y reducidos a granos de varios grosores.

¹¹³ Una Arcilla refractaria son aquellas arcillas que tienen un punto de fusión elevado, situado sobre 1.600 y 1.750°C. Su uso principal en la cerámica, es el realizar el material refractario, ladrillos, crisoles, en general para todas las piezas que tienen que trabajar en uso continuado sobre el fuego.

¹¹⁴ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 358.

En diversos países sobre todo en Italia, Alemania, Suecia y Japón ha crecido rápidamente esta producción debido a los grandes adelantos en prensas automáticas, hornos de cochura rápida y en la manufactura mecanizada.¹¹⁵

La industria eléctrica demandó la **porcelana para alta tensión**, la cual prácticamente no existía antes del Siglo XX. Dado que no se tenía la necesidad de transportar la energía eléctrica a grandes distancias y voltajes, pero al surgir esta condición, la demanda de aisladores de alta tensión se hizo más apremiante. El aislador de alta tensión debe tener buenas características eléctricas y resistencia mecánica.



FIGURA 18. Porcelana eléctrica de, 2018.
Fuente: <<http://bit.ly/2DF5pco>>

¹¹⁵ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 369.

3.3. Materiales característicos en la fabricación de cerámica.



FIGURA 19. Yacimientos de arcillas, 2018.
Fuente: <<http://bit.ly/2rJ29aw>>

La fabricación de la cerámica se puede clasificar de diversas maneras según la composición de sus materiales: los plásticos, no plásticos, refractarios y fundentes.

En los **materiales plásticos**, compuestos por arcilla, hallosita, caolín y bentonita, destacándose las arcillas grasas como las de mayor importancia. Otras arcillas utilizada en la cerámica fina son las de gres, las de barbotina y la hallosita. Las llamadas arcillas grasas varían mucho tanto en composición como en propiedades al confundirse, con las arcillas refractarias. Una **arcilla grasa** es una arcilla sedimentaria de grano fino que suele contener algo de materia orgánica y tiene buena plasticidad, gran resistencia en verde y adquiere un color blanco o crema después de la cochura. Las arcillas grasas se emplean en los Estados Unidos para casi todo tipo de cerámica fina, y en Inglaterra, en sus productos de cerámica fina excepto en la porcelana blanda o de huesos. El continente Europeo, el uso de estas arcillas es mucho más limitado y se usan muy poco o nada en las porcelanas

duras. Las **arcillas de gres** se llaman así porque se emplean mucho en pastas de gres. Tienen buenas características de plasticidad y de secado y se cuecen a una estructura relativamente poco porosa. Las arcillas de gres se empelan solas o con materiales de adición en pastas de gres y para cerámica artística. Debido al elevado contenido en hierro no se puede conseguir la pasta blanca. Mientras que la **hallosita** es importante para la fabricación de cerámica fina porque puede dar pasta de inusitada blancura y traslucidez. El **caolín**, que se describe como una arcilla blanca, bastante pura, tanto en seco como en cocida. Además de ser el principal ingrediente de la cerámica fina es considerado también un material fundente.¹¹⁶ Y la **bentonita** se emplea en pequeñísimas proporciones para facilitar el trabajo de las pastas y de los vidriados. Existen muchos depósitos, pero los más utilizados son los de Wyoming y Texas. Esta arcilla contiene el mineral montmorillonita al que se deben sus propiedades de hinchamiento.¹¹⁷

Los **materiales no plásticos** compuestos por: carbonato de calcio, feldespato, aluminio y talco. Se basan principalmente en las rocas feldespáticas parcialmente desintegradas. El **carbonato de calcio** es una sustancia común que se encuentra en las rocas en todas partes del mundo, y es el principal componente de las conchas de organismos marinos, caracoles, perlas y cáscaras de huevo. El **feldespato** que también es un material fundente constituye casi el 60% de las rocas ígneas. Técnicamente los feldespatos como aluminosilicatos de sodio, potasio y calcio, pueden formarse con otros cationes alcalinos o alcalinotérreos,¹¹⁸ pero se trata de minerales raros y de poco interés para el ceramista. Los materiales comerciales son mezclas de feldespatos de potasio, sodio y calcio en varias

¹¹⁶ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 27.

¹¹⁷ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 51-68.

¹¹⁸ Los elementos del grupo 1 son llamados metales alcalinos y los del grupo 2 metales alcalinotérreos. Estos elementos son demasiado reactivos para que se encuentren libres en la naturaleza, se encuentran comúnmente en minerales, en aguas naturales en forma de cationes y algunos son constituyentes de los fluidos biológicos como la sangre. Los metales alcalinos, son los metales alcalinos: litio, sodio, potasio, rubidio, cesio y francio. Se conocen con el nombre de metales alcalinotérreos a los seis elementos que forman el grupo IIA del sistema periódico: berilio, magnesio, calcio, estroncio, bario y radio. Son divalentes y se les llama alcalinotérreos a causa del aspecto terreo de sus óxidos.

proporciones como soluciones sólidas, o como cristales mezclados. Los feldespatos se emplean en la industria de la cerámica fina como fundentes para formar una base vítrea en las pastas a fin de promover la vitrificación y la translucidez. También sirven como aportación de álcalis y alúmina en vidriados y en vidrios. Su utilidad radica en su bajo coste y en que son una de las pocas fuentes de compuestos alcalinos insolubles en agua.¹¹⁹ El **aluminio** por sus características de resistencia, maleabilidad y fundición es un material propicio para ser utilizado en esta industria, sin mencionar, que es extraído del feldespato y es uno de los materiales más abundantes en la Tierra. En esta rama de materiales no plásticos se ubica también el **talco**, este material que ha resultado muy valioso en los aspectos de la cerámica, pues, es el ingrediente principal en las pastas de azulejos para contribuir en la prevención de las grietas capilares, por otra parte, en los aisladores eléctricos ya que contiene un bajo contenido de álcali y por último en pastas para vajillas de cocina ya que este aumenta la resistencia a golpes. También es considerado a igual que los feldespatos un material fundente.¹²⁰

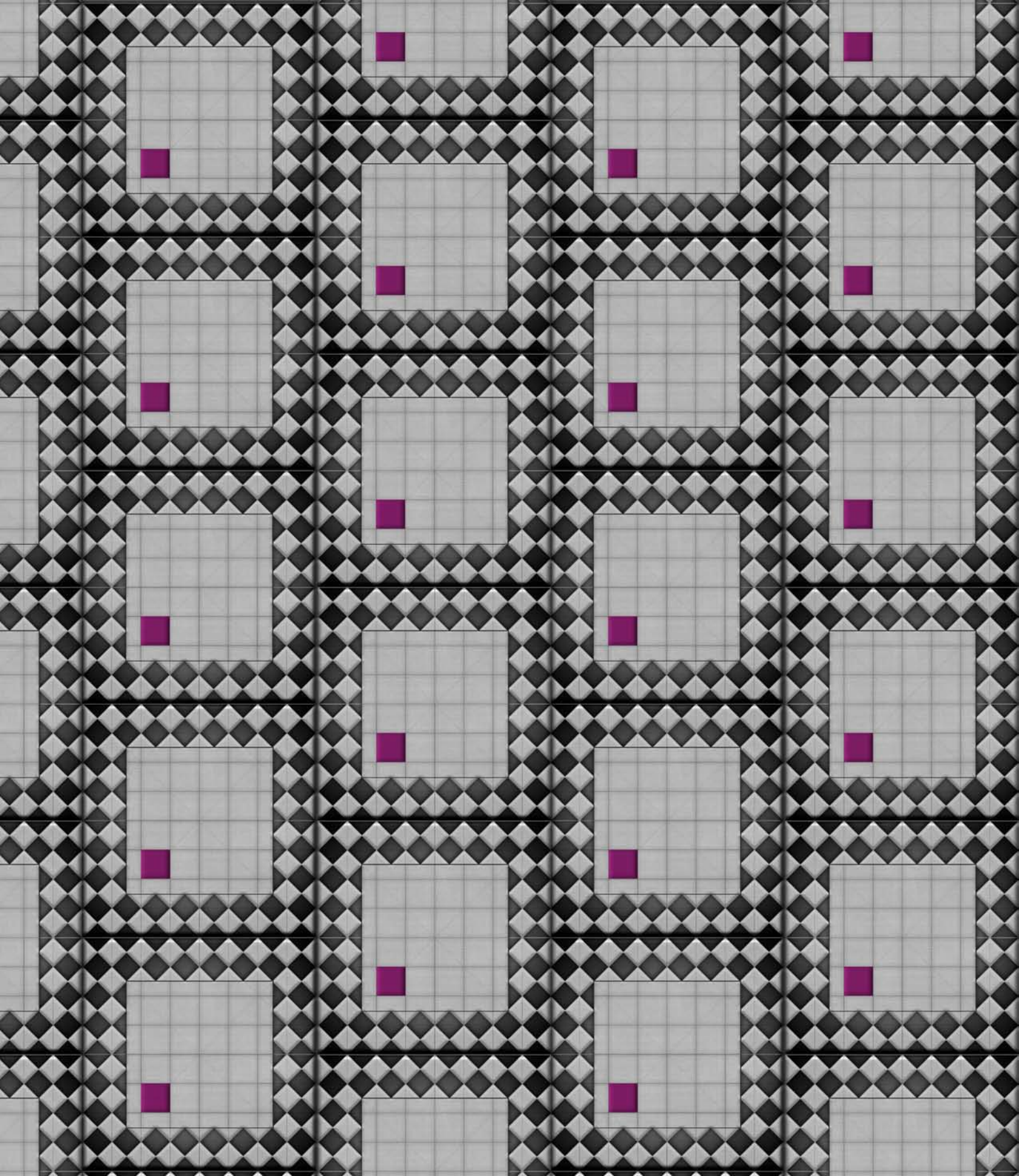
Los **materiales refractarios**, se conforman por: alúmina y caolín. La **alúmina** es el óxido de aluminio que junto con el sílice, es el componente más importante en la constitución de las arcillas y esmaltes, confiriéndoles resistencia y aumentando su temperatura de maduración siendo éstas sus características más sobresalientes para su uso en la cerámica, y el **caolín** con las características y particularidades mencionadas anteriormente.

