



Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Departamento de Estudios Económicos

Programa de Maestría en Administración de Negocios

Cuarta Edición

Título:

**Valoración técnica, económica y ambiental del uso
de aceites usados como combustibles alternos en
Cementos Cienfuegos S.A.**

Memoria Escrita

En opción al grado de Master en Administración de Negocios

Autor:

Ing.: Jorge Luis PÉREZ AMORES.

Tutor:

Dr. C Eduardo LÓPEZ BASTIDA.

MSc.,Ing.: José Luis ROMERO CABRERA.

Cienfuegos

2021

Declaración Jurada

Hago constar que la presente Memoria Escrita en opción al grado de Máster en Administración de Negocios fue realizada en la Universidad de Cienfuegos como parte de la culminación de los estudios del Programa de Maestría en Administración de Negocios. Autorizo a que la misma sea utilizada por la Universidad para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentada en evento, ni publicada sin la aprobación de la Universidad.

Nombres y Apellidos del autor	Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según las normas establecidas en nuestro centro y que el mismo cumple los requerimientos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Nombres y Apellidos del tutor.	Firma del tutor.
Nombres y Apellidos del Registrador del CRAI.	Firma del Registrador del CRAI.

Anotación del Tribunal de Defensa de la Memoria Escrita				
Fecha de la Defensa			Calificación	Firma del Presidente
Día	Mes	Año		

Agradecimientos.

Quiero agradecer a todas aquellas personas que contribuyeron directa o indirectamente a la realización de este trabajo.

A todos, muchas gracias.

Dedicatoria

A Dios por darme la oportunidad de lograr todas mis metas.

A mi familia especialmente a mis padres y esposa, gracias por confiar en mí y haberme enseñado a luchar con inteligencia y astucia, sin el apoyo de ustedes no lo hubiese logrado.

Pensamiento

Por más difícil que se nos presente una situación nunca dejemos de buscar la salida, ni de luchar hasta el último momento. En momentos de crisis, solo la imaginación es más importante que el conocimiento.

Resumen

Actualmente la industria del cemento es una de las mayores consumidoras de energía y una de las más contaminantes en el mundo y en Cuba se convierte en la mayor consumidora de combustible. El ahorro de la energía es de vital importancia por su fuerte incidencia en los costos de fabricación que normalmente sobrepasan el 40% del costo unitario y por su incidencia en el medio ambiente al generar gases de invernadero, en especial, el CO₂ por efecto de la combustión y por la descomposición de las materias primas. La quema de combustibles alternos como vía de sustitución de una porción del combustible fósil está reconocida no solo como una de las maneras efectivas de reducir las emisiones de CO₂ y disminuir los gastos energéticos asociados a la producción del cemento sino también contribuye a la disposición final de los aceites usados (residuos peligrosos), que muestra en la actualidad una falta de estructura adecuada, ocasionado altos impactos ambientales. El presente trabajo tiene como objetivo la evaluación técnica, económica y ambiental del proyecto de una instalación para la quema de aceites usados en Cementos Cienfuegos S.A. en condiciones que garanticen su destrucción segura y sustituya parte del consumo del combustible petcoke.

Summary

The cement industry is one of the largest consumers of energy and one of the most polluting in the world and in Cuba it becomes the largest consumer of fuel. Saving energy is of vital importance due to its strong impact on manufacturing costs that normally exceed 40% of the unit cost and because of its impact on the environment by generating greenhouse gases, especially CO₂ due to the effect of combustion and by the decomposition of raw materials.

The burning of alternative fuels as a means of substituting a portion of the fossil fuel is recognized not only as one of the effective ways to reduce CO₂ emissions and reduce energy costs associated with the production of cement, but also contributes to the final disposal of used oils (hazardous waste), which currently shows a lack of adequate structure, causing high environmental impacts.

The objective of this work is the technical, economic and environmental evaluation of the project of an installation for the burning of used oils in Cementos Cienfuegos S.A. in conditions that guarantee its safe destruction and replace part of the consumption of petcoke fuel.

Índice

Introducción	1
CAPÍTULO I.- Marco teórico.....	6
1.1 Industria del cemento y desarrollo.	6
1.2 Producción, comercio y consumo de cemento.....	6
1.3 Impactos asociados a la producción de cemento.	9
1.3.1 Consumos energéticos en la fabricación del cemento.	9
1.3.2 Ahorro de energía en la industria del cemento.....	11
1.4. Uso de combustibles alternativos.	12
1.5. Valorización energética de los aceites usados.	16
1.5.1 El Co-procesamiento desde la perspectiva del residuo al recurso.....	17
1.5.2. El co-procesamiento de aceites usados y la reducción de las emisiones de CO ₂	20
1.5.3 Tecnología de co-procesamiento.....	20
1.6 Impactos ambientales por uso de aceites usados en la industria cementera.	21
1.7 Estudios de factibilidad de proyectos.	22
1.7.1 Análisis y evaluación económica-financiera (aspectos económicos y financieros del proyecto). Evaluación ex-ante.	24
Capítulo II. Materiales y Métodos.	26
2.1 Descripción del objeto de estudio.....	26
2.1.1 Principales indicadores de la planta.	29
2.1.2 Descripción tecnológica de la empresa.	33
2.1.3 Análisis FODA del uso del aceite usado como combustible en cementos Cienfuegos S.A.	33
2.2 Metodología para valorar el posible uso de combustibles alternativos en la fábrica de cemento.	35
Capítulo III. Análisis de resultados del estudio de factibilidad.....	45
3.1 Factibilidad técnica del proyecto.	45
3.1.1 Disponibilidad de aceites usados en el territorio y en Cuba, así como las vías y distancias desde los puntos de generación y recolección. Disponibilidad y estado del transporte.....	45
3.1.2. Marco jurídico en torno a los aceites usados.....	46
3.3 Descripción del proyecto.....	50
3.3.1 Generalidades.....	50
3.3.2 Objetivo.	51

3.3.3 Condiciones de operación.....	51
3.3.4 Descripción de la instalación.	51
3.4 Permisología para el diseño, construcción y explotación de la instalación para el empleo de aceites usados para el co-procesamiento.....	52
3.5 Estudio de factibilidad económica.	58
3.5.1 Costo de la inversión.	58
3.5.2 Determinación de los Flujos de Caja.....	59
3.5.3 Determinación de la TIR.....	61
3.5.4 Análisis del umbral de rentabilidad.....	62
3.6 Análisis de Escenarios.....	64
3.7 Análisis Costo - Beneficio.	66
3.8 Costos sociales.	67
Ambientales:.....	67
Conclusiones	72
Recomendaciones	73
Bibliografía	74
ANEXOS	77

INTRODUCCIÓN

Introducción

El cemento es uno de los prioritarios materiales de la construcción utilizados para viviendas, edificios, puentes, y todo tipo de construcciones. Es el elemento imprescindible que permite erigir despliegues verticales resistentes, con una flexibilidad adecuada a los terrenos, y es también muy versátil en su uso. De todos los conglomerantes hidráulicos el cemento portland y sus derivados son los más empleados en la construcción debido a estar formados, básicamente, por mezclas de caliza, arcilla y yeso que son minerales muy abundantes en la naturaleza, ser su precio relativamente bajo en comparación con otros materiales y tener unas propiedades muy adecuadas para las metas que deben alcanzar.

Es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada clinker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétrea, denominada hormigón.

Uno de los motores de la economía está basado en el cemento, en los últimos años el crecimiento de la edificación y las infraestructuras ha sido exagerado en consecuencia, los problemas ambientales y sociales derivados de ello se han agravado debido a la fragmentación y ocupación del territorio, sobreexplotación de recursos (agua), destrucción de la costa, consumo de materiales, consumo de energía, emisión de contaminantes, emisión de Gases de Efecto Invernadero. (Holcim, 2019)

Entre los años 2000 y 2011, la producción de cemento se incrementó de 1660 a 3600 millones de toneladas. Este incremento ha sido el soporte, en años recientes, del crecimiento y desarrollo de la infraestructura de varios países con economías emergentes. (Costanza, et al. 2017)

El desarrollo acelerado de la sociedad moderna ha necesitado cantidades, cada vez mayores, de conglomerantes artificiales, para poder enfrentar las crecientes exigencias en el campo de la construcción a nivel mundial. El más utilizado ha sido el cemento, como consecuencia de sus magníficas propiedades hidráulicas y de la gran cantidad de aplicaciones que puede tener. El cemento Portland se encuentra entre los materiales más empleados y con mayor nivel de producción a escala mundial más de 4.8 MMt de en el 2018. (CEMBUREAU, 2020)

Sus altos volúmenes de producción lo hacen responsable de cerca del 7% de las emisiones mundiales de CO₂ de origen antropogénico y del 5 % del consumo de energía en el sector industrial. Estos impactos se originan fundamentalmente durante la producción del clínker, que constituye el núcleo básico del cemento. Por lo tanto, sus demostradas ventajas como material de construcción y su necesaria demanda para el desarrollo socioeconómico contrastan con su negativo impacto medioambiental.

