



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“ALTERNATIVAS DE VALORIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO
ENERGÉTICO A TRAVÉS DE CO-PROCESAMIENTO DE
RESIDUOS SÓLIDOS EN LA INDUSTRIA CEMENTERA”**

Tesis para optar al:

Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Presentado por:

Bachiller Valery Dioses Peña

Asesor:

Mg. Alberto Huiman Cruz

LIMA - PERÚ

2018

Acta de Sustentación



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 12 de noviembre del 2018.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Susan Mery Medina Canzio
Integrante: Ing. Edith Karina Huanca Flores
Integrante: Ing. María Elena Cieza Calderón

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

Alternativas de Valorización y aprovechamiento energético a través de Co-procesamiento de residuos sólidos en la industria cementera.

Presentada por la bachiller:

- Valery Dioses Peña

Para optar el Título Profesional de **Ingeniera Ambiental**

Asesorada por:

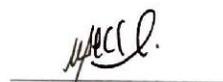
- Mg. Alberto Huiman Cruz

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple () calificar a:

Integrante 1: Valery Dioses Peña			Nota (escrito): Dieciocho
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena ()	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.


Presidente del Jurado


Miembro del Jurado


Miembro del Jurado


Asesor

Dedicatoria

A mis padres,

Arelis y Raúl.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al Dr. Alberto Huiman Cruz por haber confiado en mí y haberme alentado en la elaboración de esta tesis, ya que sin su apoyo incondicional y sus consejos este trabajo no habría podido hacerse realidad.

Agradezco también a mis padres, por estar conmigo en todos los momentos. El logro también es de ellos.

Por último, gracias a todas las instituciones, organismos, archivos, bibliotecas, que de alguna manera contribuyeron a facilitarme el acceso a la información para alcanzar los objetivos trazados en esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
II. MARCO TEÓRICO	8
1. Marco teórico y conceptual.....	8
1.1. La industria del cemento.....	8
1.2. Experiencias de otros países en co-procesamiento.....	16
1.3. Aprovechamiento y valorización.....	18
1.4. Alternativas.....	19
2. Marco político y legal.....	21
3. Marco geográfico.....	23
III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	25
1. Hipótesis.....	25
2. Objetivo General.....	25
3. Objetivos específicos.....	25
IV. METODOLOGÍA Y MATERIALES	26
1. Tipo y diseño de investigación.....	26
2. Unidad de análisis.....	26
3. Población de estudio.....	26
4. Tamaño de muestra.....	26

5. Selección de muestra.....	27
6. Técnicas de recolección de datos.....	27
7. Análisis e interpretación de información.....	27
V. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	31
VI. CONCLUSIONES	60
VII. RECOMENDACIONES	62
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Índice de consumo interno de cemento (comprende despacho local e importación de cemento).....	3
Figura 2 Composición del Cemento Portland Tipo IP por Yura S.A.	9
Figura 3 Proceso de producción industrial del cemento.....	10
Figura 4 Evolución Mensual del Despacho Total de Cemento: 2015-2017. Variación Porcentual.....	13
Figura 5 Evolución Mensual de la Actividad del Sector Construcción (PBI de Construcción): 2015-2017. Variación Porcentual (%)	14
Figura 6 Principio de la ecología industrial y territorial	17
Figura 7 Ubicación distrital.....	32
Figura 8 Potenciales puntos de alimentación de combustibles alternativos provenientes de residuos en un horno cementero	45
Figura 9 Zonas de influencia geográfica de las empresas cementeras	533

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Consumo de combustibles en hornos.....	4
Tabla 2	Normas referentes a residuos sólidos en el Perú	21
Tabla 3	Centros poblados y urbanos del distrito de Yura	33
Tabla 4	Estimación de residuos a generarse por un proyecto de construcción.....	38
Tabla 5	Temperaturas necesarias en las etapas de producción del cemento	42
Tabla 6	Características Técnicas del Cemento Portland Tipo IP producido por Yura.....	43
Tabla 7	Análisis químico de algunas puzolanas naturales y artificiales	49

RESUMEN

La industria del cemento, en constante crecimiento, es una de las mayores generadoras de residuos sólidos y demandante de energía para la ejecución de sus procesos. En búsqueda del desarrollo sostenible, el co-procesamiento, una operación combinada en la que se queman y destruyen los residuos, aprovechándose la energía generada, representa una alternativa para la industria cementera por las altas temperaturas que involucra la producción del Clinker.

La presente investigación pretende desarrollar una alternativa de valorización y aprovechamiento de material, a través de co-procesamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) del distrito de Yura, provincia y región de Arequipa. Para ello se elaboró un diagnóstico de la situación actual de los RCD generados en Yura; se realizó el análisis y correlación de información concerniente a la demanda energética del proceso de producción del cemento, características del cemento de mayor demanda en la zona, condiciones para el uso de combustibles alternativos, composición química de los RCD y la observación de los componentes químicos con influencia de calor, entre otros; y finalmente, proponer alternativas de valorización y aprovechamiento sobre la base de lo experimentado.

Se obtuvo que los componentes del hormigón no son en su mayoría materiales de naturaleza inflamable, por lo que no lograría sustituir al carbón en su totalidad como fuente de energía de los hornos rotatorios. Sin embargo, el cemento producido por Yura S.A contiene material puzolánico, el que, de acuerdo a la literatura, presenta reacciones exotérmicas a temperaturas de 242.6 °C; por lo que se puede inferir que,

si se agregan RCD, tal como es el hormigón, como aditivo al carbón que alimenta los hornos rotatorios, podría aportar calor al proceso; y a su vez, formar parte del producto final.

Palabras clave: Co-procesamiento, hornos rotatorios, desarrollo sostenible, RCD.

ABSTRACT

Cement industry, in constant growing, is one of the largest generators of solid waste and energy demanding. In pursuit of sustainable development, co-processing represents an alternative for this industry, because it's a combined operation in which waste is burned and destroyed, generating energy. This research aims to develop an alternative of valorization and resource efficiency, through co-processing of the construction and demolition waste (CDW), generated in the Yura district, province and region of Arequipa. To this end, a diagnosis of the current situation of the CDW produced in Yura; an analysis and correlation of information regarding the energy requirements in cement production, characteristics of the cement with greater demand in the area, conditions for alternative fuels utilization, CDW chemical composition and the components under heat influence; and finally, alternative proposition of valorization and resource utilization. Among the results was that most of the concrete components aren't flammable, so the conversion from coal to CDW would be infeasible as an energy source in rotary kilns. However, Yura's cement contains pozzolanic material, which according to the literature, presents exothermic reactions at 242.6 °C. Taking this into account, it can be inferred that concrete is added, as an additive to the coal feeding the rotary kilns, it could provide heat to the process, and therefore become part of the final product.

Key words: Coprocessing, rotatory kilns, sustainable development, CDW.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sostenibilidad se ha convertido en una exigencia a nivel mundial para así alcanzar la protección del ambiente, lo que ha incentivado la constante búsqueda de nuevos métodos que permitan el desarrollo, afectando los recursos y la biodiversidad en la menor medida posible.

A su vez, los objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales sustituyeron a los Objetivos de Desarrollo del Milenio en el año 2012, constituyen un compromiso audaz para abordar los problemas más urgentes a los que hoy se enfrenta el mundo. Dentro de éstos encontramos objetivos que se refieren a energía asequible y no contaminante, es decir, que constituye un objetivo crucial para todos los países mejorar la tecnología y expandir la infraestructura para contar con energía limpia, así se puede estimular el crecimiento y ayudar al ambiente en simultáneo; industria, innovación e infraestructura, es decir, que con la promoción de industrias sostenibles y la inversión en investigación e innovación científica se puede facilitar el desarrollo sostenible; y de producción y consumo responsables, es decir, que es inminente la necesidad de reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción, además de reducir los desechos para avanzar hacia patrones sostenibles para el año 2030 (PNUD, 2012).

La industria cementera, de la mano con la industria de la construcción, constituyen un sector en constante crecimiento, siendo a su vez una de las mayores generadoras de residuos en la actualidad; sin embargo, son pilares necesarios para el desarrollo de las comunidades. |

De acuerdo a información provista por el Jefe del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Aníbal Sánchez Aguilar y según datos preliminares, la producción del sector Construcción se incrementó en 8,94% en el mes de septiembre del 2017, siendo comparado con el mismo mes del año anterior. Este resultado se respaldó por el dinamismo que tuvieron las obras públicas y el consumo interno, los cuales aumentaron en 23,75% y 4,19%, respectivamente (INEI, 2017).

Con respecto al consumo interno de cemento en el año 2018, el indicador de la actividad del sector Construcción creció 4,32% en el mes febrero del presente año, siendo comparado con el mismo mes del año anterior, acumulando nueve meses de crecimiento continuo; informó el INEI en el Informe Técnico Avance Coyuntural de la Actividad Económica. Este resultado tuvo como base las obras de construcción de unidades mineras, centros comerciales, edificios de oficinas, así como de construcciones inmobiliarias, tales como edificios de vivienda multifamiliar y condominios, principalmente. Además, el porcentaje de créditos hipotecarios otorgados para vivienda creció en 8,48% en febrero del mismo año con respecto del mismo mes del año 2017 (INEI, 2018).



Figura 1 Índice de consumo interno de cemento (comprende despacho local e importación de cemento)

Fuente: Avance Coyuntural de la Actividad Económica (INEI, 2018).

Por otro lado, la industria cementera es una de las que mayor cantidad de energía demanda para el desarrollo de sus actividades, ya que, dentro del proceso de fabricación del cemento, se necesita alcanzar altas temperaturas (superiores a 1,400° C), requeridas para la obtención del Clínter, el cual es el insumo intermedio del cemento. Las fuentes de energía utilizadas provienen de combustibles fósiles y su combustión genera emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Por ejemplo, la fusión de Cementos Lima y Cemento Andino – UNACEM tiene como estrategia la producción de cemento con adiciones, teniendo así un menor factor clínter/cemento en la elaboración de sus productos, por lo que requieren un menor consumo energético (UNACEM, 2017). En cuanto a la alimentación de energía en

sus hornos, tienen un mix de combustibles para la elaboración de clínker, conformado por carbón y gas natural, tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1 Consumo de combustibles en hornos

Tipo de Combustible	2016		2017	
	Planta Atocongo	Planta Condorcocha	Planta Atocongo	Planta Condorcocha
Carbón (en toneladas métricas)	192,932	162,277	180,347	216,498
Petróleo (en toneladas métricas)	952.5	3,035	825	2,397
Gas natural (en metros cúbicos)	169'610,434	0	231'129,407	0
Diésel (en galones)	57,260	9,434	48,732	6,540

Fuente: Reporte de Sostenibilidad (UNACEM, 2017).

El vasto consumo de energía que requiere la producción del cemento ha atraído la mirada de los actores del sector hacia el uso de combustibles alternativos en los hornos de clinkerización, por lo que se ha incorporado en la tecnología el co-procesamiento. Este escenario tiene dos características particularmente importantes: las condiciones de la combustión y un ambiente natural alcalino de materias primas, que asegura destruir sustancias contaminantes, tales como dioxinas y los furanos, en gran medida. En Europa, al año 2009, se evitó el uso de 5 millones de toneladas de carbón, mediante el uso de combustibles alternativos, lo que constituye el 18% del total (CEMBUREAU, OFICEMEN, Fundación CEMA & Sustainable Energy Europe, 2009).

