

## Instituto de Minería

Centro de acopio de residuos de aparatos eléctricos/electrónicos del Instituto de Minería

### Introducción

El valor que tiene la Industria Minera a nivel nacional es importante, ya que según datos de la Secretaría de Economía la producción en 2016 alcanzó un monto total de 473.8 mil millones de pesos (SGM, 2017a). Los principales minerales de la producción nacional fueron el oro (21.0%), basalto (16.2%); cobre (14.7%), plata (11.7%), agregados pétreos (9.0%); caliza (6.1%), zinc (5.6%) y arena (1.9%). Los principales estados productores del sector son Sonora, Zacatecas, Chihuahua, Durango y Coahuila, que en conjunto aportaron el 67.7% del valor total de la producción minera (SGM, 2017a).

En particular, el estado de Oaxaca es un lugar privilegiado en términos de recursos minerales, ya que en su territorio se pueden encontrar tanto minerales metálicos como no metálicos (SGM, 2017b) de gran valor comercial. Sin embargo, la actividad minera se encuentra con una gran oposición social de grupos defensores del territorio que luchan contra la extracción de minerales y el asentamiento de empresas transnacionales (Zárate et al., 2017).

Conscientes de la situación que guarda la minería en el estado, el Instituto de Minería de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, se ha dado a la tarea de buscar alternativas que ofrecer a los habitantes del estado. Para ello, se desarrolló una línea de investigación llamada Minería Urbana, y se creó un centro de acopio para aparatos eléctricos/electrónicos en el Instituto de Minería. El objetivo de este centro de acopio es disminuir la cantidad de Residuos de Aparatos Eléctricos/Electrónicos (RAEE) del basurero de

Huajuapán de León, Oaxaca (Figura 1) y de las comunidades aledañas y aprovechar los materiales que se pueden obtener del desensamble de los mismos.

En muchos países, los RAEE son considerados como desechos peligrosos (RoHS, por sus siglas en inglés Restriction of Hazardous Substances) (Hester y Harrison, 2009); en México la reglamentación está basada en la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SE-MARNAT-2011 (DOF, 2013), que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y establece cuáles materiales están sujetos al Plan de Manejo. Los materiales que pueden entrar al Plan de Manejo deben cumplir ciertos criterios, entre los que se encuentran el volumen, el tratamiento y el valor económico de los residuos. De aquí la importancia de los RAEE, ya que cumplen a cabalidad los criterios. Son una fuente de materia prima similar a los minerales y por ello se generó la Línea de Generación y



Figura 1. Aparatos eléctricos/electrónicos recibidos en el Instituto de Minería.

Aplicación del Conocimiento: Minería Urbana. Las materias primas que se pueden extraer de los RAEE son: metales, cerámicos, polímeros y compuestos. Además, muchos de los componentes y materiales se reutilizan en los proyectos de los alumnos de las carreras de Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Mecatrónica, Ingeniería Industrial, Ingeniería en Física Aplicada, Ingeniería en Alimentos, Ingeniería en Diseño, Ingeniería en Computación e Ingeniería en Mecánica Automotriz; inclusive en algunos posgrados, el área de Mantenimiento y algunos Talleres de la UTM. Otros materiales son empleados en los proyectos de Investigación del Cuerpo Académico UTMIX-CA-38 “Minería y Procesos” cuyos miembros son profesores-investigadores del Instituto de Minería. Es importante mencionar que, en cada proyecto desarrollado se cuenta con la participación de los estudiantes de diferentes carreras, incluso de otras instituciones, los cuales realizan tesis, el Servicio Social o bien Estancias o Estadías Profesionales.

## Investigación

En el Instituto de Minería se cultivan dos Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGyAC): Minería Regional y Minería Urbana. La primera enfocada al reconocimiento, explotación y beneficio de los minerales de la región Mixteca y en general del estado de Oaxaca. La segunda dirigida a la recuperación de materias primas a partir de RAEE, tales como metales (aleaciones de hierro, cobre, aluminio, estaño, plomo, oro, plata, etc.), cerámicos (vidrio, ferritas, etc.), polímeros (HIPS, ABS, PS, PP, resinas, etc.) y compuestos (madera-resinas, fibra de vidrio y otros).

