

Aprovechamiento energético de aceites usados y su contribución a la economía circular mediante el coprocesamiento en hornos cementeros

Francisco Andrade-Domínguez^{1*}; Julio López-Ayala²;
Erika Romero-Cárdenas³; María Ortiz-Zurita⁴; Paolo Fabre-Merchán⁵

Resumen

El objetivo de la investigación consistió en evaluar el aprovechamiento energético de aceites usados, generados por el parque automotor de la ciudad de Riobamba y su contribución a la sustentabilidad ambiental mediante el coprocesamiento en hornos cementeros. Así como realizar una valorización energética identificando la tecnología de coprocesado en hornos cementeros proponiéndose alternativas de sustentabilidad ambiental mediante un sistema de gestión ante la disposición final de aceites usados en plantas de producción de cemento. Se utilizó como estrategia metodológica el análisis de varianza, como una alternativa adecuada para el desarrollo de variables de la composición físico-química del aceite usado ante el coprocesamiento y criterio de sustentabilidad ambiental. Los resultados evidenciaron una mezcla óptima que cumple con propiedades físico-químicas ante la propuesta de coprocesamiento al horno rotatorio de clínker de UCEM CEM Planta Chimborazo. Además, se realizó un análisis de los ingresos del proyecto, demostrándose que es un proyecto rentable y por ende financieramente factible.

Palabras Clave: Aceite usado; coprocesamiento; horno cementero; sustentabilidad ambiental; valorización energética.

Energetic utilization of waste oils and their contribution to environmental sustainability through processing in cement kilns

Abstract

The aim of this research was to evaluate the energetic utilization of waste-oils, generated by the Riobamba city car park and its contribution to environmental sustainability, through co-processing in cement kilns. On the other side, to realize an energy valorization identifying the technology of co-processing in cement kilns, proposing alternatives of environmental sustainability, through a system of management before the final disposition of used oils in plants of cement production. The research employed the Variance Analysis (ANOVA) as the methodological strategy, as a suitable alternative for the development of variables of the physical-chemical composition of waste oils above co-processing and environmental sustainability criteria. The results show an optimum mixture that complies with physico-chemical properties for the proposed co-processing in the rotary Clinker kiln of UCEM CEMC Chimborazo Factory. In addition, an analysis of the income of the project was made, proving that it is a profitable project and therefore financially feasible.

Keywords: Used oil; energy valorization; coprocessing; cement kiln; environmental sustainability.

Recibido: 21 de Marzo de 2017

Aceptado: 13 de julio de 2017

¹ Docente de la Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Ciencias Administrativas y Comerciales, Carrera de Ingeniería Comercial. Economista. Magíster en Gestión de Proyectos Socio Productivos. Línea de investigación en el área de economía y administración. fandraded@unemi.edu.ec orcid.org/0000-0003-2948-9965

² Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniero de Mantenimiento. Línea de investigación en el área de tecnología. 1982jcla@gmail.com

³ Docente de la Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Ciencias Administrativas y Comerciales, Carrera de Ingeniería Comercial Economista. Magíster en Administración y Dirección de Empresas. Línea de investigación en el área de economía y administración. eromero@unemi.edu.ec

⁴ Docente de la Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Ciencias Administrativas y Comerciales, Carrera de Licenciatura en Turismo. Ingeniera en Administración de Empresas Turísticas y Hoteleras. Magíster en Administración de Empresas. Línea de investigación en el área de administración y turismo. mortizz1@unemi.edu.ec

⁵ Docente de la Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Ciencias Administrativas y Comerciales, Carrera de Licenciatura en Turismo. Licenciado en Ciencias de la Educación. Master of Science in Curriculum and instruction, English as a second Language. Línea de investigación en el área de Educación. pfabrem@unemi.edu.ec

*Autor para la correspondencia: fandraded@unemi.edu.ec

I. INTRODUCCIÓN

El tema del calentamiento global se ha transformado hoy día en un ámbito estratégico, fuera de ser un problema en sí mismo es un sujeto de estudio que establece contacto con un conjunto de temáticas que involucran a las ciencias sociales estableciendo puntos sensibles en diversas dimensiones. La creciente preocupación por las amenazas relacionadas al calentamiento global ha llevado a voltear los ojos hacia las fuentes de emisiones de CO₂. A medida que las sociedades han evolucionado, los cambios a nivel de producción y de consumo generan actualmente consecuencias al aumento en los volúmenes de residuos generados y la presencia de materiales peligrosos en los mismos. (Boesch, M., & Hellweg, S., 2010).

Los gases con los cuales la sociedad humana contribuye principalmente al efecto invernadero son el Anhídrido Carbónico, el Metano y el Oxido Nitroso. El primero de ellos, también llamado Dióxido de Carbono (CO₂), el más importante y participa en la conformación del efecto invernadero en un 70%. (Rosas, 2003)

En Latinoamérica la problemática de los países en vías de desarrollo, están vinculados a la gestión y disposición final de los residuos peligrosos, que muestra una falta de estructura adecuada, lo que ha ocasionado altos impactos ambientales. En el Ecuador, la cantidad de residuos peligrosos recolectados al año 2014 fue del 86 002. 676,37 kg/ año; el promedio en la generación de aceite lubricante usado es de 61736,764 kg/año (INEC, 2012). La generación del aceite usado relaciona directamente al sector automotriz, disminuye la calidad ambiental, mayor degradación y aumento de la contaminación efecto directo sobre la salud humana.

Es así que, en la última década el país registró el 14,2 % de incremento en su parque automotor su stock actual es de 1´723.000 vehículos (Comunidad Andina, 2013). El proponer un modelo de gestión ante una disposición final de los aceites usados, busca reducir la contaminación y demostrar el ahorro de energéticos ambientalmente seguros; fortaleciendo el mejoramiento de la calidad de vida de la población. Por lo cual en este trabajo se evaluó el aprovechamiento energético de aceites usados generados por el parque automotor y

su contribución a la sustentabilidad ambiental mediante el coprocesamiento en hornos cementeros.

II. DESARROLLO

1. Marco conceptual

1.1. Valorización energética de los aceites usados

En el contexto energético, se ha aceptado el término biomasa para denominar a una fuente de energía de tipo renovable que comprende la utilización de toda una gama de biocombustibles de diversa naturaleza (sólidos, líquidos o gaseosos) que pueden tener aplicación en todos los campos de utilización de los combustibles tradicionales (electricidad, transporte, usos térmicos y como materias primas para la industria química). Esta gran diversidad de posibilidades es una de las diferencias básicas de la biomasa respecto de las restantes energías renovables, en las que la producción de energía primaria consiste básicamente en electricidad o calor. (Fernandez, 2006)

La valorización energética del aceite lubricante usado tiende a estar susceptible de ser utilizado como materia prima o como una fuente energética. El concepto de “valorización energética” es la sustitución parcial de los combustibles fósiles tradicionales por combustibles derivados de residuos, mediante la generación de energía y/o la recuperación de calor; sin poner en riesgo la salud humana y de métodos que no puedan dañar al medio ambiente. (Lagarinhos & Tenório, 2008). Un combustible alternativo es el producto obtenido a partir de uno o varios residuos industriales con poder calorífico, que cumple con una especificación definida y reglamentada por la autoridad ecológica. También se conocen con el nombre de combustibles secundarios, derivados de desechos (PNUMA, 2012).