Los preceptos mundiales de la gestión de los residuos giran en torno a la “jerarquía de residuos” que tiene como base evitar su generación, luego reducirla al máximo,

reutilizar o reciclarlos, brindarles un tratamiento adecuado, y como última instancia, la disposición de los residuos en rellenos sanitarios o botaderos, acción que genera impactos negativos al ambiente. En Costa Rica, se añadió un paso más a la jerarquización, después de la reutilización, la cual se refiere a la valorización de los residuos por medio de recuperación energética, el reciclaje o el co-procesamiento, entre otros (Ley N° 8839 - Costa Rica, 2010).

En el contexto nacional, el artículo 2° del Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, señala que la gestión integral de los residuos sólidos en el Perú tiene como primer propósito evitar o minimizar la cantidad de residuos sólidos generados en origen, en comparación a otra alternativa. En segundo lugar, respecto de los residuos generados, se antepone la recuperación y la valorización de material y energía de los residuos, como la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras alternativas siempre garantizando la protección de la salud y del medio ambiente (D.L. N° 1278 , 2016).

En el marco del aprovechamiento de los Residuos la Construcción y Demolición (RCD) en el Perú, no se encontró información referente a experiencias de utilización de este tipo ni incluso a nivel de piloto, razón por la cual el nivel de la utilización de los dichos residuos antes de la disposición final se muestra como una alternativa bastante llamativa para la industria cementera y para la disminución de residuos a nivel municipal y provincial.

Para fines de la presente investigación, el término *escombro* podrá ser entendido como RCD, y viceversa.

La presente investigación se desarrolla estableciendo las variables mediante la elaboración de un diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos de escombros generados por el sector construcción, que favorezcan la implementación tecnológica futura para la mitigación del impacto ambiental negativo de las emisiones atmosféricas generadas del uso actual de los combustibles fósiles en el proceso de producción de Clínter, agregando material que pueda generar energía. Este último punto se desarrolla mediante el análisis de aprovechamiento de material para, como se ha mencionado, generar energía por co-procesamiento, para luego proponer las alternativas correspondientes que los actores pertinentes puedan utilizar para la ejecución de dicha tecnología. Por lo que, constituye el primer aporte para dimensionar, mediante un marco general, la oferta y demanda de RCD.

El presente documento es una investigación a pequeña escala, que contribuye a formar parte de la base de la información sobre el manejo de RCD en Arequipa, a partir de la estimación de generación de escombros en el distrito de Yura.

Por ende, se tiene como propósito general el desarrollo de una alternativa de valorización y aprovechamiento de material, a través del co-procesamiento de los RCD en una planta de cemento ubicada en el distrito de Yura, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa en el Perú. Se presume que el uso de tales residuos sólidos, a través de esta tecnología, permiten desarrollar dicha alternativa de valorización y aprovechamiento de material.

Finalmente, la realización del presente estudio encuentra su fundamento bajo el concepto de la valorización y el aprovechamiento de flujo de materiales y energía, aplicado en la Unión Europea de manera exitosa, el cual brinda alternativas para integrar la rentabilidad económica, la preservación del ambiente, añadiendo, además valores agregados regionales y empresariales (Vargas Tangua, 2014).

II. MARCO TEÓRICO

1. Marco teórico y conceptual

1.1. *La industria del cemento*

La Asociación Europea de Cemento (2016) describe al cemento como un aglomerante hidráulico, es decir, que se solidifica y adquiere dureza al añadirle agua, cuya composición se constituye por la mixtura de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro, los cuales, expuestos a altas temperaturas (aproximadamente 1500 °C), producen clínker, el que posteriormente al mezclarse con yeso, genera el cemento (CEMBUREAU, 2016).

La empresa cementera Yura S.A. produce el cemento Portland Tipo IP, a través de la molienda de clínker Portland Tipo I de alta calidad, una porción de yeso y puzolana natural. Esta puzolana debe ser de origen volcánico de alta actividad, y es un material silico aluminoso que cuando, en ausencia de agua, es dividido, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio, soltado por la hidratación de silicatos de calcio que se encuentran en el cemento para formar después compuestos con propiedades cementicias (Yura S.A., 2014).

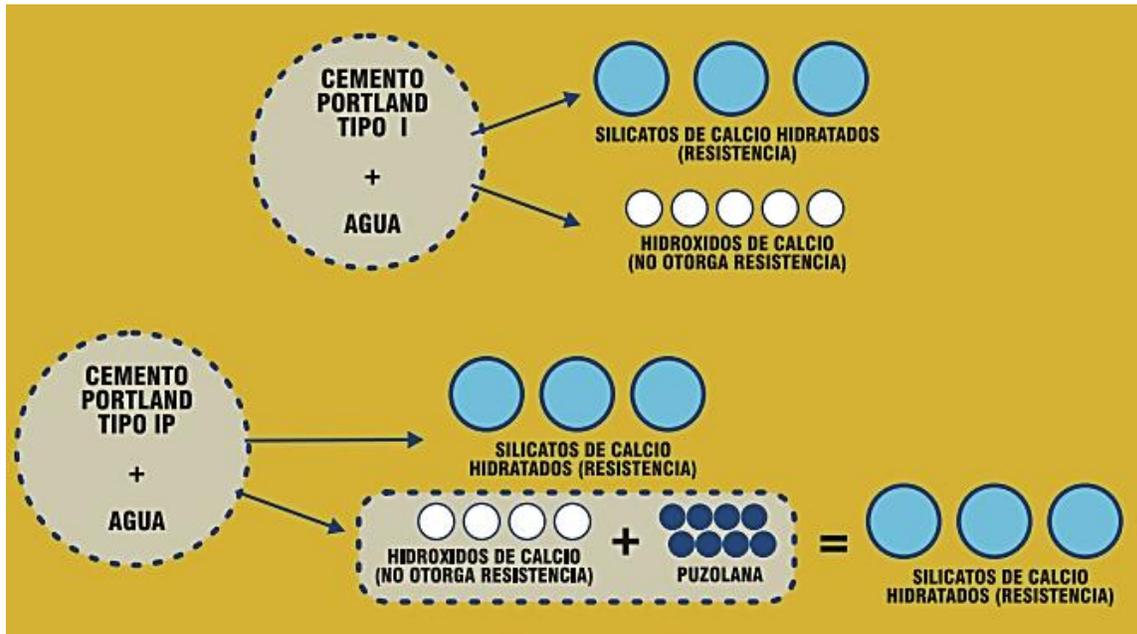


Figura 2 Composición del Cemento Portland Tipo IP por Yura S.A.

Fuente: Manual de Construcción (Yura S.A., 2014).

Respecto a los primeros usos del cemento, The Concrete Society of the United Kingdom (2017) comentó la existencia de un piso de concreto hecho de piedra caliza construido alrededor del año 7000 A.C., que se encontró en Israel en 1985. Sin embargo, no fue hasta mediados del siglo XIX, en 1824, que Joseph Aspdin de Leeds inventó el cemento Portland (Kingdom, 2017).

El proceso de producción del cemento está conformado por siete pasos, que se presentan a continuación:

1. Explotación y extracción de las materias primas
2. Almacenamiento
3. Chancado
4. Homogenización
5. Clinkerización
6. Molino de cemento
7. Embolsado y despachado

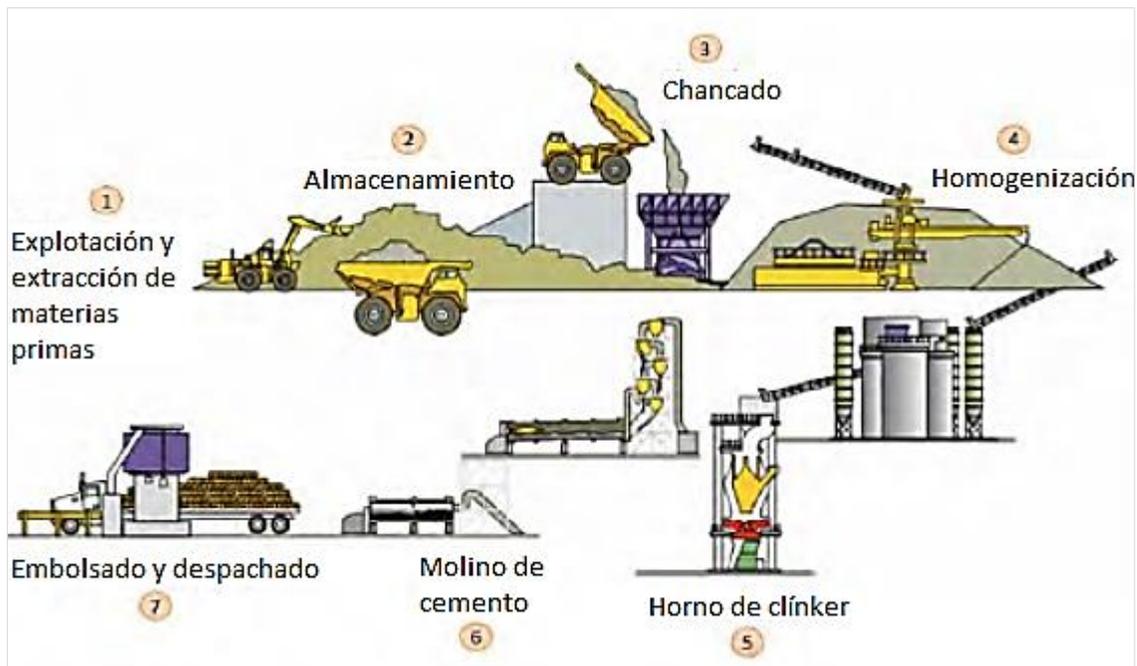


Figura 3 Proceso de producción industrial del cemento

Fuente: Tomado de “Cemento. Informe de riesgos de mercado”. Maximixe, 2016.

La industria cementera en Perú, inició su actividad productiva en el año 1924 con la Planta Maravillas de la Compañía Peruana de Cemento Portland. El monopolio existente en dicho sector estaba centralizado en la región capital de Lima, lo cual cambió con la formación de dos empresas privadas descentralizadas, Cementos Pacasmayo S.A., en 1957 y Cemento Andino S.A., en 1958. La producción de cemento alcanzó su punto máximo en 1980, decreciendo por la paralización de la exportación esencialmente hacia el Ecuador (Manuel Gonzáles de la Cotera, 1988).

Las plantas cementeras, al descentralizarse, permitieron una distribución racional del producto, no afectando exageradamente al usuario. Los radios de acción de las principales empresas son los siguientes: Cementos Norte Pacasmayo S.A. originó la bienandanza de las ciudades de Chiclayo, Trujillo, Piura, Tumbes, Cajamarca y la ceja de Selva, llegando a Chimbote por el sur; Cementos Lima S.A. abastecía al mercado de la capital, alcanzando de Ancash a Ica, de norte a sur; Cemento Sur S.A., emplazado en Puno, cubría el altiplano incluyendo los departamentos de Cuzco y Arequipa; Cemento Andino S.A. aportaba al desarrollo de la Sierra Central, la región de la Selva y parte del departamento de Lima; logrando así el abastecimiento a las conglomeraciones urbanas y rurales más relevantes del país, en un radio de 300 km (Manuel Gonzáles de la Cotera, 1988).