Actualmente la industria del cemento es una de las mayores consumidoras de energía y una de las más contaminantes en el mundo y en Cuba se convierte en la mayor consumidor de combustible, por lo que se buscan vías para disminuir la afectación que provoca la producción de este material tanto a la economía como al medio circundante. 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 and Hellweg, 2010)

El ahorro de la energía, en la industria del cemento es de vital importancia por su fuerte incidencia en los costos de fabricación que normalmente sobrepasan el 40%

del costo unitario (Holcim, 2019) y por su incidencia en el medio ambiente al generar los gases de invernadero, en especial, el CO₂ por efecto de la combustión y por la descomposición de las materias primas. La gestión de la energía térmica y eléctrica, forma parte de la política de Cementos Cienfuegos S.A., ya que es un factor que determina la competitividad ante la agresiva competencia provocada por la globalización. Además, por la utilización de energía térmica a partir de combustibles, la empresa deberá asumir su responsabilidad social con el medio ambiente, al generar gases de invernadero.

La gestión en la adquisición energética y el ahorro durante su utilización permite conseguir la máxima eficiencia en la industria. El uso racional de la energía permite reducir el consumo sin afectar la calidad del producto, la productividad y la calidad de los servicios. El ahorro de la energía y su gestión son las mejores alternativas en la industria del cemento para conseguir competitividad y excelencia operativa. La quema de combustibles alternos como vía de sustitución de una porción del combustible fósil está reconocida no solo como una de las maneras efectivas de reducir las emisiones de CO₂ y disminuir los gastos energéticos asociados a la producción del cemento sino también contribuye a la disposición final de los aceites usados (residuos peligrosos), que muestra en la actualidad una falta de estructura adecuada, ocasionando altos impactos ambientales.

El aceite usado procedente de vehículos y maquinaria industrial es uno de los residuos más contaminantes que existen. Durante su utilización, estos lubricantes se degradan originando sustancias tóxicas y metales pesados que se producen por la exposición a altas temperaturas y presión dentro de los motores, máquinas y procesos donde se utilizan. Además de sus propiedades peligrosas para la salud y el medio ambiente, el aceite usado se genera de forma muy dispersa en el territorio y en actividades empresariales muy heterogéneas, desde talleres de vehículos e instalaciones industriales, hasta cooperativas agrarias, parques eólicos, campos de golf, autoescuelas, recintos militares.

En el 2019 en el mundo se generaron más de 500Mt de aceites usados (Holcim, 2020) con alto valor calórico por lo que se constituye en uno de los residuos con

mayor potencial para ser empleado como combustible por la industria. La incineración o combustión del aceite usado, solo o unido a fuel-oil, se realiza en instalaciones como cementeras o centrales térmicas, en las que se aprovecha la instalación para eliminar un residuo. Se aprovecha el poder calorífico del aceite usado, sustituyendo calorías de otros combustibles fósiles utilizados en la industria cementera tales como el gas natural, el carbón antracita molido, y aún en conjunción con el petcoke (que a su vez es también un residuo de la cola de destilación petrolera). Por lo que su utilización como combustible alternativo contribuye a la sustentabilidad ambiental mediante el co-procesamiento en hornos cementeros.

En general a nivel mundial se ha demostrado que el uso de combustibles alternativos en el proceso de fabricación de clinker en las plantas de cemento reduce los índices de consumo energético, en el caso de Cuba y más en específico en Cementos Cienfuegos S.A. se necesita conocer que potencial de explotación tienen con respecto a esta posibilidad energética empleando aceites usados.

Problema Científico. ¿Cuál son los impactos técnicos, económicos y ambientales del uso de aceites usados como combustibles alternativos en Cementos Cienfuegos S.A.?

Hipótesis. La evaluación técnico, económico y ambiental del uso de aceites como combustibles alternativos en Cementos Cienfuegos S.A. se tendrá una mejor comprensión de los impactos de este cambio de tecnología.

Objetivo General. Realizar una evaluación técnica, económica y ambiental de los aceites usados como combustibles alternativos en Cementos Cienfuegos S.A.

Objetivos Específicos.

1. Realizar una revisión bibliográfica relacionada con producción y comercialización de cemento, uso de combustibles alternativos y los estudios de factibilidad económica.

2. Proponer la metodología para la valoración técnico, económica ambiental del uso de los combustibles alternos en la fábrica Cementos Cienfuegos S.A.
3. Aplicar dicha metodología al proyecto de quema de los aceites usados como combustibles alternos.

El trabajo se estructura en tres capitulos:

Capítulo 1 Marco teórico. En este capítulo se abordan temáticas sobre producción y consumo de cemento en el mundo y en Cuba, así como los índices de consumo de combustibles y emisiones de gases de combustión en la producción de clinker, el empleo de combustibles alternativos y aspectos relacionados con la evaluación financiera de los proyectos de inversión.

Capítulo 2. Material y Métodos. Se describe el proceso tecnológico de la producción de cemento, así como el diseño de la instalación para la quema de aceites usados y los consumos por año de este combustible. Finalmente se describe la metodología a emplear para el estudio de factibilidad.

Capítulo 3. Análisis de los resultados del estudio de factibilidad.

Conclusiones.

Recomendaciones.

Anexos.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I.- Marco teórico.

1.1 Industria del cemento y desarrollo.

Los materiales cementicios han tenido un impacto decisivo en el desarrollo de la humanidad, desde la antigüedad fueron empleados pastas y morteros elaborados con arcilla, yeso o cal para ser usados en las edificaciones. Existe una correlación directa del desarrollo alcanzado por cualquier civilización y el tipo de material cementante que usó, comenzando por la Antigua Civilización Griega con sus cementos naturales extraídos de la Isla de Santorini hasta llegar a la fabricación del cemento usado hoy en día. (Diosdado, 2009)

El incremento de la demanda de los últimos años tiene su origen en el desarrollo y crecimiento de la infraestructura de base para la industrialización y urbanización de los países de “economías emergentes”. Solo en el 2010, países de África, Suramérica y Asia generaron el 85 % de la producción anual de cemento. Las predicciones para el 2050 de la World Business Council for Sustainable Development (WBCSD por sus siglas en inglés) indican que en un escenario de alta demanda el incremento de la producción alcanzará los 4400 MMt de cemento, otros pronósticos sitúan la demanda por encima de los 5000 MMt. Dicho incremento elevará de manera consecuente los niveles de emisiones de CO₂, si se mantienen las condiciones de producción actuales. (Álvarez, 2013)

El desarrollo de la industria cementera a nivel mundial ha causado daños incalculables al medioambiente, su mayor contribución a la huella ecológica del hormigón es a través de la generación de uno de los gases de efecto invernadero más importante, el CO₂. Sobre la base del modelo estándar de producción de cemento. (López et al. 2012)

1.2 Producción, comercio y consumo de cemento en el mundo.

En la actualidad el Cemento Portland se encuentra entre los materiales para la construcción más empleados a escala mundial, fabricándose en más de 150 países y con mayor nivel de producción a nivel mundial. El consumo mundial de

cemento alcanzó las 4,129Mt en el 2016, logrando un avance de 1.8% con respecto al año 2015 y, en el 2015, se contrajo en 2.4% con respecto al 2014. China continuó liderando la demanda de cemento con 2,395Mt en el 2016, alcanzando el 58% de la participación mundial. Dicha participación alcanzó su punto máximo en el año 2014 con 59.4%. Excluyendo a China, el consumo mundial de cemento alcanzó las 1,734Mt en el 2016, creciendo un 1.0% con respecto al 2015. (BCE, 2019)

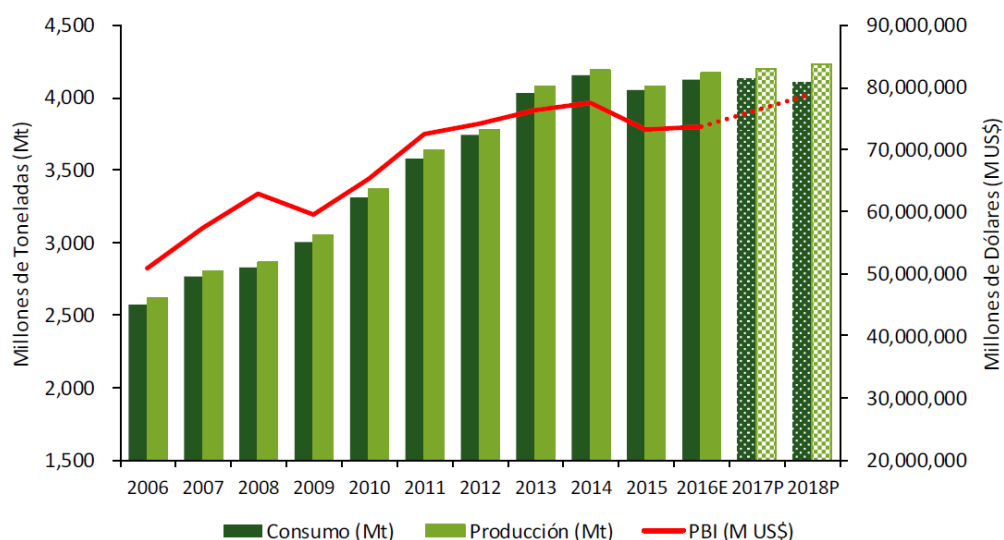


Fig. 1.1 Consumo y Producción de Cemento, y PBI del Mundo (2006-2018P).