El término aceite lubricante usado, tiene dos connotaciones, puesto que se lo utiliza para los lubricantes que están siendo utilizados, como también a los conocidos como aceites de desperdicio o quemados. El aceite lubricante después de su uso, adquiere concentraciones elevadas de metales pesados producto principalmente del desgaste del motor o maquinaria que lubricó (Delgado & Parra 2007).

1.2. El Coprocesamiento desde la perspectiva del residuo al recurso

El coprocesamiento en la industria cementera es la forma óptima de recuperación de la energía y la materia de residuos. Ofrece una solución sólida y segura para la sociedad, el medio ambiente y la industria cementera, sustituyendo los recursos no renovables por residuos bajo estrictas medidas de control. La industria cementera tiene el compromiso de asegurar que la sociedad disponga de suficiente cemento para cubrir necesidades y, al mismo tiempo, reducir el uso de combustibles y materias primas no renovables, disminuyendo así las emisiones. La recuperación de residuos en la industria cementera entre ellos los aceites usados, también llamada coprocesado, contribuye a facilitar la posibilidad de alcanzar un máximo de sustitución de materiales no renovables.

Los tipos de residuos que pueden usarse en una planta cementera varían en función de cada instalación. Como regla básica, los residuos aceptados como combustible y/o materia prima alternativa deben aportar un valor añadido al horno de cemento en términos de poder calorífico del valor material de la parte mineral.

Algunos combustibles alternativos cumplirán a la vez ambos requisitos, haciendo difícil formular un criterio general en relación a los materiales que son coprocesados en la industria cementera. Según las características del proceso de producción, la industria cementera puede coprocesar, combustibles alternativos que tengan un importante poder calorífico para el caso de aceites usados. Es estrictamente necesario que exista un correcto sistema de control de calidad para todos los materiales utilizados, ya que, de esta forma, se asegura que el coprocesado se lleva a cabo de una manera medioambientalmente segura, manteniendo la seguridad y salud de la población, el comportamiento medioambiental del proceso de producción, la alta calidad del producto final y un proceso de producción correcto e ininterrumpido.

La economía circular tiene por objeto desacoplar la prosperidad del consumo de recursos, es decir, cómo podemos consumir bienes y servicios y no depender de la extracción de recursos vírgenes y, por lo tanto, asegurar los lazos cerrados que evitan la disposición eventual de mercancías cosnusmidasd en en rellenos sanitarios. La producción y el consumo también

tienen asociadas "transferencias de contaminación" al entorno en cada paso. En ese sentido, la economía circular es un movimiento hacia la sostenibilidad débil descrita anteriormente. Propone un sistema en el que la reutilización y el reciclado proporcionan sustitutos al uso de materias primas vírgenes. Al reducir nuestra dependencia de esos recursos, mejora nuestra capacidad y la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades. Los La economía circular hace que la sostenibilidad sea más probable. (Sauvé, Bernard, & Sloan, 2016)

1.3. La recuperación de residuos a la reducción de las emisiones de CO₂

La recuperación de residuos ofrece un alto potencial a la industria cementera para reducir las emisiones globales de CO₂. Sin el coprocesado, los residuos y subproductos serían incinerados donde emitirían consecuentemente sus gases de efecto invernadero. La recuperación de energía y reducción de emisiones a la atmósfera, con el coprocesamiento de residuos industriales, según Genon (2008), indica que no existe un incremento en las emisiones de los hornos, sino un ahorro relevante en términos de emisiones de CO₂, SO₂ y NO_x liberadas a la atmósfera dado que los residuos reemplazan otros combustibles fósiles que generan mayores niveles de CO₂.

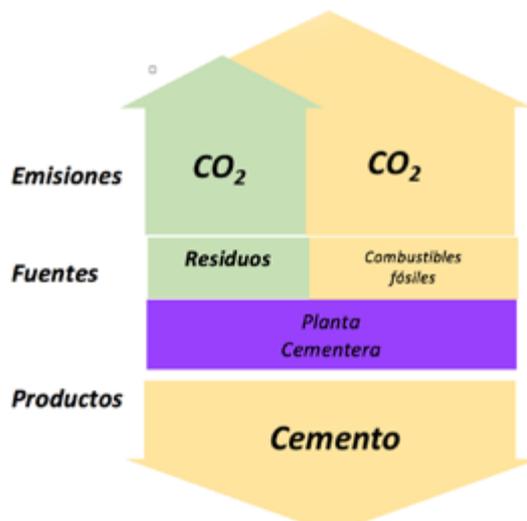


Figura No.1: Reducción de la emisiones, dado el coprocesamiento de residuos para la producción de cemento que recibe gran atención en el campo de la sostenibilidad debido a su alto consumo de energía, intensidad del uso de recursos y su gran demanda a nivel mundial (Boesch, M., & Hellweg, S., 2010)

La destrucción de componentes inorgánicos durante la incineración de residuos peligrosos impone una temperatura superior a 850°C por al menos 2 segundos para la incineración de residuos peligrosos no clorados. El horno de cemento llega a una temperatura de los 1450°C en la harina cruda para lograr la fusión de las materias primas y obtener clínker, componente principal del cemento. (GTZ/Holcim, 2006)

1.4. Tecnología de procesamiento

El grado de sustitución de los combustibles convencionales por combustibles alternos en un horno de clínker depende de la composición y el poder calorífico. La combustión en los hornos de cemento se realiza con un exceso de oxígeno que debe limitarse para no sacrificar en exceso la eficiencia energética que se encuentra condicionada, además, a la uniformidad del combustible y a su adecuado manejo para facilitar una correcta y completa combustión. Por su capacidad calorífica el aceite usado se constituye en uno de los residuos con mayor potencial a ser empleado como combustible en los hornos cementeros.

Es factible estimar no solo por sus propiedades y características sino por la necesidad de contar con alternativas energéticas en la industria cementera.