La producción total de cemento en el año 2016 fue 10.8 millones t, de acuerdo a la información publicada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017). Maximixe (2016) describe al mercado cementero del Perú como un oligopolio constituido por cuatro grupos empresariales, que suman seis (06) empresas,

ubicadas a lo largo del territorio nacional y acumulan el 93% de la producción total. El Producto Bruto Interno (PBI) se define como el valor total de bienes y servicios producidos en un país durante un periodo determinado, puede ser mensual, trimestral o anual. La producción puede medirse de tres formas diferentes: sumando el valor agregado de todas las unidades de producción, sumando los gastos de los consumidores (menos las importaciones) o sumando todos los ingresos recibidos por los agentes económicos, obteniéndose el mismo resultado (Diario Gestión, 2014).

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (VIVIENDA) cuenta con análisis estadísticos comparativos, de flujo de (03) tres años, de indicadores de Producto Bruto Interno (PBI) como lo es Despacho Total de Cemento. Este indicador es el más importante del PBI de Construcción, debido a que la expansión del Sector Construcción y la industria del cemento están intrínsecamente relacionados; además, mide las entregas por las empresas productoras y comercializadoras, incluyendo los despachos al mercado local (Despacho Nacional de Cemento) y el mercado internacional (exportación) (VIVIENDA, 2017).



Figura 4 Evolución Mensual del Despacho Total de Cemento: 2015-2017.
Variación Porcentual

Fuente: PERÚ: Evolución Mensual del Despacho Total de Cemento: 2014 - 2017.

En julio del año 2017, el despacho total de cemento decreció 0.25% respecto al mismo mes del 2016. El Despacho Total de Cemento, durante todo el año 2014, ha sido mayor con respecto del año subsecuente (VIVIENDA, 2017).

VIVIENDA, a su vez, cuenta con el análisis estadístico comparativo de la variación porcentual mensual de la Actividad del Sector Construcción (PBI de construcción), de flujo de (03) tres años; y el PBI de Construcción, que es el Índice Mensual de la Actividad en el Sector Construcción que mide la actividad del sector. Esta estimación oficial es publicada por el INEI con 45 días de retraso, en base a información de la actividad constructora a nivel nacional. El sector en mención conforma el 5.6% del índice de la Producción Nacional. (VIVIENDA, 2017).



Figura 5 Evolución Mensual de la Actividad del Sector Construcción (PBI de Construcción): 2015-2017. Variación Porcentual (%)

Fuente: PERÚ: Evolución Mensual de la Actividad del Sector Construcción (PBI de Construcción): 2014 - 2017.

El Sector Construcción registró un aumento de 3.49%, en junio del 2017, ante el aumento del consumo interno de cemento en 3.45% y el avance físico de obras en 3.73%.

De acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA, se considera como RCD a los que, cumpliendo con la definición dada en la Ley General de Residuos Sólidos, tienen su origen en las actividades y procesos de construcción, rehabilitación, restauración y demolición de edificaciones e infraestructura (VIVIENDA, 2013).

No existen datos a nivel nacional, regional o municipal, en los Informes Nacionales de Residuos Sólidos de la Gestión del Ámbito Municipal y No Municipal, que cuantifiquen los volúmenes de RCD generados por el Subsector Construcción.

En un estudio sobre la sostenibilidad de la industria cementera en Brasil, se define al co-procesamiento como una tecnología de destinación final de residuos en hornos utilizados en la generación de cemento, que no genera nuevos residuos y contribuye a la preservación de recursos naturales. Esta tecnología consiste en una operación combinada en la cual se queman y destruyen los residuos, y se aprovecha la energía para así producir Clínter de calidad (Carvalho, 2011).

El co-procesamiento se refiere al procesamiento y disposición de residuos industriales dentro del horno cementero y se define como “la sustitución de combustible primario y materias primas por residuos. Es una recuperación de energía y material a partir de residuos (GTZ, 2006, p.1)” (Spies & Arroyo, 2008, pág. 4).

En el marco nacional, aún no se han registrado experiencias de coprocesamiento de RCD en ningún sector.

1.2. Experiencias de otros países en co-procesamiento

La aplicación más conocida es la de Kalundborg en Dinamarca; sin embargo, vale recordar que las sinergias generadas no se realizaron como promoción de la ecología industrial sino para satisfacer una necesidad de las industrias (Jambou, 2015). Su origen se remonta a 1961, con la unión de una refinería y la municipalidad en un proyecto que consistía en utilizar el agua superficial del Lago Tisso a fin de reducir los costos del agua subterránea (UNEP , 2002). Hoy en día Kalundborg es una red que consiste en una treintena de buenas relaciones comerciales y bilaterales entre industrias y servicios municipales, presentando tres tipos de intercambio: el intercambio de subproductos o “residuos”, el intercambio de agua bajo diferentes formas y el intercambio de energía (Domenech et Davies, 2011). Gracias a esas simbiosis, Kalundborg ahorra millones de euros con la reducción del consumo energético, consumo del recurso hídrico y las emisiones de efecto invernadero (Christensen, 2012).

relativamente altas de disposición en rellenos, y una política que promueve la investigación en el reúso de residuos, que brinda incentivos generosos a proyectos ecológicos (Hotta and Aoki-Susuki 2010; Nakamura 2007).

En Canadá, se realizaron pruebas de campo para seleccionar los materiales de residuos óptimos a coprocesar en los hornos para la producción de tejas asfálticas, obteniendo como resultado de los experimentos disminución de los impactos ambientales a gran escala, además de incremento de la eficiencia del proceso de combustión a un nivel micro, sin afectar significativamente la emisión de partículas (Asamany, 2016).

1.3. Aprovechamiento y Valorización

“El aprovechamiento, según el artículo 9° del Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Aprovechamiento de material de descarte proveniente de actividades productivas, el material de descarte que constituya insumos directamente aprovechables por la misma actividad, la investigación y desarrollo u otras actividades económicas similares o no, distintas a la valorización de residuos, puede ser transferido bajo cualquier modalidad desde su generador hacia las actividades que lo aprovecharán, sin que le sean aplicables las normas sobre residuos sólidos de este Decreto Legislativo y sus normas reglamentarias”.

Este dispositivo legal, también define la valorización de residuos, en el acápite b) del artículo 5° Principios,

“Los residuos sólidos generados en las actividades productivas y de consumo constituyen un potencial recurso económico, por lo tanto se priorizará su valorización, considerando su utilidad en actividades de: reciclaje de sustancias inorgánicas y metales, generación de energía, producción de compost, fertilizantes u otras transformaciones biológicas, recuperación de componentes, tratamiento o recuperación de suelos, entre otras opciones que eviten su disposición final (D.L. N° 1278 , 2016)”.

1.4. Alternativas

Remontándonos a la época de Aristóteles, podemos encontrar definiciones de valor como objeto de estudio de diversas teorías. Desde entonces ya se diferenciaba el concepto de valor de uso y valor de cambio, refiriéndose el primero a la satisfacción que un bien reporta al individuo, y el segundo a la cantidad de otros bienes que pueden obtenerse a partir de este (Valier, 2005)

Por otro lado, Tomas de Aquino (1224-1274) de acuerdo con Alberto Magno, quien ya había conceptualizado lo que es la necesidad (*indigentia*) que da valor a los bienes económicos, muestra que el valor de cambio de las cosas lo determina la estimación común (*communis aestimatio*), término que representa la necesidad o

utilidad común y general de todos los hombres, es decir, lo subjetivo “la estimación” se subordina a lo que tiene de objetivo “lo común” (Fuentes, 2014).

La valorización en el reciclaje de residuos se refiere a toda operación, cuyo resultado principal es que los residuos sean útiles reemplazando a otros materiales que tienen fines específicos en planta o en la economía. (Directive cadre 2008/98/CE, 2008).

La valorización consiste en el reuso, el reciclaje o toda acción destinada a obtener, a partir de residuos, materiales reutilizables o energía. (Loi N° 92-646 du 13 juillet 1992) (Jambou, 2015).

La valorización energética de desechos por incineración presenta una serie de ventajas, como su contribución a la producción de energía considerada renovable, tratándose de biomasa; asimismo, contribuye a la seguridad en el abastecimiento de energía (Service de recherche du Parlement européen, 2015).

2. Marco político y legal

Tabla 2 Normas referentes a residuos sólidos en el Perú

NORMA	DESCRIPCIÓN
Constitución Política del Perú	En su art. 2 incisos 22 señala que toda persona tiene derecho a “gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.”
Ley N° 27972, Ley Orgánica de Municipalidades	En su art. 80, numerales 3.1 y 3.4, establece que las Municipalidades Distritales tienen como función específica exclusiva; proveer del servicio de limpieza pública determinando las áreas de acumulación de desechos, rellenos sanitarios y aprovechamiento industrial de desperdicios, de fiscalizar y realizar labores de control; en tanto que las municipalidades provinciales tienen como función específica exclusiva la regulación y el control del proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito de la provincia.
Ley N° 28611, Ley General del Ambiente	En el artículo 119° menciona que la gestión de los residuos sólidos es competencia de las municipalidades. Asimismo, en el artículo 13° manifiesta que “la gestión ambiental es un proceso permanente continuo, constituido por el conjunto estructurado de principios, normas técnicas, procesos y actividades, orientado a administrar los intereses, expectativas y recursos relacionados con los objetivos de la política ambiental y alcanzar así, una mejor calidad de vida, desarrollo integral de la población, de las actividades económicas y la conservación del patrimonio ambiental y natural del país”

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto Legislativo N° 1278	Aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos
Decreto Supremo N° 003 – 2013 VIVIENDA	Aprueba el reglamento para la gestión y manejo de los residuos de las actividades de la construcción y Demolición.
Decreto Supremo N° 085 – 2014 – EF	Aprueba los procedimientos para el cumplimiento de metas y la asignación de los recursos del Plan de Incentivos a la Mejora de la Gestión y Modernización Municipal del año 2014.

Fuente: Propia.

3. Marco geográfico

El Distrito de Miraflores está ubicado en la parte Nor-Oriental de la provincia de Arequipa, en las coordenadas 16°9'29.28" de latitud sur; y 71°52'88.90" de longitud oeste, aproximadamente. El territorio de éste distrito presenta una extensión de 28.68 km²; y está delimitado por el norte, con el volcán Misti; y por el sur, con las calles Arica, Manuel M. Najar y la Av. Mariscal Castilla, que colindan con el Cercado de Arequipa; por el noroeste, con el distrito de Mariano Melgar; y por el oeste, con el distrito de Alto Selva Alegre.

Vale mencionar que en el distrito de Miraflores se encuentran las fuentes de donde se extrae la materia prima para la producción de cemento.

En el Diagnóstico de Residuos de la Construcción y Demolición del distrito de Miraflores, se han identificado 54 núcleos urbanos, los cuales son generadores de residuos de la construcción y demolición, en menores y mayores volúmenes, que son depositados por la población en las vías públicas, esquinas e intersecciones de calles, áreas verdes o en su mayoría en los lechos de torrenteras, no realizando así una adecuada disposición de los mismos.