A pesar de que la industria de la cerámica es muy amplia y la gama de materiales es muy extensa, los mencionados anteriormente conforman en su mayoría los principales elementos formadores de piezas cerámicas. Debido a que las técnicas y materias primas han sido las mismas a lo largo de muchos miles de años y que la industria de la cerámica crece cada día debido a la demanda del mercado y a la inherente sobre población que emana diversos residuos a la

¹¹⁹ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 78-81.

¹²⁰ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 70.

atmósfera y que acaba con reservas naturales, así como recursos y yacimientos, se pretende llevar a cabo un proyecto que tendrá como premisas poder disminuir el impacto que el ser humano causa sobre la Tierra mermando cada vez más la biosfera, a través de utilizar un residuo que hasta la fecha no tiene uso aún y el cual exhibe características muy similares a las de algunas de estas arcillas, con el cual se aspira a fabricar un elemento cerámico semejante a la baldosa o recubrimiento para muro y pisos.



INTRODUCCIÓN

México es uno de los países que genera una gran cantidad de desechos como consecuencia de la creación de energía eléctrica, sin embargo, la problemática principal se encuentra en la mala disposición y mal manejo de los mismos.

Uno de los combustibles fósiles más utilizados en nuestro país es el carbón, mineral que al ser procesado en las CT desecha anualmente una gran cantidad de CV, la cual, hasta la fecha no se utiliza esto ocasiona un grave problema de almacenamiento y contaminación. La CV es contenida a cielo abierto en grandes extensiones de terreno, forma montañas de hasta 12m. de altura y ocasiona una problemática complicada de controlar, ya que teniendo como característica principal su gran volatilidad como consecuencia del tamaño fino de su molécula, similar a un talco, requiere de ser humectada constantemente, suscitando un elevado costo de mantenimiento.

Este desecho no es exclusivo de nuestro país, ya que se produce en muchas partes del mundo, sin embargo, es sólo en México donde no se le ha destinado una aplicación que disminuya el volumen de su almacenamiento, el cual, aumenta cada segundo.

4.1. Metodología y proceso de experimentación.



FIGURA 20. Central Termoeléctrica "Petacalco" y Ceniza volante, 2016.
Fuente: Colección propia

La empresa encargada y responsable, a su vez, de la generación de este desecho en nuestro país es la CFE, la cual señala entre sus objetivos principales: la reducción del impacto ambiental de las actividades sustantivas de la empresa, la maximización de la eficiencia de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, el incremento del uso de fuentes de energía renovables, así como, el impulso de programas de ahorro de energía⁷⁹.

La CT "Petacalco", ubicada en el Estado de Guerrero, maximiza la producción de energía eléctrica de sus siete unidades con base al mantenimiento frecuente que realiza la empresa japonesa Mitsubishi, para obtener el mayor rendimiento del carbón en la producción de electricidad, con esto se provoca que el

⁷⁹ Comisión Federal de Electricidad, 2008. Op. Cit., p.4

desecho de CV tenga una cantidad mínima de inquemados, inhabilitándola para los usos comunes que se le ha dado en otros países.

Empresas cementeras en nuestro país han realizado diversas pruebas con el fin de incorporar este desecho en la elaboración de cemento, pero esta industria debe cumplir con ciertos parámetros, como porcentajes de inquemados mínimos para poder hacerla útil, situación que las CV no logran al no contar con el porcentaje de inquemados requeridos haciendo inútil su aplicación.

Por otra parte, la extracción y explotación de yacimientos arcillosos para la industria cerámica y otros diversos campos comerciales, se está mermando de manera importante, gestando la necesidad de importarlas a costos muy elevados, esto implica que la industria cerámica nacional incremente sus costes de producción y venta.

Este proyecto de investigación pretende solucionar estas problemáticas. La primera, dando un uso a este desecho (CV), para aportar una solución al problema del manejo y almacenamiento, así como, al ambiental y social que emana dicha escoria. La segunda, en cuanto a su aplicación, se enfoca en su aprovechamiento de la industria de la construcción, particularmente, en la manufactura de revestimientos cerámicos, con este hecho se busca, reducir el impacto de la extracción de su materia prima, así como, el costo final de estos recubrimientos, que ha ido en aumento como consecuencia de la escases de las materias primas en nuestro país para la elaboración de su pasta.

Aunado a lo anterior, se suma la reducción del costo del consumo de energéticos requeridos para su elaboración, ya que una de las características de la CV (a diferencia de otros desechos) es que no requiere de un proceso costoso para ser utilizable.

PROCESO DE EXPERIMENTACIÓN.

Este proceso se determina mediante la aplicación del Triángulo Triaxial, en el cual se define la utilización de distintos porcentajes de arcillas para la manufactura del prototipo. Se parte de dos tipos de pruebas: una de ellas denominada Prueba Testigo (PT EN ADELANTE), que consta de realizar una pasta con los materiales convencionales para conformarla. La segunda, llamada Prueba de Sustitución (PS EN ADELANTE) reemplaza uno de los elementos conformadores de la pasta por la CV. Estas dos pruebas definirán las características de resistencia, porosidad, pigmentación y flexibilidad presentadas en cada una, para poder comparar sus resultados, con este hecho se definen las cualidades y posibles aplicaciones que este residuo puede otorgar a la industria.

Para empezar con el proceso experimental, se acudió previamente a la CT "Presidente Plutarco Elías Calles" con el propósito de obtener muestras de la escoria CV, así como, para el reconocimiento de la cantidad ubérrima que existe de ella, obteniendo 25kg. de la misma, y bajo la asesoría del experto en cerámica, el Dr. y Ceramista Leandro Mendoza Cuenca, se plantea la metodología y proceso de experimentación a seguir. La cual consistió en 5 fases generales:

- Lavado y tamizado.
- Pesaje.
- Molienda.
- Deshidratado.
- Añejamiento.



FIGURA 21. Torres de transmisión eléctrica, Central Termoeléctrica "Petacalco", 2016.
Fuente: Colección propia

○ Lavado y tamizado

En esta fase, fue necesario analizar la composición y granulometría de la CV, detectando en ella un poco de humedad, puesto que, en la CT la humedecen constantemente para evitar su volatilidad. Solucionado este problema se coloca en una superficie plana y seca, durante los siguientes 5 días.



FIGURA 22. CV posterior al secado.
Fuente: Colección propia.