Fuente: International Cement Review.

El consumo per-cápita alcanzó los 557kg en el 2016, logrando un avance de 0.7% con respecto al 2015. Sin embargo, aún se encuentra por debajo de los niveles alcanzados en el 2014 (574 kg) y en el 2013 (565 kg). Excluyendo a China, el consumo per-cápita alcanzó los 287g en el 2016. En el 2015, Qatar alcanzó el consumo per-cápita más alto (2,952kg), China es el tercer con 1,705kg y Burundi, en África, alcanzó el consumo per-cápita más bajo (19Kg). (Holcim, 2020)

La producción de cemento mundial alcanzó el 4,174 Mt¹ en el 2016, obteniendo un crecimiento de 2.3% con respecto al 2015. China mantiene el liderazgo con el 57.6% de la producción mundial, seguida de India con el 6.9%. La capacidad de producción de cemento se ubicó en 6,141Mt en el 2016, alcanzando un avance de

7.8% con respecto al 2014. El ratio de utilización alcanzó el 68% en el 2016, mientras que el 2014 llegó a 73.6%. (Holcim, 2020)

En el 2016, 106 países exportaron cemento y clinker con un valor estimado de 198Mt. El mercado de la exportación es liderado por China con 17.56Mt en el 2016, seguido por Vietnam (17.5Mt) e Irán con (15Mt). El grado de asociación entre el consumo de cemento mundial y el PBI mundial se ubica en 95.8%. Excluyendo a China, se ubica en 79.5%. (Holcim, 2020)

Un total de 152 países importaron cemento y clinker en el 2016, alcanzando un valor estimado de 179 Mt. Bangladesh lidera la lista con 13.4Mt en el 2016, seguida por Los Estados Unidos (11.9Mt) e Iraq (6Mt). En relación al ranking mundial de consumo de cemento, China, India y USA mantienen el liderazgo, mientras que Turquía e Indonesia reemplazaron a Brasil y Rusia en el cuarto y quinto puesto respectivamente.

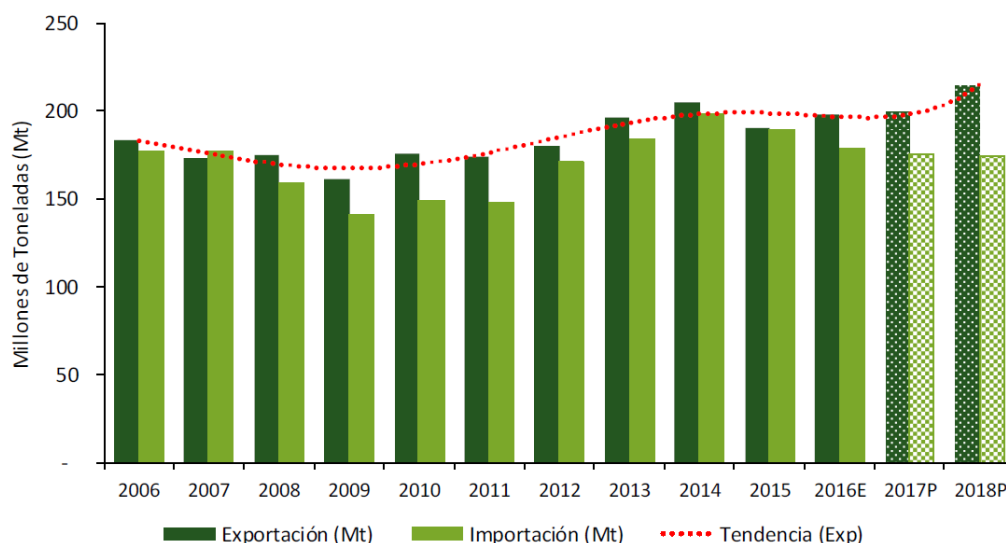


Fig. 1.2 Comercio de Cemento y Clinker del Mundo (2006-2018P).

Fuente: International Cement Review.

El consumo de Brasil ha caído precipitadamente desde el 2014. En el 2016, se ubicó en el séptimo lugar, luego de ubicarse en el cuarto puesto en el 2014. La recesión, la inestabilidad política y una contracción en las exportaciones de Brasil han generado que su consumo de cemento retroceda en 20%. En la tabla 1.1 se

muestra el ranking de los 10 primeros lugares por países y por año en relación al consumo de cemento. (Holcim, 2020)

1.3 Impactos asociados a la producción de cemento.

Las fábricas de cemento pueden tener impactos ambientales positivos relacionados con el manejo de los desechos, la tecnología y el proceso de fabricación, siendo apropiados la reutilización o destrucción de una variedad de materiales residuales así como algunos desperdicios peligrosos. Asimismo, el polvo del horno que no es reciclado en la planta se utiliza para tratar los suelos, neutralizar los efluentes ácidos de las minas, estabilizar los desechos peligrosos o como relleno para el asfalto.

Los impactos ambientales negativos de las operaciones de cemento ocurren en las siguientes áreas del proceso: manejo y almacenamiento de los materiales (partículas); molienda (partículas); y emisiones durante el enfriamiento del horno y la escoria (partículas o "polvo del horno", gases de combustión que contienen. La Industria del Cemento mundial contribuye con un 5 % (Albuja et al. 2019)) a las emisiones globales de CO₂, producidas principalmente en: (a) la combustión necesaria para alcanzar el calor requerido (1450°C) en la zona de clinkerización, representando el 45 % de las emisiones y (b) la reacción de descarbonatación, es decir, la descomposición de la caliza para formar clínker, representando el 54.5 % de las emisiones (FICEM 2014). Es importante mencionar que las emisiones de carbono debidas a la combustión son producidas al quemar combustibles fósiles tanto en el proceso de fabricación del cemento como en la generación de energía eléctrica consumida por el mismo.

1.3.1 Consumos energéticos en la fabricación del cemento.

La industria del cemento consume gran cantidad de energía, cada tonelada de cemento producido necesita de unos 73 a 130 kilos de petróleo o de combustible equivalente, según la variedad del cemento o el proceso de fabricación utilizado (GTZ/Holcim, 2017). Las plantas que tienen un mejor desempeño energético son las plantas de procesos en vía seca, dentro de éstas las que disponen de

precalentador y calcinador tienen las mejores eficiencias en el uso de la energía. El número de etapas de los pre-calentadores, determinará que los gases de escape estén a menos temperatura. Al disponer de calcinador se logra mejor descomposición de la harina cruda en el precalentador y se recupera el exceso de calor del aire del enfriador.

En la tabla 1 se muestran los consumos energéticos para diferentes tipos de hornos, donde se demuestra que los sistemas de hornos con precalcinador son los más eficientes desde el punto de vista energético. En Cuba solo dos plantas son de proceso seco: una (Cementos Cienfuegos S.A) cuenta con precalcinador y la otra (Mariel) con precalentador de ciclones. El resto son de proceso seco.

Tabla 1 Consumos energéticos en sistemas de hornos.

Sistemas de hornos	Largo vía húmeda	Largo vía seca	Lepol	Precalentador ciclones	Precalcinador
rpm	1	1	1,5	2	4
TM. Día/m ³	0,45	0,5	1,5	1,5	3,5
	0,8	0,8	2,2	2,2	5
Longitud/ Diámetro, L/D	30	30	12	14	10
	35	35	15	16	14
Kcal/Kg de clinker	1 300	1 100	950	750	690
	1 650	1 300	1 200	900	850
KWh/TM de clinker	17	20	20	24	24
	25	30	25	25	28
Tiempo residencia, min.	180	180	30	30	20
	240	240	40	40	30
Temperatura de gases de escape, °C	150	380	100	310	250
	230	400	120	360	360
Caída presión ÄP, mm H ₂ O	150	150	250	500	500
	180	200	400	700	700
Gases escape, Nm ³ /Kg clinker	3,4	1,8	2,0	1,5	1,4

Fuente: Portland Cement Association (2004) " Innovations in Portland Cement Manufacturing"

En la figura 1.3 se muestran los energéticos para plantas de cemento de proceso seco en el mundo.

