

AMIDIQ

Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C

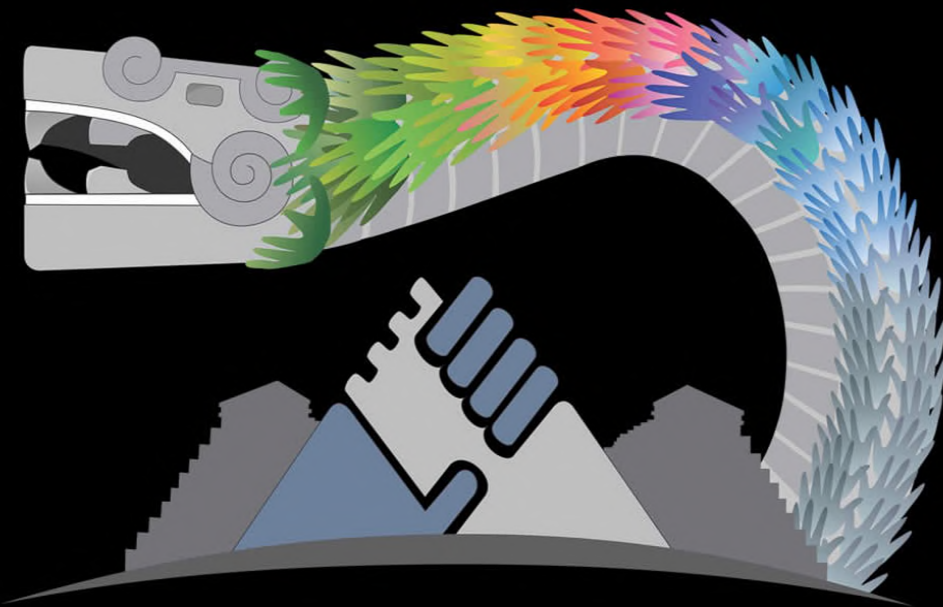


Instituto **Tecnológico**
de Aguascalientes

XXXVI Encuentro Nacional

RETOS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN LA GLOBALIZACIÓN

Memorias



Energía

Catálisis

Polímeros

Educación

Materiales

Biotecnología

Termodinámica

Ingeniería Ambiental

Simulación y Control

Ingeniería de Procesos

Ingeniería de Alimentos

Fenómenos de Transporte

Ingeniería de las Reacciones

Mayo 5 - 8 2015

Cancún, Quintana Roo.

“RETOS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN LA GLOBALIZACIÓN”

**Memorias del XXXVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ
Cancún, Quintana Roo, México
5 al 8 de Mayo de 2015**

La presentación y disposición en conjunto de:
“RETOS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN LA GLOBALIZACIÓN”
son propiedad de sus autores.

Compilador: Jorge Ramón Robledo Ortiz
Coordinador: Juan Gabriel Segovia Hernández

D.R. ©2015, Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química
(AMIDIQ)
Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (607-95593)

ISBN 978-607-95593-3-5

Impreso y hecho en México
Printed and Made in Mexico

BIENVENIDA

La ciencia y la tecnología han revolucionado el mundo, produciendo un fenómeno de acercamiento de las sociedades. La globalización se considera como un proceso en el que los fenómenos económicos, sociales, políticos y culturales de cada país tienen una dimensión universal y, en consecuencia repercuten, en todo lugar; es así como todas las naciones deben incursionar en el mundo de la globalización. En este proceso de integración es imprescindible la necesidad de una mayor calidad en la formación de profesionales de todas las áreas y, particularmente, de los Ingenieros Químicos. La formación integral de los Ingenieros Químicos debe privilegiar no solo el desarrollo de actividades técnicas y académicas sino también de toma de conciencia y desarrollo de perfiles humanos con características globales de tal manera que los profesionales desplieguen intereses reflexivos para facilitar y complementar su desempeño en este mundo globalizado. La competencia global necesita convertirse en el sello clave de los profesionales de la Ingeniería Química. La preparación global debe ser más que un programa adicional sobre los conocimientos de los fundamentos y la dinámica de la globalización junto a la enseñanza de los conocimientos centrales y fundamentales de la Ingeniería Química. Las universidades deben hacer de la preparación con enfoque global, en los planes de estudio de un Ingeniero Químico, una prioridad en sus estrategias institucionales estratégicas y llevarlos a cabo activamente.

La mesa directiva de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ), junto con el Instituto Tecnológico de Aguascalientes, tiene el honor de darles la más cordial bienvenida al XXXVI Encuentro Nacional que este año se lleva a cabo en las maravillosas playas de Cancún, Quintana Roo. Deseamos que su estancia en este paradisíaco lugar sea placentera, que disfruten de esta reunión académica preparada para Ustedes y como ya es una tradición anual, durante más de tres décadas, los miembros del AMIDIQ y estudiantes en Ingeniería Química y áreas afines, nos reunimos para compartir los avances y logros en nuestros proyectos de investigación, dar inicio a nuevas colaboraciones académicas, coincidir con amigos y colegas y poder tener gratas conversaciones y charlas amigables.

En esta ocasión el XXXVI Encuentro de la AMIDIQ se efectúa teniendo como eje temático “Retos de la Ingeniería Química en la Globalización”, tópico que nos permitirá reflexionar que pensar a escala global e interdisciplinaria es cada vez un ejercicio más usual, en gran parte de las actividades humanas, y donde la Ingeniería Química no escapa a esta tendencia. Este contexto permite impactar y abordar temas que hasta hace unas décadas parecían ajenos a nuestra área. Como ya es tradición, tendremos un foro donde se abordarán temas que ejemplifican el impacto global de la Ingeniería Química. Adicionalmente, se impartirán cursos pre-congreso sobre tópicos de interés para nuestros estudiantes asistentes. Este año se recibieron más de 959 contribuciones de las cuales se presentarán 304 trabajos orales y 655 carteles. Se tendrán varias sesiones de trabajo y 4 pláticas plenarias.

A lo largo de 36 años, el Encuentro de la AMIDIQ crece, evoluciona y se adapta a las necesidades y retos de la Ingeniería en México y en el mundo, y se ha convertido en un faro rector de los deberes y quehaceres de la docencia e investigación en la Ingeniería Química nacional, tarea que seguirá llevando a cabo con firmeza y dedicación.

Dr. Juan Gabriel Segovia Hernández
Presidente de la AMIDIQ

Dr. Adrián Bonilla Petriciolet
Presidente del Comité Organizador

CONSEJO DIRECTIVO 2013 - 2015

Dr. Juan Gabriel Segovia Hernández

Universidad de Guanajuato

Presidente

g_segovia@ugto.mx

Dr. Alfonso Mauricio Sales Cruz

Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa

Vice – Presidente

asales@correo.cua.uam.mx

Dra. María del Rosario Enríquez Rosado

Universidad del Mar

Secretaría

r.enriquez4@gmail.com

Dr. Miguel Ángel Morales Cabrera

Universidad Veracruzana

Tesorero

migmorales@uv.mx

Dra. Nelly Ramírez Corona

Universidad de las Américas Puebla

Vocal de Docencia

nelly.ramirez@udlap.mx

Dr. Jorge Ramón Robledo Ortiz

Universidad de Guadalajara

Vocal de Investigación

jorge.robledo@cucei.udg.mx

**COMITÉ ORGANIZADOR
AMIDIQ 2015**

Dr. Adrián Bonilla Petriciolet
Dra. Didilia I. Mendoza Castillo
Dra. Hilda Elizabeth Reynel Ávila
Dr. Ismael Alejandro Aguayo Villarreal
M.C. Jaime Moreno Pérez
M.C. Claudia Salas Aguilar
M.C. Claudia Martínez Esquivel
Ing. Jerikah Beltrán Huerta
Valeria Alejandra Hernández López

COMITÉ TÉCNICO AMIDIQ 2015

Dr. Tomás Viveros García
Presidente

Dra. Adela Irmene Ortíz López
Dr. José Javier Valencia López
Dr. Héctor Hernández Escoto
Dr. Miguel Sergio Hernández Jiménez
Dr. Jorge Ramón Robledo Ortíz
Dr. Rubén González Núñez
Dr. Marco Antonio Sánchez Castillo
Dra. Rosa María Ortiz Hernández
Dra. Susana Figueroa Gerstenmaier
Dr. Ignacio Galindo Esquivel
Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia
Dr. René Reyes Mazzoco
Dra. Irene Cano Rodríguez

Dra. María Guadalupe de la Rosa
Dr. Salvador Hernández Castro
Dr. Vicente Rico Ramírez
Dr. Héctor Fernando Puebla Núñez
Dr. Arturo Jiménez Gutiérrez
Dr. José María Ponce Ortega
Dr. Agustín Jaime Castro Montoya
Dr. Enrique Palou García
Dra. María Elena Sosa Morales
Dr. Enrique Arreola Guevara
Dr. Francisco Valdez Parada
Dr. Agustín Ramón Uribe Ramírez
Dr. Alberto F. Aguilera Alvarado