Al revisar la ceniza y detectar que ya se encontraba seca, se manifestó su extrema volatilidad, esto debido al tamaño de la partícula tan fina que la compone, así que para tamizarla y retirar los residuos ajenos a ésta, se decidió volver a humectarla, para efectuar esto se coloca en una bandeja y se cubre con agua. Después se vertió el agua de la bandeja en un tamiz de malla 100, este número de malla indica que es una rejilla muy pequeña, por donde salió la CV libre de partículas y residuos.



De izquierda a derecha.
FIGURA 23 y 24.
Ceniza tamizada en una malla de 100u. y retiro de residuos ajenos a la CV.
Fuente: Colección propia.

Al revisar el agua que se había tamizado, se observó una capa blanquecina en la superficie, la cual hizo que el espesor de la mezcla aumentara, por lo que se procedió a lavar la CV nuevamente, para que la capa blanca disminuyera (se dedujo que este exceso se trata del sodio de la misma escoria). El procedimiento del lavado que se realizó en esta ocasión consistió en verter la CV tamizada en una bandeja con agua limpia y dejarla reposar, para permitir que la CV se asentara para poder decantar el agua de la superficie, repitiendo este proceso las veces necesarias.



FIGURA 25. CV posterior al lavado.
Fuente: Colección propia.

o **Pesaje**

Teniendo la CV “limpia” se usó el triángulo triaxial definido anteriormente, el cual determinó los porcentajes que se utilizaron tanto en la PT como en la PS, definiendo que el peso total de las muestras sería de 150gr por cada una. Para la PT se utilizaron 3 arcillas, compuestos convencionales principales de los revestimientos cerámicos, mientras que en la PS se reemplazó una de las arcillas por la CV.

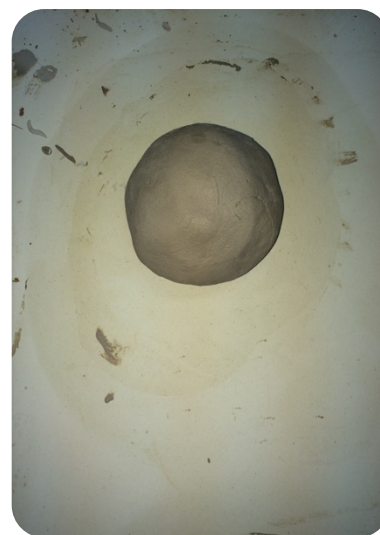


De izquierda a derecha.
FIGURA 26 y 27. Medición y pesaje de los elementos en balanza granataria para ambas pruebas.
Fuente: Colección propia.

Siete días después de haber hecho el proceso de lavado y ya con la CV completamente seca y limpia, se observó que la volatilidad aminoró lo suficiente para permitir un mejor manejo de la misma. Seguido se utilizó una balanza granataria, para realizar el pesaje de los componentes de la PT de la manera siguiente: primero se pesaron las arcillas, colocando el peso exacto en una bolsa de plástico, que previamente se marcó con la letra “T” (testigo). Una vez que se tienen las 14 PT, se rectificó el peso exacto de cada bolsa: 150gr. Se repitió el mismo proceso, pero ahora con la PS, es decir, con la CV como elemento de reemplazo, estas bolsas de plástico se marcaron con la letra “C” (ceniza), realizando 14 muestras también.

○ **Molienda**

Se utilizaron las PT y PS, para proceder a hacer la molienda, realizando una mezcla homogénea con cada una. Para esta labor se empleó un mortero de porcelana de 1kg de capacidad, agua, placas de yeso y las muestras previamente pesadas con exactitud. Se vertió en el mortero los elementos de la prueba, después, con el pistilo se incorporaron los mismos eliminando los grumos que pudieran encontrarse. Como referencia el color se homogeniza y el tamaño de las partículas se ven más finas. Se le agregó el agua necesaria para permitir que se incorporarán de manera natural todos los elementos.



De arriba abajo.

FIGURA 28. Molienda en mortero de porcelana.

FIGURA 29. Deshidratación sobre placa de yeso.

FIGURA 30. Añejamiento de la pasta de PT y PS.

Fuente: Colección propia.

○ **Deshidratación y añejamiento**

Posteriormente se colocó la pasta en una placa de yeso para que absorba el exceso de humedad. Enseguida se amasó la pieza en forma ovoide y después se guardó en las bolsas que previamente se marcaron con el tipo de prueba y número.

Este proceso se repitió con los catorce puntos de las dos pruebas, elaborando 4 piezas por cada uno de ambas muestras, es decir, 56 muestras con la PT y 56 con PS. En moldes de yeso de 10cm de largo, 2cm de ancho y 1cm de espesor. Esto con el fin de poder someter cada una de estas piezas a las pruebas antes mencionadas (porosidad, resistencia, flexión, pigmentación) y a dos tipos de temperaturas, una en media temperatura, 1100°C y otra en alta temperatura, 1250°C, esto con el propósito de tener una referencia más exacta de las características de los dos tipos de piezas y elegir la más adecuada para la fabricación del prototipo final. Luego del tiempo óptimo de añejamiento se comenzó con la manufactura de las PT y PS previas a la quema.



De arriba abajo.

FIGURA 31. Elaboración de piezas suprimiendo exedente con arco.

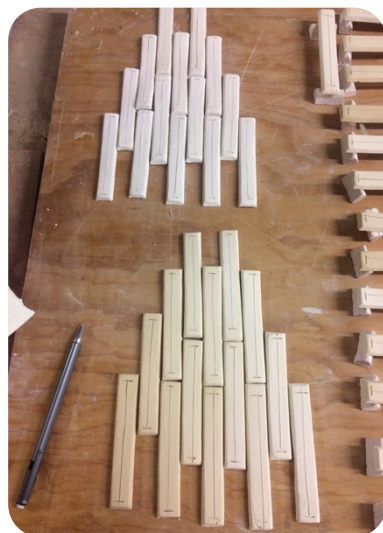
FIGURA 32. Desmolde de piezas.

FIGURA 33. Marca de encogimiento a cada 10 cm.
Fuente: Colección propia.

Estos moldes se enharinaron para desprender la pasta fácilmente, se colocó una marca cada 10cm en las piezas, con el fin de determinar los encogimientos que tendrán en ambos procesos de secado. El primer encogimiento sucede en el secado natural, (previo a la quema), ya que la cerámica necesita estar libre de humedad, puesto que, esta situación malograda podría agrietar o fracturar la pieza en el horno durante el proceso de quema, y el segundo encogimiento es posterior a la quema, cuando la pieza es sacada del horno.



FIGURA 34. Termino de la fabricación de las 112 piezas de ambas pruebas previas a quema de media (1100°) y alta temperatura (1250°).
Fuente: Colección propia.



De izquierda a derecha.
FIGURA 35. Triangulo triaxial con piezas de ambas pruebas posterior a la quema de media temperatura, previas a someterlas a pruebas mecánicas.
FIGURA 36. Piezas de ambas pruebas determinando la flexión final.
Fuente: Colección propia.

Después de la quema del total de las piezas se hizo una comparativa entre ambas pruebas para determinar las características y cualidades de los resultados de las piezas elaboradas con CV (PS) confrontandolas con las PT, obteniendo resultados óptimos dentro de los rangos de la cerámica convencional. Entre los resultados a destacar, se encuentra:

El encogimiento, se considera como óptimo cuando las piezas no disminuyen más del 20%, es decir, no deben ser menores a 8.5 cm de los 10 cm iniciales con las que fueron elaboradas, en las siguientes gráficas (Ver tablas 03 , 04, 05 y 06) en donde se muestra con una línea amarilla el límite del 20% del encogimiento, observando que todas las piezas entran en el rango adecuado.

Por otro lado se sintetiza también la porosidad (Ver tablas 07, 08, 09 y 10) cualidad importante para las piezas, ya que un exceso de esta afectaría de manera directa la resistencia aportando roturas o grietas, para la porosidad se considera un rango no mayor al 20%, observando que ambas pruebas (PT y PS) oscilan en los rangos del 0% y hasta el 20% de porosidad, encontrando las piezas dentro de las categorías aceptables.

Por lo tanto se define que los prototipos serán manufacturados con los puntos medios del rango de los 14 del triangulo triaxial, elegidos por sus aceptables características y propiedades finales sumando a estos la alta cantidad de escoria que los componen.