Asimismo, en el mencionado estudio, se identificó que los RCD depositados en la vía pública son recogidos por un vehículo designado por la Gerencia de Servicios a la ciudad, que los transporta a un lugar ubicado en la parte alta del distrito.

Actualmente, no se ejecutan actividades de tratamiento o aprovechamiento de los RCD por parte de la población ni de instituciones; y los que son recolectados por la

Municipalidad, no reciben ningún tipo de tratamiento, siendo llevados directamente al punto de disposición final.

Por otro lado, existen deficiencias con respecto de la inexistencia de un catastro actualizado del distrito, poco interés y apoyo por parte de las autoridades, desinformación sobre botaderos de RCD, y desconocimiento de la reutilización, aprovechamiento y reciclaje de éstos, a pesar del riesgo que acarrea la inadecuada disposición.

Además, cabe mencionar que el distrito de Miraflores fue elegido para la descripción, debido a que no existe información con respecto de los residuos sólidos generados en el mismo, ni de su manejo en otros sectores.

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1. Hipótesis

El co-procesamiento de los residuos sólidos de actividades de la construcción, del ámbito no municipal, en una planta de cemento permitirá desarrollar una alternativa de valorización y aprovechamiento de material.

2. Objetivo General:

Desarrollar una alternativa de valorización y aprovechamiento de material, a través de co-procesamiento de los residuos sólidos de actividades de la construcción en una planta de cemento ubicada en el distrito de Yura, provincia de Arequipa.

3. Objetivos específicos:

- Elaborar un diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos generados en la industria cementera en la ciudad de Arequipa.
- Realizar un ensayo para el análisis del aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición para la generación de energía por co-procesamiento de la ciudad de Arequipa.
- Proponer alternativas de valorización y aprovechamiento sobre la base de lo experimentado.

IV. METODOLOGÍA Y MATERIALES

1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de no tipo experimental, debido a que el estudio de los RCD en el Perú ha sido muy poco estudiado, existiendo poca literatura respecto de su generación en las ciudades y de sus características.

Además, se basa en un método no experimental exploratorio con el propósito de identificar el estado y las bases que puedan preparar el terreno para estudios explicativos, descriptivos y correlacionales.

2. Unidad de Análisis

La presente investigación establece como unidad de análisis a los RCD generados por la población del distrito de Yura en la región de Arequipa.

3. Población de Estudio

La unidad de muestreo para la cual serán válidas las conclusiones del presente estudio es la población del distrito de Yura en Arequipa, en base a la información obtenida en los censos realizados en el ámbito nacional en los últimos años.

4. Tamaño de Muestra

La población estimada a habitar en las casas a construir por el Programa Mi Vivienda (2 500 viviendas de 60 m²), siendo cuatro (04) personas por familia, se tiene un total de 10 000 personas.

5. Selección de Muestra

Se utilizó el dato de las viviendas a construir con el Programa Mi Vivienda para así tener un promedio de metraje por edificación a construir.

6. Técnicas de Recolección de Datos

- Consulta de bibliografía vinculada al tema de investigación: En portales web, periódicos y revistas, relacionados al tema objeto de investigación.
- Entrevistas a profundidad: Para complementar la información se han realizado entrevistas a entidades como Cajas Ecológicas y especialistas en temas de obras de construcción.
- Observación directa: Incluye visitas de campo en el área de estudio y evaluación de la disponibilidad de obtención de información.

7. Análisis e Interpretación de Información

Los datos obtenidos serán procesados de manera tal que se obtengan estimaciones concisas sobre las que se pueda comprobar la hipótesis, es decir, en el caso del presente estudio verificar si existe un mercado que pueda disminuir la demanda energética de la industria cementera.

Por cuanto la metodología para el logro del objetivo general se desarrolla para cada uno de los objetivos específicos de la siguiente forma:

Objetivo específico 1

Elaborar un diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos generados en la industria cementera en el distrito de Yura, en la ciudad de Arequipa.

Tarea 1. Determinar las características y condiciones actuales de la gestión de los residuos procedentes de la construcción y demolición de obras relevantes

Para el cumplimiento de la misma se realizan las siguientes acciones:

- Revisión de información secundaria disponible acerca de los siguientes aspectos pertinentes:
 - Ubicación del distrito de Yura
 - Características del distrito, es decir, área, centros poblados urbanos y rurales que lo conforman
 - Generación de residuos no municipales
 - Marco regulatorio de la disposición de residuos sólidos
 - Análisis de la problemática sobre la disposición final de residuos sólidos en el Perú

Tarea 2. Estimación del volumen de RCD generado en una construcción de tipo inmobiliaria

Para el cumplimiento de la misma se realizan las siguientes acciones:

- Entrevistas a ingenieros del sector construcción
- Entrevistas a Cajas Ecológicas, empresa transportadora de RCD

- Búsqueda de metodología para estimar la cantidad de RCD a ser generados en una obra
- Estimación de la cantidad de RCD para un proyecto de construcción de viviendas de 60 m², en base a la metodología elegida

Objetivo específico 2

Realizar un ensayo para el análisis del aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición para la generación de energía por co-procesamiento de la ciudad de Arequipa.

Para el cumplimiento del misma se realizan las siguientes acciones:

- Recopilación y análisis de información concerniente a los siguientes aspectos:
 - Demanda energética en el proceso de producción del cemento
 - Características del cemento de mayor demanda
 - Condiciones para el uso de combustibles alternativos
 - Evaluación del punto de alimentación óptimo de combustibles alternativos
 - Composición química del mayor componente de los RCD, el cemento
 - Análisis descriptivo de los componentes químicos con influencia de calor

Objetivo específico 3

Proponer alternativas de valorización y aprovechamiento sobre la base de lo experimentado

Para el cumplimiento del misma se realizan las siguientes acciones:

- Recopilación y análisis de información concerniente a los siguientes aspectos:
 - Producción anual de cemento
 - Principales empresas abastecedoras de cemento en la región Arequipa
 - Venta anual de cemento
 - Análisis de la información obtenida en el Objetivo Especifico 2
 - Evaluación de otras alternativas de uso de RCD
 - Análisis de la normativa nacional existente sobre los RCD

V. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Se presentan los resultados de la investigación de acuerdo a los objetivos propuestos de la siguiente manera:

1. Elaborar un diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos generados en la industria cementera en el distrito de Yura, en la ciudad de Arequipa.

El distrito de Yura está localizado al noroeste de la ciudad de Arequipa, aproximadamente en las coordenadas $16^{\circ} 15' 05''$ de latitud sur, y $71^{\circ} 40' 50''$ de longitud oeste. Tiene una superficie de $1,942.90 \text{ km}^2$, representando el 20.06 % de la superficie de la Provincia de Arequipa, y está delimitado de la siguiente manera:

- Norte: Distrito de Achoma (Caylloma).
- Noroeste: Distrito de Huanca.
- Sureste: Cerro Colorado, Cayma, Yanahuara.
- Suroeste: Distrito de Vitor.
- Este: Distrito de Cayma.



Figura 7 Ubicación distrital

Fuente: Municipalidad Distrital de Yura.

En el área total del distrito se ubican 36 centros poblados; tres (03) considerados como centros urbanos (La Calera, Ciudad de Dios y La Chacra), que contienen al 92% de la población (Municipalidad Distrital de Yura, 2015).

Tabla 3 Centros poblados y urbanos del distrito de Yura

N°	Centro Poblado	Categoría
Urbanos		
1	La Calera	Pueblo
2	La Chacra	Anexo
3	Cono Norte*	
Rurales		
1	Agua Salada	Caserío
2	Amallame	Caserío
3	Baños de Yura	Anexo
4	Cincha	Caserío
5	Cullpa	Caserío
6	Chilca	U. Agro.
7	Chilcane	Caserío
8	Esquera	U. Agro.
9	Estación Yura	Anexo
10	Gramadal	Caserío
11	Jayo Chico	Caserío
12	Penco	U. Agro.
13	La Calera (mina)	Camp.
14	Lugmirca	U. Agro.
15	Matagrayo	U. Agro.
16	Morroverde	N.E.P.
17	Ojule	Caserío
18	Pacorane	Caserío
19	Palca	Caserío
20	Pampa de Arrieros	Anexo
21	Patahuasi	Caserío
22	Pisac	Caserío
23	Polopuluni	U. Agro.
24	Pucara	Caserío
25	Puntillo	Caserío
26	Quillacancha	U. Agro.
27	Quiscos	N.E.P.
28	Pillones	U. Agro.
29	Socosani	Anexo
30	Tacune	Caserío
31	Taxa	U. Agro.
32	Uyupampa	Anexo
33	Yura Viejo	Anexo

Fuente: Plan de desarrollo concertado al 2021, Municipalidad de Yura.

De acuerdo a la información consignada en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 – 2024, elaborado por el Ministerio del Ambiente se tiene que al año 2013, en cuanto a los residuos de origen no municipal, se generaron 1,03 millones de toneladas, siendo el sector manufactura el que mayor porcentaje evidenció (80%). Esto se realizó con información de los sectores manufactura, pesquería, acuicultura, agricultura y salud (MINAM, 2014). Sin embargo, vale mencionar que para el año 2012, se reportaron 11,03 millones de toneladas generadas en el sector no municipal (MINAM, 2013), por lo que se puede observar una gran diferencia en los resultados, que puede ser atribuida a inconvenientes en la gestión de información a nivel sectorial.

Según legislación vigente, las municipalidades provinciales son las responsables de regular y controlar el proceso de disposición final de residuos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial, así como las municipalidades distritales son las encargadas de gestionar el servicio de limpieza pública determinando áreas de acumulación de desechos, rellenos sanitarios y del aprovechamiento industrial de desperdicios (Ley N° 27972).

Hoy por hoy, la problemática más grande del manejo de residuos sólidos en el Perú es la mínima existencia de lugares adecuados destinados para su disposición final, estimándose, según el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024, que el país demanda 190 subestructuras para la disposición final de residuos sólidos. No obstante, al año 2014 existían sólo 11 rellenos sanitarios y 10 instalaciones para la disposición de residuos del ámbito no municipal a nivel nacional, que cuenten con los permisos y autorizaciones requeridas por la ley. Dicha problemática puede deberse a que no existe una

capacitación sectorial por parte de VIVIENDA que permita a los funcionarios diseñar y estipular una política local para el adecuado manejo de RCD. Por otra parte, dentro de los instrumentos para el establecimiento de las tasas de arbitrios, no se ha podido constatar un marco legal adecuado para el cobro de recolección y transporte de RCD. Según el MINAM, al año 2018 existen 25 rellenos sanitarios con todos los permisos y autorizaciones correspondientes, pero ninguna escombrera para residuos de la construcción y demolición.

En el año 2018, el MINAM, en conjunto con el OEFA, registró 92 distritos en todo el país que requieren tomar medidas para mejorar la gestión de los residuos sólidos y sus servicios de limpieza, a pesar de que dichas municipalidades contaban con la capacidad para cubrir al 100% el servicio de limpieza y recojo de residuos (OEFA, 2018).