COMITÉ REVISOR AMIDIQ 2015

Abel Zúñiga Moreno
Addí Rhode Navarro Cruz
Adela Irmene Ortiz López
Adrián Bonilla Petriciolet
Agustín Jaime Castro Montoya
Agustín R. Uribe Ramírez
Aída Alejandra Pérez Fonseca
Alberto F. Aguilera Alvarado
Alejandro Ruiz Marín
Alicia Román Martínez
Álvaro Raúl Lara Rodríguez
Ana Lilia Maldonado Arellano
Ángel Castro Agüero
Angélica Román Guerrero
Antonio Flores Tlacuáhuac
Antonio Rodríguez Martínez
Araceli Jacobo Azuara
Armando Ramírez Serrano
Arodí Bernal Martínez
Arturo Jiménez Gutiérrez
Arturo Morales Fuentes
Arturo Rangel Gonc
Arturo Sánchez Carmona
Ascención Romero Martínez
Aurelio López Malo
Benito Serrano Rosales
Candy Carranza Álvarez
Carlos Alfonso Sagaste Bernal
Carlos Eduardo Molina Guerrero
Carlos Gilberto Aguilar Madera
Carlos González Figueredo
Carlos O. Castillo Araiza
Cecilia Eugenia Martínez Sánchez
Christian Oliver Díaz Ovalle
Claudia Gutiérrez Antonio
Constanza Machín Ramírez
Cristina Coronado Velasco
Cristóbal Noé Aguilar González
Daniel Edén Ramírez Arreola
Denis Rodríguez
Didilia Ileana Mendoza Castillo
Dolores Gabriela Martínez Vázquez
Durvel de la Cruz Romero
Edgar Moctezuma Velázquez
Edgar Omar Castrejón González
Edna Elena Suárez Patlán
Eduardo Jaime Vernon Carter
Eduardo Salvador Pérez Cisneros
Eduardo Vázquez Zamora
Efrén Aguilar Garnica
Eleazar Máximo Escamilla Silva
Elisa Cabrera Díaz
Eliseo Hernández Martínez
Eloy Conde Barajas
Emma Mani López
Enrique Arriola Guevara
Enrique de Jesús Moreno Carpintero

Enrique Michel Valdivia
Enrique Palou García
Erasmó Herman y Lara
Erika Yudit Ríos Iribe
Esther Carrillo Pérez
Eusiel Rubio Castro
Fabricio Nápoles Rivera
Fabricio Omar Barroso Muñoz
Fernando Israel Gómez Castro
Francisco Javier Cervantes Carrillo
Francisco Javier Sánchez Ruiz
Francisco José Valdés Parada
Francisco Raúl Carrillo Pedroza
Francisco Rodríguez González
Gabriel Aguirre Álvarez
Gabriel Viguera Ramírez
Gamaliel Che Galicia
Georgina Sandoval Fabián
Gerardo Odriozola
Gregorio Cadenas Pliego
Guadalupe María Guatemala Morales
Guillermo Martínez Rodríguez
Héctor A. Ruiz Leza
Héctor F. Puebla Núñez
Héctor Felipe López Isunza
Héctor Hernández Escoto
Hilda Elizabeth Reynel Ávila
Hugo Espinosa Andrews
Hugo Jiménez Islas
Hugo Joaquín Ávila Paredes
Hugo Pérez Pastenes
Ignacio Galindo Esquivel
Irene Cano Rodríguez
Irving Israel Ruiz López
Ismael Alejandro Aguayo Villarreal
Janett Betzabe González Campos
Javier Rivera De la Rosa
Jesús Alberto Ochoa Tapia
Jesús Isaac Minchaca Mojica
Jonathan Ibarra Bahena
Jorge Alberto García Fajardo
Jorge Alberto Rodríguez González
Jorge Arturo Alfaro Ayala
Jorge Ramón Robledo Ortiz
Jorge Welti Chanes
José A. Guerrero Beltrán
José Alberto Gallegos Infante
José Antonio Colín Luna
José Antonio de los Reyes Heredia
José Antonio Reyes Aguilera
José Antonio Rodríguez de la Garza
José Carlos Cárdenas Guerra
José Enrique Botello Álvarez
José Enrique González Ramírez
José Enrique Jaime Leal
José Escobar Aguilar
José Francisco Barrera Pichardo

José Humberto Jacobo Escobar
José Javier Valencia López
José Lemus Ruiz
José Luis Contreras Larios
José Luis Rico Cerda
José María Ponce Ortega
José Roberto Hernández Barajas
Josefina Vergara Sánchez
Juan Antonio Noriega Rodríguez
Juan Carlos García Castrejón
Juan Carlos Tapia Picazo
Juan Gabriel Segovia Hernández
Juan José Ambríz García
Juan Manuel Zamora Mata
Judith Esmeralda Urías Silvas
Julio César Sacramento Rivero
Karla Mayolo Deloisa
Keiko Shirai Matsumoto
Lada Domratcheva Lvova
Laura Patricia Martínez Padilla
Leandro García González
Leopoldo Javier Ríos González
Lilia Castillo Huerta
Lilia Leticia Méndez Lagunas
Linda Victoria González Gutiérrez
Lorena Farías Cepeda
Lorenzo Antonio Picos Corrales
Luis Arturo Bello Pérez
Luis G. Zarate López
Luis Ignacio Salcedo Estrada
Ma. Elena Calixto Olalde
Ma. Guadalupe Alejo González
Ma. Luisa Martínez López
Marco Antonio Rito Palomares
Marco Antonio Sánchez Castillo
Marcos Delgado Ríos
Margarita M. González Brambila
María Aurora Martínez Trujillo
María Concepción Barrera Domínguez
María del Rosario Enríquez Rosado
María Elena Sosa Morales
María Eugenia Bárcenas Pozos
María Guadalupe Aguilar Uscanga
María Guadalupe Cárdenas Galindo
María Guadalupe de la Rosa Álvarez
María Teresa Jiménez Munguía
Mario Alberto Sánchez Camarena
Mario Alejandro Gómez Jiménez
Mario Edgar Cordero Sánchez
Mario Gonzalo Vizcarra Mendoza
Martha Leticia Hernández Pichardo
Martín Picón Núñez
Miguel Aguilar Cortés
Miguel Ángel Hernández Galván
Miguel Ángel Morales Cabrera
Miguel Ángel Valenzuela Zapata
Miguel Sergio Hernández Jiménez

Miguel Vicente Teco Jácome
Milton Oswaldo Vázquez Lepe
Myrna H. Matus
Nancy Medina Herrera
Nancy Verónica Pérez Aguilar
Nelly Flores Ramírez
Nelly Ramírez Corona
Noé Aguilar Rivera
Norma Aurea Rangel Vázquez
Obdulia Vera López
Osbaldo Hernández Guevara
Oscar Velázquez Camilo
Paola Elizabeth Díaz Flores
Pedro Alberto Quintana Hernández
Pedro Martín Mondragón Cortez
Pedro Ortega Gudiño
Rafael Eustaquio
Rafael Huirache Acuña

Ramiro Rico Martínez
Raúl Ávila Sosa Sánchez
Raúl González García
René Reyes Mazzoco
Reyna Natividad Rangel
Ricardo Morales Rodríguez
Richart Vázquez Román
Roberto Briones Gallardo
Roberto Contreras Bustos
Rodolfo Reyna Velarde
Rogelio Hernández Suárez
Rosa Idalia Narro Céspedes
Rosa Isela Corona González
Rosa María Ortiz Hernández
Rubén González Núñez
Rubí Romero Romero
Salomón Ramiro Vásquez García
Salvador Hernández Castro

Sandra Elizabeth Cervantes Niño
Sara Núñez Correa
Sergio Aarón Jiménez Lam
Sergio Alejandro Martínez Delgadillo
Silvia Yudith Martínez Amador
Susana Figueroa Gerstenmaier
Teófilo Escoto García
Tomás Viveros García
Ulises Páramo García
Valaur Ekbalam Márquez Baños
Vicente Rico Ramírez
Víctor Hugo García Sánchez
Yadira Karina Reyes Acosta
Yolanda Cocotle Ronzón
Yuridiana Rocío Galindo Luna
Zeferino Gamiño Arroyo

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES GENERADOS EN CD. JUÁREZ CHIH. PARA DEFINIR SU POSIBLE REAPROVECHAMIENTO COMO COMBUSTIBLES ALTERNOS

*Luis Armando Lozoya Márquez^a, Ana Cristina García Vásquez^a, Damaris Acosta Slane^a, Guillermo González Sánchez^a,
Eduardo Florencio Herrera Peraza^a*

^a Departamento de Medio Ambiente y Energía. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (Centro CONACYT), Miguel de Cervantes No. 120, Chihuahua, Chih. 31109, México, Correos de contacto: luis.lozoya@cimav.edu.mx.

Resumen

En un manejo ambiental de los residuos se privilegian las acciones de prevención y valorización de los residuos sobre el confinamiento de los mismos, en ese sentido durante el 2014 se desarrolló una propuesta de innovación por parte de la empresa cementera de la zona, mediante la cual se busca realizar la reutilización de los residuos sólidos urbanos incorporándola a su proceso de producción por medio del cual se realizaría la recuperación del valor energético de estos materiales para la producción de cementos. Para dar respuesta a la demanda de información relacionada con este proyecto, en torno a la generación y manejo de residuos en la Ciudad Juárez y el cómo afectaría esto al proyecto, se inició con una recopilación y generación extensiva de datos con respecto al sistema general de gestión de los residuos sólidos. A través de este estudio se logró conocer una primera fase de la información relacionada con la disposición y gestión municipal de los residuos sólidos urbanos permitiendo establecer la situación actual sobre las condiciones generales de los sistemas de manejo y las características principales de los residuos sólidos con el fin de utilizarlos como un combustible alternativo en la planta cementera.