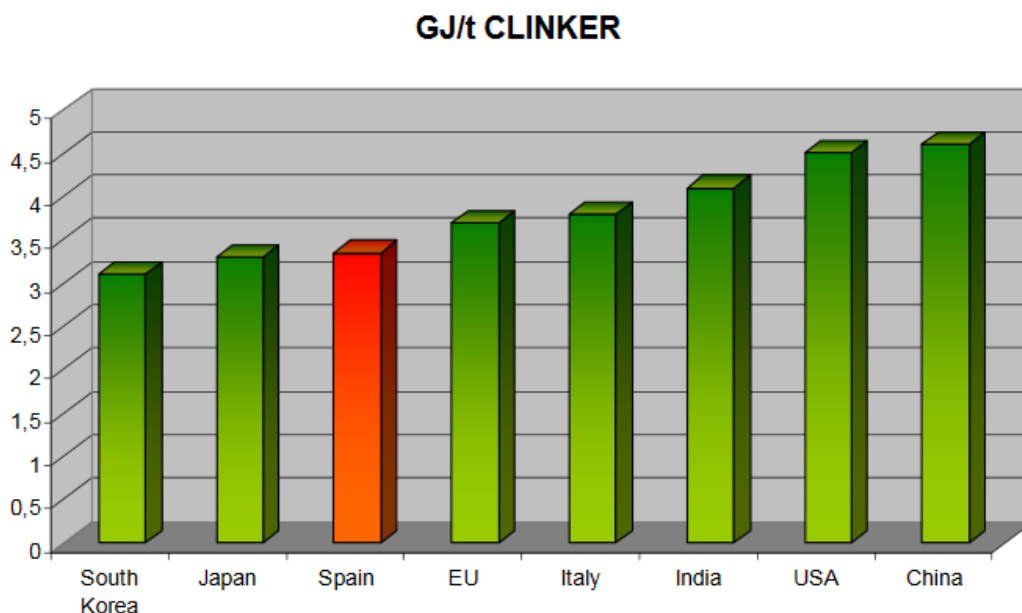


Fig. 1.3 Consumo energético total para la producción de 1 t de clinker en los principales productores.

Fuente: Oficemen 2018.

De la figura anterior se puede observar que el consumo calórico de los hornos de proceso seco para los países de mayor desarrollo en el sector cementero se encuentra entre los 3÷4.5 GJ/kg de clinker. En el caso de Cementos Cienfuegos S.A. este valor se encuentra en los 3.83 GJ/kg en el caso de la fábrica de Mariel este valor es superior a 4 GJ/kg. (GECEN, 2019)

1.3.2 Ahorro de energía en la industria del cemento.

En general el ahorro de energía en la industria del cemento debe comprender la modernización de la planta, en la gran mayoría de las fábricas de cemento del mundo se lucha por una producción con la mejor eficiencia energética posible, tanto para el consumo de energía térmica que para la eléctrica. En muchos casos se cambian los procesos de producción de clinker de vía húmeda a vía seca, aumentando así la capacidad de producción de la fábrica y reduciendo el consumo térmico. También para mejorar la eficiencia térmica del horno se instalan intercambiadores de calor y se acorta el horno, así como el uso de aditivos en el cemento y elevando la eficiencia en la molienda. (GTZ/Holcim, 2017).

También se ha trabajado en el desarrollo de los sistemas para el incremento del uso de combustibles alternativos para disminuir el consumo de combustibles tradicionales. Los combustibles alternativos mayor-ente usados en la producción de cemento son los subproductos provenientes de otras actividades como aceites usados, disolventes, neumáticos usados, etc. Toda esta gestión se realiza teniendo en cuenta un estricto control de aceptación de estos combustibles de manera que no se vea afectada ni la calidad del cemento ni se incrementen los niveles de emisión la atmósfera. En estos momentos se está poniendo a prueba un nuevo combustible llamado Enerfuel el cual es un combustible derivado de los residuos sólidos urbanos. Estos desechos domésticos, que no pueden ser reutilizados y que en la actualidad van directamente a los vertederos provocando, además de peligrosas emisiones y contaminación, problemas de limpieza, olores y saturación, son los que forma parte del nuevo combustible Enerfuel. (GTZ/Holcim, 2017)

Algunas de estas iniciativas han sido clasificadas por Naciones Unidas como “Mecanismos de Desarrollo Limpio”. (Holcim, 2019)

- ✓ Por ejemplo, la cementera de Arasmata (India) utiliza la ceniza volante de las centrales eléctricas para la fabricación del cemento.
- ✓ Malasia, el 5% de la energía térmica necesaria para las plantas de cemento de Lafargede Rawang y Kanthan se produce a partir de biomasa.
- ✓ Marruecos, un parque eólico proporciona el 50% de la electricidad requerida por la cementera de Tetuán.

1.4. Uso de combustibles alternativos.

De acuerdo con Cruz, (2009), más del 90 % de la energía usada en la producción de cemento procede originalmente de la quema de combustibles, lo cual califica a la industria del cemento como energéticamente intensiva. El resto, entre 5÷10 %, de la energía primaria consumida es en forma de electricidad en el proceso de mezclado y molienda de los materiales.

Prácticamente todo el combustible empleado en el proceso de manufactura del cemento se usa para la quema de las materias primas. Las principales fuentes de energía empleadas en la Industria del cemento son el carbón, el fuel oil, el gas natural, el petroleum coke –también conocida como petcoke –, y otros combustibles llamados “alternativos”(Espinosa, 2016)

La cantidad de CO₂ liberado durante la calcinación depende del tipo de combustible usado, y por supuesto de la tecnología disponible. Por mucho tiempo la fuente energética fundamental para la producción de cemento ha estado centrada en el carbón, que por su composición, de los combustibles anteriormente mencionados, es el más contaminante. (Lagarinhos and Tenório, 2008)

La principal opción para reducir las emisiones de CO₂ es precisamente reducir el contenido de carbón de los combustibles. Una práctica de ello es el empleo de gas natural, pero los precios de este último se han elevado de manera sostenida en el mercado internacional y no son competitivos con los precios del carbón, además de ser una fuente altamente demandada por otros sectores. (Environmental Protection Agency (EPA), 2018)

La mayor oportunidad la constituye la utilización de subproductos de desecho provenientes de otras industrias como combustibles alternativos. Ellos pueden ser gaseosos (gases de refinería, gases del proceso de craqueado del petróleo, de pirolisis), líquidos (solventes libres de halógeno, aceites minerales) o sólidos (residuos de la agricultura, neumáticos, plásticos, etc.). Un combustible alterno 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 uso de estos combustibles no solo es menos costoso, sino que puede reducir las emisiones de CO₂ de 0.1 –0.5 toneladas por tonelada de cemento, comparado con los combustibles fósiles (Parlamento Europeo Directiva, 2008), además de

contribuir al reciclaje de residuales industriales. Se debe prestar atención a la eficiencia del combustible, la calidad del cemento obtenido y la generación de elementos volátiles como mercurio y talio.(Damtoft, 2017)

A pesar del gran potencial existente para la reducción de emisiones a través de la utilización de combustibles de bajo carbono, estos fueron empleados en solo un 16 % en sustitución de la energía primaria en 2006 por los países incluidos en el “anexo I” del protocolo de Kioto, los cuales tienen una obligación legal con respecto a la reducción de emisiones. Mientras que los países no incluidos en el anexo I –economías emergentes en su mayoría –que no han sido comprometidos en este sentido en el protocolo, solo emplearon combustibles alternativos en un 5 %. (Soto, Martínez & Ruiz, 2011)

De manera general, la implementación de esta práctica ha estado concentrada fundamentalmente en países desarrollados, pues está condicionada a la disponibilidad de desechos en las diferentes regiones, la estructura organizativa para su colección y además está sujeta a estrictas regulaciones de sanidad y manejo.(CEMBUREAU, 2020)

En Cuba la creciente escasez y los cortes de suministro de combustibles a las plantas cementeras han obligado a buscar fuentes energéticas que permitan continuar la producción en un escenario de fuerte demanda en el mercado nacional. El uso de combustibles alternativos no modifica las emisiones del horno si las reglas del arte y las buenas prácticas de ingeniería son tenidas en cuenta. No hay emisiones gaseosas adicionales y la calidad de productos no cambia.

En el país cuenta con grandes inventarios de materiales de desechos, susceptibles de ser utilizado como combustibles alternativos dentro de estos: los NFU (Neumáticos Fuera de Uso), desechos urbanos, Lodos petrolizados de las refinerías de petróleo y grupos electrógenos del país y los aceites usados. Todos estos con poder calórico superior a 6000 kcal/kg, que pueden sustituir a los combustibles convencionales (crudo cubano y petcoke) utilizados en las

cementeras del país. En general, la utilización de combustibles alternativos en la industria del cemento trae aparejada beneficios pluridisciplinarios ver figura 1.4



Fig. 1.4 ventajas del uso de combustibles alternos.

Fuente: Informe co-procesamiento Lafarge-Holcim 2020.