## Cuerpo académico

Para el desarrollo de la Investigación, el Instituto de Minería tiene un cuerpo académico: UTMIX-CA-38 “Minería y Procesos” y su LGyAC es “Procesamiento de metales y no metales y aleaciones y/o compuestos de origen natural y/o reciclado”. El objetivo es el procesamiento de metales y no metales de yacimientos oaxaqueños, así como compuestos inorgánicos, determinando sus propiedades mecánicas y físicas para una posible explotación industrial y aprovechamiento económico.

## Proyectos

Los proyectos desarrollados dentro de la LGyAC “Minería Urbana”, son los siguientes:

- 1) Estudio para implementar un proceso mecánico-metalúrgico de recuperación de fracciones metálicas y no metálicas de los Residuos de Aparatos Eléctricos/Electrónicos (RAEE). 2013. Proyecto Nuevo PTC. \$300,000.00. Concluido.
- 2) Reúso de llantas de desecho: elaboración de macetas para jardín. Proyecto para la Regiduría de Ecología y Medio Ambiente de Huajuapán de León, Oax. 2017. Concluido.
- 3) Mezclas de mortero y yesos dopados con residuos de aparatos eléctricos/electrónicos (RAEE). Proyecto de Cuerpo Académico, IM/01-2017. \$300,000.00. En proceso.

## Difusión y publicaciones

Se ha participado en diferentes foros para dar a conocer el trabajo que se ha desarrollado en estos años y se han obtenido varios productos académicos. A continuación, se presentan:

- Participación en la EcoFeria Itinerante 2018, con exhibición de RAEE.. Escuela Telesecundaria Clave 20DTV0917A. Dr. Juan Espinoza Cuadra y Dra. Patricia Magaly Gallegos Acevedo. Rancho Dolores, Huajuapán de León, Oax. 26 de septiembre de 2018.
- Minería urbana, materiales de construcción dopados con RAEE. Dr. Juan Espinoza Cuadra. Dra. Patricia Magaly Gallegos Acevedo. Congreso de Ingeniería Civil. 2017, Tehuacán, Pue., 2 conferencias impartidas.
- Minería Urbana-Nuevos materiales de construcción. Dr. Juan Espinoza Cuadra. 2017. Día Mundial del Medio Ambiente. Regiduría de Ecología y Medio Ambiente de Huajuapán de León, Oax. Conferencia y exhibición (Figura 2).
- Optimización del proceso de reciclado de las tarjetas de circuitos impresos –PCB– José Manuel Olivera Ponce. Tesis de Ingeniería Industrial, UTM. 2013. [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/11683.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11683.pdf).
- “Mejoramiento de morteros con WEEE”. Javier Maldonado Mijangos. Memorias de Estadía Profesional. Técnico Superior Universitario, UTVCO. 2016.

- Gallegos-Acevedo, P. M., Espinoza-Cuadra, J., Oliveira-Ponce, J. M. 2014. Conventional flotation techniques to separate metallic and nonmetallic fractions from waste printed circuit boards with particles nonconventional size. *Journal of Mining Science*. Vol. 5, pp. 1-11. ISSN: 2014 1062-7391, DOI: <https://doi.org/10.1134/S1062739114050172> .

- Juan Espinoza Cuadra, Patricia Gallegos Acevedo, Angélica Bautista Vargas, Antonio Bautista Hernández, Luz María Castro López. 2014. Caracterización de pilas de desecho en la Universidad Tecnológica de la Mixteca y propuesta de pretratamiento mecánico. *de Ciencia y Tecnología*. Vol. 18, No. 52, pp. 13-19. ISSN: 2014 2007-0977.

- Minería Urbana. Dra. Patricia Magaly Gallegos Acevedo. 20 Semana Nacional de Ciencia y Tecnología. 2013. Ponencia.