Otro de los grandes inconvenientes del manejo de RCD es que los administrados no suelen disponer el 100% de los residuos generados. Esto se evidencia, a través de los datos provistos por la Empresa Operadora de Residuos de Construcción y Demolición: Cajas Ecológicas, quienes proveen servicios de transferencia de RCD. Los materiales recolectados no cuentan con estudios de caracterización, pero se estima que un 50-60% son de tipo pétreo y un 40% son de tipo papel, madera no tratada, cartones, metales ferrosos, metales no ferrosos, plástico y residuos no reaprovechables.

Para una obra de construcción de un edificio de tipo inmobiliario de 20 pisos con sótanos, la generación de residuos depende del volumen de los sótanos a construir. Con la información consignada en los planos del proyecto se puede

estimar el volumen, el cual podría llegar a los 10 mil a 12 mil metros cúbicos, sólo para los sótanos. Adicionalmente, considerando que la obra dure un año, la construcción produciría aproximadamente 16 metros cúbicos de RCD cada dos semanas, es decir, 832 metros cúbicos durante todo ese año; obteniendo un aproximado de 12832 metros cúbicos de RCD durante toda la vida del proyecto.

Los valores de RCD pueden estimarse con bastante exactitud, tomando como base la topografía, el estudio de suelos y los planos de las cimentaciones, para el caso de las excavaciones; y para las demoliciones, se miden en los planos la estructura a demoler y se considera el factor de esponjamiento, ya que el material ocupa mayor espacio al ser demolido.

En el caso de las obras existen partidas de eliminación, éstas partidas corresponden a los materiales de las excavaciones y/o demoliciones. Para estos trabajos la empresa contratista está obligada a presentar los certificados de autorización de los rellenos sanitarios, ya sea por la municipalidad u otra autoridad competente. Este certificado indica la cantidad en metros cúbicos y el tipo de material que se eliminó en un rango de fechas, identificando a la empresa que está pagando el servicio. Para cuantificarlos se puede medir el volumen del trabajo a realizar o de los elementos a demoler, llegando a un buen estimado de eliminación.

Por otro lado, existen otros residuos a lo largo de la ejecución del proyecto de construcción, cuya cantidad es difícil de ser estimada y depende de la experiencia de la empresa contratista. Éstos pueden incluir los generados por los trabajadores, materiales que quedan como merma, desperdicios, suciedad

de algunos trabajos húmedos, cajas o embalaje de los materiales que llegan a obra, entre otros. Para estos generalmente se usa una caja ecológica y también requiere su validación a través de un certificado de las mismas características del anterior.

Sobre la base de la información obtenida, se comprueba que no existe información detallada real sobre la generación de residuos sólidos municipales y mucho menos no municipales, grupo dentro del cual se ubican los residuos de construcción y demolición, objeto de estudio de la presente tesis.

En España, a través del Real Decreto 105/2008 del Ministerio de la Presidencia, se regula la producción y gestión de residuos de la construcción y demolición, así como el establecimiento de una metodología para estimar la cantidad de tales residuos, expresada en toneladas y metros cúbicos, a ser generados en una obra.

Para fines del presente estudio, se procede a determinar la generación de RCD por vivienda, en función a la población actual que habita el distrito de Yura.

Primero, se estima la generación promedio de RCD para la construcción de viviendas de 60 m², área estimada, tomando como referencia el Programa Regional de Vivienda y Suelo (Previs), impulsado por el Gobierno Regional de Arequipa en el año 2017, para la construcción de dos mil quinientas (2500) viviendas de 60 m² en el distrito de Yura, obteniendo lo siguiente:

Tabla 4 Estimación de residuos a generarse por un proyecto de construcción

Usos principales del edificio	"S" sup. Construida	"V" volumen residuos (S*0.2)	"d" densidad tipo entre 1,5 y 0,5	"t" toneladas de residuo (v*d)
Unidad	m ²	m ³	t/m ³	t
Vivienda	60	12	1.5	18

Evaluación teórica del Peso por tipología de RC	Código LER	% en peso	Toneladas de cada tipo de RC (t x %)	Densidad	d volumen residuos (t/d)
Unidad			t	t/m ³	(t/d)
RC: nivel I procedentes de la excavación de la obra					
1. tierras y pétreos	-	-	-	-	-
RC: nivel II procedentes de la construcción de la obra					
RC: naturaleza no pétreo					
1. Asfalto		5	0.9	1	0.9
2. Madera		4	0.72	1.5	0.48
3. Metales		2.5	0.45	1.5	0.3
4. Papel		0.3	0.054	0.75	0.072
5. Plástico		1.5	0.27	0.75	0.36
6. Vidrio		0.5	0.09	1	0.09
7. Yeso		0.2	0.036	1	0.036
Total estimación (t)		14			2.238
RC: Naturaleza pétreo					
1. Arena, grava y otros áridos		4	0.72	1.5	0.48
2. Hormigón		12	2.16	1.5	1.44
3. Ladrillos, azulejos y otros cerámicos		54	9.72	1.25	7.776
4. Piedra		5	0.9	1.5	0.6
Total estimación (t)		75			10.296
RC: potencialmente peligrosos y otros					
1. Basura		7	1.26	0.75	1.68
2. Pot. Peligrosos y otros		4	0.72	0.6	1.2
Total estimación (t)		11			2.88

Fuente: Propia.

De donde se obtiene que en la construcción de una vivienda de 60 m², se generarían aproximadamente 18 toneladas de residuos sólidos, de acuerdo a los cálculos, 2.238 t de naturaleza no pétreo, 10.296 t de naturaleza pétreo, y 2.88 t potencialmente peligrosos y otros. La vivienda analizada no contaría con sótanos, por lo que la generación estimada para la cimentación de las bases de ésta sería de aproximadamente 3 toneladas.

El Artículo 7°. del Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, aprobada mediante Decreto Legislativo N° 1278, establece instrumentos para el uso eficiente de los materiales y la gestión de los residuos sólidos, como son los siguientes:

- Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PLANRES),
- Plan Provincial de Gestión de Residuos Sólidos Municipales (PIGARS)
- Plan Distrital de Manejo de Residuos Sólidos Municipales (PMR)
- Planes de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos No Municipales
- Registro de Empresas Operadoras de Residuos Sólidos
- Declaración anual sobre minimización y gestión de residuos sólidos no domiciliarios
- Otros

En el artículo 55. Manejo integral de los residuos sólidos no municipales, contenido en la, se menciona que:

“El generador u operador debe conducir un registro interno sobre la generación y manejo de los residuos en las instalaciones bajo su

responsabilidad a efectos de cumplir con la Declaración Anual de Manejo de Residuos” (D.L. N° 1278 , 2016).

En conclusión, en el distrito de Miraflores no existe un sistema de manejo apropiado de RCD, y existe un marco normativo vigente, que no es debidamente supervisado, fiscalizado o sancionado por incumplimiento del mismo.

El aprovechamiento de RCD no se toma con el suficiente interés, por el contrario, es la existencia de este tipo de residuos es considerado un problema a eliminar desde el punto de vista de la población.

2. Realizar un ensayo para el análisis del aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición para la generación de energía por co-procesamiento de la ciudad de Arequipa.

Como ya se ha mencionado antes, la información concerniente a residuos de construcción y demolición en el país es bastante escasa, por lo que se había proyectado tomar muestras tipo para ser analizadas y poder estimar la cantidad de energía (calor) que estas pueden generar en un horno de Clinker. Sin embargo, existieron complicaciones con el acceso al área para la toma de muestras y la inexistencia de un laboratorio acreditado que realice una prueba de poder calorífico en muestras de RCD en el país.

En ese sentido, se tomaron como base datos de otros estudios para poder suplir la carencia de información de entrada en el desarrollo de la investigación.

La producción de cemento Portland es energéticamente intensiva; teóricamente se necesita un promedio de 1.75 MJ de energía térmica para quemar 1 kg de Clinker de cemento Portland. El requerimiento actual, en plantas modernas, es de aproximadamente 2.9 a 3.2 MJ/kg (BREFF 2001, CEMBUREAU 1997) dependiendo del proceso hasta 4 MJ/kg.

La producción del cemento involucra 4 etapas: Preparación de la mezcla de material; formación térmica del Clinker en el horno de cemento; enfriamiento del Clinker; y la molienda y mezcla con aditivos para la calidad requerida del cemento.

Tabla 5 Temperaturas necesarias en las etapas de producción del cemento

Menos de 550 °C	Pre-calentamiento, secado y deshidratación
550 a 900 °C	Decarbonización de CaCO_3 a CaO y CO_2 (la decarbonización es una reacción endotérmica, es necesario un flujo de gas a más de 1000°C).
900 a 1300 °C	Primera recristalización o reacción de calcinación
1300 a 1450 °C	Sinterizado y clinkerización (el sinterizado es una reacción endotérmica, es necesaria una llama de 1800°C).

Fuente: Propia.

Entonces, si se pretende suplir la demanda de energía mencionada, tenemos que estimar el calor generado por el tipo muestra de residuo de construcción y demolición, que se desea estudiar.

Cementos Yura S.A. produce Cemento Portland Tipo IP, de conformidad con la Norma Técnica Peruana (NTP) 334 090 y la Norma ASTM C 595, recomendado para todo tipo de obra civil (Yura, 2017). Este sería un Cemento Portland Puzolánico, el cual es un cemento hidráulico en el cual la puzolana está presente por encima del 40% en masa cemento adicionado (NTP 334 090).

Presenta las siguientes características técnicas:

Tabla 6 Características Técnicas del Cemento Portland Tipo IP producido por Yura

Requisitos	Cemento Multi-propósito Yura Tipo IP		Requisitos Norma NTP 334 090 ASTM C-595	
Requisitos Químicos				
MgO (%)	1.5 a 2.4		6 máx.	
SO ₃ (%)	1.5 a 2.3		4 máx.	
Pérdida por ignición	1.5 a 3.8		5 máx.	
Requisitos Físicos				
Peso específico	2.77 a 2.85		-	
Expansión en autoclave (%)	-0.05 a 0.03		-0.020 a 0.080	
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420	
Contenido de aire	2.5 a 8		12 máx.	
Resistencia a la compresión	Kgf/cm²	MPa	Kgf/cm²	MPa
1 día	80 a 104	7.8 a 10.2	-	-
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 mín.	13
7 días	225 a 260	22.0 a 25.4	204 mín.	30
28 días	306 a 350	30.0 a 34.3	255 mín.	25
Resistencia a los sulfatos				
% Expansión a los 6 meses	< 0.021 %		0.05 máx.	
% Expansión a 1 año	< 0.023 %		0.010 máx.	

Fuente: Ficha Técnica multipropósito, Yura S.A. (Disponible en:

<http://www.yura.com.pe/productos/index.html#ip>)

El cemento producido en Yura, al contener puzolana natural de origen volcánico, suele presentar mayor resistencia a la compresión en comparación a las ofrecidas por otros tipos de cemento. La puzolana contenida en el Cemento Multi-propósito Yura IP reacciona con el hidróxido de calcio y produce más

silicatos de calcio, otorgando más resistencia, a través del cierre y sellado de los poros, haciéndolo más impermeable.