La valorización energética en plantas cementeras es un ejemplo claro de “Win to Win:

- ✓ Reduce la contaminación ambiental -emisiones de gases efecto invernadero (GEI).
- ✓ Genera empleo directo e indirecto.
- ✓ Es fuente alternativa de energía.
- ✓ Facilita a la sociedad una herramienta complementaria para la gestión de sus residuos.
- ✓ Evita el depósito de residuos en vertedero.
- ✓ Reduce las inversiones necesarias pues aprovecha instalaciones existentes, como las fábricas de cemento.
- ✓ Elimina técnica y ambientalmente los residuos industriales de forma segura
- ✓ Economiza material que antes era extraído de la naturaleza como combustible fósil y recurso mineral.
- ✓ Contribuye a la salud pública al evitar la propagación de enfermedades.
- ✓ No genera ningún residuo al final del proceso de co-procesamiento.
- ✓ Mejora competitividad de la industria cementera, reduciendo el coste energético directo (casi un 40% de los costes de fabricación).

En la figura 1.5 se muestra el incremento del porcentaje de sustitución de los combustibles fósiles por residuos en plantas de cemento llegando a niveles superiores al 80% en Holanda. En nuestro país este valor solo alcanza menos del 1%, aunque se han logrado valores superiores al 10% en la empresa Cementos Cienfuegos S.A. con la quema de NFU, lodos petrolizados y aceites usados.

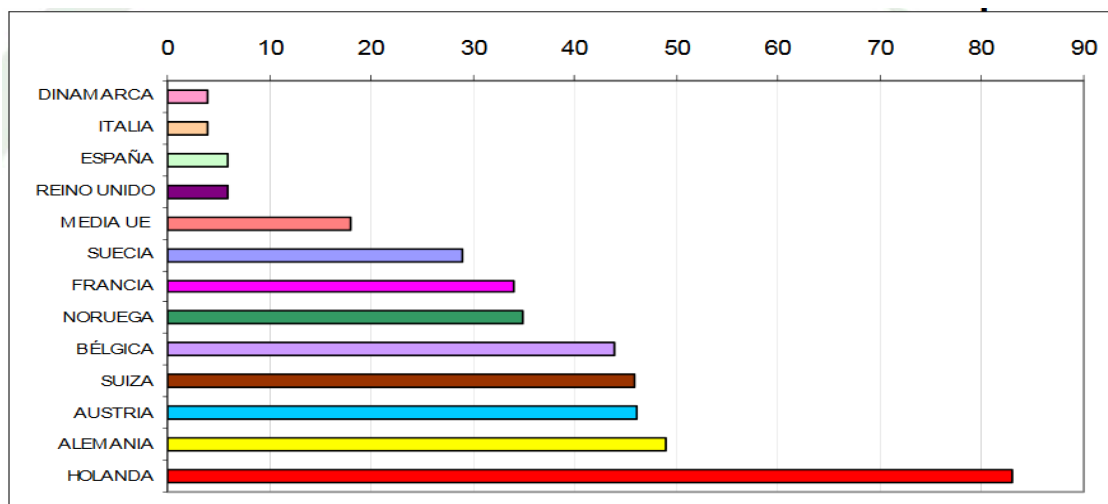


Fig. 1.5 Porcentaje de sustitución combustibles fósiles por residuos Unión Europea (2017): 18%.

Fuente: Ficemen 2019.

1.5. Valorización energética de los aceites usados.

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 and Tenório, 2008)

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, and Parra, 2007)

1.5.1 El Co-procesamiento desde la perspectiva del residuo al recurso.

Es un proceso que consiste en ingresar al horno cementero desechos previamente acondicionados que sirvan como energía térmica o materia prima en el proceso de producción del cemento, desechos que se eliminan en forma eficiente sin que se generen nuevos residuos, cenizas o emisiones diferentes a las del proceso original, ya que todo el material involucrado se convierte en energía o se incorpora al clínker (material intermedio necesario para la fabricación del cemento) de manera permanente e irreversible, manteniendo las garantías ambientales y de calidad del producto. La industria del cemento ha sido pionera mundial en poner en marcha programas de co-procesamiento de residuos.

El co-procesamiento es la integración ambientalmente segura de un residuo o subproducto a otro proceso productivo. La incorporación de este concepto abre la posibilidad del aprovechamiento y la disposición de residuos que, bajo otras circunstancias, deberían ser destinados a distintos procesos de destrucción o estarían acumulándose y provocando, a la larga, un deterioro del medioambiente. El co-procesamiento 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.

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.

Los residuos utilizados como combustibles alternativos pueden ser: sólidos, como neumáticos usados, plásticos, textiles, aserrín y madera, residuos de la producción papelera, plásticos y combustibles; o líquidos, como aceites minerales usados, disolventes, pinturas, barnices y residuos de hidrocarburos. La industria cementera también ha incursionado en el uso, cada vez más creciente, de la biomasa – cascarilla de arroz, maní o girasol, bagazo de la industria azucarera, residuo de la nuez de palma africana, entre otras como combustible alternativo, al dar solución a la disposición de este material que, de otra manera, incrementaría la producción de gases tipo invernadero. En la figura 1.6 se muestra los combustibles y materias primas alternativas para la fabricación del cemento.

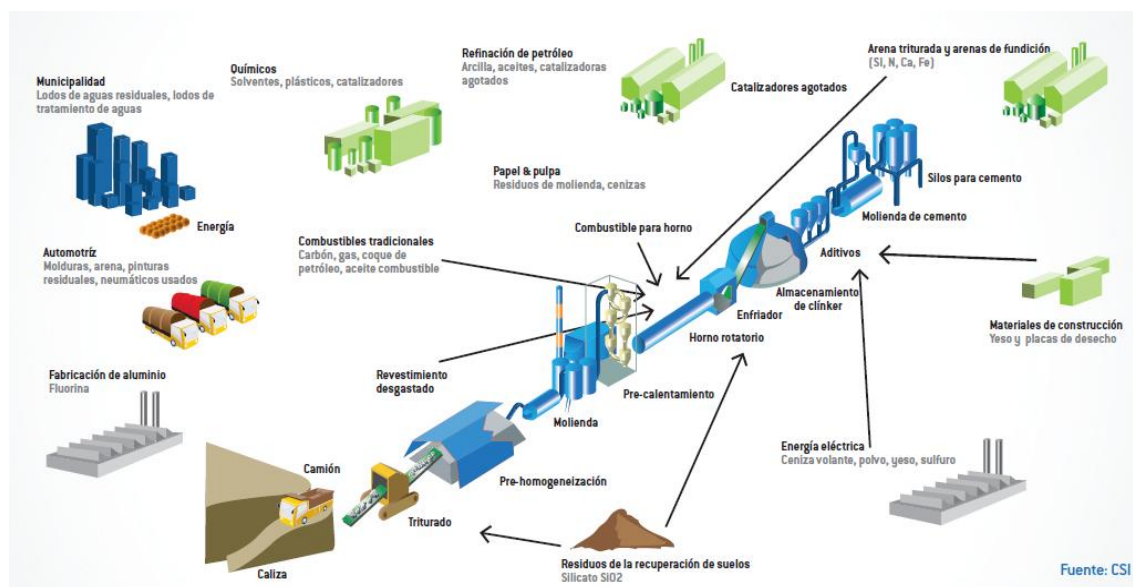


Fig. 1.6 Uso de combustibles y materia prima alternativa en la fabricación del cemento.

En total, en el mundo, se co-procesan más de diez millones de toneladas de residuos y desechos al año. Desde hace más de treinta años países como Japón, Estados Unidos, Canadá y miembros de la Unión Europea han utilizado el co-procesamiento como una alternativa ambientalmente sostenible y económicamente viable en sus procesos productivos. La industria cementera en Alemania, Bélgica, Austria y Suiza sustituyen actualmente más del 40% de sus combustibles por residuos acondicionados especialmente para estos efectos. En el caso de Holanda, esta sustitución es de más de un 80%. (Sauvé, Bernard, and Bernard, 2016)

En América Latina la sustitución en países como Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, Colombia, Guatemala, México y República Dominicana, entre otros, va desde el 7% hasta el 20% (Holcim, 2018). En Cuba el co-procesamiento en plantas de cemento es inferior al 2%. En el caso de Cementos Cienfuegos S.A. el nivel de co-procesamiento alcanza el 10% del total de combustible consumido.

En la siguiente figura se muestra el consumo futuro de combustibles alternativos hasta el 2050.

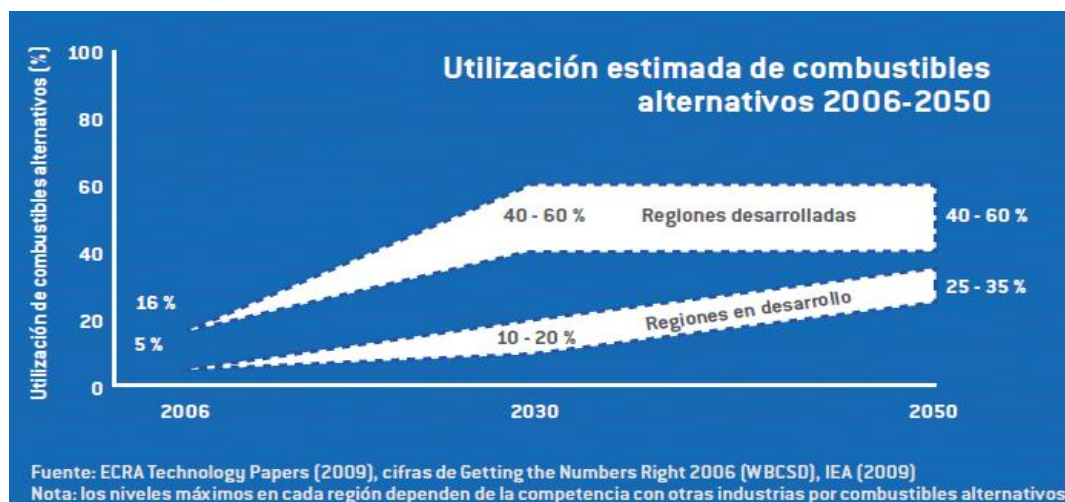


Fig. 1.7 Utilización estimada de combustibles alternativos 2006-2050.