1.5. Características físico – químicas del aceite usado como potencial combustible

Las variables fisicoquímicas que se deben tener en cuenta en la identificación de los componentes de los aceites usados como un potencial combustible alternativo, mencionan ensayos de laboratorio que serán registrados bajo la normativa ASTM - D. (Gordon, 2005)

Rosales, L. (2008), menciona que para el azufre y el cloro es también un factor limitante en un desecho peligroso en especial del aceite usado y determina la calidad del residuo no sólo por razones ecológicas, sino también por razones técnicas. El grado de sustitución de los combustibles convencionales por combustibles alternos en un horno de clínker depende de la composición y el poder calorífico de algunos materiales utilizados en la combustión de un horno cementero.

La tabla 1 muestra la caracterización de los componentes presentes en el ensayo de bases lubricantes de aceites combustibles.

Tabla 1. Ensayos de bases lubricantes, aceites automotrices.

ENSAYO	NORMA ASTM	LÍMITE
Punto de Inflamación (°C)	D - 92	Min. 250
Densidad relativa a 60 ° C	D- 1298	Reportar
Densidad relativa 60/60 °F (°API)	D - 287	Reportar
Agua y sedimentos básicos (% V)	D - 96	Max 1,0
Azufre (% P)	D- 4294	Max 2,0
Viscosidad cinemática a 50°C, (cSt)	D- 445	>201
Cenizas (% P)	D - 482	Max. 0,1
Carbón Conradson (%P)	D - 189	Max.16
Poder calorífico bruto (kcal/kg)	D - 240	Reportar
Vanadio (mg/kg)	D-5056	Reportar
Cromo (mg/kg)	D-5057	Reportar
Níquel (mg/kg)	D-5058	Reportar
Plomo (mg/kg)	D-5059	Reportar

1.6. Aspectos legales

La nueva Constitución de la República del Ecuador, publicada en el Registro Oficial (R.O.) N° 449 el 20 de octubre de 2008, sintetiza e integra los conceptos ya conocidos a continuación:

- Biósfera, ecología urbana y energías alternativas.
- Recursos naturales.
- Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales.
- Sectores estratégicos.

Dentro de las prioridades del desarrollo sustentable y la filosofía del Buen Vivir Plan Nacional 2013 – 2017, está la conservación y el uso sostenible los recursos naturales, la inserción de tecnologías ambientalmente limpias, la aplicación de la eficiencia energética, así como la prevención, el control y la mitigación de la contaminación. (SENPLADES, 2014)

En base a este enfoque transversal surgen estrategias aplicadas en la formulación de esta investigación en función de los Objetivos 7 y 10: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global e Impulsar la transformación de la matriz productiva.

1.6.1. Ley de gestión ambiental

La Ley de Gestión Ambiental establece normas

básicas para la aplicación de políticas ambientales así como un esquema de administración ambiental por parte del país a través de un manejo horizontal presidido por el Ministerio de Medio Ambiente.

El manejar estrategias para la gestión de desechos peligrosos es un tema casi inexplorado en América Latina, en el Ecuador actualmente se

maneja con la Ley de Gestión Ambiental (TULS, 2015), que persigue identificar las políticas y guías necesarias que permitan conocer los procedimientos ambientalmente seguros y enmarcados en los siguientes criterios, que se detallan en la figura 2.

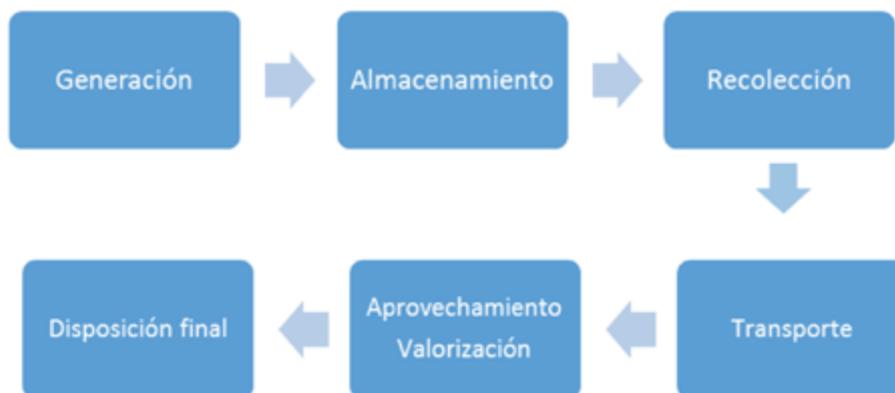


Figura 2. Proceso de gestión integral de desechos peligrosos.
Fuente: TULS, 2016

Conforme al Acuerdo Ministerial, destaca en el Art. 25 Licencia Ambiental.- Es el permiso ambiental otorgado por la Autoridad Ambiental Competente a través del SUIA, siendo de carácter obligatorio para aquellos proyectos, obras o actividades considerados de medio o alto impacto y riesgo ambiental.

En el Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULS, 2015) del Ministerio de Ambiente, en su Artículo 57 Responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales señala, que se garantizará el manejo integral de residuos y/o desechos sólidos generados en el área de su competencia, ya sea por administración o mediante contratos con empresas públicas o privadas; además dar seguimiento para que los residuos peligrosos y/o especiales sean dispuestos, luego de su tratamiento, bajo parámetros que garanticen la sanidad y preservación del ambiente.

2. La generación del aceite lubricante usado en la ciudad de Riobamba

Según fuente del GADM de Riobamba al año 2014 su parque automotor contaba con la cantidad de 32 000 vehículos y una generación aproximada de 34 203.91 galones de aceite usado mensual. (Cadena, 2014). La generación de este tipo de residuo lo relaciona al sector automotriz ante el recambio del aceite por tareas de

mantenimiento a vehículos en general, actividades efectuadas desde las mecánicas, lubricadoras, estaciones de servicios.

En la Tabla 2 se determina la tasa de crecimiento del parque automotor de la ciudad de Riobamba a continuación señalada:

Tabla 2. Tasa de crecimiento vehicular en la ciudad de Riobamba.

Año	Tasa de crecimiento		
	Autos	Buses	Camionetas
2007	2.43%	2.66%	2.26%
2011	2.43%	2.66%	2.26%
2017	2.17%	1.95%	2.03%
2027	1.78%	1.60%	1.69%

*La tasa de crecimiento vehicular entre el año 2012 al 2014 fue del 16.87%

Fuente: GADM de Cantón Riobamba, 2014

La estimación frente a la generación de aceites usados al año 2018 del parque automotor de la ciudad de Riobamba, frente al análisis efectuado en la Tabla 2, presenta datos registrados in situ en centros técnicos de mantenimiento automotriz, en especial a talleres mecánico donde se obtuvo la siguiente información:

Tabla 3. Estimación de la generación de aceites usados automotrices.