Por otro lado, las condiciones del proceso para el uso de combustibles alternativos pueden resumirse de la siguiente manera:

- Temperatura máxima del gas a 2000 °C (quemador principal, temperatura de llama) en hornos rotatorios.
- Tiempo de retención del gas de 8 segundos a temperaturas sobre 1,200 °C en hornos rotatorios.
- Tiempo de retención de gas en el sistema de combustión secundario de más de 2 segundos a temperaturas de más de 850 °C.

Existe una razón técnica y una restricción legal que limita la ubicación de los puntos de alimentación en el sistema de hornos (Pomberger, 1990):

- De acuerdo a la Directiva 2010/75/EU de emisiones industriales y regulaciones nacionales, el combustible proveniente de residuos tiene que ser quemado a una temperatura mayor de 850 °C con un tiempo de retención mínimo de 2 segundos.
- La materia prima es calentada gradualmente de su temperatura de 80 °C, después de ser molido, a 1000 °C a la entrada del horno a la temperatura de sinterización de 1450 °C en la zona de quema del horno rotatorio.

Como se muestra en la siguiente figura, se pueden usar diferentes puertos para la carga de combustibles al horno. Los puertos de alimentación potenciales son:

(1) A través del quemador principal al final de la salida del horno rotatorio:

SRF: tamaño de partícula (d_{95}) < 35 mm, LHV: > 18MJ/kg/OS.

- (2) A través de los quemadores secundarios hacia el conducto ascendente en la entrada del horno.
- (3) A través de los quemadores del precalcinador hacia el precalcinador: SRF: $d_{95} < 80$ mm, LHV: 12 – 18MJ/kgOS.
- (4) A través del canal de alimentación hacia el precalcinador: SRF: $d_{95} < 300$ mm, LHV: 12 – 18 MJ/kgOS.

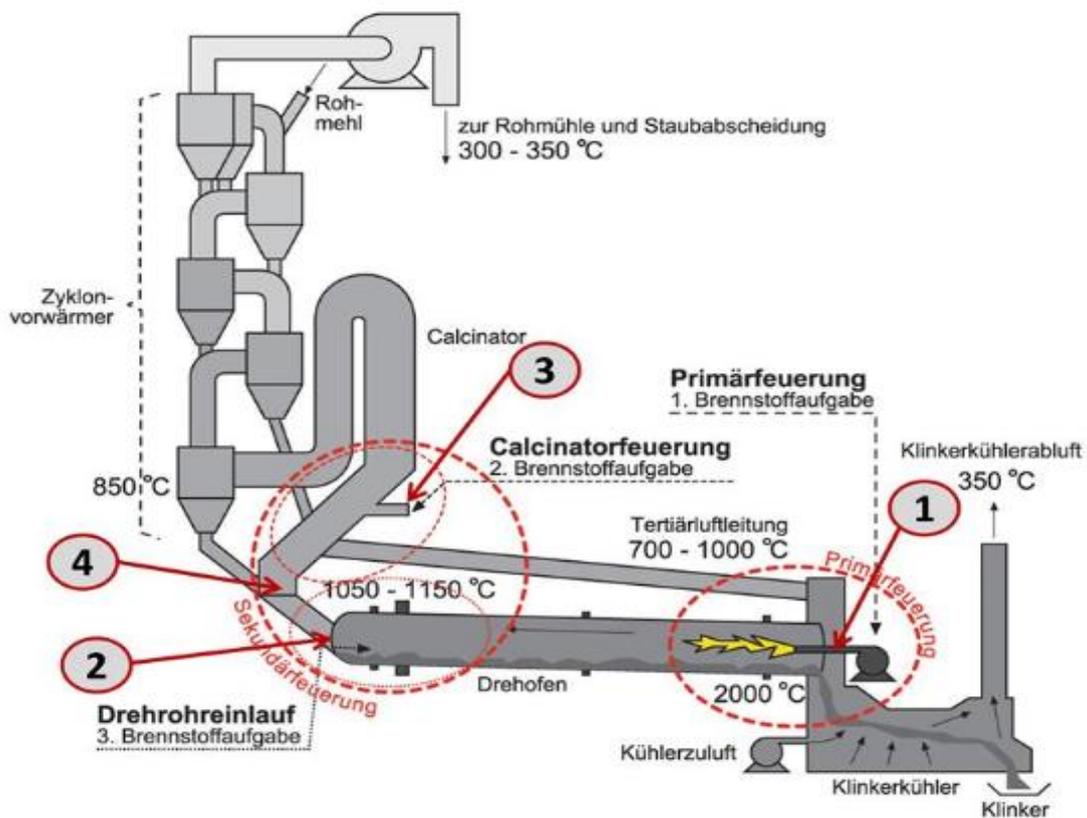


Figura 8 Potenciales puntos de alimentación de combustibles alternativos provenientes de residuos en un horno cementero

Fuente: Refuse Derived Fuels - solid recovered fuels for the cement industry (Pomberger, 1990).

La manera de alimentar el combustible adicional es crucial, ya que puede tener efecto directo en las emisiones. La manera más segura es que los gases de combustión pasen por la zona de mayor temperatura (más de 2000 °C) en el horno, también llamando el quemador principal.

El punto de alimentación (1) es la entrada de carbón, que es el combustible más empleado en la producción de cemento, por lo que, al añadirse, en ese puerto, los RCD molidos, éstos, además de alimentar a la generación del calor, serán inmediatamente calcinados e iniciarán a formar parte del material del cemento como un ingrediente adicional.

La adición de los residuos en mención no debería suponer ningún tipo de variación en cuanto a la calidad y/o clasificación del cemento que Yura produce, ya que de acuerdo a la NTP 334 090 el Cemento Portland IP ya es un cemento adicionado. Incluso la categoría que incluye a la puzolana como un aditivo, menciona también a la escoria como una alternativa. La puzolana o escoria a utilizar en la fabricación de cementos Portland deben tener el mismo estado de finura que la de los materiales con la que será mezclada.

El cemento Portland tipo IP, producido por Yura, tiene la siguiente composición (Yura, 2017):

- Silicatos de Calcio

El C_3S , también llamado alita, es el silicato cálcico más inestable de los que se encuentran en el cemento, y se transforma en silicato de calcio hidratado al reaccionar con el agua, conocido como tobermorita gel, y en hidróxido de calcio, así:



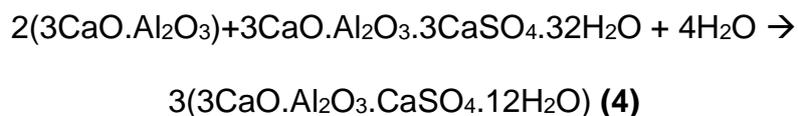
El silicato dicálcico (C₂S - belita), al agregársele agua, se transforma a su vez en tobermorita gel, y en hidróxido de calcio, pero con la diferencia del anterior, produce menos hidróxido de calcio:



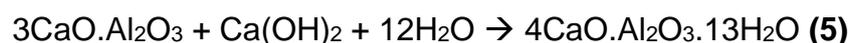
El aluminato de calcio (C₃A - celita) al combinarse con yeso y agua produce la etringita:



El aluminato de calcio con la etringita y con agua se convierte en monosulfato:



El aluminato de calcio (C₃A) con el hidróxido de calcio y con agua se convierte en aluminato de calcio hidratado:



La complejidad al realizar la caracterización de las partículas del cemento se debe a su diminuto tamaño, formas complejas y la presencia de multifases naturales. Por lo que, para identificar sus componentes mineralógicos se usan diferentes técnicas, tales como: microscopía electrónica, difracción de rayos X y análisis térmico, entre otras (Giraldo & Tobón, 2005). Una caracterización adecuada y minuciosa puede ayudar a predecir el comportamiento del cemento y realizar un modelamiento más real del desarrollo microestructural (Bentz y Stutzman, 1994).

- Puzolana

La puzolana es un material de origen volcánico, roca piroclástica, que manan a través de erupciones volcánicas explosivas, las cuales se depositan alrededor del volcán, según la viscosidad, velocidad de enfriamiento y contenido de gases del magma fundido original. Así han sido encontrados materiales como cenizas (de aspecto pulverulento), pómez (fragmentos con pequeños alvéolos regulares, separados por pequeñas películas de lava), las escorias (poros irregulares y mayor densidad) y bombas (materiales densos).

Tabla 7 Análisis químico de algunas puzolanas naturales y artificiales

CUADRO II
Análisis químico de algunas puzolanas naturales y artificiales

Puzolana	% en peso								
	P. calc.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
<i>Puzolanas incoherentes</i>									
- Almagro (Ciudad Real)	4,6	42,2	19,4	12,1	12,0	11,0	1,6	1,7	
- Olot (Gerona)	0,9	42,5	13,5	13,5	8,8	9,1	1,9	3,7	0,46
- Segni (Italia)	4,0	45,5	19,6	9,9	9,3	4,5	0,8	6,3	0,16
- Auvernia (Francia)	0,2	46,6	17,6	11,8	9,8	5,6	3,1	1,8	
- Tierra de Santorin (Grecia)	4,8	63,8	13,0	5,7	4,0	2,0	3,8	2,5	
<i>Tobas</i>									
- Toba de Gran Canaria	6,0	57,5	18,0	4,5	1,5	1,0	5,0	6,5	
- Tras Renano	11,1	52,1	18,3	5,8	4,9	1,2	1,5	5,1	
- Toba de Nápoles (Italia)	9,1	54,7	17,7	3,8	3,7	0,9	3,4	6,4	
- Toba de Rumania	7,3	67,7	11,3	2,7	3,7	1,6			0,2
<i>Otros materiales naturales</i>									
- Tierra de diatomeas	7,6	65,2	19,2	2,8	0,8	0,2			0,3
- Surkhi (India)	0,9	73,6	6,4	14,0	2,5	2,4			
- Riolita pumicea (EE.UU.)	3,4	70,7	12,8	1,4		1,1	0,4		
- Gaize (Francia)	5,9	79,6	7,1	3,2	2,4	1,0			0,9
- Moler (Dinamarca)	5,6	66,7	11,4	7,8	2,2	2,1			
<i>Cenizas volantes</i>									
- C.V. Puertollano (C. Real)	4,7	66,6	17,7	5,2	2,9	1,6			0,6
- C.V. Soto de Ribera (Asturias)	1,4	46,9	23,5	7,8	10,6	1,8			0,5
- C.V. Serch (Barcelona)	0,3	40,1	20,6	12,6	21,1	0,9			3,7
- C.V. Ponferrada (León)	8,6	47,3	28,3	6,7	3,3	2,4			0,4
- C.V. Andorra (Teruel)	0,8	45,4	30,0	16,1	4,0	1,1			1,9

Fuente: Las puzolanas y el ahorro energético en los materiales de construcción (Soria, 1983).

El estudio de los análisis químicos de las puzolanas, ya sean naturales o artificiales, exhibe el fuerte carácter ácido de estos materiales, además del predominio de la sílice y la alúmina e, incluso, el óxido de hierro, acumulando una suma ponderal mayor al 70 %. Siendo la sílice quien predomina, de éstos últimos, representando algunas veces hasta el 90% del producto (Tabla anterior) (Santamaria, 1983).

Debido a la composición química de la materia prima, podemos suponer que al agregarle calor a estos elementos se entregará a su vez calor, lo que contribuye al aprovechamiento energético de los residuos, además de incorporarlos al producto final.