Fuente: Informe Lafarge-Holcim 2005

En ninguno de los casos el uso de materias primas o combustibles alternativos presenta riesgos para la calidad del producto o para la seguridad y salud de los trabajadores o

vecinos a las fábricas, puesto que se acondicionan en procesos diseñados para su manejo seguro y son sometidos a análisis y a monitoreos para asegurar que sean compatibles con los procesos de las plantas de cemento donde son utilizados.

1.5.2. El co-procesamiento de aceites usados y la reducción de las emisiones de CO₂.

La quema de aceites usados ofrece un alto potencial a la industria cementera para reducir las emisiones globales de CO₂. Sin el coprocesado, los aceites serían incinerados, con la emisión de sus gases de efecto invernadero. La recuperación de energía y reducción de emisiones a la atmósfera, con el co-procesamiento de aceites usados, demuestra 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 reemplazan otros combustibles fósiles que generan mayores niveles de CO₂. (Cisneros, 2013)

La destrucción de componentes inorgánicos durante la incineración de aceites usados 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, 2017)

1.5.3 Tecnología de co-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. Las variables fisicoquímicas que se deben tener en cuenta en la identificación de los componentes de los aceites usados como un potencial combustible alternativo, están definidos en la mencionan ensayos de laboratorio que serán registrados bajo la normativa ASTM – D.

Rosales, (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 de pende de la composición y el poder calorífico de algunos materiales utilizados en la combustión de un horno cementero.

El uso de los aceites usados como combustibles alternativos está sujeto a requisitos generales y específicos establecidos en la NC TS 1067:2015:

- ✓ Mezclas homogéneas de aceites de base mineral y sintética.
- ✓ Contenido de PCB (Bifenilo policlorados) < 50 ppm y de halógenos <1000 ppm.
- ✓ Contenido de agua < 2% en volumen.
- ✓ Sedimentos <15% en volumen.
- ✓ Poder calorífico ≥ 9000 kcal/kg.

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

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. Las industrias que 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. (Diosdado, 2009)

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.

El co-procesamiento 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 recuperación de residuos en la industria cementera entre ellos los aceites usados, 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 la combustión en los hornos de cemento se realiza con un exceso de oxígeno, además de la uniformidad del combustible y a su adecuado manejo se garantiza una correcta y completa combustión del aceite usado.

1.7 Estudios de factibilidad de proyectos.

El estudio de factibilidad es un instrumento que sirve para orientar la toma de decisiones en la evaluación de un proyecto y corresponde a la última fase de la etapa pre-operativa o de formulación dentro del ciclo del proyecto. Se formula con base en información que tiene la menor incertidumbre posible para medir las posibilidades de éxito o fracaso de un proyecto de inversión, apoyándose en él se tomará la decisión de proceder o no con su implementación.

El estudio de factibilidad debe conducir a:

- ✓ Determinación plena e inequívoca del proyecto a través del estudio de mercado, la definición del tamaño, la ubicación de las instalaciones y la selección de tecnología.
- ✓ Estimación del nivel de las inversiones necesarias y su cronología/lo mismo que los costos de operación y el cálculo de los ingresos.
- ✓ Identificación plena de fuentes de financiación y la regulación de compromisos de participación en el proyecto.
- ✓ Definición de términos de contratación y pliegos de licitación de obras para adquisición de equipos y construcciones civiles principales y complementarias.
- ✓ Sometimiento del proyecto si es necesario a las respectivas autoridades de planeación y ambientales.
- ✓ Aplicación de criterios de evaluación tanto financiera como económica, social y ambiental, que permita allegar argumentos para la decisión de realización del proyecto.

Del estudio de factibilidad se puede esperar: o abandonar el proyecto por no encontrarlo suficientemente viable, conveniente u oportuno; o mejorarlo, elaborando un diseño definitivo, teniendo en cuenta las sugerencias y modificaciones que surgirán de los analistas. En consecuencia, los objetivos de cualquier estudio de factibilidad se pueden resumir en los siguientes términos.

- ✓ Verificación de la existencia de un mercado potencial o de una necesidad no satisfecha.
- ✓ Demostración de la viabilidad técnica y la disponibilidad de los recursos humanos, materiales, administrativos y financieros.
- ✓ Corroboración de las ventajas desde el punto de vista financiero, económico, social o ambiental de asignar recursos hacia la producción de un bien o la prestación de un servicio.

1.7.1 Análisis y evaluación económica-financiera (aspectos económicos y financieros del proyecto). Evaluación ex-ante.

En primer término se realiza el análisis (o estudio) económico-financiero, el cual consiste en cuatro divisiones: las inversiones estimadas del proyecto, el financiamiento, los presupuestos (de ingresos y egresos y los estados financieros pro-forma; estos cuatro grandes elementos que integran el análisis o estudio financiero y económico de un análisis de factibilidad permitirá reflejar el costo general del proyecto, los ingresos y gastos totales de operación, las fuentes y esquemas de financiamiento que requerirá el mismo proyecto, así como la estimación económica de la situación futura de la empresa.

En segundo término se estima la evaluación económica y financiera, es decir, se analiza la rentabilidad del proyecto tanto sin financiamiento como con financiamiento; para lo cual se utilizarán cinco indicadores básicos: Valor Actual Neto, Relación Beneficio-Costo, Tasa Interna de Retorno, Periodo de Recuperación de la Inversión y Periodo de recuperación de la Inversión a Valor Presente. De los resultados obtenidos en ambas evaluaciones (con financiamiento y sin financiamiento), se definirá la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

Es necesario destacar la necesidad de realizar los estudios ex-post de las inversiones que permita evaluar los datos estimados de los proyectos de carácter aprobado, y los aplicados en la ejecución de estos. La metodología ex post se aplica con el fin de determinar diferentes perspectivas como la pertinencia, eficacia, eficiencia, efectividad, impacto y la sostenibilidad del proyecto, la cual está sujeta a tres casos posibles en la comparación de los VAN estimados y reales. 8 Evaluar la variación de lo estimado y la realidad es una forma práctica de concluir las pertinencias centrales de una evaluación ex post. Analizando flujos de caja, procesos núcleo del proyecto, Utilización de indicadores o cualquier herramienta aprendida durante la formación de un ingeniero civil industrial, con esto la memoria tiene un enfoque en detectar fallas para corregirlas con una mejora del proyecto, o generar un aprendizaje de las situaciones reales y como se

desviaron o acercaron a lo estimado La mejora que presenta el o los proyectos en operación buscan la eficiencia y eficacia, en efecto poder aumentar el beneficio del o los inversionistas. Asegurándoles que su inversión está en el camino optimo, tal como pensaron y confiaron al momento de invertir respaldados por los estudios de pre factibilidad.

Conclusiones parciales.

- 1 Los altos consumos de combustibles es uno de los mayores problemas de la producción de cemento en el mundo, siendo necesarios implementar proyectos que garanticen el consumo de combustibles lo más económicamente posible y que no dañe el entorno.
- 2 La principal opción para reducir las emisiones de CO₂ en la industria del cemento es precisamente reducir el contenido de carbón de los combustibles. Una práctica de ello es el co-procesamiento de combustibles alternos que puede reducir las emisiones de CO₂ de 0.1÷0.5 tCO₂/t cemento.
- 3 Previo a la implementación de cualquier proyecto de inversión es necesario realizar el estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental con el objetivo de conocer su rentabilidad. Los estudios ex-post de las inversiones permite evaluar los datos estimados de los proyectos de carácter aprobado, y los aplicados en la ejecución de estos.

CAPÍTULO II

Capítulo II. Materiales y Métodos.

En este capítulo se realiza la caracterización de la empresa mixta Cementos Cienfuegos S.A. y se describe el proceso tecnológico de la producción de cemento, así como el diseño de la instalación para la quema de aceites usados y los consumos por año de este combustible. Finalmente se describe la metodología a emplear para el estudio de factibilidad.