Tipo automotor	Total 2018	Consumo mensual de aceite usado (galones)	Total mensual de aceites usados (galones)
Autos	38856	1	38856
Buses	3215	5	16075
Camionetas	7996	2,5	19990
Total	50067	8.5	74921

Elaborado por: Investigadores

Fuente: Centros técnicos de mantenimiento automotriz ciudad de Riobamba, 2016

3. Impactos ambientales por uso de aceites usados en la industria cementera

La valorización energética tiene por objetivo la sustitución parcial de los combustibles fósiles tradicionales por combustibles derivados de residuos, mediante la generación de energía y/o la recuperación de calor; sin poner en riesgo la salud humana y sin la utilización de métodos que puedan dañar al ambiente. La normativa ambiental internacional para el uso y aprovechamiento de combustibles a base de residuos peligrosos en especial aceites usados generado por el parque automotor, sugiere el control de sustancias altamente contaminantes cuyos límites de emisión demandan mejoramiento tecnológico en las plantas de producción industrial. De acuerdo a Diosdado (2009), las industrias logran establecer sistemas de generación de combustibles alternativos y modificaciones tecnológicas para su uso, los costos podrían disminuir y los beneficios tanto empresariales como sociales podrían aumentar.

La cadena de procesos de producción y uso de residuos aceitosos está asociada con muchos de los impactos, comenzando por la recolección, transporte y disposición final. La producción de residuos de aceites usados por sí misma causa al menos dos diferentes tipos de impactos ambientales: (1) las cargas debidas al consumo de los procesos energéticos; y (2) procesos de descarga o emisiones al aire. El uso de aceites usados de igual forma causa otros diferentes tipos de impactos ambientales cuando es coprocesado, por ejemplo en el proceso de producción del cemento. (p.p. 65- 78). En un horno cementero las altas temperaturas son causa de una alta producción de óxidos de nitrógeno (NOx), la Tabla 4, analiza las emisiones al aire máximas permisibles de un horno cementero tomándose en cuenta por oxidación del nitrógeno molecular del aire de combustión, como de los combustibles.

Tabla 4. Emisiones al aire de gases con carga normal del horno cementero

Parámetro	Límite máximo permisible
NOx	1800 PPM
So2	800 PPM
Partículas	150 PPM

Fuente: UCEM Planta Chimborazo (2015).

2. Metodología

La metodología utilizada fue cuantitativa con un nivel de conocimiento correlacional, en base al enfoque investigativo de campo y laboratorio, que se relacionan entre dos variables, la una de prueba estadística; y la otra bajo la comprobación de una hipótesis planteada. El presente estudio define la variable independiente en base a la caracterización de los aceites usados generados de fuentes automotrices y por otro lado una variable dependiente que relaciona la sustentabilidad ambiental mediante coprocesamiento en hornos cementeros.

La población de estudio analizó al grupo generador de aceite usado del parque automotor de la ciudad de Riobamba, tomando en cuenta al grupo de lubricadoras, lavadoras, autoservicios y mecánicas. La información en la Tabla 5 hace referencia al detalle de la población de estudio de aceites usados generados por la ciudad de Riobamba.

El tamaño de la muestra se analizó a partir de la fórmula estadística para población finita, utilizando un nivel de confianza del 95%, que equivale al valor de 1.96, con un margen de error del 5%, y con una probabilidad de éxito y de fracaso de 0,5. A continuación la Tabla 6 se presenta los resultados de la muestra a partir de su respectiva población para el caso del grupo generador de los aceites usados de la ciudad de Riobamba.

Tabla 5. Población de estudio aceites usados generados por la ciudad de Riobamba.

Categorías	Población
116 lubricadoras del cantón Riobamba	Cantidad de aceite generado de 280 tanques de aceite usado. (15 362 gal / mes)
61 lavadoras del cantón Riobamba	Cantidad de aceite generado de 147 tanques de aceite usado. (8 078 gal / mes)

Fuente: GADM Cantón Riobamba, 2015

Tabla 6. Resultados muestra cantidad de aceite usado a caracterizarse

Categorías	Muestra
3 lubricadoras del cantón Riobamba	Cantidad una muestra en 1.4 tanques de aceite usado
6 lavadoras del cantón Riobamba	Cantidad una muestra en 2.6 tanques de aceite usado

MUESTRA* la cantidad generada de la muestra es de 0.25 litros cantidad mínima requerida por los diferentes laboratorios para sus respectivas pruebas.

Fuente: GADM Cantón Riobamba, 2015

Instrumento de evaluación

Se aplicó un instrumento correspondiente a la guía de caracterización ante un diagnóstico inicial sobre la composición físico-química del aceite usado generado por el parque automotor de la ciudad de Riobamba; adicional al análisis del combustible utilizado en el horno cementero de la UCEM Planta Chimborazo. Para ello se estableció una estrategia metodológica en función al análisis de la inferencia estadística o llamada Análisis de Varianza (ANOVA), como una alternativa adecuada para el desarrollo de variables de la composición físico-química del aceite usado ante el coprocesamiento y criterio de sustentabilidad ambiental.

Para validar el instrumento se utilizó tanto una metodología cualitativa, identificando actores entre ellos el GADM de cantón Riobamba y una planta industrial cementera siendo UCEM CEM Planta Chimborazo.

Modelación y Procesamiento de la Información (Procedimiento)

La frontera del estudio se limita al análisis físico-químico de la composición entre el aceite lubricante usado y el combustible del horno cementero, en base a la caracterización y el posible uso como un combustible alternativo. La sustitución del combustible fósil por aceite usado se realiza al

sistema de combustión del horno cementero, en donde los impactos ambientales están directamente relacionados a la sustentabilidad del entorno urbano, que para ambos el proceso tradicional y el coprocesamiento, se mantiene constante. En base al análisis de caracterización y bajo una sustitución porcentual, se define una codificación de las distintas muestras recolectadas bajo una población y muestra determinada.

La Tabla 7 ilustra la modelación ante el análisis de un procesamiento estadístico de distintas mezclas entre el residuo industrial del horno cementero de UCEM CEM Planta Chimborazo y el aceite usado recolectado en el acopio provisional del GADM de la ciudad de Riobamba. Señalándose una codificación receptiva.

Tabla 7. Porcentaje de la mezcla

Residuo Petrolero Industrial	Aceite Usado	Muestra
80%	20%	A
76%	24%	B
72%	28%	C

El detalle analiza las cantidades recolectadas presentadas a continuación:

Muestra A. Cantidad de 80cm³ de Residuo Petrolero Industrial + 20cm³ de Aceite Usado en una proporción de 1 litro de Combustible Mezclado.

Muestra B. Cantidad de 76cm³ de Residuo Industrial + 24cm³ de Aceite Usado en una proporción de 1 litro de Combustible Mezclado.

Muestra C. Cantidad de 72cm³ de Residuo Industrial + 28cm³ de Aceite Usado en una proporción de 1 litro de Combustible Mezclado.