Introducción

Ciudad Juárez es una población fronteriza del estado de Chihuahua caracterizada por la presencia de una gran cantidad de empresas maquiladoras y por lo tanto con una constante oferta de mano de obra, que apoyadas de aspectos sociales como son la migración en sus diferentes vertientes, ha originado un crecimiento demográfico importante y prácticamente continuo, que solo se ha limitado un poco estos últimos años por factores como el efecto local de la crisis económica de Estados Unidos o el retorno de inmigrantes a sus lugares de origen a causa de la inseguridad. No obstante, no es de extrañarse que el municipio de Juárez sea uno de los cinco más poblados en México, representando el 1.96% de la población estatal, y con una de las actividades fronterizas más importantes en el país [1 y 4].

Sin embargo, atender a tal concentración de la población ha representado problemáticas y retos importantes en materia de la prestación de los servicios públicos por parte de las autoridades, en particular en lo relativo a la generación, recolección, transporte y disposición final de los distintos tipos de residuos sólidos generados en el sector domiciliar; esto sin tomar en cuenta que la actividad socioeconómica imperante en la zona, la manufacturera (ó maquiladora), agrega características especiales a la gestión de los materiales residuales producidos por la ciudad. Esta situación ha implicado la permanente generación de opciones y alternativas viables para poder brindar un manejo de estos residuos, así como el necesario control y regulación de las mismas por parte de la autoridad competente.

En relación a esto desde hace unos años, alrededor del mundo, se están valorizando algunos tipos de residuos sólidos y líquidos siendo una de las alternativas válidas a considerarse la recuperación energética por medio de su uso como combustibles alternos en los hornos de las plantas cementeras [7].

Este impulso se ha fomentado por múltiples beneficios recibidos que han clasificado a estas industrias como las idóneas para el tratamiento de residuos, destacando entre estos beneficios: (1) la garantía de la

completa destrucción de los residuos (a una temperatura arriba de los 1200°C y con emisiones reducidas debido a los sistemas de control de esta industria), ahorro de combustibles tradicionales que normalmente son materias no renovables y, finalmente pero no menos importante, la contribución de una opción más a la gestión de residuos en el área de influencia de la cementera [3].

En México esta tendencia no ha sido inexistente y, según datos de los años 90, de las 29 plantas cementeras en ese entonces existentes en el país, 21 ya contaban con permisos provisionales y autorizaciones temporales para quemar residuos en sus hornos de cemento [7]. De modo que desde hace un poco más de diez años ya se tiene participación y experiencia práctica en el uso de residuos no reaprovechables como combustibles, habiendo probado principalmente con llantas, residuos industriales e inclusive con residuos peligrosos y/o sanitarios. No es menospreciada la experiencia de la empresa cementera local en Cd. Juárez que, a pesar de una fuerte oposición inicial por parte de organizaciones ambientalistas, desde el 2004 aminoro en gran medida con el grave problema de las más de 5 millones de llantas almacenadas en el centro de acopio municipal, no habiendo podido ofrecer el gobierno alguna otra alternativa definitiva que pudiera remediar ó simplemente reducir el problema [5 y 7].

En Ciudad Juárez se estima una generación de alrededor de 1 065.7 ton./día de residuos sólidos por parte del sector domiciliario [5], mientras que en el relleno sanitario privado (de la empresa GEN/PASA) se depositan alrededor de 1,500 ton./día [1]. Prácticamente el total de este tonelaje se dispone bajo este tratamiento tradicional de manejo de los residuos. Esta situación ha consumido ya la primera celda del relleno sanitario municipal (de 31.7 has) en 14 años de funcionamiento y permanecen activas su segunda celda (de 31.7 has) así como el relleno de PASA (que solo recibe residuos de privados) [5]. No existen otras alternativas que disminuyan la generación creciente o que reincorporen la cantidad suficiente de residuos al proceso productivo como materiales con el fin de aminorar ese ritmo de “consumo de terreno” por lo que a la larga solo se opta por abrir otros sitios de disposición final que aunque son adecuados no dejan de ser la alternativa menos buscada en el manejo ambiental de los recursos.

Es en este sentido que se plantea el posible uso de los residuos sólidos como combustibles alternos, bajo el antecedente de la experiencia exitosa en cuanto al problema de las llantas, la creciente demanda de soluciones ante el relleno sanitario como única alternativa. Así siendo un aspecto que merece especial atención en el análisis del reaprovechamiento de los residuos sólidos municipales (RSM) como combustibles alternos es la composición que presenta la basura y aspectos relacionados con su manejo.

Se destaca que en Cd. Juárez, el manejo de los residuos sólidos se encuentra dividido entre empresas privadas con una concesión (en este caso PASA de GEN) y gobierno municipal, encargándose cada uno de diferentes etapas del manejo con un nivel favorable de competencia técnica e infraestructura relacionada [1]. Aunado a esto, el hecho de ser frontera plantea características especiales de beneficio a la actividad ambiental, como son la estrecha relación y asesoría técnica de organismos internacionales especializados (como son la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza - COCEF) así como el acceso a apoyos económicos y estímulos que han favorecido la generación de empresas relacionadas con el manejo (municipio tiene registrados y controlados un poco mas de 100 empresas que realizan el acopio, separación y tratamiento de los residuos) [2].

El reaprovechamiento de los residuos, quizás si no es el ideal, esta mucho mas cercano que en el resto de nuestras poblaciones mexicanas. En este caso la industria cementera busca ocupar un papel de suma importancia en el aprovechamiento de los RSM “sobrantes” (que actualmente no tienen aprovechamiento alguno) como combustibles alternos a su proceso, basados en características como su poder calórico y su disponibilidad, volviéndose así en el proceso de fabricación para el cemento una fuente alterna de combustible y por lo tanto una forma de tratamiento y disposición final de los residuos, que en otros países ha resultado económicamente y ambientalmente rentable [3].

Metodología

Buscando establecer el actual modelo de gestión de los residuos sólidos municipales y así conocer el impacto que tendría; para la realización de este trabajo se llevó a cabo la aplicación de tres instrumentos para captación de información: (1) encuestas hacia la población, (2) entrevistas hacia los principales encargados de los departamentos de limpia y ecología urbana municipales, (3) revisión de artículos de prensa y documentos relacionados con el manejo de los residuos sólidos en Cd. Juárez y (4) la constitución de información para la caracterización de los residuos, tarea que incluyó el acopio de información la recopilación de datos sobre la recolección por parte de empresas privadas y un estudio de segregación y determinación de las categorías de posibles subproductos conforme distribución porcentual en el relleno sanitario. Con el objetivo de validar la información obtenida, y sobre todo de captar la opinión de la población de una manera directa sin intermediarios se decidió el realizar la aplicación de encuestas a la población. Las encuestas, estuvieron basadas en las utilizadas en estudio realizado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA). Esta encuesta conto con 4 secciones (asociadas a “Servicio de recolección y descarga de residuos”, “Prácticas de reutilización y reciclado”, “Aspectos económicos relacionados con el manejo”, “Percepción de la limpieza en la ciudad”) y un total de 65 preguntas de opción múltiple. La aplicación de las encuestas se realizó de persona a persona de manera aleatoria eligiendo puntos estratégicos de diferentes estratos socioeconómicos. Las entrevistas hacia el personal encargado en municipio se basaron en las diferentes guías que desarrollo la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GIZ) en conjunto con la SEMARNAT. Estas abarcaban aspectos fundamentales de la gestión de residuos sólidos como organización, condiciones financieras, planeación, infraestructura y personal. En cuanto a la recopilación de artículos de prensa y documentos publicados, simplemente se realizó una búsqueda extensiva a través de los periódicos a los que se tuvo acceso, internet así como tesis y trabajos relacionados. Añadiéndole a esto, con la finalidad de tener una idea del tipo de residuos reaprovechables para este proceso en específico (como combustibles) durante cuatro días se realizó un muestreo físico sobre el sobrante final de las dos bandas separadoras que tiene en funcionamiento la empresa “Best Way”.en el relleno sanitario que maneja el municipio de Cd Juárez.

Resultados

Con la información generada en conjunto se logró conocer un panorama más completo de la generación, manejo y disposición de los residuos sólidos urbanos. Las limitaciones, tanto técnicas como económicas para lograr complementar solución a la problemática de los residuos sólidos urbanos, pueden ser superadas si se hacen las gestiones correspondientes entre los involucrados con la generación, manejo y disposición de los residuos generados (consumidores, empresas generadoras y gobierno). En cuando a las entrevistas, el análisis de artículos de prensa y de documentos técnicos relacionados se logró establecer el manejo de los residuos, con los alcances, limitaciones y principales problemáticas asociadas. Los resultados generales indican que por parte de la población juareense el manejo de los residuos sólidos conlleva aspectos positivos y que se está inmerso en un cambio para la adopción de nuevas tecnologías. Se lograron aplicar un total de 164 encuestas completas, obteniéndose información importante sobre la percepción que la población tiene del manejo, que tanto municipio como la empresa PASA, hace de los residuos sólidos generados. De igual forma, la entrevista realizada a los manejadores por parte de municipio genero datos que contribuyeron a establecer las opciones con respecto a las prácticas de manejo que la población lleva a cabo (reciclaje, separación, venta y acopio de materiales).