De acuerdo a un análisis termo-gravimétrico realizado al material puzolánico, se evidencian picos de índole endotérmica entre 68 y 112 °C, que corresponden a la reacción de deshidratación del material y a la conversión de fase del azufre que se encuentra en el material pasando de rómbico a monoclinico; y entre 150 y 420 °C ocurre la mayor pérdida de peso (7.12%w), significando una reacción exotérmica con un máximo de temperatura de 242.6 °C, por un proceso de combustión que oxida el azufre produciendo dióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre (SO₃) (Burgos, Cardona, & Delvasto, 2014). Por lo tanto, podemos inferir que la reacción del azufre por medio del calor (combustión) será la que aportará energía al proceso.

3. Proponer alternativas de valorización y aprovechamiento sobre la base de lo experimentado.

La presente investigación desarrollará en este objetivo un marco general de las alternativas de valorización y aprovechamiento de los escombros generados en las actividades de construcción y demolición, derivadas de la industria cementera.

Tal y como se ha mencionado previamente, la industria de la construcción es una actividad en permanente desarrollo, debido a que a medida que las poblaciones aumentan, se incrementan sus necesidades. Además, al no existir un adecuado planeamiento previo, las nuevas poblaciones suelen asentarse en lugares no habitados, creando así grandes demandas de vivienda y servicios, y obras civiles para satisfacerlas, por lo que, hay mayor producción de residuos de construcción y demolición que probablemente no tendrán una disposición final conveniente.

Una parte fundamental de las estrategias para seguir un manejo integral de residuos de la construcción son las leyes, reglamentos y normas, las cuales tienen como objetivo regular el sistema de almacenamiento, recolección, reutilización, reciclaje y disposición final de los residuos generados en el Perú.

La legislación nacional sobre el manejo adecuado de los residuos sólidos existe en el Perú; sin embargo, los complementos a tales regulaciones son los que escasean. Nos referimos con complementos a Planes de Gestión para residuos de la construcción y recolección, que realmente se pongan en práctica, que

evalúen la situación real de los residuos y aprovechen las oportunidades que éstos brindan.

Sobre la base de los resultados obtenidos en el segundo objetivo, pudimos observar que, de acuerdo a la naturaleza inerte de los residuos de construcción y demolición, tal como es el hormigón, éste tipo de residuo no contiene suficientes materiales de naturaleza inflamable en su composición para poder sustituir al carbón en su totalidad como fuente de energía de los hornos rotatorios.

Yura S.A. produce cuatro (04) variedades de Cemento Portland y una de cemento puzolánico en una planta de 144 ha sobre un área construida de 39 822 m². Las variedades tienen diferencias como la mezcla de clínker, yeso y puzolana, así como la utilización posterior de cada una de ellas. La planta tiene una capacidad instalada de 2.3 millones de TM de clínker y 4.3 millones de cemento para abastecer a la zona sur del Perú.

El cemento Portland IP, producido por Yura S.A., está constituido por silicatos de calcio y puzolana. Los silicatos de calcio se forman a través de varias reacciones químicas, que involucran silicato cálcico, yeso y agua. La mayoría de estos componentes tienden a atrapar calor cuando se encuentran expuestos a altas temperaturas. Sin embargo, el yeso, cuya fórmula química es $3\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, atraviesa dos tipos de reacción: endotérmica y exotérmica cuando es expuesto a calor. La primera se observa a temperaturas entre 68 y 112 °C, y la segunda entre 150 y 420 °C.

Si bien los escombros de hormigón no cumplen las condiciones suficientes para generar reacciones exotérmicas que generen el calor suficiente para reemplazar al carbón, este tipo de RCD podría ser añadido junto con el carbón como un aditivo alternativo, que aportaría calor a la reacción de combustión, y además podría formar parte del clínker.

Las empresas cementeras del ámbito nacional abastecen regiones del Perú, las cuales forman parte de su zona de influencia, tal como se puede apreciar en la siguiente figura, siendo Yura S.A. el principal proveedor de cemento en la ciudad de Arequipa.

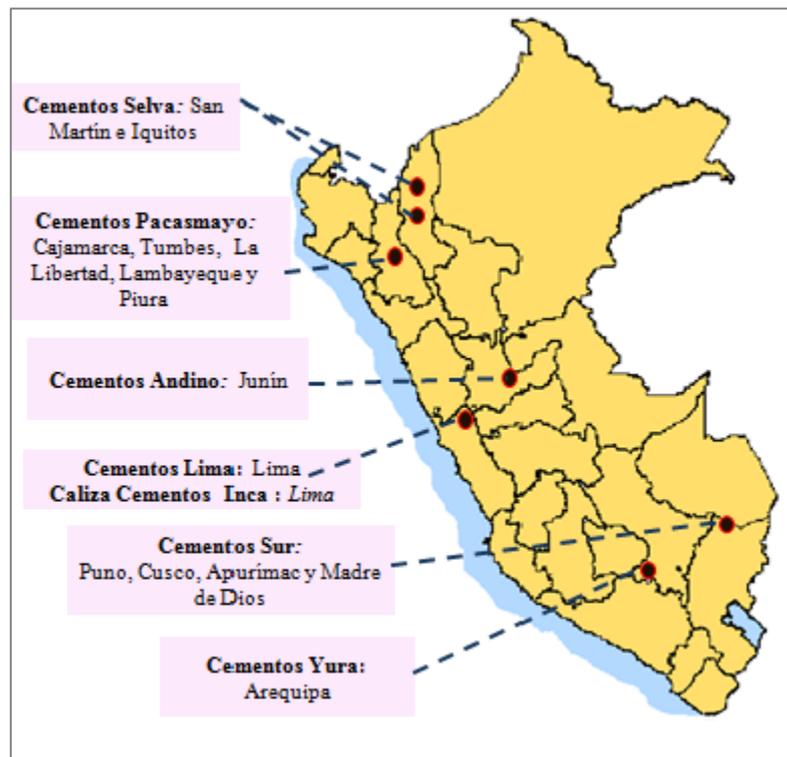


Figura 9 Zonas de influencia geográfica de las empresas cementeras

Fuente: (CENTRUM, Bunkenroad Latinoamérica (Perú), 2010).

De acuerdo a los datos recaudados por el INEI en el año 2015, la venta local de cemento por empresa en el departamento de Arequipa fue de 747 420 t, de las cuales 747 419.171 t corresponden a Yura S.A. y 0.6375 t a Unión Andina de Cementos. Las licencias de edificación otorgadas en el departamento de Arequipa, se tiene que, para viviendas unifamiliares, se concedieron 1 762 licencias y para viviendas multifamiliares 768 (INEI, 2016).

Considerando esta información, se puede observar que existe un mercado en movimiento en el sector construcción en el departamento de Arequipa, el cual es principalmente abastecido por Yura S.A.; por lo tanto, al ejecutarse tales obras de vivienda, se generan escombros que podrían formar parte de los aditivos al carbón utilizado en la producción de clínker que deseamos proponer.

En cuanto a la cantidad requerida de RCD a agregar por tonelada de carbón para que este no disminuya su poder calorífico, ésta no se puede estimar con facilidad, debido al elevado costo que acarrearía realizar pruebas piloto en hornos rotatorios de clínker, por lo que la presente investigación sirve como base para continuar en la búsqueda de información hasta conseguir la proporción de RCD como aditivo.

Otra de las alternativas existentes es el uso de los residuos como agregados de la construcción, es decir, reciclarlos en su totalidad para la función original. Aunque los RCD no se descomponen hasta formas básicas, éstos materiales se pueden recuperar para luego ser molidos y reutilizados como agregado (en mezclas listas de concreto u otras aplicaciones) o también se pueden utilizar, en cantidades controladas, como materia prima para la producción de clínker o

como componente adicional al moler clínker, yeso y otros aditivos del cemento en el proceso de fabricación del cemento.

En diferentes países se vienen desarrollando medidas de aprovechamiento de RCD, tales como son las siguientes:

- En 38 estados de Estados Unidos se usan agregados de concreto reciclado para la construcción sub bases viales y en once se recicla en nuevos productos de concreto.
- Brasil cuenta con legislación que promueve la gestión de RCD y algunas instalaciones de reciclaje en ciudades como Sao Paulo y Belo Horizonte, cuyos agregados son utilizados en su mayoría en sub bases viales.
- Japón cuenta con una recuperación casi completa del concreto de RCD, la mayoría utilizados como sub bases viales.
- En Australia existen proyectos que utilizan concreto reciclado para nuevos productos de concreto.
- En Taipéi el interés por la recuperación de concreto está en aumento y de acuerdo a datos estimados, se recupera casi el 90% de los escombros, con una tasa de 95% para concreto.
- En Qatar y los Emiratos Árabes, los agregados vírgenes y su costo impulsan los planes de reciclaje para la producción de agregados, siendo los principales incentivos son las preocupaciones ambientales.
- En España, se tienen Órdenes Ministeriales sobre los requisitos para la valorización de materiales naturales excavados, facilitando su valorización cuando se destinen a una operación de relleno o a una obra distinta a las que los generaron (MAPAMA , 2017).

- La UE cuenta con un Protocolo sobre Residuos de Construcción y Demolición que tiene como fin el incremento de la confianza en el proceso de gestión de los RCD y la calidad de los materiales reciclados de los mismos.
- En los Países Bajos el reciclaje de los RCD se inició en la década de 1980 con la formación de áridos reciclados, luego se pusieron en marcha centros para clasificar residuos inertes de construcción y demolición, ya que se prohibió su descarga en vertederos, siendo la parte residual utilizada, generalmente, para producir combustibles secundarios. Además, está prohibido desechar concreto, por lo que es casi todo reciclado (FIR, 2016).

Además, existe un instrumento voluntario para fomentar la calidad en el proceso de demolición, cuyo sistema está controlado por terceros y por el Consejo de Acreditación. El proceso tiene cuatro (04) fases: Auditoria previa a la demolición (inventario de materiales peligrosos y no peligrosos); Plan de gestión de residuos (método de demolición, proceso de retirada de materiales, medidas de seguridad y requisitos de cliente); Ejecución (debe estar acorde al Plan de gestión); e Informe final (materiales obtenidos) (BRL SVMS-007, 2012).

- En Francia, la normativa exige a los productores de residuos aportar un documento especificando el transporte de los residuos desde el lugar de generación y su naturaleza, que deberá proporcionarse antes de que los residuos puedan acceder a las instalaciones de tratamiento (Cerema, 2016).

- La Olympic Delivery Authority (ODA) estableció objetivos ambiciosos de sostenibilidad para la demolición del Parque Olímpico de Londres, que incluían un objetivo general de reutilización o reciclaje de al menos el 90% del peso total del material de demolición (BioRegional, 2011).

Como ya se ha mencionado previamente, en el Perú existe normativa de tipo general que indica que los RCD deben ser adecuadamente dispuestos; sin embargo, no existen escombreras autorizadas para este tipo de residuos.

Mas, se tiene que:

De acuerdo al D.S. N° 014-2017-MINAM, que aprueba el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, existen tres tipos de almacenamiento de los residuos sólidos no municipales:

- Primario o inicial, almacenamiento temporal de los residuos sólidos en el ambiente de trabajo.
- Intermedio, almacenamiento temporal de los residuos sólidos en áreas, unidades o servicios del generador, el cual es opcional y se realiza en función del volumen generado, frecuencia de traslado de residuos y áreas disponibles para su implementación.
- Central, almacenamiento de residuos sólidos previo al traslado hacia infraestructuras o instalaciones establecidas para tal fin.