Muestra D. Cantidad de 70cm³ de Residuo Industrial + 30cm³ de Aceite Usado en una proporción de 1 litro de Combustible Mezclado.

Validación del instrumento

La validación del instrumento se precisa a la investigación experimental misma que toma las muestras de una orimulsión permitiendo generar un grupo donde hay un factor, que se denomina tratamiento, que tabula una caracterización físico-química. El tratamiento estadístico utiliza un grupo de control a cada una de las mezclas seleccionadas que determinan si existe evidencia estadística de que alguno de los tratamientos aplicados y el grupo de control presentan alguna diferencia en

cuanto a los niveles de cada una de las variables de caracterización.

Mediante el procedimiento del análisis de varianza ANOVA se verificará el rechazo de la hipótesis nula del control, bajo una comparación de múltiples variables de los tratamientos verificando si existe una respuesta diferente en algunas de sus medias y confirmándose con la prueba de DUNNET.

3. Resultados y discusión

Los resultados de laboratorio de las muestras analizadas, en función a porcentaje establecidos denominadas A, B, C y D fueron ensayadas de acuerdo a la norma ASTM, los mismos que fueron entregados por el laboratorio de la Universidad Central del Ecuador de la Escuela de Ingeniería Química.

A partir de los datos obtenidos del análisis físico químico de las distintas mezclas de combustible; los resultados son resumidos en la Tabla 8 para su respectivo análisis y discusión.

Tabla 8. Resultados estadísticos en la mezcla Residuo Petrolero y Aceite usado

Resultados de los análisis	Hipótesis nula H0
Poder Calorífico Bruto (kcal/kg)	Aceptada
Punto de Inflamación °C	Aceptada
Densidad Relativa (–)	Aceptada
Densidad API (° API)	Aceptada
Densidad 15 °C (kg/l)	Aceptada
Viscosidad Cinemática a 50°C (cSt)	Rechazada
Viscosidad Redwood N° 1a 100° F(s)	Rechazada
Azufre (%P)	Aceptada
Cloro (Cl)	Aceptada
Agua y Sedimentos	Aceptada
Básico, BSW (%V)	Aceptada
Cenizas (%P)	Aceptada
Carbón Coradson (%P)	Aceptada
Vanadio (mg/ kg)	Aceptada
Cromo (mg/kg)	Aceptada
Níquel (mg/kg)	Aceptada
Plomo (mg/kg)	Aceptada

El resultado indica el Análisis de la Varianza (ANOVA) de cada una de las distintas mezclas de los combustibles y la comprobación con la prueba de DUNNET. El análisis de los resultados ante la caracterización de la propiedades físico - químicas de la mezcla entre el residuo petrolero y el aceite

usado analizó tratamientos frente a la existencia de diferencias significativas que pudieran afectar al proceso de combustión.

En la mezcla de combustible de residuo petrolero industrial y aceite usado, ante una valorización energética en el horno cementero de UCEM CEM Planta Chimborazo, todas las variables analizadas en su caracterización físico – química son aceptadas a la hipótesis H0, a excepción de las viscosidades. En los tratamientos analizados no hay diferencias significativas entre el uso de una y otra mezcla, la Tabla 9, corresponde a un ejemplo ejecutado del análisis de la varianza de la mezcla entre residuo petrolero y aceite usado ante la variable del poder calorífico, demostración que utilizó la herramienta informática EXCEL y MINITAB.

Tabla 9. ANOVA del poder calorífico de la mezcla de Residuo Petrolero y Aceite usado

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	3	27457	9152,333333	236744,3333
B	3	27952	9317,333333	29276,33333
C	3	28309	9436,333333	47756,33333
D	3	28026	9342	49296

A cada una de las variables presentes en las distintas mezclas se generó el estadístico de análisis de varianza (ANOVA) de acuerdo a propiedades físico - químicas obtenidas de los tratamientos no hay diferencias significativas en cada una de las variables. A partir del resultado de igual forma se comprobó mediante el análisis de comparaciones múltiples de DUNNET cada una de las variables presentes en la mezcla.

La Figura 3 corresponde a un ejemplo ejecutado en la comparación de la variable del poder calorífico mediante el análisis de comparaciones múltiples, demostración que utilizó la herramienta informática MINITAB.

En el caso particular del análisis efectuado al tratamiento de la variable viscosidad, los resultados confirmaron la hipótesis rechazada, observándose que esta variable conlleva una relación directa entre el punto de inflamación variable que fue aceptada, por lo tanto se observó, que mientras menos viscoso es el combustible, se necesitará calentarlo menos para que se inflame y como consecuencia su punto de inflamación será menor.

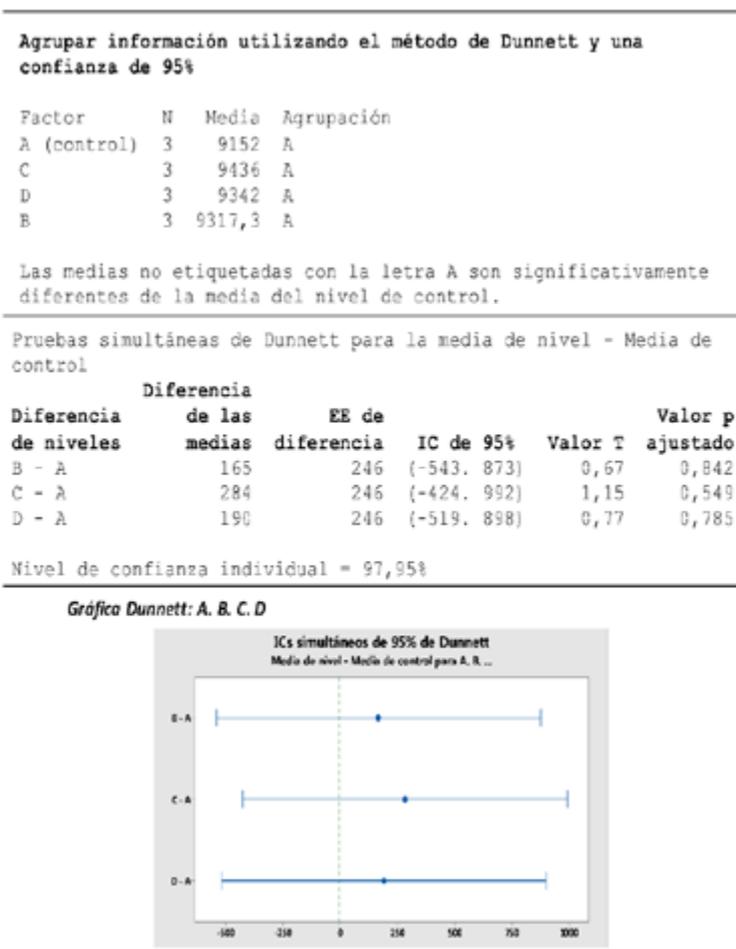


Figura 3. Comprobación del Análisis estadístico del poder calorífico comparación múltiple de DUNNET