Como principales resultados de la encuesta y la entrevista se encontró que las prácticas de almacenamiento son enteramente diseñadas por los usuarios y generadores del sistema de limpia existiendo una clara prevalencia de las bolsas de supermercado como principal contenedor. Por medio

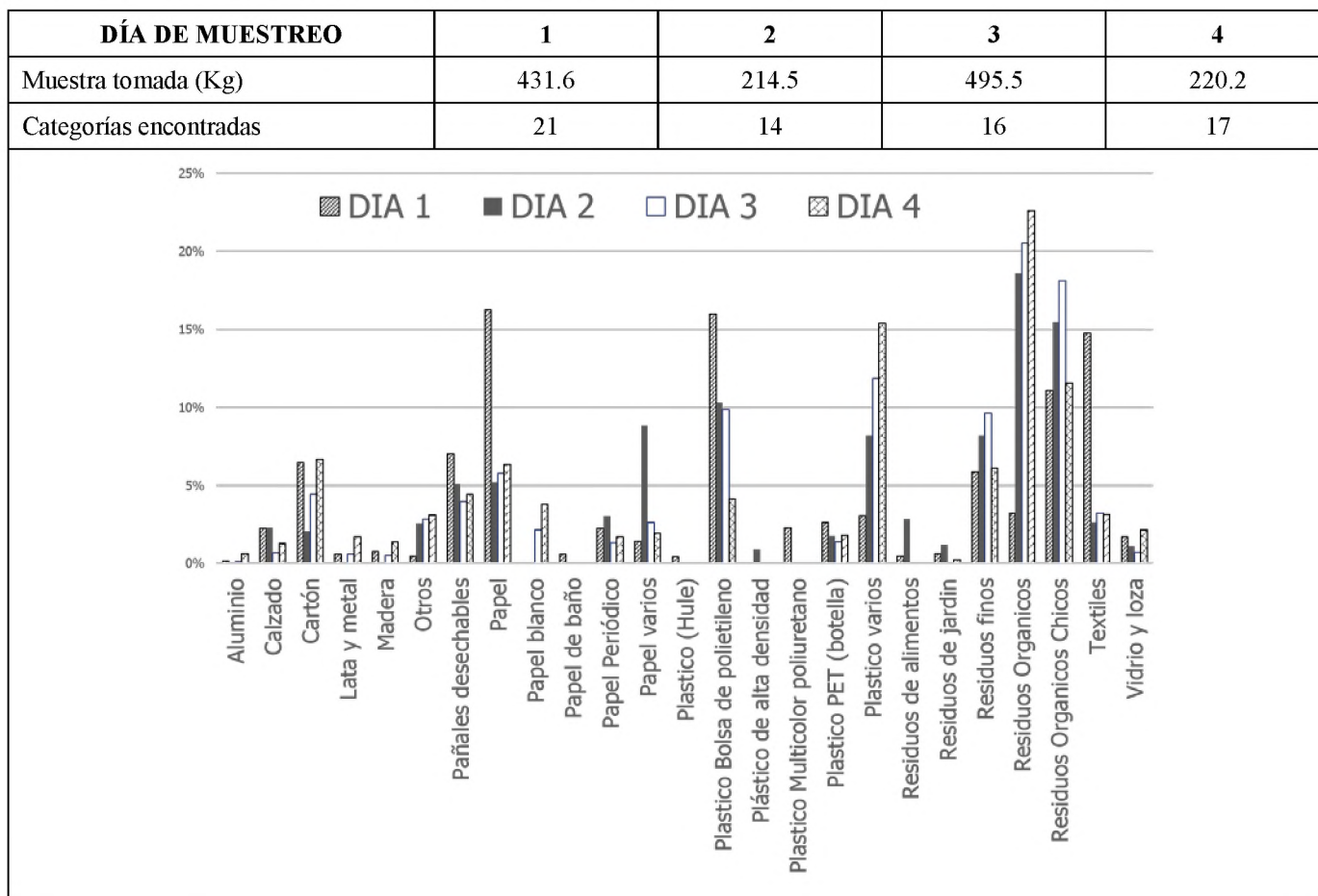
de la encuesta se validaron datos de los expresados por el municipio en la entrevista observando coincidencias en cuanto a eficiencia de recolección a juicio de los entrevistados y la frecuencia de recolección. Esta última fue la principal observación de los usuarios donde se expresaron quejas por un reciente cambio en cuanto a la disminución de la frecuencia y continuidad en la recolección, lo que demerito a que solo un 60% de la población se mostrara completamente satisfecha con el servicio. La reducción en dicha frecuencia estuvo basada en un estudio aplicado por PASA y supervisado por municipio donde se demostraba la posibilidad técnica y sanitaria de la reducción. Aunado a esta causa de inconformidad la Dirección de Limpia manifiesta que debido a que desde hace una década imperan condiciones extremas de inseguridad como consecuencia del crimen organizado y el narcotráfico hay cierto incumplimiento de la recolección en ciertas áreas, en donde por problemas a raíz de estos problemas se han dado situaciones especiales en los cuales el personal de recolección no acude.

Se observó que con el otorgamiento de la concesión (en el 2008, aprox.), los sistemas de transferencia de residuos fueron clausurados puesto que resultaban inviables a juicio de la empresa ganadora de la licitación (PASA). Por esta situación la recolección de los residuos se hace solo en los camiones recolectores de la empresa a pesar de que la literatura técnica relacionada recomienda lo contrario con el fin de abaratar costos. La concesión vino a solucionar muchos de los problemas ocasionados por la falta de presupuesto como la fuga de capital y la necesidad en la compra de unidades y equipos que ya se encontraban obsoletos. Dirección de Limpia misma señala que sin la concesión los sistemas son inviables al menos en el aspecto económico (como lo comprobó en esta administración cuando se ceso la concesión del barrido, que ahora quiere volver a establecer).

En cuanto a los tratamientos presentes por medio de la encuesta a la población se detectó que una gran parte de la gente manifiesta tratar de disminuir el impacto de sus residuos de alguna forma, mientras que solo un 42,9 % de los encuestados manifestó no realizar actividad alguna para ya sea rehusar los materiales producidos (con potencial para lo mismo), reducir su tamaño y/o modificar la naturaleza por medio de composteo en casa u otro tratamiento. Con base a toda la información recopilada se detectó que los tratamientos por parte del sector privado incluyeron la elaboración de composta, la separación de residuos por medio de una planta separadora (Best Way), la extracción de biogás con quema de metano en el relleno sanitario y la recolecta diferenciada de residuos en los comercios e industrias con fines de reaprovechamiento. Posteriormente se comprobó que el tratamiento de composteo fracaso, originando inclusive problemas de contaminación por el mal manejo de los residuos debido a la falta de posicionamiento para venta de su producto, lo que suscito su clausura a pesar de una cuantiosa inversión inicial. No se tuvo un acceso directo a la empresa de Biogás, sin embargo se obtuvo información que la misma aún está en funcionamiento y que se encuentra en su segunda etapa de funcionamiento donde pretende generar alrededor de 3.5 megawatts. El proceso de segregación resulto el más exitoso de los observados realizando una operación de recuperación por medio de bandas en las cuales se realiza la separación para el reaprovechamiento de los diversos residuos de modo que al final del proceso, los materiales aun presentes poseen poco ó ningún valor como material de acopio. A pesar del buen funcionamiento de la planta se tienen registros de que diariamente llegan a ella un promedio de 500 toneladas diarias y solo se logran separar 32 toneladas diarias (un 6.4% a un 3% contra un 40% de lo que se había proyectado). En cuanto a la recolección especializada por parte de privados se vio que existen un total de 100 empresas que recolectan 27 categorías de residuos; que incluyen aceite vegetal, alimentos (organicos), sebo y grasa, cartón, cartuchos y/o toners, basura electrónica, escombros, plásticos diversos, metales, madera, papel, basura industrial (mezclada y asimilable a la urbana) y el conocido como “scrap” que también son residuos mezclados de los procesos de producción pero que aún tiene un valor monetario directo.

En cuanto a la caracterización de los residuos realizada sobre el flujo de residuos saliente del proceso de separación de la empresa de segregación este se realizó los días del 05 al 11 de octubre de 2014, se llevó a cabo el muestreo en el relleno sanitario. Dicha comisión tuvo por objeto obtener información sobre las categorías presentes y su contribución porcentual a la masa total. Obteniendo información valiosa sobre su estado y la presencia de las diferentes categorías sujetas a algún reaprovechamiento la cual se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de las categorías de subproductos presentes en la caracterización sobre la masa residual que sale directamente de las planta de separación del relleno sanitario



Conclusiones

Como conclusión principal se determinó que el actual manejo de los residuos sólidos del sector domiciliario es deficiente en el proceso de separación de los residuos (al recuperar solo un 6% de los mismos con respecto a su producción total), mientras que en los residuos generados por la industria aún falta mucho por hacer en la reutilización de los residuos. Lo cual representa una importante oportunidad de que una nueva opción, como lo es el reaprovechamiento de esa fracción de los residuos como combustible alternativo en los hornos cementeros sea factible y realmente disminuya su impacto.

En cuanto a las observaciones del muestreo se logró determinar que los materiales aun presentes al final del ciclo de selección y recuperación poseen poco ó ningún valor como material de acopio, la mayoría se encuentra muy mezclados y contaminados lo cual también aminora su reaprovechamiento calorífico. Es necesario evaluar estos residuos desde el punto de vista químico para determinar la factibilidad de uso

en los hornos cementeros. Las categorías encontradas sí bien no pudieron responder de un modo representativo al total de la generación diaria, si mostraron una tendencia constante durante los días de muestreo (con sus respectivos datos atípicos). Igualmente en el caso de las encuestas, estas no lograron la representatividad estadística deseada, estableciéndose solo como un primer sondeo de la situación actual (se tiene programado en el 2015, realizar una nueva aplicación en la segunda parte del proyecto).