2.1 Descripción del objeto de estudio.

En el mes de Junio de 1975, se confeccionó el expediente de Tarea de Inversión para la Fábrica de Cemento de Cienfuegos, donde se planteó la localización del lugar destinado para la construcción de las instalaciones, la red de comunicación vial necesaria, las fuentes de abasto de agua y las soluciones a gestionar para la fábrica. También fueron analizados los indicadores tales como los requerimientos de abastecimiento de materias primas y factores socio - económicos para la ejecución y puesta en marcha de la industria.

El 8 de marzo de 1980 comienza la explotación del primero de los tres hornos de la Fábrica de Cemento de Cienfuegos, lo cual permitió un aumento considerable en la producción nacional de este renglón. La Fábrica de Cementos “Karl Marx”, fue inaugurada por el Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz y el presidente de la RDA “Eric Honeker”. La Fábrica la conformaban tres líneas paralelas de producción con una capacidad instalada de 1 500 000 ton/año de clinker (tres Hornos rotatorios de 500 000 ton/año de clinker), con tecnología de producción de vía seca que se mantiene hasta hoy.

Después de 21 años de explotación., en el año 2001 se decide la constitución de las Empresa Mixta Cementos Cienfuegos S.A. que comienza con un proceso de mantenimiento general a la línea 1, continuando con la rehabilitación y modernización de la línea 3, para restablecer su capacidad productiva y alcanzar su capacidad de diseño. En noviembre del 2004 se realiza la puesta en servicio de la línea 3.

Cementos Cienfuegos S.A es una empresa mixta, perteneciente al Ministerio de la Construcción, destinada a la producción y comercialización de clínker y cemento consignados a clientes nacionales y extranjeros. En la actualidad mantiene certificado su sistema de gestión integrado de Calidad, Medio Ambiente, Seguridad y Salud en el Trabajo y Energía sobre las normas, NC-ISO 9001:2015; NC-ISO 14001:2015, NC- 45001:2018 y NC ISO-50001:2019 os de acaba de ser certificado por la ONN.

Se ubica en el Municipio Cienfuegos, extendida sobre áreas de la Llanura de Cienfuegos a los 220 09´ 20” de Latitud Norte y los 800 15´ 19” de Longitud Oeste. Esta instalación industrial, la mayor en Cuba y una de las más grandes de Latinoamérica. La empresa produce gran parte de la producción de cemento del país. En la misma se procesa el clínker y cemento con alta calidad y con poca contaminación de la atmósfera. Entre los logros más significativos después de la constitución de la empresa mixta están:

- ✓ Empresa Libre de CFCs desde el año 2009.
- ✓ Empresa Responsable con el Medio Ambiente desde el 2009.
- ✓ Premio de la Provincia de Cienfuegos a la Calidad año 2011.
- ✓ Premio Nacional del Ministerio de la Construcción 2017 a la Calidad de los productos Clíner, Cementos P 35 y PP 25 y Medio Ambiente.
- ✓ Premio de la Provincia de Medio Ambiente 2019.

Objeto Social: modernización, rehabilitación, optimización, operación, mantenimiento, ampliación de la capacidad y explotación de la planta, la explotación, extracción, transporte y proceso industrial de los minerales de calizas, margas, tobas, limonitas y areniscas ubicados en los yacimientos autorizados en las concesiones mineras que se transferirán o que posteriormente se otorguen, así como la producción, exportación almacenamiento, transporte terrestre y marítimo, distribución, comercialización de clínker, cemento, aditivos de cemento y modificantes especiales de cemento.

Visión 2021. Ser productora y exportadora de clinker y cemento líder en Cuba y el Caribe a través del:

- ✓ Uso eficiente de recursos energéticos.
- ✓ Co-procesamiento de desechos.
- ✓ Desarrollo de las personas.
- ✓ Innovación de productos.

Cementos Cienfuegos SA cuenta con un total de 244 trabajadores distribuidos de la siguiente forma según sexo y categoría ocupacional según plantilla aprobada.

Tabla 2.1 Composición de la fuerza de trabajo de Cementos Cienfuegos S.A.

Categoría Ocupacional	Total
Obreros	326
Técnicos	51
Servicio	5
Dirigentes	34
Administrativos	4
Total	420

Principales clientes: La producción de cemento es destinada íntegramente a la Unidad de Base Empresarial Comercializadora de Cemento (UBECOCEM); y el clinker se comercializa con Hansen Holding S.A por convenio entre las partes.

Principales Proveedores: Geominera; Empresa de Asistencia y Servicio Cienfuegos; Empresa de Mantenimiento Cemento Vidrio; Acueducto y Alcantarillado Cienfuegos; Unidad Básica Empresarial Eléctrica Cienfuegos; CUBALUB, REFRACTECNIC, UDECAM, CUBIZA, IZAJE, SEPSA; CEDAI; COMETAL; MIMVEX; TRASMETRO; Ferrocarriles; Empresa de Transporte

(ETEP); Cubana de Aviación; Cuba Control; SERVITALLE; MAMBISA; AGR; Centro Nacional para la Certificación Industrial (CNCI).

2.1.1 Principales indicadores de la planta.

El comportamiento productivo de la fábrica ha tenido un incremento hasta el 2013 para la producción de cemento a partir del cual experimentó un descenso hasta al 2016 motivado por la variabilidad del mercado nacional, mostrando una recuperación a partir del 2017, (como se muestra en la Fig. 2.7), hasta la fecha derivado del incremento del consumo en el país y el deterioro de la industria cementera del país, lo que ha motivado que Cementos Cienfuegos S.A. asuma la el déficit de esta producción. En relación a las calidades de los cementos, la figura1, muestra que hasta el 2014 la producción de cemento P-35 disminuyó incrementándose la producción de PP-25 con un (18 % de adición de toba puzolánica). Entre los años 2012 y 2015 se produjo cemento P-35 Tipo I (sin adición activa de toba) para el mercado de Venezuela.

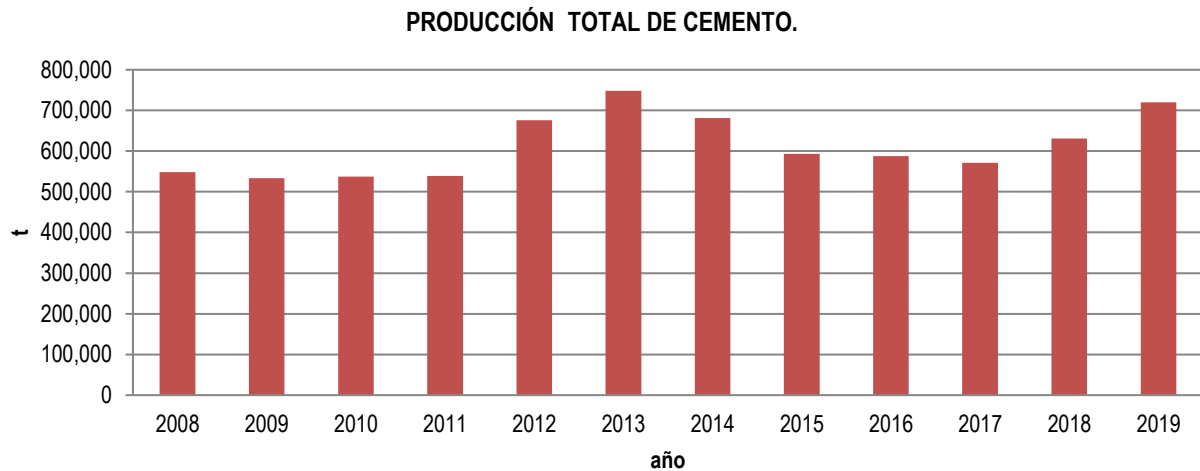


Fig. 1. Comportamiento de la producción de cemento.

Fuente: Gerencia técnica Cementos Cienfuegos S.A.

A Partir del 2014 hasta el 2018, se incrementa la producción de P-35 y disminuye la de PP-25 esto está motivado par la demanda de este tipo de cemento para las construcciones de las instalaciones turísticas. A partir de este año se comienzan a

producir nuevos tipos de cemento: PP-35 y PZ-25 que van a ir desplazando la producción del P-35 y el PP-25. Ya en el 2019 se deja de producir el cemento Tipo I y el PP-25. Este incremento de los cementos con alta adición está acompañado con tendencia a la disminución del consumo térmico y eléctrico ya que disminuye la cantidad de clinker en su composición, la que es sustituida por la toba puzolánicas y la caliza según se muestra en las figuras. 2-7.