Tabla 10. Proyección del flujo de caja

Año	Flujos efectivos	Valor presente
0	\$ (170.000,00)	(\$ 170.000,00)
2017	\$ 84.454,96	\$ 75.406,21
2018	\$ 107.852,32	\$ 85.979,21
2019	\$ 139.937,68	\$ 99.604,88
2020	\$ 186.471,12	\$ 118.505,77
2021	\$ 242.477,68	\$ 137.588,35
Valor Presente Neto "VAN"		\$ 347.084,42
Tasa Interna De Retorno "TIR"		64%

El proyecto presenta un VAN positivo de USD\$ 347.084,42 considerando un costo de capital promedio ponderado de 12% anual, y una tasa interna de retorno de 64%. Este resultado muestra un escenario positivo por la ejecución del proyecto pues indica que, de invertir el dinero en el proyecto

se va obtener un rendimiento 6 veces superior al rendimiento esperado si el dinero se deja en un banco

Valorización energética análisis del costo & beneficio

Los servicios ecosistémicos están expresados en Comparaciones con mediciones económicas tradicionales. Sin embargo, Representan beneficios "basados en tierra", más que beneficios "basados en dinero". El valor de mercado de todos los bienes y servicios finales País (dentro de un año), es una medida complementaria de la situación de la economía. (Costanza et al. 1997). Una relación entre sus recursos (energía y flujos de (Expresado en términos de tiempo), son beneficios económicos (ecosistema valor del servicio o, alternativamente, PIB, expresado en términos monetarios) del

sistematizadas definidas como la capacidad del sistema para incrementar la producción. (Coscieme *et al.*, 2014)

El coprocesamiento de aceites usados genera un valor tanto desde el punto de vista ambiental y energético; y, su valor económico lo determina el mercado informal. El análisis productivo del horno cementero de UCEM CEM Planta Chimborazo, entre el año 2016 y 2017 tendrá un promedio de 600 toneladas de clínker al día.

Para producir una tonelada se utiliza en un promedio 26 galones de residuo industrial petrolero a un valor de 0.64 US\$/galón. El análisis costo beneficio se observa dentro de la Tabla 11, que muestra una demanda y una valorización energética del aceite lubricante usado.

Tabla 11. Análisis de costo & beneficio por coprocesamiento de aceite usados.

Proyección de ahorro por costos de energía térmica			
AÑO	Generación anual	Costo anual (0.64 USD)	Costos anual (0.34 USD)
	Aceites usados (gls)	Residuo Petrolero	Aceite usados
2017	316044,00	\$ 202.268,16	\$ 107.454,96
	Ahorro energético anual	\$ 94.813,20 USD	

En general el aceite usado posee ventajas energéticas como su elevado poder calorífico, y no necesita un tratamiento de calentamiento para su inyección en el horno, por ende existe un ahorro de energía.

Gestión integral de sustentabilidad ambiental de los aceites usados

El programa de recolección y disposición final de los aceites usados frente a una gestión integral con adecuadas prácticas ambientales, conllevó a realizar encuestas a 30 empresas que generan aceites lubricantes usados en la ciudad de Riobamba, dichas empresas fueron 19 mecánicas, 5 lavadoras, 6 lubricadoras, obteniéndose los siguientes resultados.

En cuanto al manejo de los aceites usados de las 30 empresas, la Tabla 12, muestra que el 100% admitió tener pérdidas en la extracción de los mismos, así no cuentan con respaldos físicos que validen la cantidad exacta del volumen que se maneja en dichas instalaciones.

Tabla 12. Condiciones de manejo de aceites usados

	Pérdidas en extracción	Zona delimitada de almacenamiento	Respaldos de cantidad almacenada
SI	30	1	0
NO	0	29	30

Además se evidenció que el 96,67% no posee una zona delimitada para el almacenamiento seguro de los aceites extraídos de los vehículos. Las condiciones de operación mostradas en la Tabla 13, determinaron que el 96.67% de estas 30 empresas cumplen con los requisitos legales de funcionamiento, sin embargo en la guía de buenas prácticas ambientales del manejo de los aceites el 100% no disponen del buen uso.

Tabla 13. Condiciones de operación del aceite usado

	Pérdidas en extracción	Zona delimitada de almacenamiento	Respaldos de cantidad almacenada
SI	30	1	0
NO	0	29	30

En cuanto a la entrega de aceites por parte de estas 30 empresas, la Tabla 14 demuestra que el 33.33 % dispone de un espacio seguro donde pueden realizar el procedimiento de carga de los residuos acumulados en las instalaciones, y el 100% no cuenta con un plan de contingencias ante cualquier eventualidad de goteo, fuga o derrame.

Tabla 14. Condiciones de entrega del aceite usado

	Ubicación del vehículo sin interferencia	Posee la empresa un plan de contingencia
SI	1	0
NO	29	30

Propuesta de coprocesamiento ante la sustentabilidad ambiental

La gestión integral ante la disposición final de los aceites usados generados por el parque automotor de la ciudad de Riobamba considera, la utilización como combustible, en la industria cementera, existiendo beneficios ambientales, donde la quema de combustibles convencionales comparado con la quema del aceite lubricante usado, genera la misma cantidad de emisiones a más de la conservación del recurso no renovable como son los combustibles fósiles. El sistema de coprocesamiento integral es la propuesta

final que incluye el manejo del aceite usado desde la generación hasta su procesamiento y/o disposición final, cumpliéndose criterios de legislación, las buenas prácticas ambientales y el aprovechamiento energético de los residuos cuya finalidad es:

- Definir metodologías de comunicación entre los distintos participantes del sistema de coprocesamiento, en los aspectos referidos a las actividades de almacenamiento, recolección, movilización y disposición final de los aceites lubricantes usados.

- Identificar, mantener y disponer la documentación y los registros del manejo integral de los aceites lubricantes producidos por el parque automotor de la ciudad de Riobamba.
- Identificar y tener acceso a los requisitos legales, ambientales y otros relacionados con el manejo de los aceites lubricantes usados.

La Figura 4 muestra el procedimiento propuesto en el sistema de coprocesamiento ante la sustentabilidad ambiental y disposición final del aceite usado del parque automotor de la ciudad de Riobamba.