En base al trabajo realizado y toda la información analizada se puede observar que en ciudad Juárez, el manejo de residuos realmente es bueno sin embargo existe una fracción importante de los residuos que no se aprovecha e impacta directamente en el espacio consumido por los sitios de disposición final. Finalmente se observa en base a lo revisado que un tratamiento por medio de hornos cementeros aportaría una solución al impacto ambiental ya que de esta forma se evitaría el uso de espacio en los rellenos sanitarios de la ciudad (ó en el peor de los casos el uso, creación y/o proliferación de otros sitios de disposición inadecuados), lo cual disminuiría a su vez las consecuencias adversas asociadas (emisiones a la atmosfera, formación de lixiviados, vectores sanitarios, malos olores, incendios incontrolados, etc.) alargando la vida útil de estas costosas instalaciones. A su vez y ya mas adentrados al proceso de elaboración de cemento, ante una buena gestión de esta opción, la implementación de un sistema tal reduciría las emisiones de los gases de efecto invernadero debido principalmente a: (1) la sustitución de combustibles fósiles por materiales residuales; (2) la disminución del proceso de descarbonatación de la caliza (materia prima necesaria para el proceso de producción de cemento), con la consecuente dióxido de carbono (CO₂), debido a que algunos residuos pueden sustituir esta piedra, (3) la utilización de los residuos sólidos en la combustión, que de otra manera hubiesen simplemente fermentado en el relleno sanitario, se evita la formación de metano, un gas de efecto invernadero que contamina 20 veces más que el CO₂ y (4) la reducción del impacto de las emisiones por el transporte de la materia prima que en el caso de Cd. Juárez desde Colorado (una distancia de 1200 km). Así mismo, siendo que en Cd. Juárez el sistema de manejo es costoso, esta nueva opción complementa las acciones de gestión de los residuos sólidos no peligrosos producidos en la zona, facilitando el reducir las inversiones necesarias al aprovechar mejor las instalaciones existentes debido a la menor cantidad de residuos manejados.

Referencias

1. Couto Ismael. "EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA FRONTERA NORTE: LOS CASOS DE JUÁREZ, REYNOSA Y TIJUANA". *Tesis de Maestría*, Colegio de la Frontera Norte. AÑO 2008
2. Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF), "PLAN MAESTRO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA". *Proyecto de cooperación*, Año 1998
3. Alfonso Aranda; Ana, López; German, Ferreira; Eva, Sastresa. "USES OF ALTERNATIVE FUELS AND RAW MATERIALS IN THE CEMENT INDUSTRY AS SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT OPTIONS". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volumen 23, Páginas 242–260, año 2013.
4. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). "II CONTEO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2010". *Página de internet* consultada el 2015-01-20 en <http://www.inegi.org.mx>, año 2005
5. Universidad Autónoma de Cd. Juárez y Gobierno del Estado de Chihuahua. "PROGRAMA ESTATAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS Y DE MANEJO ESPECIAL PARA EL ESTADO DE CHIHUAHUA (PEPGIRSUME)". *Reporte de investigación multidisciplinaria*. Año 2012
6. Couto Ismael, Hernández Alberto y Sarabia Cecilia. "LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN JUÁREZ: LECCIONES INNOVADORAS PARA OTROS MUNICIPIOS" Artículo publicado en la *Revista Pueblos y Fronteras Digital*. Volumen 7, n. 13, Págs. 178-209. Año 2012
7. Melo Marlene. "GENERACION DE CAPACIDADES TECNOLOGICAS PARA EL USO DE TECNOLOGIAS LIMPIAS EN LA INDUSTRIA CEMENTERA, CASO CEMEX GUADALAJARA". *Tesis de Maestría*, Universidad Metropolitana de Xochimilco. Año 2007

alternativa fósil, se identificó que es necesario un rendimiento de semilla de al menos 2500 kg/ha/a para lograr reducciones aceptables para los lineamientos de la EU-RED. Se debe analizar a fondo aquellas categorías de impacto (EP, HTP, FWAEP, MAEP y TEP) en las que el biocombustible presenta un mayor impacto que el diésel. Por otro lado, la electricidad generada presenta un peor desempeño que la generada en Yucatán en las categorías de impacto analizadas. El vapor generado durante la combustión de biomasa residual puede resultar en una fuente de emisión o una fuente de energía térmica dependiendo de su uso. El trabajo futuro consta del análisis de otras formas de aprovechamiento de la biomasa residual, así como la evaluación de otras dimensiones de la sostenibilidad del sistema.

Referencias

1. A. Tikoo, S. S. Yadav and N. Kaushik, "Effect of irrigation, nitrogen and potassium on seed yield and oil content of *Jatropha curcas* in coarse textured soils of northwest india", *Soil Tillage Res*, Vol. 134, p. 142-146, 2013.
2. R. C. Pradhan, S. Mishra, S. N. Naik, N. Bhatnagar and V. K. Vijay, "Oil expression from *Jatropha* seeds using a screw press expeller", *Biosystems Engineering*, Vol. 109, No. 2, p. 158-166, 2011.
3. K. Hayakawa, "A method for calculating the ratio of each possible type of triglyceride in natural fat", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 44, No. 6, p. 354-356, 1967.
4. R. VanderWal, "Molecular dynamics and glyceride structure", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 40, No. 6, p. 256-256, 1963.
5. I. A. Wolff, "Seed lipids", *Science*, Vol. 154, No. 3753, p. 1140-1149, 1966.
6. P. Chitra, P. Venkatachalam and A. Sampathrajan, "Optimisation of experimental conditions for biodiesel production from alkali-catalysed transesterification of *Jatropha curcas* oil", *Energy for Sustainable Development*, Vol. 9, No. 3, p. 13-18, 2005.
7. P. Narvaez, S. Rincon and F. Sanchez, "Kinetics of palm oil methanolysis" *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 84, No. 10, p. 971-977, 2007.
8. G. Santori, G. Di Nicola, M. Moglie and F. Polonara, "A review analyzing the industrial biodiesel production practice starting from vegetable oil refining", *Applied Energy*, Vol. 92, p. 109-132, 2012.
9. J. M. Smith, H. C. Van Ness and M. M. Abbott, "Producción de Energía a partir de calor". *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química*, Vol. 5, p. 305-319, 1997.
10. AspenTech, "Getting started modeling processes with solids", p. 1-105, 2004.
11. M. J. De Kam, R. V. Morey and D. G. Tiffany, "Integrating biomass to produce heat and power at ethanol plants", *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 25, No. 2, p. 227-244, 2009.
12. S. Maiti, P. Bapat, P. Das and P. K. Ghosh, "Feasibility study of *Jatropha* shell gasification for captive power generation in biodiesel production process from whole dry fruits", *Fuel*, Vol. 121, p. 126-132, 2014.
13. S. A. Jourabchi, S. Gan and H. K. Ng, "Pyrolysis of *Jatropha curcas* pressed cake for bio-oil production in a fixed-bed system", *Energy Conversion and Management*, Vol. 78, p. 518-526, 2014.
14. R. Manurung, D. A. Z. Wever, J. Wildschut, R. H. Venderbosch, H. Hidayat, J. E. G. van Dam, E. J. Leijenhorst, A. A. Broekhuis and H. J. Heeres. "Valorisation of *Jatropha curcas* L. plant parts: Nut shell conversion to fast pyrolysis oil", *Food and Bioproducts Processing*, Vol. 87, No. 3, p. 187-196, 2009.
15. N. Contran, L. Chessa, M. Lubino, D. Bellavite, P. P. Roggero and G. Enne, "State-of-the-art of the *Jatropha curcas* productive chain: From sowing to biodiesel and by-products", *Industrial Crops and Products*, Vol. 42, pp. 202-215, 2013.
16. RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials), "GHG calculation methodology", p. 1-109, 2011.
17. EU-RED (European Union – Renewable Energy Directive), "On the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing directives 2001/77/EC and 2003/30/EC", p. 1-47, 2009.

VALORIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE RESIDUOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS PROVENIENTES DE PROCESOS INDUSTRIALES Y COMERCIALES DE CD. JUÁREZ CHIHUAHUA COMO COMBUSTIBLES ALTERNOS EN PLANTAS CEMENTERAS

Victor Hugo Gutiérrez Ruiz^a, María Lourdes Ballinas Casarubias^a, Damaris Acosta Slane^b, Ana Cristina García Vasques^b, Guillermo González Sánchez^b, Luis Armando Lozoya Márquez^b, Eduardo Florencio Herrera Peraza^b ^a Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Circuito Universitario s/n, Campus Universitario No. 2, C.P. 31125, Chihuahua, Chih., México. Correos de contacto: luis.lozoya@cimav.edu.mx, a245369@uach.mx ^b Departamento de Energías Renovables y Protección al Medio Ambiente. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (Centro CONACYT), Miguel de Cervantes No. 120, Chihuahua, Chih. 31109, México

Resumen.

En este trabajo se realizó la caracterización fisicoquímica de residuos sólidos no peligrosos (RSNP) producidos en la industria y comercio de Cd. Juárez, Chihuahua, México. Las diferentes fracciones de residuos pretenden sustituir, en una primera etapa de manera parcial, tanto al coque como al carbón actualmente usado en las calderas del proceso industrial de la elaboración del cemento. Con toda la información obtenida se compararon las diferentes fracciones con el fin de hacer una mezcla y crear un combustible de mayor rendimiento, esto basados principalmente en su calor específico, así como en las restricciones posibles y las limitaciones del proceso del horno cementero (como contenido de metales, contenido de azufre y cloro, principalmente). Para caracterizar los residuos, se utilizaron diferentes pruebas analíticas (espectrofotometría de infrarrojo de transformada de Fourier, Análisis elemental, espectrofotometría de absorción atómica, calorimetría y determinación de humedad-cenizas) con el fin de identificar la naturaleza química y conocer la factibilidad de uso de cada uno de los componentes encontrados en los residuos sólidos de estas fuentes, que además no tienen otro reaprovechamiento posible (como reciclaje, composteo, etc.) y pueden resultar combustibles alternos potenciales.