Se concluyó la parte experimental con el logro de los objetivos y alcances planteados al inicio del proyecto, sin embargo, el prototipo deberá tener las medidas reales de los revestimientos cerámicos más comerciales en la industria de materiales para la construcción, que de acuerdo con las principales empresas distribuidoras de estos elementos, se definió que las piezas tendrán éstas medidas: 20x20, 30x30 y 40x40.

ENCOGIMIENTO MEDIA TEMPERATURA (1100 °C)

SECADO NATURAL			
No. DE PRUEBA	MEDIDA INICIAL	Prueba TESTIGO	Prueba SUSTITUCIÓN
1	10	9.3	9.5
2	10	9.5	9.3
3	10	9.3	9.5
4	10	9.5	9.4
5	10	9.6	9.5
6	10	9.5	9.5
7	10	9.5	9.2
8	10	9.5	9.4
9	10	9.5	9.4
10	10	9.6	9.4
11	10	9.4	9.5
12	10	9.6	9.5
13	10	9.4	9.5
14	10	9.4	9.5

MEDIDAS EN CENTÍMETROS

SE CONSIDERA COMO PORCENTAJE ÓPTIMO DE ENCOGIMIENTO NO MAYOR AL 15%. Siendo un total de 1.5cm la medida máxima que se debe obtener en ambas pruebas

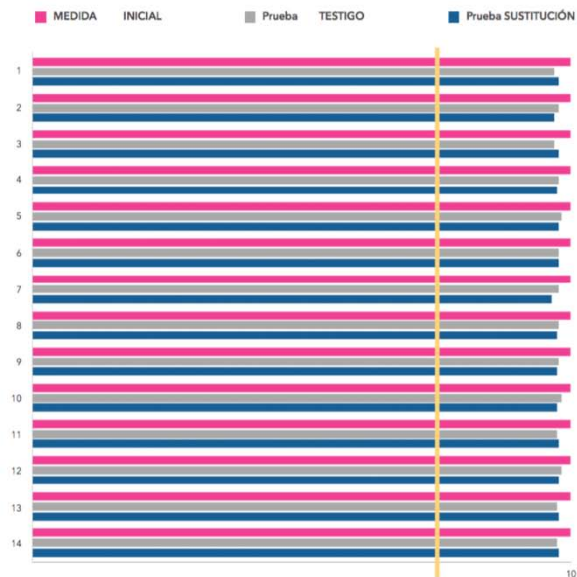


TABLA 03. Medidas de encogimiento en secado natural, 2018.
Autoría: Colección propia

POSTERIOR A LA QUEMA			
No. DE PRUEBA	MEDIDA INICIAL	Prueba TESTIGO	Prueba SUSTITUCIÓN
1	10	9.3	9.4
2	10	9.5	9.1
3	10	9.3	9.3
4	10	9.5	9.3
5	10	9.5	9.4
6	10	9.2	9.5
7	10	9.4	9.4
8	10	9.4	9.2
9	10	9.5	9.2
10	10	9.1	9.2
11	10	9.3	9.3
12	10	9.3	9.4
13	10	9.2	9.3
14	10	9.4	9.4

MEDIDAS EN CENTÍMETROS

SE CONSIDERA COMO PORCENTAJE ÓPTIMO DE ENCOGIMIENTO NO MAYOR AL 15%. Siendo un total de 1.5cm la medida máxima que se debe obtener en ambas pruebas

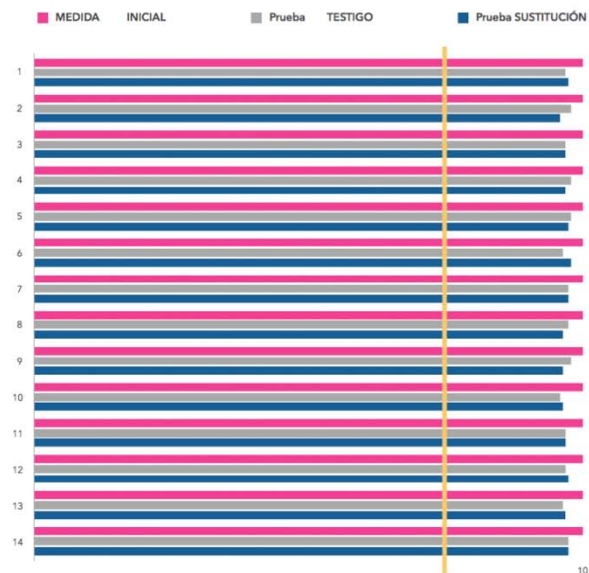


TABLA 04. Medidas de encogimiento posteriores a la quema, 2018.
Autoría: Colección propia

ENCOGIMIENTO ALTA TEMPERATURA (1250 °C)



TABLA 05. Medidas de encogimiento en secado natural, 2018.
Autoría: Colección propia



TABLA 06. Medidas de encogimiento posteriores a la quema, 2018.
Autoría: Colección propia

POROSIDAD
MEDIA TEMPERATURA (1100 °C)

PRUEBA TESTIGO			
No. DE PRUEBA	Prueba SUSTITUCIÓN (PESO INICIAL)	Prueba SUSTITUCIÓN (PESO FINAL)	% DE POROSIDAD
1	15	18	20
2	17	20	18
3	16	19	19
4	18	19	6
5	18	20	12
6	15	17	14
7	16	18	13
8	17	19	12
9	18	20	12
10	16	18	13
11	16	19	19
12	17	20	18
13	18	20	12
14	18	20	12

SE CONSIDERA COMO PORCENTAJE ÓPTIMO DE POROSIDAD NO MAYOR AL 20%.

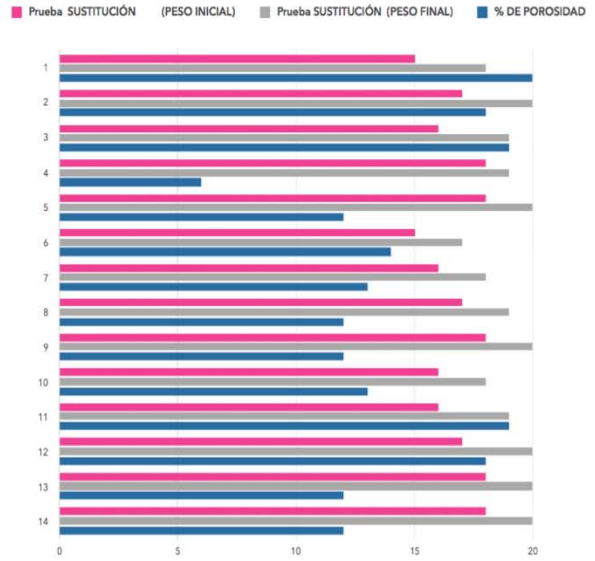


TABLA 07. Porcentaje de porosidad en piezas finales. **Pruebas testigo.** Media temperatura, 2018. Autoría: propia

PRUEBA DE SUSTITUCIÓN			
No. DE PRUEBA	Prueba SUSTITUCIÓN (PESO INICIAL)	Prueba SUSTITUCIÓN (PESO FINAL)	% DE POROSIDAD
1	19	20	6
2	19	20	6
3	19	19	0
4	20	21	5
5	20	21	5
6	21	21	0
7	18	21	12
8	20	21	5
9	21	22	5
10	20	21	5
11	20	21	5
12	21	23	10
13	20	22	5
14	21	23	10

PESO EN GRAMOS

SE CONSIDERA COMO PORCENTAJE ÓPTIMO DE POROSIDAD NO MAYOR AL 20%.