Sin embargo, existen también operaciones de valorización como: reciclar, compostar residuos orgánicos, reutilizar, recuperar aceites, bio-convertir, coprocesar, coincinerar, generar de energía a través de la biodegradación, biochar, entre otras posibilidades y de acuerdo a la recurso tecnológico del país.

Los generadores del ámbito de la gestión no municipal pueden ejecutar operaciones de valorización respecto de sus residuos sólidos.

Además, en el artículo 68°, Regla para el coprocesamiento en hornos de cemento, se estipula que no constituyen residuos coprocesables en hornos de cemento, de acuerdo al Convenio de Basilea, los siguientes:

- a) Desechos radiactivos o nucleares;
- b) Desechos eléctricos y electrónicos;
- c) Baterías enteras;
- d) Desechos corrosivos, incluidos los ácidos minerales;
- e) Explosivos;
- f) Desechos que contengan cianuro;
- g) Desechos que contengan amianto;
- h) Desechos médicos infecciosos;
- i) Armas químicas o biológicas destinadas a su destrucción;
- j) Desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él;
- k) Desechos de composición desconocida o impredecible, incluyendo los desechos municipales sin clasificar.

Siendo el MINAM, con opinión favorable de los sectores vinculados, quien puede incluir otros tipos de residuos sólidos, sobre la base de sus características y los impactos ambientales, económicos y sociales que ocasione su manejo

inadecuado, así como formular las normas técnicas respectivas para estipular (MINAM, 2017).

La operación inicial podría ser una segregación en el lugar de generación, ya sea demolición o construcción para luego ser almacenados de acuerdo a lo mencionado previamente.

La industria cementera cuenta con equipos de trituración y molienda, donde los RCD podrían ser triturados hasta un producto que puede ser usado como base para nuevos materiales de construcción, tales como agregados, reduciendo así la explotación de canteras y extracción de minerales.

La normativa nacional del Perú, referente a RCD, podría tomar como referencia las experiencias obtenidas por países de la UE, estableciendo un Protocolo que fomente el reúso y reciclaje de RCD; además de añadir a sus normas los parámetros y requisitos de éstos materiales. De esta manera, más actores pueden interesarse en participar en este tipo de actividades, debido a la creación de un nuevo mercado en el país y a que aminoraría los costos a empresas del sector construcción y quizás industria.

Existen mercados que pueden ser beneficiados por materiales de menor valor económico, que en este caso serían los RCD reciclados, tal como el de obras de reconstrucción post desastres naturales (rehabilitación de infraestructuras, sub bases viales, fortificación de riberas, entre otros); y el mercado inmobiliario que continúa en expansión con el uso de concreto reciclado o agregados.

VI. CONCLUSIONES

- Con la información recabada en el presente estudio, se evidencia que no existe información detallada real sobre la generación de residuos sólidos municipales y mucho menos no municipales, grupo dentro del cual se ubican los residuos de construcción y demolición, objeto de estudio de la presente tesis. Además, la normativa existente en el país no está siendo acatada en su totalidad, como la elaboración de instrumentos para el uso eficiente de los materiales y la gestión de los residuos sólidos, los cuales no están siendo elaborados por los actores correspondientes, dejando un vacío en la información correspondiente a los residuos sólidos municipales y no municipales.
- Se estima que para un proyecto de construcción de viviendas de 60 m², la generación de RCD en la etapa constructiva sería de aproximadamente 16 toneladas, haciendo un total de 40 000 toneladas de RCD a disponer, provenientes sólo de la etapa constructiva de una vivienda.
- El hormigón no contiene suficientes materiales de naturaleza inflamable en su composición para poder sustituir al carbón en su totalidad como fuente de energía de los hornos rotatorios. En el mercado arequipeño, el cemento producido por Yura S.A., su principal abastecedor, contiene puzolana y silicatos de calcio. El material puzolánico, de acuerdo a la literatura, presenta reacciones exotérmicas a temperaturas de 242.6 °C; por lo que se puede inferir que, si se agregan RCD, tal como es el hormigón, como aditivo al carbón que alimenta los hornos rotatorios,

podría aportar calor al proceso; y además, formar parte del producto (Clínker).

- Considerando crecimiento de la región de Arequipa, se puede observar que existe un mercado generador de RCD, que podrían formar parte de los aditivos al carbón durante la producción de clínker.

VII. RECOMENDACIONES

- El presente estudio fija las bases para futuras investigaciones que puedan ejecutar pruebas piloto en hornos rotatorios de clínker para así estimar la proporción óptima de RCD y carbón que alimentarían dichos hornos.
- Por otro lado, una parte fundamental de las estrategias para seguir un manejo integral de residuos de la construcción son las leyes, reglamentos y normas, las cuales tienen como objetivo regular el sistema de almacenamiento, recolección, reutilización, reciclaje y disposición final de los residuos generados en el Perú. La legislación nacional sobre el manejo adecuado de los residuos sólidos existe en el Perú; sin embargo, los complementos a tales regulaciones son los que escasean. Nos referimos con complementos a Planes de Gestión para residuos de la construcción y recolección, que realmente se pongan en práctica, que evalúen la situación real de los residuos y aprovechen las oportunidades que éstos brindan.
- La normativa nacional del Perú, referente a RCD, podría tomar como referencia las experiencias obtenidas por países de la UE, estableciendo un Protocolo que fomente el reúso y reciclaje de RCD; además de añadir a sus normas los parámetros y requisitos de éstos materiales. De esta manera, más actores podrían interesarse en participar en este tipo de actividades, debido a la creación de un nuevo mercado en el país y a que aminoraría los costos a empresas del sector construcción y quizás industria.

- La normativa podría incorporar, a su vez, la estimación previa de RCD a generarse en una obra, de manera que cuando los contratistas declaren la cantidad de escombros generados, éstos valores sean bastante más cercanos a la realidad, para así evitar la inadecuada disposición de RCD en lugares informales.
- Finalmente, se puede tomar el ejemplo de muchos otros países como los mencionados en el capítulo anterior, de utilizar los RCD para generar material reciclado con menor valor económico para una rápida atención post desastres naturales como la rehabilitación de infraestructuras, sub bases viales, fortificación de riberas.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asamany, E. A. (2016). Waste-Derived Fuels for Co-Processing in Rotary Cement Kilns .

BioRegional. (2011). Reuse and Recycling on the London 2012 Olympic Park .

BRL SVMS-007. (2012). Veilig Slopen.

Burgos, D., Cardona, L., & Delvasto, S. (2014). Estudio de dos materiales volcánicos y efecto del tipo de molienda en su reactividad.

Cámara de Comercio de Arequipa. (2016). Informe de Coyuntura: Setiembre 2016. Potencial Energético de Arequipa.

Carvalho, J. (2011). La Sostenibilidad en la Industria del Cemento en Brasil .

CEMBUREAU, A. E. (2016). CEMBUREAU.

CEMBUREAU, OFICEMEN, Fundación CEMA & Sustainable Energy Europe. (2009). Producción Sostenible de Cemento: La Recuperación de residuos como combustibles y materias primas alternativas en la industria cementera.

CENTRUM, Bunkenroad Latinoamérica (Perú). (2010). Sector Cementero del Perú.

Cerema. (2016). Trazabilidad de los residuos minerales en el sector de la construcción francés.

Christensen, J. (2012). The Kalundborg Symbiosis: What, who, how and why? University of Surrey.

D.L. N° 1278 . (2016). Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

Diario Gestión. (2014). Gestión.

FIR. (2016). Fédération Internationale du Recyclage.

Fuentes, J. L. (2014). Humanismo y Economía: El Pensamiento Socioeconómico de Pedro Valencia . Huelva.

Giraldo, M., & Tobón, J. (2005). Evolución mineralógica del Cemento Portland durante el proceso de hidratación.

Hasanbeigi, A., Lu, H., Lynn, P., & Williams, C. (2012). International best practices for pre-processing and co-processing municipal solid waste and sewage sludge in the cement industry.

INEI . (2016). Venta local de cemento por empresa, según departamento 2012 - 2015 .

INEI. (2016). Estadísticas Municipales 2016.

INEI. (2017). Nota de prensa: Sector Construcción creció 8,94 & en setiembre de 2017 y suma cuatro meses de comportamiento positivo.

INEI. (2018). Avance Coyuntural de la Actividad Económica.

Jambou, M. (2015). Valorisation des déchets inertes du BTP, suivant le principe d'ecologie industrielle et territoriale.

Kingdom, T. C. (2017). <http://www.concrete.org.uk/fingertips-nuggets.asp?cmd=display&id=286>.

Ley N° 27972. (s.f.). Ley Orgánica de Municipalidades.

Ley N° 8839 - Costa Rica. (2010). Ley para la Gestión Integral de Residuos .

Manuel Gonzáles de la Cotera. (1988). La Industria del Cemento en el Perú.

MAPAMA . (2017). Orden APM/1007/2017.

Maximixe. (2016). Informe Riesgos de Mercados de mayo.

MINAM. (2013). Informe Anual de Residuos Sólidos Municipales de la Gestión del Ámbito Municipal y No Municipal 2013.

MINAM. (2014). VI Informe Nacional de Residuos Sólidos de la Gestión del Ámbito Municipal y No Municipal 2013.

MINAM. (2017). D.S. N° 014-2017-MINAM, Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

Municipalidad Distrital de Yura. (2015). Plan de Desarrollo Concertado al 2021.

OEFA. (2018). www.oefa.gob.pe.

PNUD. (2012). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, al servicio de las personas y las naciones.

Pomberger, R. (1990). Refuse Derived Fuels - solid recovered fuels for the cement industry. Obtenido de <http://www.wtert.eu/paper/3837/Refuse-Derived-Fuels-solid-recovered-fuels-for-the-cement-industry.html>

Real Academia Española. (s.f.). Diccionario de la Lengua Española .

Santamaria, F. (1983). Las puzolanas y el ahorro energético en los materiales de construcción.

Service de recherche du Parlement européen. (2015). Valorisation énergétique des déchets: Opportunités et défis.

Spies, S., & Arroyo, H. (2008). Comunicación y Diálogo entre actores sociales en el contexto del co-procesamiento: Costa Rica y El Salvador. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica, 1(4), 4.

UNACEM. (2017). Reporte de Sostenibilidad .

UNEP . (2002). Environmental Management for Industrial States .

Valier, J. (2005). Brève histoire de la pensée économique. París: Editions Flammarion.

Vargas Tangua, F. C. (2014). Alternativa de valorización y aprovechamiento energético y material por coprocesamiento de residuos sólidos municipales en una planta productora de cemento en la provincia de Guanentá - Santander como contribución a la solución del problema regional. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá.

VIVIENDA. (2017). Evolución Mensual del Despacho Total de Cemento: 2014 - 2017.

VIVIENDA. (2017). PERÚ: Evolución Mensual de la Actividad del Sector Construcción (PBI de Construcción): 2014 - 2017.

Yura S.A. (2014). Manual de Construcción.