Introducción.

La industria cementera se caracteriza tradicionalmente como un consumidor intensivo de materias primas naturales y de combustibles fósiles. Desde el punto de vista del gasto de energía, es uno de los consumidores más grandes en el mundo. Los datos publicados revelan que el subsector cementero representa aproximadamente del 10% al 15% del uso de energía industrial total en todo el mundo [1]. Según datos de la misma empresa cementera local en Cd. Juárez, se estima que su proceso usa el equivalente a la mitad de energía que la misma ciudad consume [2], siendo esta la ciudad más grande del estado con 1,321,004 habitantes y con un carácter potencialmente en industria maquiladora [3]. El principal impacto del sistema de producción de cemento es la liberación al medio ambiente de contaminantes, que es entre 60 y 130 kg por tonelada de cemento fabricado [1], y siendo la producción mundial de 3,736,080 millones de toneladas [4] resulta verdaderamente inquietante su posición como contribuidor a la contaminación mundial.

Cabe señalar, sin embargo, que con las últimas mejoras en la eficiencia energética y los combustibles y materiales alternativos en los últimos años, su potencial contaminante se redujo hasta un 5% en el todo el mundo [1]. Con este fin, el sector del cemento se centra actualmente en la diversificación de las fuentes de energía, especialmente las utilizadas en el tratamiento de residuos, y potencialmente en el uso de los residuos sólidos de otras industrias como combustibles alternativos ricos en energía. Una de las mejores tecnologías en favor de

su reutilización es como combustible suplementario en hornos de cemento; que de lo contrario irían a parar en rellenos sanitarios (en el mejor de los casos) habiendo un beneficio en la destrucción de estos desechos, mientras que genera energía a partir de ellos. Algunas opciones que se consideran incluso incluyen el uso de materiales de desecho como sustitutos de materias primas en el clinker y el proceso de fabricación de cemento, que proporciona un importante ahorro en los términos de los recursos naturales, por ejemplo, hasta un 38% de sustitución de la piedra caliza o el 72% de sustitución de arcilla. [1]

Dentro de los combustibles alternativos obtenidos de los residuos sólidos urbanos (RSU), deben ser examinados teniendo en cuenta las siguientes propiedades: Estado físico del combustible, Toxicidad (compuestos orgánicos, metales pesados) Composición en elementos problemáticos para la corrosión y escorificación (Na, K, Cl, S) y contenido de cenizas, contenido de volátiles y poder calorífico, principalmente. Se debe tener en cuenta la calidad química del combustible de acuerdo a los estándares Europeos y los criterios EURITS para la protección del medio ambiente. Además, el poder calorífico debe ser estable para tener un adecuado control del suministro de energía al horno. El objetivo es mantener una composición homogénea y un tamaño de partícula que permita un transporte estable y un flujo constante en la planta de cemento. La Asociación Europea responsable de la Incineración y el Tratamiento de Residuos Especiales (EURITS), ha publicado criterios para la co-incineración de residuos en plantas cementeras como combustible alternativo [5]; los cuales fueron considerados en el presente trabajo. Por tanto, en el presente trabajo se pretenden evaluar y contrastar la capacidad calorífica y contenido de especies químicas para el posible uso de diferentes fracciones de RSU como combustible alterno en la Industria cementera.

Materiales y Métodos.

Se recolectaron muestras de residuos provenientes de industrias de Ciudad Juárez las cuales fueron proporcionadas por una empresa encargada de separar las que pueden ser reutilizadas y tienen mercado, los principales criterios de selección utilizados fueron (1) la carencia de mercado y de otras alternativas de reciclaje-reuso de los materiales; y (2) un análisis previo de la literatura sobre su poder calorífico, contenido de humedad-cenizas y contenido de azufre-cloro; de modo que las muestras a analizar y que nos fueron proporcionadas iban a parar a los rellenos sanitarios,. Estas se disminuyeron en tamaño hasta un fragmento que permitiera su análisis y se sometieron a los análisis propuestos. El trabajo se llevó a cabo sobre cerca de 60 muestras diferentes (principalmente diferentes plásticos). La caracterización fisicoquímica de los RSNP recolectados se llevó a cabo siguiendo como base las normas/procedimientos y equipos siguientes: la NMX-AA-033-1985 y la ASTM D 5468 (calorimetría) utilizando un calorímetro de bomba de chaqueta sencilla (Parr 1341); el EPA 7000 (metales) utilizando un equipo de absorción atómica y generación de hidruros (GBC AVANTA SIGMA); análisis de porcentaje en peso de CHONS (carbono, hidrogeno, nitrógeno, oxígeno y azufre) utilizando un Analizador elemental CHNS-O (CE Instruments EA 1110) e identificación de los materiales por espectroscopia de infrarrojo por una analizador de IR gases.

Análisis Elemental. Los C, H, O, N, S, se midieron a través de un analizador elemental (CE Instruments, CHNS-O Modelo EA-1110 Thermo Electron) de acuerdo con el siguiente procedimiento: 1-6 mg de muestra secas y molidas se colocaron en cápsulas de estaño durante el análisis C, N, H, S, y en capsulas de plata durante el análisis de O. La temperatura de la cámara de reacción se mantuvo a 1000 °C, el flujo de helio se mantuvo a 120 ml/min y la

inyección de oxígeno duraba 60 s. 1 Aproximadamente 10 mg de V_2O_5 se mezclaron con cada muestra en una capsula de estaño para ayudar en la determinación de S. La temperatura del horno se mantuvo constante a 60 °C. C, N, H, S, fueron cuantificados en forma de CO_2 , N_2 , H_2O , SO_2 , respectivamente, utilizando un detector de conductividad térmica.

Índice de Refracción (IR). El equipo empleado fue un espectrómetro de infrarrojo marca Perkin Elmer, modelo Spectrum GX FTIR System. El espectro se obtuvo por reflectancia con ayuda de un accesorio de ATR marca Smiths modelo Durasampl IR II con ventana de diamante de un paso. Las muestras se colocaron directamente sobre la superficie de la ventana de diamante del ATR.

Determinación de Cloruros. Para determinar el porcentaje de NaCl que contiene cada muestra se realizó una titulación argentométrica por precipitación mediante el método directo de Mohr

Análisis Calorífico. El valor calorífico se midió a través de una bomba calorimétrica de chaqueta sencilla proporcionado por un Parr (Modelo y Marca). La muestra seca y molida (0.6 – 1g) se colocó en una capsula metálica que se coloca en la bomba de acero inoxidable. Después de la ignición, los registros de temperatura se realizaron cada 15 s, variando hasta llegar a una temperatura casi estable, donde se registraron temperaturas durante 5 min para establecer una tasa de cambio de temperatura constante final. La cantidad de N formado como NO_x durante la combustión se cuantificó a través de la titulación de los fluidos de agua, contenida en la bomba, con Na_2CO_3 . La producción de energía de la formación de NO_x se restó del contenido total de energía de acuerdo con la fórmula mencionada en el Parr (2011). También se calculó el valor calorífico del alambre quemado después de la ignición y se resta del valor calorífico total.

Determinación de Metales. La concentración de Pb, Cd, Cr, Mn, Tl, Co, Sb, Cu, Ni, Hg y Se, se determinó por espectroscopia de absorción atómica de flama, Pekin Elmer. La metodología desarrollada fue de acuerdo a la sugerida por el fabricante, y utilizando los métodos estándar establecidos. Los límites de detección determinados en ppm son: Pb 0.01, Cd 0.0004, Cr 0.003, Mn 0.0015, Tl, Co 0.004, Sb 0.1, Cu 0.001, Ni 0.009, V, Hg 0.15, Se 0.13 mg/L.

Resultados y discusiones.

Con la aplicación de los diferentes análisis de Laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados: (1) Se identificó plenamente la naturaleza de los residuos recolectados, reduciendo el número de muestras por duplicidad en residuos que aparentemente eran de materiales diferentes y brindando una real correspondencia del resto de los análisis a un tipo de material en específico; (2) Se logró estimar con certeza los residuos sólidos no peligrosos de mayor poder calorífico relacionándolos con su contenido de humedad y cenizas (material no combustible) para definir aquellos residuos con mayor potencial como combustible alternos, destacando de entre todos estos los plásticos (y sobre estos materiales como el polietileno de alta densidad, el polipropileno, los poliuretanos entre otros plásticos rígidos y de película); (3) Los análisis elementales brindaron información valiosa de ciertos materiales con contenido de cloro y azufre principalmente (componentes químicos perjudiciales a los hornos del cemento) siendo descartados como combustibles, (4) La lectura de metales de interés para el uso especificado se logró sobre cadmio (Cd), antimonio (Sb), plomo (Pb), cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), manganeso (Mn), níquel (Ni), vanadio (V), mercurio (Hg) y talio (Tl) destacando la presencia de Sb (primordialmente) y Cu (Tablas 1-6).

Conclusiones

Se concluye principalmente lo siguiente:

- Los RSNP con mayor eficiencia para su uso como combustible y sin tener consecuencias adversas al horno o al medio ambiente se consideran óptimos para su uso, ya que son los que tienen un mayor poder calorífico y menor cantidad de metales contaminantes, estos se muestran en las tablas 5 y 6.
- Los RSNP producidos en el sector industrial y comercial de Cd. Juárez, destacando en particular los diferentes plásticos, poseen características idóneas para ser utilizados como combustibles alterno resultando muy factibles para lo mismo
- La industria cementera tiene un alto potencial para gestionarse como un sistema integrado de manejo de residuos sólidos no peligrosos en Cd. Juárez, Chihuahua

Tabla 1. Análisis Elemental y Cloro.