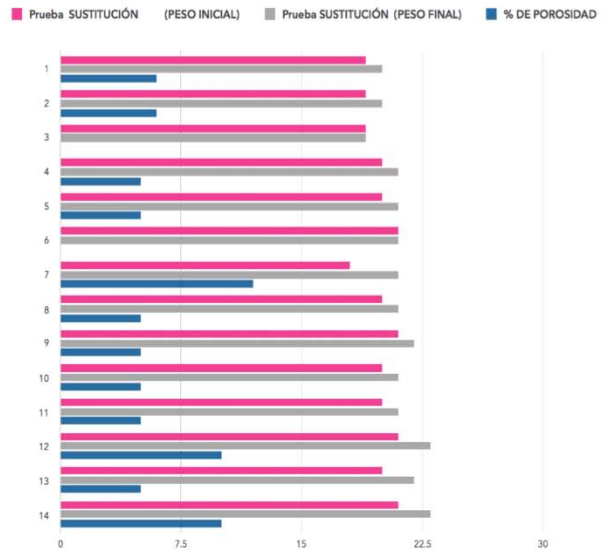


TABLA 08. Porcentaje de porosidad en piezas finales. **Pruebas de sustitución.** Media temperatura, 2018. Autoría: propia

**POROSIDAD
ALTA TEMPERATURA (1250 °C)**

PRUEBA TESTIGO			
No. DE PRUEBA	Prueba TESTIGO (PESO INICIAL)	Prueba TESTIGO (PESO FINAL)	% DE POROSIDAD
1	19	20	6
2	19	20	6
3	16	17	7
4	18	20	12
5	19	21	11
6	17	18	6
7	16	18	13
8	19	20	6
9	19	21	11
10	15	15	0
11	17	18	6
12	18	20	12
13	17	20	18
14	19	21	11
PESO EN GRAMOS			
<small>SE CONSIDERA COMO PORCENTAJE ÓPTIMO DE POROSIDAD NO MAYOR AL 20%.</small>			

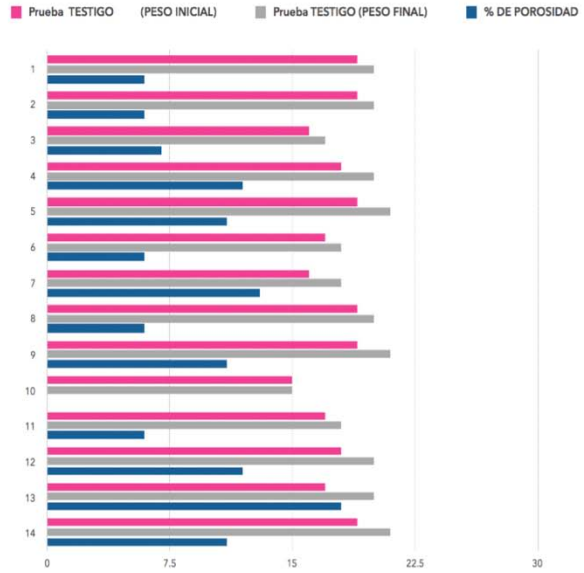


TABLA 09. Porcentaje de porosidad en piezas finales. **Pruebas testigo.** Alta temperatura, 2018. Autoría: propia

PRUEBA SUSTITUCIÓN			
No. DE PRUEBA	Prueba SUSTITUCIÓN (PESO INICIAL)	Prueba SUSTITUCIÓN (PESO FINAL)	% DE POROSIDAD
1	18	19	6
2	18	20	12
3	19	20	6
4	20	21	5
5	20	22	10
6	19	21	11
7	18	19	6
8	20	21	5
9	20	22	10
10	19	20	6
11	20	22	10
12	19	21	11
13	20	22	10
14	20	23	15
PESO EN GRAMOS			
<small>SE CONSIDERA COMO PORCENTAJE ÓPTIMO DE POROSIDAD NO MAYOR AL 20%.</small>			

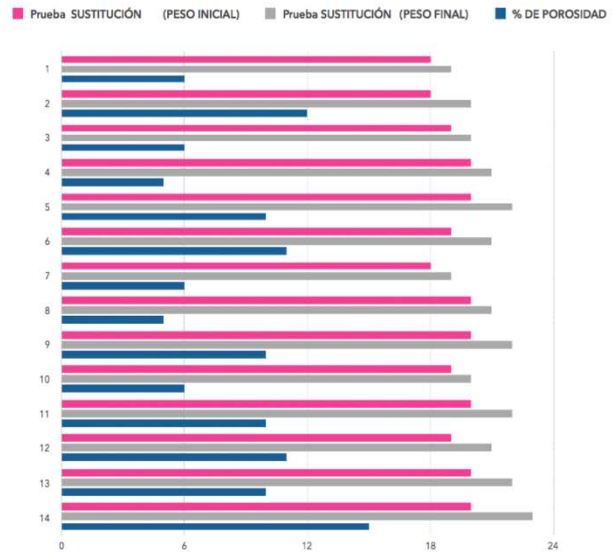


TABLA 10. Porcentaje de porosidad en piezas finales. **Pruebas de sustitución.** Alta temperatura 2018. Autoría: propia

4.2. Ejecución del prototipo final.

La primera baldosa o loseta cerámica fina fue producida en 1866 y el crecimiento en el uso de estas fue gracias a que se solucionó una de las principales problemáticas en la industria: las grietas capilares, las cuales traían consigo grandes conflictos en el ámbito de la construcción.

Estos revestimientos se utilizan principalmente en los baños y cocinas, tanto en pisos como en muros y techos, sin embargo, en la actualidad el uso de este tipo de materiales se ha popularizado para su colocación en diferentes áreas de las edificaciones, ya sea interiores o exteriores, eligiéndolos principalmente por su acabado duradero, fácil limpieza y por la variedad de colores y acabados.

Comunmente estos se componen principalmente de pastas, sin embargo, ésta composición difiere, según se trate de losetas para muro o pisos. En las losetas para pisos se utiliza una composición elevada de feldspatos (del 50 al 60%) y se quema a un cono más elevado que el de muro, (cono 9–12).⁸⁰ Mientras que las losetas para muros contienen mayormente talco (del 60 al 80%) y se queman a conos 6–10, para lograr un absorción del 8 al 18%.⁸¹

El acabado que se les puede dar a estas piezas son superficies brillantes, mate o con algún diseño especial y personalizado.⁸² Los fabricantes más progresivos han avanzado mucho en la reducción de costos al utilizar equipos con mayor rendimiento y al mecanizar las manufacturas. La uniformidad del prensado y la de la cochura han eliminado el molesto problema de clasificación. Asimismo las variaciones de color se han reducido considerablemente. Los procesos de prensado, rectificado, vidriado, secado y cochura son continuos con un mínimo de mano de obra. Se pretende reducir en un futuro los costos por varios caminos, expidiendo de las minas las pastas preparadas, reduciendo gastos de almacenaje,

⁸⁰ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 370.

⁸¹ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 371.

⁸² Ibid.

manutención y mezcla en la planta. Por otro lado la pasta de las losetas para muro no es necesario que sea blanca completamente, lo que permitirá emplear materiales más económicos.⁸³

En la fabricación de los prototipos a realizar se utilizaron las medidas más comerciales actualmente, considerando que la CV no cuenta con la propiedad de plásticidad en comparación con la mayoría de arcillas convencionales, lo que podrá ser una limitante para grandes dimensiones pues la pieza podría fracturarse fácilmente.

En la industria de la cerámica, como se mencionó anteriormente, uno de los objetivos planteados desde hace más de una década es la disminución en el costo por extracción de arcillas, así como, la manufactura de las mismas para conseguir minorar los costes finales.

Hoy en día el tema de la sustentabilidad se encuentra “en boga”; puesto que, la humanidad vive una caótica realidad de impactos ambientales y derroches en la extracción de los recursos naturales y no renovables que por ende daña de manera excesiva el medio ambiente y la calidad de vida del ser humano.



De arriba abajo.
FIGURA 37 y 38. Ceniza Volante proporcionada por CFE.
Fuente: Colección propia.

⁸³ HARWOOD NORTON., Op. Cit., Pg, 382.



De izquierda a derecha.

FIGURA 39. Lavado de Ceniza.

FIGURA 40. Retiro de residuos en tamiz de malla 100u.

FIGURA 41. Ceniza volante seca y "limpia", previa para pesaje con arcillas.
Fuente: Colección propia.

Después de haber concluido el proceso de experimentación y seleccionar 2 de los 14 puntos para hacer el prototipo final, se comenzó con la ejecución de éste, utilizando el mismo procedimiento, iniciando con el lavado de CV para retirar los residuos ajenos a ella, manejando el mismo número de malla en el tamiz (100 u.). Sucesivamente con la CV seca y "limpia" se hace el pesaje, pero en esta ocasión se utilizarón 15kg por cada punto ya que el prototipo se realizó con medidas reales.



De izquierda a derecha.

FIGURA 42. Ceniza volante y arcillas humectadas para molienda.

FIGURA 43. Molienda de arcillas.

Fuente: Colección propia.