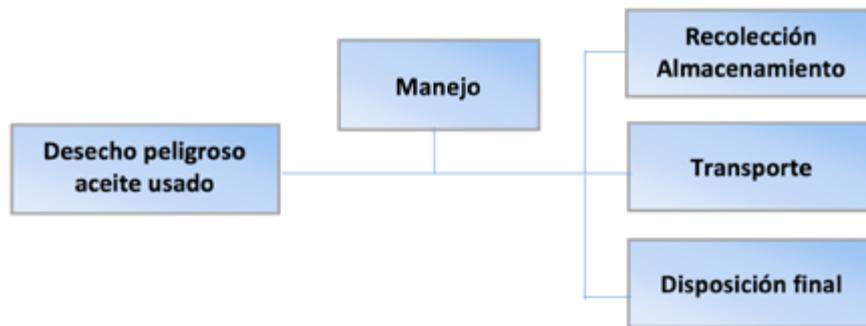


Figura No.4: Procedimiento al sistema de coprocesamiento de aceite usado
Fuente: Adaptación (TULS, 2015) Procedimiento de coprocesamiento de los aceites usados para el manejo de aceites lubricantes usados en dispositivos finales

El proceso de combustión en el horno cementero se efectúa en 5 etapas: calentamiento, ignición, mezcla, reacción y desplazamiento de los gases de combustión:

- Calentamiento: El residuo petrolero que generalmente es usado en las cementeras, se lo recalienta hasta una temperatura de 105°C para disminuir su viscosidad; por otro lado el aceite no necesita de un calentamiento, para su alimentación.
- Mezcla: Se la realiza por atomización en el quemador del horno, donde se dividen en finas partículas tanto el bunker como el aceite lubricante usado de modo

que permitan un contacto íntimo y constante para la generación de la llama.

El control de los compuestos o elementos presentes en los aceites lubricantes usados tratados que se utilizan en la mezcla con combustibles industriales y otros subproductos no deberán exceder las siguientes concentraciones estipuladas desde el punto de vista ambiental. La Figura 5, muestra un horno cementero y el grado de atomización de la llama ya que provee ese contacto con el aire y la mezcla entre el aceite usado y el residuo petrolero como combustible.

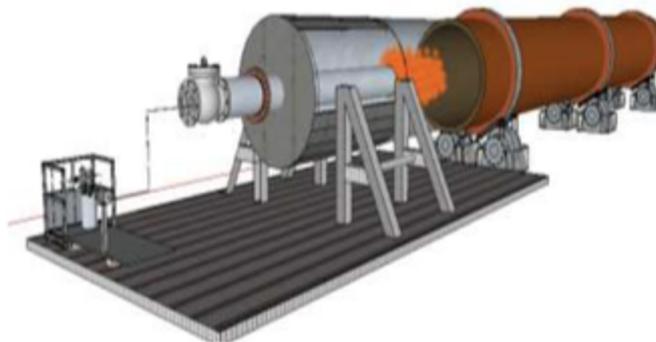


Figura No.5: Ilustración de combustión ante coprocesamiento de aceite usado.
Fuente: Elaboración propia, 2016

III. CONCLUSIONES

La mezcla óptima cumple con propiedades físico químicas ante la propuesta de coprocesamiento al horno rotatorio de clínker de UCEM CEM Planta Chimborazo; los contenidos en especial su poder calorífico obtuvo un resultado eficiente, siendo necesario al proceso del sistema de combustión.

En la fase experimental de la investigación se caracterizó varias mezclas llegando a un resultado óptimo entre el 70% de residuo petrolero y 30% de aceite usado; el tratamiento estadístico demostró que no existen diferencias significativas en sus componentes, es decir es apto a un proceso de combustión del horno cementero.

El coprocesamiento en el país se encuentra en desarrollo con políticas públicas, donde se realizó un análisis sobre resoluciones y reglamentos a nivel del GADM de Riobamba, actor relacionado a una política ambiental ante el manejo y disposición final de residuos peligrosos.

Se analizó el impacto ambiental asociado al coprocesamiento del aceite usado de fuentes automotrices de la ciudad de Riobamba en hornos cementeros, su sustitución porcentual brindará un menor impacto ambiental con respecto a un proyecto sustentable urbano. Se establece un estimado de generación de aceite usado para año 2018 en la ciudad de Riobamba cerca a los 410.448 galones anuales, a un incremento vehicular del 16% promedio, el impacto ambiental asociado a las etapas de recolección se ha elevado para la zona urbana.

Técnicamente, la inyección de aceite usado proveniente de fuentes automotrices al horno de cemento de UCEM CEM Planta Chimborazo, genera un impacto en la capacidad de producción con un ahorro energético anual; esto es, \$ 0.30 USD menos por tonelada de clínker producida, con lo que se cumple el objetivo planteado de reducción del costo específico de la energía térmica.

Con un Valor Actual Neto de \$ 347.084,42 USD, una Tasa Interna de Retorno de 64 % (en comparación con un costo del capital ponderado de 12 % anual), se verifica que el proyecto es rentable y por ende financieramente factible.

La proyección costo - beneficio, evidencia la existencia de una oferta no aprovechada en la totalidad de galones de aceite usado generado en

la ciudad de Riobamba, condición que favorece al proyecto y que apoya su factibilidad desde la preventiva ambiental.

Los resultados obtenidos confirman una demanda total por aceite usado generado por la ciudad de Riobamba, al 100% de su requerimiento ante un coprocesamiento.

La propuesta de valorización energética aceites usados ante un coprocesamiento, muestra una alternativa de gestión energética basada en un programa de control ambiental ante su disposición final.

La tecnología que posee el quemador principal del horno rotatorio de UCEM CEM Planta Chimborazo, demuestra que está apto para la destrucción controlada y efectiva de los aceites usados. La propuesta de reuso del aceite usado genera alternativas de disposición final y aprovechamiento energético para la industria cementera, se ve reflejado en el crecimiento económico del cantón Riobamba a la medida que contribuye en la reducción de este tipo de desechos peligrosos y mantenga una sustentabilidad ambiental acorde a generar mayor valor agregado.

IV. REFERENCIAS

- ANT. (2014). Agencia Nacional de Tránsito. Estadística 2014, 42-208. <http://www.astm.org>.
- Azevedo, P. (2008). Revisión y análisis de las experiencias de Argentina , Brasil, Colombia . Argentina: s.n.
- Álvarez, F. (31 de 12 de 2013). Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión en el Ecuador. (ESPOL, Ed.) Revista FENopina.(46), 1.
- Audibert, F. (2006). Waste engine oils: Rerefining and energy recovery. Países bajos: Elsevier.
- BANCO CENTRAL DEL ECUADOR. (24 de Julio de 2014). Estadísticas Macro Económicas: www.bce.fin.ec/: <http://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorReal/Previsiones/IndCoyuntura/EstMacro012014.pdf>
- Boesch, M., & HELLWEG, S. (2010). Identifying improvement potentials in cement production with life cycle assessment. . Environ. Sci. Technol., 9143-9149.