- Acopio, selección, clasificación y características de pilas de desecho (wastebattery) en la UTM. Dr. Juan Espinoza Cuadra. 20 Semana Nacional de Ciencia y Tecnología. 2013. Ponencia.

- Fundición de aluminio de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Dr. Juan Espinoza Cuadra. 20 Semana Nacional de Ciencia y Tecnología. 2013. Taller demostrativo.

- Fundición de aluminio de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Dr. Juan Espinoza Cuadra. Programa de Apropiación Social de la Ciencia, la Tecnología e Innovación: “Aprendiz de Investigador”. 2013. Taller demostrativo.



**Figura 2.** Exhibición de productos manufacturados con RAEE.

- Mejoramiento de pavimentos asfálticos mediante agregados de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, (RAEE). Dr. Juan Espinoza Cuadra. 2013. Seminarios de Investigación, UTM.

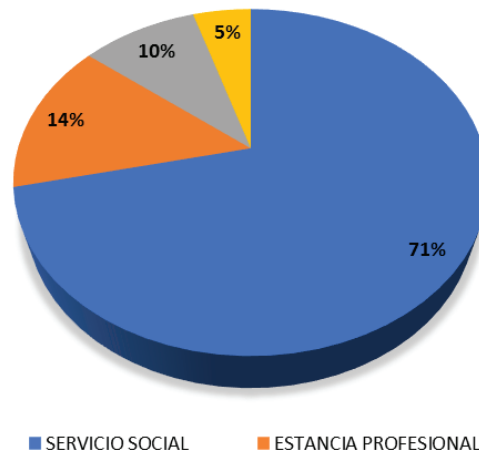
- Análisis fractográfico de superficies ensayadas a la compresión y determinación de la tenacidad a la fractura mediante el criterio del desplazamiento por la apertura de la boca de la grieta (CMOD) en especímenes de mortero con agregados de triturado de origen polimérico. Dr. Juan Espinoza Cuadra. 2014. Seminarios de Investigación, UTM.

## Recursos humanos

Del 2013 a la fecha se ha tenido la colaboración de 21 estudiantes en el proceso de desensamble y asociados a los proyectos de investigación (Figura 3). De éstos, el 71% de los estudiantes realizaron su Servicio Social, el cual consta de 480 horas; el 19% realizó su Estancia Profesional, en donde se tienen que cumplir 280 horas. Es importante mencionar que los estudiantes que han participado son de la UTM y el 6% restante es una Estadía Profesional de 525 horas son alumnos de otras instituciones educativas de Oaxaca. En total se han invertido aproximadamente 9090 horas-estudiante en este proyecto (Figura 4). Adicionalmente se encuentran en proceso una tesis de licenciatura y otra de maestría con temas dentro de las líneas de investigación del Instituto.

## Infraestructura

Se cuenta con la Infraestructura del Laboratorio Minero-Metalúrgico, el cual tiene equipo básico para



**Figura 3.** Tipo de colaboración de los estudiantes.

beneficio y procesamiento de minerales. Con los proyectos se han adquirido equipos necesarios para procesar los materiales que se obtienen de los RAEE. En la Figura 5 se presentan dos molinos (uno para polímeros rígidos y otro para vidrio) y en la Figura 6 se muestra el equipo para realizar pruebas de resistencia a la compresión. Todos estos se adquirieron con los proyectos del PRODEP.

Adicionalmente alumnos de Ingeniería en Mecatrónica e Ingeniería Industrial han manufacturado diversos mecanismos para el tratamiento de los RAEE, como parte de su formación dentro de sus proyectos de Procesos de Manufactura (Figura 7).

## Materiales reciclados

Los materiales que se envían al de reciclado comercial son las aleaciones de hierro que generalmente constan de pedacería de carcasas y ejes: a la fecha se han enviado al reciclaje comercial 1099.3 kg de aleaciones de hierro (Figura 8) y 40 kg de cobre.