De izquierda a derecha.
FIGURA 44. Pasta de arcillas y escoria homogenizadas.
FIGURA 45. Pasta vertida en placa de yeso para retiro excesivo de humedad.
 Fuente: Colección propia.

Después de tener el pesaje de cada punto se realizó el amasado de la pasta para añejarla por 5 días como mínimo, esto para incrementar su propiedad de plasticidad, formando bloques con cada punto y almacenandolos en bolsas individuales.

El amasado de la pasta es una parte fundamental en la manufactura del revestimiento cerámico, ya que, al ser un proceso completamente artesanal, el no realizar cada paso de manera exacta puede ocasionar que la pieza se fracture dentro del horno por causa de grumos.



De izquierda a derecha.
FIGURA 46. Pasta deshidratada en bloques y previa a añejamiento.
FIGURA 47. Pasta posterior al añejamiento y perfectamente amasada.
 Fuente: Colección propia.



De izquierda a derecha.
FIGURA 48. Preparación de laminadora para corte.
FIGURA 49. Corte de pieza con molde de MDF.
FIGURA 50. Retiro de exceso de pasta en la pieza.
 Fuente: Colección propia.

Cuando la pasta está perfectamente amasada, libre de grumos y burbujas de aire se determinó el grosor de las piezas, el cual fue proporcional a la medida de la misma, es decir, las piezas de 20x20 y 30x30 tendrán un espesor de 5mm, mientras que las de 40x40 serán de 7mm. Para este proceso se evitarán los moldes de yeso y se sustituyeron por cortes de MDF, los cuales, previamente se aumentaron un 15% de la medida final por el encogimiento que la pieza sufrirá previa y posteriormente a la quema.



De izquierda a derecha.
FIGURA 51. Pieza desmoldada.
FIGURA 52. Prototipos finales previos a la quema.
 Fuente: Colección propia.



De izquierda a derecha.

FIGURA 53. Pieza esmaltada previa a quema.
FIGURA 54. Prototipos finales posteriores a la quema.

Fuente: Colección propia.

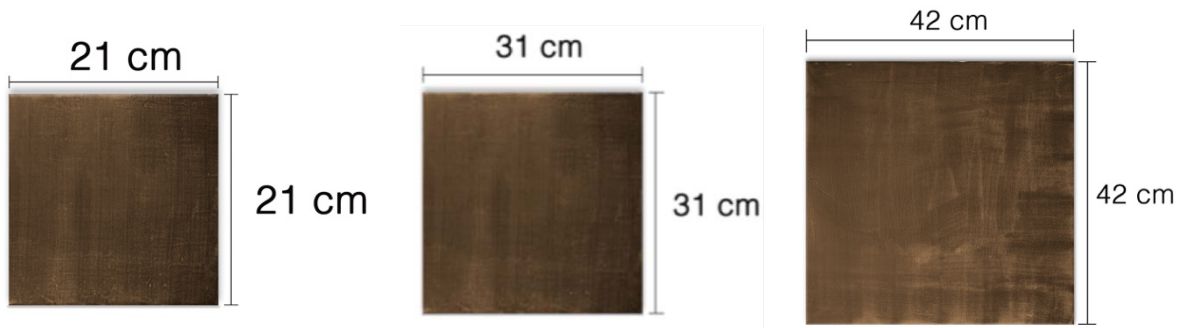


Para ambos puntos (6 y 10) el procedimiento es el mismo, finalizando con un barnizado de esmalte en la capa superior para quema de alta temperatura (cono 5 o 6). La pieza debe de estar perfectamente seca antes de meterla al horno a una temperatura de 1230 a 1250°C. Cuando el horno alcanza dicha temperatura, las piezas se sacan del mismo para su enfriamiento natural y por último se cubrirían en hule burbúja para su óptima trasportación y conservación.

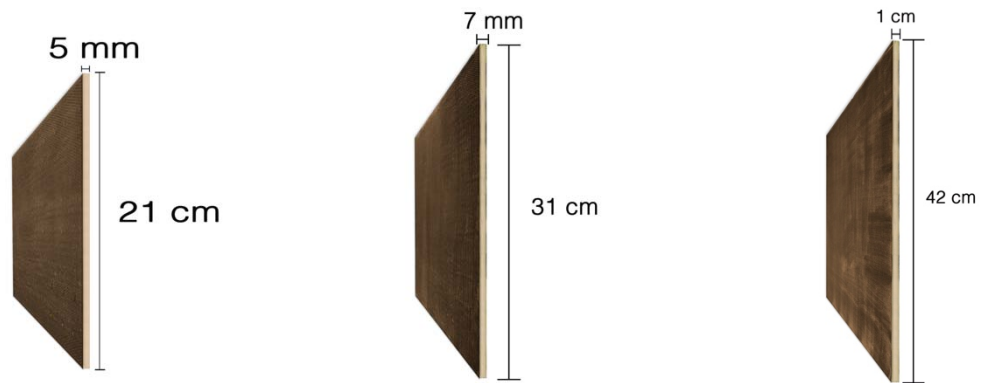


De izquierda a derecha.

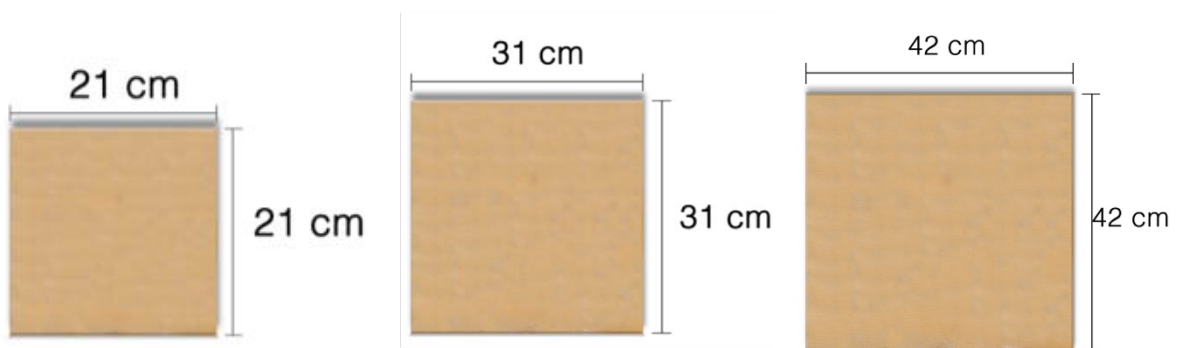
FIGURA 51. Prototipo final, con medidas de 30x30cm.
FIGURA 52. Almacenaje de protipos en hule burbuja para evitar daños.
Fuente: Colección propia.

PROTOTIPOS FINALES

Cara frontal con acabado liso v esmalte brillante.



Vista lateral.



Cara posterior con acabado aparente y texturizado.

Las piezas anteriores tuvieron un ligero desface en el encogimiento, las dos primeras de 1cm, mientras que la tercera fue de 2cm, ya que sólo encogieron el 10% del 15% previsto, sin embargo, sigue dentro del rango de encogimiento favorable para la cerámica.

CONCLUSIONES

La Revolución Industrial a partir de la segunda mitad del Siglo XVIII, trajo como consecuencias aspectos positivos y negativos en el mundo. Los primeros originan grandes beneficios económicos, sociales y tecnológicos, mientras que los segundos, gestan problemas con la generación de grandes cantidades de basura, consecuencia de los procesos industriales y de la cultura del reemplazo, producto de la innovación y bajo costo, al disminuir el tiempo de producción por la fabricación en serie.

En el libro “The Nature of Technology”, W. Brian Arthur menciona que la naturaleza es la que brinda la materia prima para generar la tecnología actual, a través de sus propios recursos naturales, los cuales, al aprovecharlos, pueden ser transformados en la producción de energía eléctrica; hecho que se ha convertido en los últimos años en una parte inherente del ser humano, indispensable para su evolución, desarrollo humano y tecnológico.

La electricidad es una forma preponderante de energía debido a su flexibilidad y fácil distribución, por lo cual, la demanda en todo el mundo está creciendo impulsada principalmente por los consumidores de equipos y aparatos electrónicos, por la actividad industrial asociada y por la incorporación, cada vez mayor, de los asentamientos humanos en el desarrollo mundial, definiéndolo como el mundo moderno, donde la modernidad y la tecnología dependen para su operación y su existencia de la electricidad.