- Bustos, F. (2007.). Manual de gestión y control ambiental. Quito: RN Industria Gráfica.
- Cadena, N. (2014). La Renovación de Riobamba. Plan de Trabajo, 26-54.
- Castells, J. (2005). Tratamiento y valorización energética de residuos. España: Ediciones Díaz Santos.
- Censos, I. N. (2012). INEC. Obtenido de Proporciones de residuos peligrosos no tratados por gestor municipal:http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/Empresas_Privadas/Presentacion_Empresas.pdf
- Cisneros Moreno, M. G. (10 de 2013). Repositorio Digital-UPS . Recuperado el 26 de 07 de 2014, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6369>
- COMUNIDAD ANDINA. (19 DE 12 DE 2013). Parque Vehicular en la Comunidad Andina. Obtenido de http://estadisticas.comunidadandina.org/portal/contenidos/2454_8.pdf
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2008). Registro Oficial No. 449. Montecristi.
- Coscieme, L., Pulselli, F. M., Marchettini, N., Sutton, P. C., Anderson, S., & Sweeney, S. (2014). Emergy and ecosystem services: A national biogeographical assessment. *Ecosystem Services*, 7, 1552–159. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.11.003>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., vandenBelt, M., 1997. The value of the world's ecosystem service and natural capital. *Nature* 387, 253–260.
- Cruz, J. (2009). Levantamiento del Catastro de Generadores, Diseño de un Plan de Recolección y Alternativas del Aceite Usado. Quito: Escuela Politécnica Nacional
- Boesch, M., & Hellweg, S. (2010). Identifying improvement potentials in cement production with life cycle assessment. *Environ. Sci. Technol.*, 9143-9149.
- Delgado, E., & Parra, J. (2007). Combustibles Alternativos a partir de Aceites Usados con Tratamiento de Limpieza. Chile: Investigaciones de Ingeniería.
- Diosdado, J. (2009). Recuperación de energía en hornos cementeros, residuos y energéticos alternos. México: INE.
- Delgado, E., & Parra, J. (2007). Combustibles Alternativos a partir de Aceites Usados con Tratamiento de Limpieza . Chile: Investigaciones de Ingeniería.
- Duda, W. (1977). Manual Tecnológico del cemento. Reverté.
- ECUADOR, G. N. (2013-2017). Plan Nacional del Buen Vivir . En G. N. Ecuador, Plan Nacional del Buen Vivir (pág. 600). Quito: Gobierno de la Revolución Ciudadana.
- Fernandez, J. (2006). Biomasa, la energía renovable de mayor contribución al balance energético nacional. Yara, 0–4.
- FICEM. (1 de 04 de 2014). Federación Internacional de Cemento. Obtenido de Co - procesamiento:<http://www.ficem.org/ficem/temas-clave/recuperacion-deresiduos.html>
- GADM DE CANTÓN RIOBAMBA. (2013). La renovación de Riobamba. En Ordenanzas Municipales. Riobamba.
- Genon, G. (2008). Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF. *Science Direct Waste Management.*, 24-52.
- GTZ/Holcim. (2006). Guía para el Co-procesamiento de residuos en la producción de cemento. Cooperación Público-Privada GTZ-Holcim.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (02 de 2014). Obtenido de Instituto Ecuatoriano <http://www.normalizacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/03/1334-1-4.pdf>
- INEC. ECUADOR (2012). Encuesta de Información Ambiental Económica. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/Empresas_Privadas/Presentacion_Empresas.pdf
- INEC. ECUADOR (11 de 2013). Ecuador en cifras. Recuperado el 25 de 03 de 2014, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Infoeconomia/info8.pdf>
- MAE. (2012). Ministerio del Ambiente. Obtenido de Normativa ambiental y sanitaria:http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm

- MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR (2014). Ley de Gestión Ambiental. Obtenido <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>
- MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR (2012). Ministerio del Ambiente. Obtenido de: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm.
- López, D., Cobo, H., Blanco, S., & Gutiérrez, G. (2012). Mejora del rendimiento en una cementera mediante el empleo de combustibles alternativos. UCM. Revista Electrónica de Medioambiente, 47-61
- Lagarinhos, C., & Tenório, J. (2008). Tecnologías utilizadas para la reutilización, reciclaje y valorización energética de aceites usados. Brasilia: Ciencia y Tecnología.
- Larrea, C. (2006). Hacia una historia ecológica del Ecuador: propuestas para el debate. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Latorre, E. (2000). Herramientas para la Participación en Gestión Ambiental. Bogotá: Editorial Prisma Asociados.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (2012). Directrices técnicas sobre el coprocesamiento ambientalmente racional de los desechos peligrosos en hornos de cemento. Convenio de Basilea, (pág. 62). Basilea. Obtenido de Directrices técnicas sobre el coprocesamiento ambientalmente racional de los desechos peligrosos en hornos de cemento.
- PNUMA. (2012). Directrices técnicas sobre el coprocesamiento ambientalmente racional de los desechos peligrosos en hornos de cemento. Convenio de Basilea, (pág. 62). Basilea.
- Quesada, V. (2003). Elaboración de un Protocolo de Pruebas para la Caracterización de Combustibles Alternos para el Horno de Cementos INCSA. San Pedro.
- Rosales, L. (2008). Bioremediación de los Suelos Contaminados con Aceite Usado de Automóvil. Victoria de Durango: Instituto Politécnico Nacional.
- Romay, M. (2004). Valorización de residuos en al industria Española del cemento. España: Departamento Técnico y Medio Ambiente.
- Rozas, G. (2003). Aproximación psico comunitario ambiental al problema de calentamiento global. Revista de Psicología, 12(2), Pág-19.
- SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO (2013). Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Quito. Recuperado el Mayo de 2014, de <http://www.buenvivir.gob.ec/>
- Sauvé, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. Environmental Development, 17, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>
- TULS. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria. En D. P. Hugo, Reforma del libro VI de Texto Unificado de Legislación Secundaria (págs. 3-53). Quito.
- Torres, H. A., & Minaya, L. (1980). Escalificadora de quinua diseño y construcción. Lima: Publicaciones Miselaneas N° 243.
- TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria. En D. P. Hugo, Reforma del libro VI de Texto Unificado de Legislación Secundaria (págs. 3-53). Quito.
- UCEM CEM, Planta Chimborazo. (2015). Proceso productivo de clinkerización.
- UNIÓN CEMENTERA NACIONAL COMPAÑÍA DE ECONOMÍA MIXTA, PLANTA CHIMBORAZO. (2015). Proceso productivo de clinkerización.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (1999). Probabilidad y estadística para ingenieros. México: Hall Hispanoamericana.
- Yuguang, G., & Golosinski, S. (1996). Mining Science and Technology. CRC- PRESS