Clasificación ID Muestra		Identificación por índice de refracción		Análisis elemental				
		Nombre	Prob	C %	N %	H %	S %	Cl %
Unicel (PS)	1	Poliestireno	99.01%	91.184%	0.188%	7.797%	N.D.	N.D.
Poliuretano	3	Poliuretano	84.26%	84.888%	0.055%	14.593%	N.D.	N.D.
Poliéster (gris/negro)	4	Tela	91.10%	55.841%	9.264%	5.804%	N.D.	N.D.
Poliéster (blanco)	5	PET	91.81%	57.400%	5.899%	4.974%	N.D.	0.072%
Polipropileno	6	PET	96.43%	63.871%	N.D.	6.478%	N.D.	N.D.
LDPE	7	Poliétileno de baja densidad	95.19%	85.591%	0.040%	15.941%	N.D.	0.129%
Poliéster (verde)	10	Nylon	77.09%	58.365%	15.197%	9.291%	N.D.	0.115%
Poliéster	11	Tereftalato de polibutileno (PBT)	58.87%	58.409%	2.318%	4.536%	N.D.	N.D.
TPU	12	Resina de poliamida	84.31%	72.207	4.555	11.366	N.D.	N.D.
Poliéster (azul)	13	Algodón		52.823	0.240	6.415	N.D.	N.D.
PET (verde)	14	PET	89.90%	62.674	0.045	4.254	N.D.	N.D.
Polipropileno (gris metálico)	15	Polipropileno	92.28%	69.069	0.017	8.667	N.D.	N.D.
PS expandido	16	Poliétileno de baja densidad	95.95%	84.304	0.044	14.239	N.D.	0.067
Unicel	17	Poliestireno de alto impacto	98.38%	90.444	0.080	7.713	N.D.	N.D.
PS/ABS	18	Acido silicico	90.64%	0.066	0.496	1.629	N.D.	N.D.
Poliéster (negro)	19	Polipropileno	92.69%	83.084	0.039	14.098	N.D.	0.0176
Hule	20	Surfactante pinol acidificado	58.24%	51.465	0.570	5.779	N.D.	0.099
LDPE/Nylon	21	Polipropileno	94.01%	79.862	0.083	12.147	N.D.	N.D.
Cartón	22	Papel hoja de maquina celulosa	85.72%	32.443	0.241	4.337	N.D.	N.D.
Tela	23	Polyether urethane/ PPO+MBI	61.27%	54.007	2.387	6.896	N.D.	N.D.
Papel	24	Papel hoja de maquina celulosa	91.53%	36.104	0.536	5.240	N.D.	0.1149
PC (negro)	25	Resina de Policarbonato	73.74%	74.957	0.064	5.662	N.D.	N.D.
Tela	27	Pegamento rollo de terminal	74.86%	54.369	1.142	6.400	N.D.	N.D.
DD	28	Poliétileno de alta densidad	98.62%	81.113	0.076	13.856	N.D.	N.D.
PS	29	Poliestireno	99.39%	91.570	0.246	7.743	N.D.	N.D.
PET (negro)	30	Pet botella de agua	88.45%	60.852	N.D.	4.062	N.D.	N.D.
PET (gris oscuro)	31	Cinta de tela lado sin pegamento	90.53%	59.917	1.304	4.444	N.D.	N.D.
Poliéster (gris/café)	32	Pet botella de agua	94.20%	54.021	0.609	3.863	N.D.	N.D.
Polipropileno	33	Polipropileno	86.30%	84.529	6.753	13.710	N.D.	N.D.
Cartón	35	Papel hoja de maquina celulosa	93.72%	54.245	0.219	5.535	N.D.	0.091
PS	36	Polyacetato de vinilo de etileno		83.998	1.105	8.092	N.D.	N.D.
TPU	37	Almidon soluble	96.25%	41.261	1.828	6.519	N.D.	0.0088
Poliétileno (gris oscuro y claro)	38	Poliestireno de baja densidad	98.21%	79.392	3.306	13.268	N.D.	N.D.
TPU (Negro) / TPU (Blanco)	39	Pluronic	61.46%	63.876	7.012	7.626	N.D.	N.D.
Poliétileno (transparente y rojo)	40	Poliétileno de baja densidad	92.63%	84.497	0.055	14.675	N.D.	N.D.
Polipropileno (rosa claro)	41	Fleje plastico pp	96.62%	84.529	4.124	16.296	N.D.	N.D.
Poliestireno / (blanco y transparente)	42	Poliestireno de alto impacto	99.25%	88.175	3.537	7.318	N.D.	N.D.
Papel	43	Papel sanita	90.94%	43.191	0.077	6.472	N.D.	0.089
Bolsas Laminadas	44	Pet botella de agua	97.33%	79.073	0.089	12.084	N.D.	N.D.
Maniqui (muslo/amarillo)	48	Poliuretano	75.03%	65.636	6.346	7.055	N.D.	N.D.
Bolsas Laminadas	51	Poliétileno de baja densidad	97.01%	61.859	0.090	8.813	N.D.	N.D.
PET	53	Pet botella de agua		62.731	0.055	4.344	N.D.	N.D.
Manguera roja	55	Poliestireno de alta densidad	96.52%	84.899	0.054	14.639	N.D.	N.D.
Tela	56			52.922	3.100	7.383	N.D.	N.D.
Hule (gris)	56	Polyacetato de vinilo de etileno	73.33%	52.922	3.100	7.383	N.D.	N.D.
Maniqui (brazo/ negro)	57	Polyether urethane/ PPO+MBI	77.95%	64.837	5.531	7.664	N.D.	N.D.
PEBO	58	Polipropileno	84.92%	71.433	0.076	12.209	N.D.	N.D.
PVC (azul)	62	Cloruro de polivinilo	77.24%	41.698	0.059	5.460	N.D.	N.D.
Poliéster (naranja)	67	Pet botella de agua	91.19%	48.139	0.090	5.744	N.D.	N.D.
Papel	69	Papel hoja de maquina celulosa	92.68%	35.021	0.050	4.766	N.D.	N.D.
Maniqui (cabeza/amarillo claro)	70	Poliuretano espuma rigida	74.12%	65.674	6.200	7.127	N.D.	N.D.
Celofán	71	Polipropileno	94.71%	84.046	N.D.	14.423	N.D.	N.D.
LPDE	74	Fleje plastico pp	97.12%	70.176	0.222	11.648	N.D.	N.D.
Poliéster (gris)	80	Pet botella de agua	96.25%	56.162	7.766	5.657	N.D.	N.D.

Tabla 2. Análisis de Metales.