La generación de energía eléctrica se produce a través de fuentes renovables y no renovables. Entre las fuentes renovables encontramos: energía nuclear, geotérmica, eólica, solar, hidráulica, entre otras. Y las fuentes no renovables que son las que utilizan combustibles fósiles para su generación, como: gas natural, combustóleo y carbón.

La demanda de electricidad en México es satisfecha por medio de diversas formas de producción a través de diversas plantas generadoras, tales como:

termoeléctricas, carboeléctricas, hidroeléctricas, nucleoeléctricas, geotérmicas, foloeléctricas, las cuales ocasionan diversos residuos contaminantes del medio ambiente. De estas, entre las que tienen mayor capacidad de producción son las plantas carboeléctricas, existiendo en el País tres de ellas, dos en el Estado de Coahuila (Carbón II y José López Portillo) y la tercera construida en el año de 1993 en el Estado de Guerrero, denominada "Presidente Plutarco Elías Calles" o mejor conocida como Petacalco, las cuales utilizan este combustible fósil como medio para alcanzar dicho fin.

El uso del carbón como combustible en la producción de energía termoeléctrica genera grandes cantidades de residuos sólidos conocidos como cenizas volantes, las cuales, mayoritariamente en México, han sido destinadas como desecho y almacenadas a cielo abierto en cantidades extremadamente enormes sobre hectáreas de territorio subutilizado, provocando este hecho problemas políticos y ambientales en las poblaciones circundantes, así como económicos a la CFE.

Lo anterior, es el origen y resultado de esta investigación, el subsanar dichos inconvenientes por medio del aprovechamiento del material de desecho y la utilización del mismo en algún componente utilizable en la industria de la construcción.

La investigación surge con la premisa principal, de reutilizar y aplicar un desecho en un material constructivo; para lo cual, se elige como desecho a la ceniza de carbón, ya que actualmente en nuestro país, a diferencia de otros, aún no se utiliza ocasionando una problemática ambiental y de almacenamiento muy importante.

Tras una investigación de los materiales de construcción convencionales en los cuales pudiera ser aplicable y retomando las investigaciones de otros países con desecho de ceniza de carbón, se decide emplearlo en un elemento para la creación de un revestimientos cerámico, pues actualmente la escases y problemática de

extracción de algunas arcillas esenciales para la conformación de estas piezas han incrementado su costo a causa de la importación de estos materiales.

El objetivo principal era poder adicionar este desecho para disminuir uno de los componentes más costosos o más escasos o mejor aún poder sustituirlo en su totalidad.

Después de una investigación y experimentación con más de 100 piezas comparativas, entre los materiales de la cerámica convencional y los empleados con ceniza de carbón volante como elemento de sustitución, se determinaron los porcentajes óptimos y la temperatura adecuada para fabricación de los primeros prototipos; demostrando con este hecho que puede ser un elemento conformador en la pasta para la fabricación de revestimientos cerámicos, asimismo que puede contribuir a la disminución del almacenamiento de este desecho, reduciendo el impacto ambiental, social y económico que el mismo provoca, así como, a la disminución de los costes de fabricación y venta del producto terminado, ya que, este desecho puede sustituir a una de las arcillas de mayor costo.

Por lo tanto, se concluye:

- **Que la ceniza volante de carbón puede ser un elemento conformador de una pasta para la fabricación de revestimientos cerámicos.**
- **Que al utilizar la ceniza volante de carbón se contribuye a la disminución del almacenamiento de este desecho, reduciendo el impacto ambiental, social y económico que el mismo provoca.**
- **Que al utilizar la ceniza volante de carbón se disminuyen los costes de fabricación y venta del producto terminado, ya que, este desecho conforma el 50% del contenido de la pasta sustituyendo una de las arcillas más costosas debido a su importación y a su escaseo nacional.**

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS.

Comisión Federal de Electricidad. "Informe de sustentabilidad 2008: Actualidad de la CFE". México: CFE, México. Pg: 04-06.

SANTAELLA V., L. Elena. "Caracterización física, química y mineralógica de las cenizas volantes". Sistema de Información Científica: Red de revistas científicas de América Latina. No. 10, julio 2001. Pg: 48-60. ISSN: 0124-8170

DEL VAL, Alfonso. "La basura puede ser un tesoro: ha llegado la hora del reciclaje y de la producción limpia". FONGDCAM: Manual Digital de Sostenibilidad Ambiental; p. 1-14.

RODRÍGUEZ, Fernando. FERNÁNDEZ, Gonzalo. "Ingeniería sostenible: Nuevos objetivos en los proyectos de construcción". Revista de ingeniería de Construcción. Vol. 25, (Agosto, 2010). Pg: 147-160.

LÓPEZ VIDAL, Alejandro. "Sostenibilidad: Hacia la sostenibilización de la construcción ¿Dónde estamos?". ANDECE. [en línea]. Vol. 42, (Mayo, 2015).

GUZMÁN, Fernando. "Ladrillos ecológicos basados en residuos de construcciones". Órgano informativo de la Universidad Nacional Autónoma de México. No. 4,750. Enero 2016. Pg. 12-13.

DOMINGUEZ Lepe, J., MARTÍNEZ L, Emilio. "Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas". Redalyc: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 11, No. 3, Mayo 2007.

Tendencias21. "Tendencias tecnológicas: Fabrican ladrillos con lana". Revista electrónica de ciencia, tecnología, sociedad y cultura. 07 noviembre 2016.

AMIGÓ, V. SALVADOR, M.D., SAHUQUILLO, O. LLORENS, R., MARTÍ, F. "Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales". REDISA2008: I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuo. 24 julio 2008.

ÁGUILA ARBOLÁEZ, Idalberto., GRIFFIN SOSA, Milena. Tecnología alternativa de producción de cemento puzolánico con ceniza de cascarilla de arroz.

ARTÍCULOS: Tecnología y Construcción. 17 septiembre de 2017.

GUZMÁN, Fernando. “Ladrillos ecológicos basados en residuos de construcciones”. Órgano informativo de la Universidad Nacional Autónoma de México. No. 4,750. Enero 2016. Pg. 12-13.

DOMINGUEZ Lepe, J., MARTÍNEZ L, Emilio. “Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas”. Redalyc: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. [en línea]. Vol. 11, No. 3, Mayo 2007]. ISSN. 1665-529X

QUINCHÍA, M. Adriana., VALENCIA, Marco., GIRALDO, M. Jorge. “Uso de lodos provenientes de la industria papelera en la elaboración de paneles prefabricados para la construcción”. Revista EIA: Escuela de Ingeniería de Antioquia. No. 8, Diciembre 2007; pg: 9-19. ISSN. 1794-1237

Tendencias21. “Tendencias tecnológicas: Usan residuos de la industria del papel para fabricar ladrillos”. Revista electrónica de ciencia, tecnología, sociedad y cultura. 07 noviembre 2016. ISSN. 2174-6850.

RUIZ-ROMÁN. J.M., SANTOS. C. Alonso, CAMBRONERO. L.E.G., CORPAS. F., ALFONSO. M., MORAÑO.A.J. “Aprovechamiento de las cenizas volantes, clase F, de centrales térmicas para la fabricación de materiales cerámicos”. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio: Universidad Politécnica de Madrid. Vol. 39. No. 3. Junio 2000; pg. 229 - 231.

VELÁZQUEZ V. L. Fabio., DE LA CRUZ. M. F. Javier., SÁNCHEZ. M. J. Freddy., MARTÍN. L. A. Mauricio. “Remoción de carbón inquemado de las cenizas volantes producidas en el proceso de combustión de carbón”. Revista Energética: Escuela de Procesos y Energía. Vol. 38, Diciembre 2007; Pg: 107-112. ISSN. 0120-9833

PARDO, Antonio., LUXÁN, Ma. Pilar. “Normalización española sobre cenizas volantes”. Informes de la construcción: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. [en línea]. Vol. 39 No. 394, Marzo-Abril 1988.

CALIGARIS. R., QUARANTE., CALIGARIS. M., BENAVIDEZ. E. “Materias primas no tradicionales en la industria cerámica”. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio: Universidad Politécnica de Madrid. Vol. 39. No. 5. Octubre 2000; pg. 623 - 626.