## Materiales reutilizados

Con la colaboración de los alumnos que prestan su servicio social o su estancia profesional, se im-

plementó un sistema de desensamble de aparatos eléctricos/electrónicos, en donde se rescatan componentes y materiales que se pueden reutilizar. Tales materiales son: capacitores, rodillos, imanes, PCB, diodos, ventiladores, disipadores, ejes de impresoras, sistemas de engranes, botones, leds, LCD, teclados, ratones, tornillos, resortes, motores, resistencias, ferrita, transformadores, cargadores, mecanismos, láminas de carcasas, entre muchos otros.

Los materiales reutilizados se ponen a disposición de los estudiantes de diferentes carreras, los cuales eligen las piezas que requieren y las registran. Derivado



Figura 6. Máquina para ensayos a la compresión.



Figura 4. Desensamble de aparatos eléctricos/electrónicos en el Laboratorio Minero-Metalúrgico del Instituto de Minería.



Figura 7. Alumnos de Ingeniería en Mecatrónica mostrando su proyecto final de Procesos de Manufactura.



Figura 5. Molino para polímeros (verde) y molino para vidrio (azul).



Figura 8. Desecho de aleaciones de hierro enviadas al reciclaje comercial.

del registro, se obtiene la gráfica de la Figura 9, en donde se puede apreciar la creciente demanda: en 2013 se entregaron 347 piezas y hasta noviembre de 2018 van 2322 piezas lo que significa un incremento del 670%.

En la Figura 10 se presenta el tipo de usuarios que reutiliza los componentes, mayoritariamente son de Ingeniería en Mecatrónica (73.7%) y de Ingeniería en Electrónica (13.6%) y otras carreras de la UTM, incluyendo Posgrado. También el área de Mantenimiento, algunos talleres de la Universidad y alumnos de otras instituciones se han beneficiado de las piezas que se obtienen del desensamble. En total se tiene registro de 848 usuarios en 5 años.

Los materiales como el aluminio y el cobre se emplean para demostraciones y prácticas de laboratorio de fundición con estudiantes universitarios y otras instituciones que vienen a eventos como la Semana de la Ciencia, la Tecnología e Innovación y otros realizados en la UTM (Figura 11).

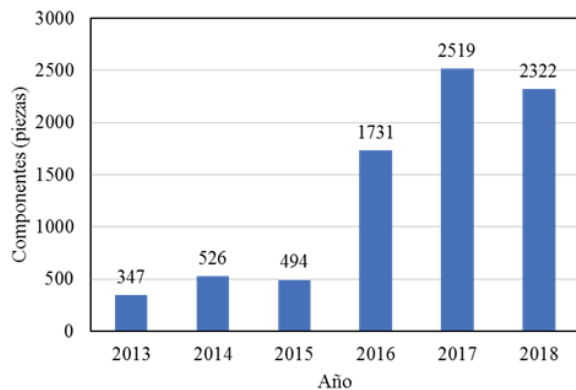


Figura 9. Componentes reutilizados desde 2013 y hasta noviembre de 2018.

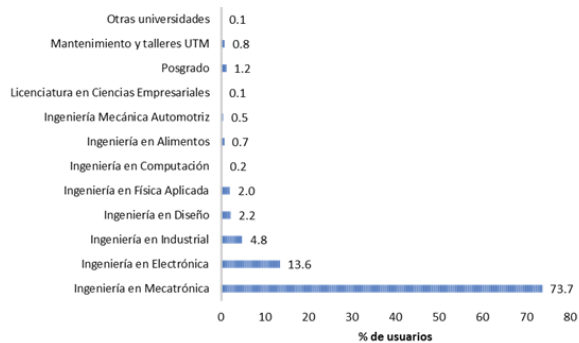


Figura 10. Usuarios de componentes eléctricos/electrónicos.