Clasificación ID Muestra	Identificación por índice de refracción		Lecturas de metales												
	Nombre	Prob	Pb	Cd	Cr	Mn	Tl	Co	Sb	Cu	Ni	V	Hg	Se	
Unicel (PS)	1	Poliestireno	99.01%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Poliuretano	3	Poliuretano	84.26%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Poliéster (gris/negro)	4	Tela	91.10%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	127.000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Poliéster (blanco)	5	PET	91.81%	N.D.	N.D.	N.D.	36.000	N.D.	N.D.	113.500	N.D.	N.D.	N.D.	0.471	
Polipropileno	6	PET	96.43%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.217	N.D.	
LDPE	7	Poliétileno de baja densidad	95.19%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Madera	8			N.D.	N.D.	N.D.	10.217	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.030	N.D.	
Poliéster (verde)	10	Nylon	77.09%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.130	N.D.	
Poliéster	11	Tereftalato de polibutileno (PBT)	58.87%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	729.545	N.D.	N.D.	0.543	N.D.	
TPU	12	Resina de poliamida	84.31%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.242	N.D.	
Poliéster (azul)	13	Algodón		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	121.000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
PET (verde)	14	PET	89.90%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	241.591	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Polipropileno (gris metálico)	15	Polipropileno	92.28%	147.381	4.048	N.D.	6.190	N.D.	N.D.	151.905	120.238	N.D.	3.052	N.D.	
PS expandido	16	Poliétileno de baja densidad	95.95%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Unicel	17	Poliestireno de alto impacto	98.38%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
PS/ABS	18	Acido silícico	90.64%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Poliéster (negro)	19	Polipropileno	92.69%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	653.500	N.D.	N.D.	17.148	N.D.	
Hule	20	Surfactante pinol acidificado	58.24%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
LDPE/Nylon	21	Polipropileno	94.01%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4.390	N.D.	
Cartón	22	Papel hoja de maquina celulosa	85.72%	N.D.	N.D.	N.D.	70.833	N.D.	N.D.	N.D.	38.542	18.542	N.D.	0.355	
Tela	23	Polyether urethane/ PPO+MBI	61.27%	117.478	N.D.	48.043	5.435	N.D.	N.D.	839.348	12.609	N.D.	7.985	N.D.	
Tela	23			117.478	N.D.	48.043	5.435	N.D.	N.D.	839.348	12.609	N.D.	7.985	N.D.	
Papel	24	Papel hoja de maquina celulosa	91.53%	N.D.	N.D.	N.D.	9.524	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
PC (negro)	25	Resina de Policarbonato	73.74%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.596	N.D.	
Tela	27	Pegamento rollo de terminal	74.86%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	187.500	N.D.	N.D.	0.025	N.D.	
DD	28	Poliétileno de alta densidad	98.62%	N.D.	N.D.	N.D.	6.190	N.D.	N.D.	112.857	N.D.	50.952	N.D.	0.663	
PS	29	Poliestireno	99.39%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	152.727	N.D.	N.D.	4.315	N.D.	
PET (negro)	30	Pet botella de agua	88.45%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	253.182	N.D.	N.D.	4.611	N.D.	
PET (gris oscuro)	31	Cinta de tela lado sin pegamento	90.53%	N.D.	N.D.	N.D.	31.087	N.D.	19.348	193.261	16.739	N.D.	1.915	N.D.	
Poliéster (gris/café)	32	Pet botella de agua	94.20%	N.D.	N.D.	N.D.	15.714	N.D.	19.048	175.476	N.D.	52.143	N.D.	0.410	
Polipropileno	33	Polipropileno	86.30%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	41.304	N.D.	0.277	
Cartón	35	Papel hoja de maquina celulosa	93.72%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
PS	36	Polyacetato de vinilo de etileno		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.951	N.D.	
TPU	37	Almidon soluble	96.25%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Poliétileno (gris oscuro y claro)	38	Poliestireno de baja densidad	98.21%	N.D.	N.D.	70.500	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	61.250	N.D.	N.D.	
TPU (Negro) / TPU (Blanco)	39	Phrionic	61.46%	N.D.	4.091	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	148.864	N.D.	N.D.	1.362	N.D.	
Poliétileno (transparente y rojo)	40	Poliétileno de baja densidad	92.63%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Polipropileno (rosa claro)	41	Fleje plastico pp	96.62%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	147.619	24.000	N.D.	0.156	N.D.	
Poliestireno / (blanco y transparente)	42	Poliestireno de alto impacto	99.25%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	18.318	N.D.	
Papel	43	Papel sanita	90.94%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Bolsas Laminadas	44	Pet botella de agua	97.33%	N.D.	N.D.	N.D.	10.714	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Maniqui (muslo/amarillo)	48	Poliuretano	75.03%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	104.773	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Bolsas Laminadas	51	Poliétileno de baja densidad	97.01%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	135.250	N.D.	37.750	N.D.	N.D.	
PET	53	Pet botella de agua		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	202.708	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Manguera roja	55	Poliestireno de alta densidad	96.52%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Hule (gris)	56	Polyacetato de vinilo de etileno	73.33%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	140.455	N.D.	N.D.	0.015	N.D.	
Maniqui (brazo/ negro)	57	Polyether urethane/ PPO+MBI	77.95%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
PEBO	58	Polipropileno	84.92%	N.D.	N.D.	N.D.	15.952	N.D.	N.D.	N.D.	210.476	N.D.	N.D.	2.871	
PVC (azul)	62	Cloruro de polivinilo	77.24%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4.724	N.D.	
Poliéster (naranja)	67	Pet botella de agua	91.19%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	118.750	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Papel	69	Papel hoja de maquina celulosa	92.68%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	165.750	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Maniqui (cabeza/amarillo claro)	70	Poliuretano espuma rigida	74.12%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	85.536	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Celofán	71	Polipropileno	94.71%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Poliestireno (blanco)	73	Poliestireno	98.72%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
LDPE	74	Fleje plastico pp	97.12%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	143.095	15.476	49.762	N.D.	N.D.	
Poliéster (gris)	80	Pet botella de agua	96.25%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	135.000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	

Tabla 3. Poder Calorífico.

Identificación de la muestra		Poder calorífico (Cal/g)
IR	ID	
Poliestireno de alto impacto	01 - PS	9074.90
Poliuretano	03 - Poliuretano	6299.09
Polietileno de baja densidad	07 - LDPE	3411.66
Polietileno de baja densidad	07 - LDPE	7476.12
Madera	08 - Madera	3678.51
Madera	08 - Madera	2924.87
Nylon	10 - Poliester	5848.28
Tereftalato de polibutileno (PBT)	11 - Residuo mezclado de Poliester	7928.18
Tereftalato de polibutileno (PBT)	11 - Residuo mezclado de Poliester	4558.44
Resina de poliamida	12 - TPU	2488.76
PET	14 - PET	4565.95
Polipropileno	15 - Propileno	6799.51
Polipropileno	15 - Propileno	6317.13
Polietileno de baja densidad	16 - Plastico negro esponjoso	3691.22
Polipropileno	19 - Poliester	8040.77
Surfactante pinol acidificado	20 - Hule	1218.46
Polipropileno	21 - LDPE	7405.60
Polipropileno	22 - Caple	1551.46
Polyether urethane/ PPO+MBI	23 - Vinil	4900.10
Polyether urethane/ PPO+MBI	23 -Tela	2667.88
Papel	24 - Papel	3483.77
Poly(ether urethane) diisocyanate	27 - Tela	3931.38
Polietileno alta densidad	28 - DD	10673.68
Poliestireno	29 - PS	9299.90
PET botella de agua	30 - PET	2166.22
PET	30 - PET	4885.63
PET	31 - PET	4605.52
Pet botella de agua	32 - Poliester (Gris-Café)	2989.98
polipropileno	33 - PP	6799.35
Polyacetato de vinilo de etileno	36 - PS	4131.47
Polyacetato de vinilo de etileno	36 - PS	5773.20
Poliestireno	37 - PTU. (POLIURETANO).	4071.91
polyether urethane	39 - TPU	5299.28
Polietileno de baja densidad	40 - Polietileno	8605.48
Polipropileno	41 - Polipropileno expandido	10287.61
Polipropileno	41 - Polipropileno expandido	6154.30
Poliestireno de alto impacto	42 - Poliester	9774.94
Poliuretano	48 - Pierna muñeca	6302.58
Poliestireno de alto impacto	50 - PS	3213.82
Polietileno de baja densidad	51 - Bolsa Laminada	6447.23
PET botella de agua	52 - Textil	2606.71
Pet botella de agua	53 - PET	5145.15
Poliestireno de alta densidad	55 - Manguera roja	6964.62
Polyether urethane/ PPO+MBI	57 - TPU	3597.44
Polipropileno	58 - PEBO	1830.67

Identificación de la muestra		Poder calorífico (Cal/g)
IR	ID	
Poliestireno	61 - PEAD	7848.38
	62 - PVC	1316.01
Poly (Vinyl clorhíde)	62 - PVC	3600.52
Polietileno ó polietileno de baja densidad	65 - Poliuretano	7906.75
	65 - Rosa	3142.10
Pet botella de agua	67 - Poliester Naranja	933.66
Poliuretano/ espuma rigida	70 - Cabeza Maniquí	3967.73
Poliuretano espuma rigida	70 - Cabeza Maniquí	6917.47
Polipropileno	71 - Celofán	6853.01
	75 - PP	5051.65
Pet botella de agua	80 - Poliester	3527.63
	83 - Triturado	3469.05
	84 - Biluretano	4026.85
	Aceite Mineral	8553.97
	Gelatin Capsules	1563.35
Polibutileno tereftalato	LR-01	3470.05
Polibutileno tereftalato	LR-01	3594.90
Polibutileno tereftalato	LR-02	3817.00
Polibutileno tereftalato	LR-04	3648.68
Papel sanita	43 - Papel	3418.61
Poliestireno	29 - PS	9309.85
Tela	04 - Poliester	3181.85
PET	06 - PP	4699.45
PET	05 - Poliester	3948.56
Poliestireno	17 - PS	3869.22
Algodón	13 - Poliester (azul)	3469.18
Polyacetato de vinilo de etileno	56 - PVC Tela	3954.25
Fleje plastico pp	74 - LDPE	8332.70
Pet botella de agua	44 - Bolsa laminada	7412.67
Papel hoja de maquina celulosa	69 - Papel	3138.10
Polietileno alta densidad	28 - DD	10673.68
Polipropileno	41 - Polipropileno expandido	10287.61
Poliestireno de alto impacto	42 - Poliester	9774.94
Poliestireno	29 - PS	9309.85
Poliestireno	29 - PS	9299.90
Poliestireno de alto impacto	01 - PS	9074.90
Polietileno de baja densidad	40 - Polietileno	8605.48
Fleje plastico pp	74 - LDPE	8332.70
Polipropileno	19 - Poliester	8040.77
Tereftalato de polibutileno (PBT)	11 - Residuo mezclado de Poliester	7928.18
Polietileno ó polietileno de baja densidad	65 - Poliuretano	7906.75
Poliestireno	61 - PEAD	7848.38
Polietileno de baja densidad	07 - LDPE	7476.12
Pet botella de agua	44 - Bolsa laminada	7412.67
Polipropileno	21 - LDPE	7405.60

Referencias

1. Alfonso, Aranda; Ana, López; German, Ferreira; Eva, Sastresa. "Uses of alternative fuels and raw materials in the cement industry as sustainable waste management options". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volumen 23, Paginas 242–260, año 2013.
2. Gustavo Alejandro Núñez Casas, "Comunicación personal", *proyecto INNOVATEC: ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO COMBUSTIBLE ALTERNO EN GRUPO CEMENTOS DE CHIHUAHUA (primera etapa)*, numero de solicitud 218718 (aprobado), año 2014.
3. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Censo de Población y Vivienda, Principales resultados por localidad*, año 2010.
4. Federación Interamericana del Cemento, "Cifras de la Industria del cemento a nivel mundial", *Informe estadístico del cemento*, paginas 29-33, año 2013.
5. David Alejandro Zambrana Vásquez, "Estudio de la valorización energética de la fracción resto del ecovteredero e Zaragoza" Centro de Investigación de Recurso y Consumos Energéticos.