CABALLERO. A. Lucía., MÉDICO. O. Alejandro. “Caracterización y posible uso de cenizas resultantes de la combustión del carbón, en la futura Termo central de lecho fluidizado. Río Turbio, Argentina”. REDISA: Universidad Nacional de la Patagonia Austral.

LELKHADIRI, DIOURI. A., BOUKHARI. A., PUERTAS. F., VÁZQUEZ. T. “Obtención de cementos belíticos de sulfoaluminatos a partir de residuos industriales”. MATER CONSTRUCCIONES: Facultad de Ciencias, Universidad Mohhamed, Marruecos. Vol. 53, No. 270, Enero 2003; pg. 57-69.

Discurso inaugural del Ing. Alfredo Elías Ayub, Director General de CFE en el Primer Simposio de Desarrollo Sustentable del Sector Eléctrico. Octubre 2007. Fuente: Informe de Sustentabilidad 2008, CFE.

“Retos y perspectivas de CFE”. Conferencia magistral a cargo del Ing. Alfredo Elías. Director General de CFE, durante la 14ª Reunión Institucional de Calidad y Competitividad. Diciembre 2008. Fuente: Informe de Sustentabilidad 2008.

BLANCO, M. Jesús, PEÑA, Francisco. “Incremento de la Eficiencia en Centrales Termoeléctricas por Aprovechamiento de los Gases de la Combustión”. SCIELO: Escuela Superior de Ingeniería. Vol. 22, No. 4, 2011. ISSN. 0718-0764.

CÁRCAMO, Francisco., COTÉS, Maritza., ORTEGA, Lorena., SQUEO. A. Francisco., GAYMER. F. Carlos. “Crónica de un conflicto anunciado: Tres centrales termoeléctricas a carbón en un hotspot de biodiversidad de importancia mundial”. SCIELO: Escuela Superior de Ingeniería. Vol. 84, No. 2, Junio 2011. ISSN. 0716-078X.

ACOSTA, Domingo., “Arquitectura y construcción sostenibles: CONCEPTOS, PROBLEMAS Y ESTRATEGIAS”. DEARQ. Revista de Arquitectura. ISSN 2011-3188.

LIBROS

Subdirección de Planeación Minera. “El carbón Colombiano: Fuente de energía para el mundo”. UPME. Colombia: DÍgitos y Diseños, 2005. Pg: 7. ISBN. 958-97750-0-4

The Worldwatch Institute. "LA SITUACIÓN DEL MUNDO 2015. UN MUNDO FRÁGIL: Hacer frente a las amenazas a la sostenibilidad". Icaria. Barcelona, 2015. 272. ISBN. 9788498886733

REAL FERRER, Gabriel. Calidad de Vida, Medio Ambiente y Ciudadanía: ¿Construimos juntos el futuro?. NOVOS: Estudios Jurídicos ISSN Electrónico: 2175-0491.

HARPER ENRÍQUEZ, Gilberto. Tecnologías de generación de energía eléctrica. 1ª ed. México. Limusa, 2009. ISBN: 978-607-05-0135-7.

HARWOOD NORTON, Frederick. Cerámica fina; Tecnología y aplicaciones. ISBN: 84-282-0388-1.

TESIS

UMAÑA, J. "Síntesis de zeolitas a partir de cenizas volantes de centrales termoeléctricas a carbón". España, 2002. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de ingeniería y minería.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

International Energy Agency. "Carbón".
<http://www.iea.org/topics/coal/>

Comisión Federal de Electricidad. "Conformación del Sistema Eléctrico Nacional: Consumo de combustibles".
<http://www.cfe.gob.mx/>

Secretaría de Economía. Servicio Geológico Mexicano. "Valor, Volumen y Producción minera".
<http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/produccion-minera/caolin.html>

AMPARÁN, J. Francisco. "Breve historia de la evolución de la basura".
<https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/307180.breve-historia-de-la-evolucion-de-la-basura-los-dias-los-hombres-las-ideas.html>

ABENGOA. "La energía del cambio: Soluciones tecnológicas para cambiar".
<http://www.laenergíadelcambio.com/los-residuos-en-cifras>

Instituto Nacional de Ecología. "Residuos sólidos urbanos".
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/495/residuos.html>

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. “Tierra. Residuos de limpieza y Ciencia”.

https://www3.epa.gov/epawaste/inforesorce/pubs/municipal_sw.htm

World Bank. “Waste Generation: Urban Development Series”.

<http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/Chap3.pdf>

Naciones Unidas Programa para el Medio Ambiente. “Programa de Eficiencia de Recursos del PNUMA”.

<http://www.unep.org/resourceefficiency/Home/UNEPsResourceEfficiencyProgramme/tabid/55552/Default.aspx>

Agencia Europea de Medio Ambiente. “¿Qué porcentaje de nuestros residuos urbanos reciclamos?”.

<http://www.eea.europa.eu/es/pressroom/infografia/que-porcentaje-de-nuestros-residuos/view>

TEC Review. “Estudiantes usan desechos para materiales de construcción”.

<http://tecreview.itesm.mx/estudiantes-usan-desechos-para-crear-materiales-de-construccion/>

Ecología Verde. “Holanda tendrá carreteras de plástico reciclado”.

<http://www.ecologiaverde.com/holanda-tendra-carreteras-plastico-reciclado/>

Xinhuanet. “China: China promueve materiales de construcción ecológicos en zonas rurales”.

http://spanish.xinhuanet.com/china/2013-11/19/c_132901348.htm

Comisión Federal de Electricidad. “CFE y la Electricidad en México”.

http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx

Secretaría de Gobernación. “Estatuto Orgánico de la Comisión Federal de Electricidad: Disposiciones Generales, artículo 1º”

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=674134&fecha=10/03/2004

CFE. “Las Centrales Generadoras en México”.

<http://www.cfe.gob.mx/SiteAssets/Lists/PrefuntasFrecuentesTransp/EditForm/Las%20Centrales%20Generadoras%20en%20M%C3%A9xico%20mayo%202016.pdf>

Comisión Federal de Electricidad, 2008. “Informe de Sustentabilidad 2008: Perfil de la Institución”.

http://www.buyteknet.info/fileshare/data/proyecto_cfe/INFORME%20SUSTENTABILIDAD%20CFE%202008.pdf

Comisión Federal de Electricidad, 2015. “Informe Anual 2015: Generación de electricidad”.

<http://www.cfe.gob.mx/inversionistas/informacionareguladores/Documents/Informe%20Anual/Informe-Anual-2015-CFE-Acc.pdf>

LAGUNA. M. Israel. “Generación de energía eléctrica y medio ambiente”. Instituto Nacional de Ecología: Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana.

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetas/367/energiamed.html>

Comisión Federal de Electricidad, 2011. “Informe Anual 2011: Conformación del Sistema Eléctrico Nacional”.

http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/SiteAssets/Paginas/Publicaciones/Informel2011.pdf

ENCISO. L. Angelica.,. “Termoeléctricas de CFE, líderes en contaminación en América del Norte”. La Jornada, México, Distrito Federal, 12 Enero 2005.

<http://www.jornada.unam.mx/2005/01/12/046n1soc.php>

Global Energy Observatory. “Plutarco Elías Calles: Thermal Power Plant México”.

<http://globalenergyobservatory.org/form.php?pid=4826>

Greenpeace. “Revolución Energética: Petacalco, la central carbonífera más contaminante de México”.

<http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2008/7/petacalco.pdf>

¹AEMA. “El contexto”.

<https://www.eea.europa.eu/es/publications/92-827-5122-8/page003.html>

AEMA. “¿Qué porcentaje de nuestros residuos urbanos reciclamos?”

<http://www.eea.europa.eu/es/pressroom/infografia/que-porcentaje-de-nuestros-residuos/view>

AEMA. Eficiencia en el uso de los recursos y residuos: “Transiciones hacia la sostenibilidad”.

<https://www.eea.europa.eu/es/pressroom/newsreleases/las-mayores-tasas-de-reciclado>

Forbes México. "El gran negocio de basura que México debería de copiar a Finlandia"

<https://www.eea.europa.eu/es/pressroom/newsreleases/las-mayores-tasas-de-reciclado>

Ecovidrio.

<http://www.ecovidrio.es/conocenos/nosotros/nosotros>

Ecured. "Carbón".

<https://www.ecured.cu/Carb%C3%B3n>