El vidrio proveniente de los tubos de rayos catódicos de televisores o monitores de computadora, se trituran y se clasifican por tamaños de partícula. Recientemente se emplearon 760 kg en la fabricación de una banqueta de un edificio en la UTM. Cabe mencionar que el vidrio fue tratado para eliminar los componentes tóxicos (Figura 12).

## Materiales en almacén

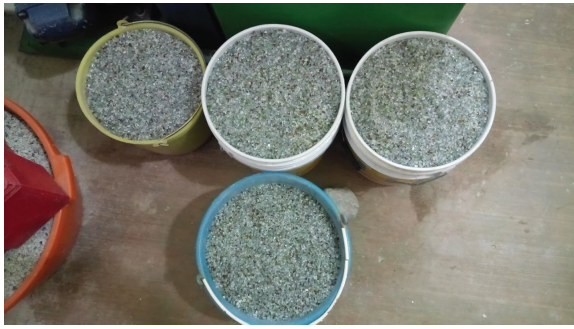
Actualmente se cuenta con una gran cantidad de materiales en almacén, tales como diodos, cargadores, resistencias, botones, interruptores, transformadores, entre muchos componentes, los cuales han sido probados y están en condiciones de ser reutilizados. Además de 900 kg ABS-HIPS granulado y separado en 3 tamaños, 80 kg de aluminio y 1200 kg de vidrio tritu-



Figura 11. Práctica de fundición de aluminio proveniente de los residuos de aparatos eléctricos/electrónicos.



Figura 12. Banqueta lateral del Paraninfo de la UTM elaborada sustituyendo el 100% de la arena por vidrio de desecho proveniente de los tubos de rayos catódicos.



**Figura 13.** Vidrio de ventanas granulado.

rado en dos tamaños. Es importante mencionar que parte de ese vidrio proveniente de las sustituciones realizadas en la Universidad debido a los sismos del 2017 (Figura 13).

## Conclusiones

- El Centro de Acopio de RAEE se ha convertido en un elemento importante dentro del desarrollo educativo de los jóvenes universitarios, ya que no sólo reutilizan componentes, sino también colaboran en el desensamble, caracterización y procesamiento de éstos.
- Los RAEE acopiados significan un ahorro en el espacio de los basureros de la región y elimina la posibilidad de contaminación proveniente de estos desechos.
- El Centro de Acopio de RAEE es generador de proyectos y líneas de investigación. Actualmente se encuentran en proceso una tesis de maestría y otra de licenciatura.
- Se han reciclado 1099.3 kg de aleaciones de hierro, 40 kg de cobre y 760 kg de vidrio. Se cuenta con un almacenamiento de materiales que consiste en 1200 kg de vidrio, 900 kg de ABS/HIPS y 80 kg de aluminio, así como una importante cantidad de componentes en buen estado.

## Bibliografía

- Diario Oficial de la Federación. (2013). NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011: Primera Sección, pp. 12-38. Fecha de publicación 01 de febrero de 2013.
- Hester, R. E., Harrison, R. M. (2010). *Electronic Waste Management. Design, Analysis and Application*. RSC Publishing.
- Servicio Geológico Mexicano. (2017a). Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2016. Secretaría de Economía. pp. 551.
- Servicio Geológico Mexicano. (2017 b). Panorama Minero del Estado de Oaxaca. Secretaría de Economía. pp. 44.
- Zárate-Negrete, L. E., Caldera-González, D. C. y Sánchez-Ramos, M. E. (2017). La mujer y la minería en el estado de Oaxaca: voces desde la mina. *Revista Tecsisotecatl*. 9 (22). <http://www.eumed.net/rev/tecsistecat/n22/mujer-mineria.html>

**Dra. Patricia Magaly Gallegos Acevedo<sup>1</sup>**

**Dr. Juan Manuel Espinoza Cuadra<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Directora del Instituto de Minería

<sup>2</sup>Profesor Investigador del Instituto de Minería

<sup>1,2</sup>Universidad Tecnológica de la Mixteca

<sup>1</sup>gallegos@mixteco.utm.mx

<sup>2</sup>juanespinoza@mixteco.utm.mx