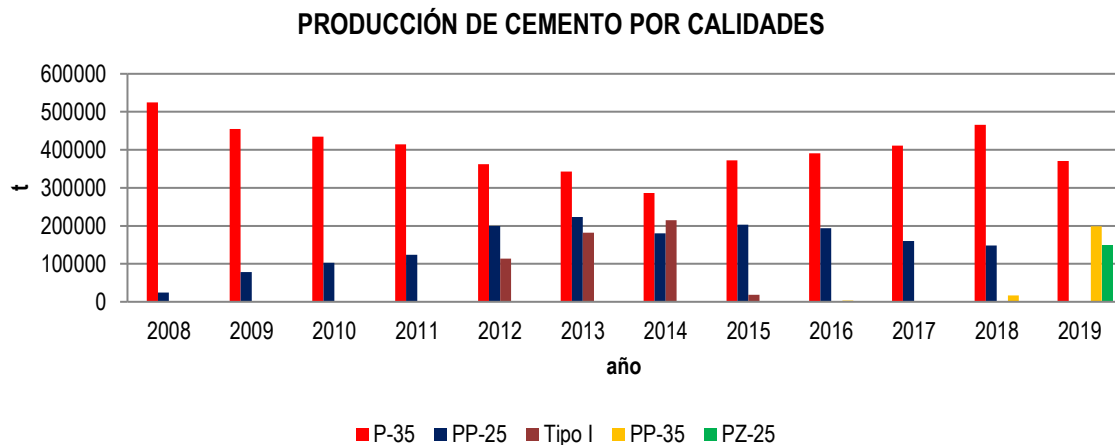


Fig. 2 Comportamiento de la producción de cemento por calidades.
Fuente: Gerencia técnica Cementos Cienfuegos S.A.

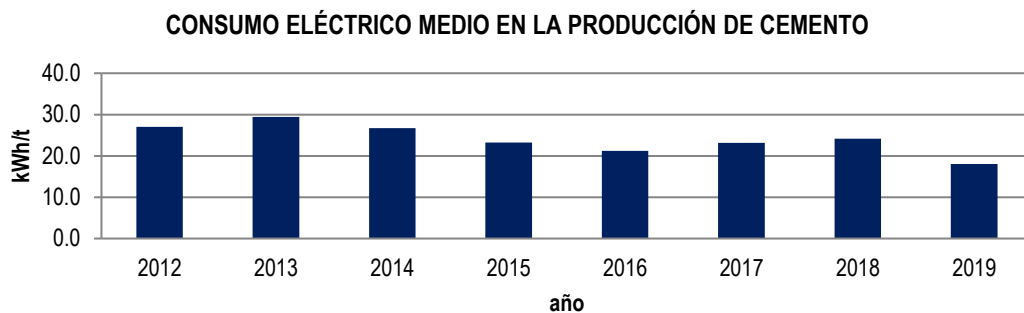


Fig. 3. Consumo eléctrico medio en la producción de cemento.
Fuente: Gerencia técnica Cementos Cienfuegos S.A.

El consumo de clinker por su parte, experimento un crecimiento hasta el 2013 motivado por los niveles de exportaciones que hasta ese año se realizaban, a partir de este año estas exportaciones se cancelaron hasta el 2019, mostrando un ligero incremento a partir del 2018 ya que aumentan también las ventas de clinker

a nivel nacional para compensar los niveles dejados de producir por el deterioro de la industria en el país. El consumo calórico del clinker muestra un incremento hasta el 2013 debido al aumento de las paradas del horno por falta de financiamiento para los mantenimientos, a partir de este momento comienza a disminuir el número de paros ya que se realiza un mantenimiento general que restablece en parte la capacidad de trabajo del horno. A partir del 2018 comienza a incrementarse ligeramente por las paradas asociadas a la inestabilidad del suministro de combustible (petcoke) proveniente de Venezuela, llegando en el 2020 y primer semestre del 2021 a producir más de 6 meses de interrupción de las operaciones del horno.

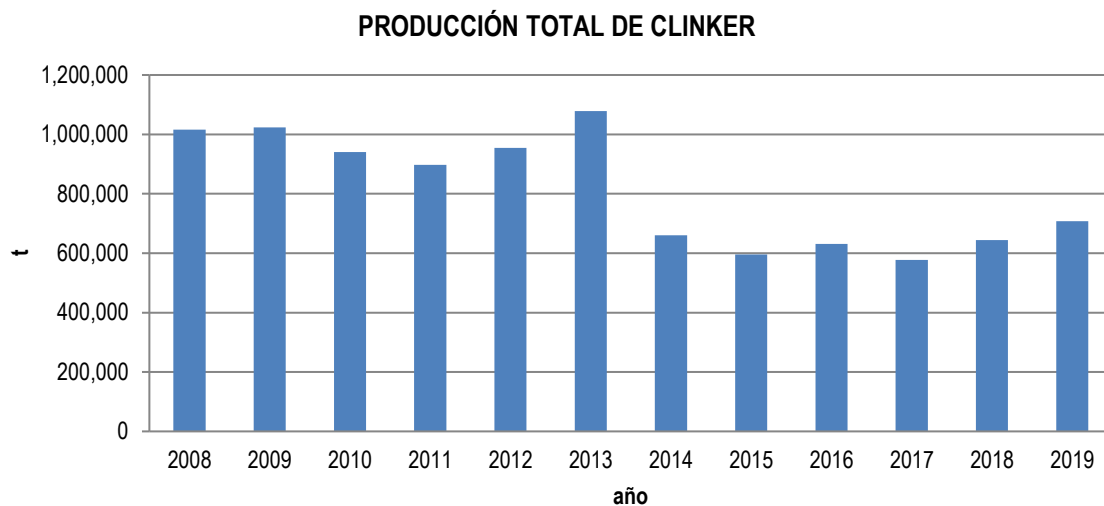


Fig. 4 Comportamiento de la producción de clinker.
Fuente: Gerencia técnica Cementos Cienfuegos S.A



Fig. 5 Consumo calórico en la producción de clinker.
Fuente: Gerencia técnica Cementos Cienfuegos S.A.

El consumo eléctrico hasta clinker, también muestra un incremento a partir del 2012 debido a la variabilidad en el trabajo de los equipos por fallas asociadas a la falta de mantenimiento por financiamiento. El comportamiento del consumo de agua también muestra una tendencia a aumento después del 2016 debido al mal estado de la conductora de Codicia situada a 8 km de la fábrica con niveles de pérdida del 30% y sujeta a una posible inversión aún en fase de aprobación.

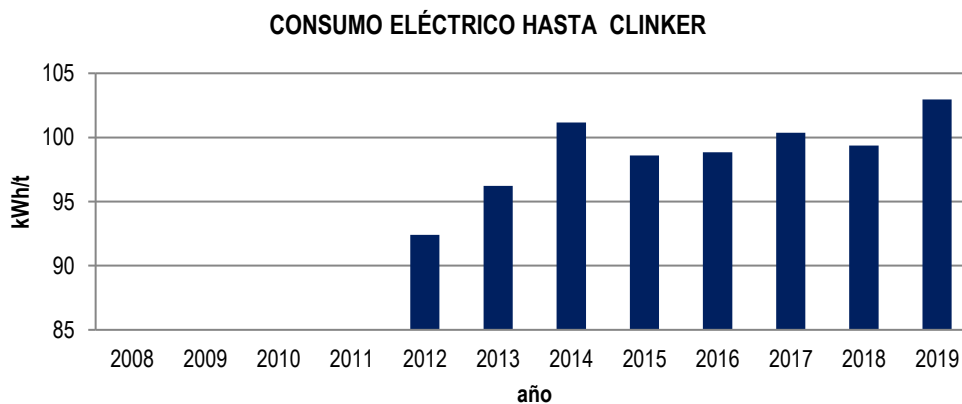


Fig. 6 Consumo eléctrico en la producción de clinker.
Fuente: Gerencia técnica Cementos Cienfuegos S.A.

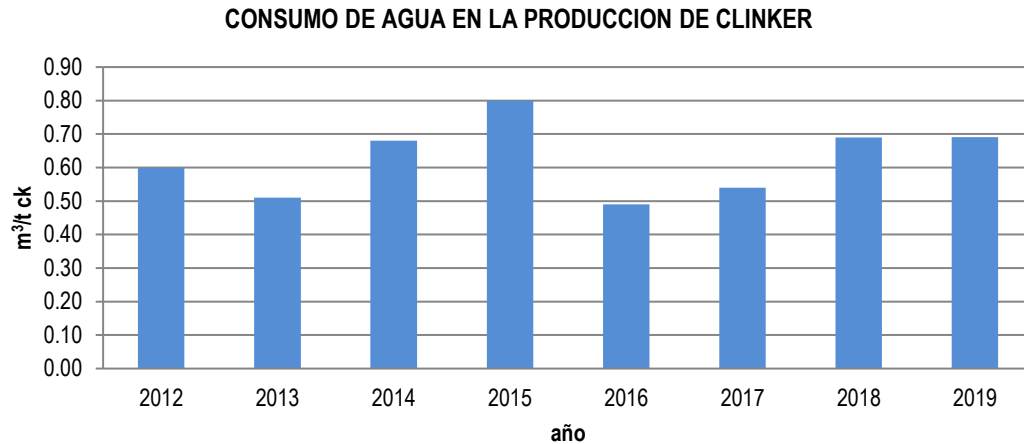


Fig. 7 Consumo de agua en la producción de clinker.

Fuente: Gerencia técnica Cementos Cienfuegos S.A.

2.1.2 Descripción tecnológica de la empresa.

El proceso de producción de cemento se divide en tres etapas básicas:

Primera etapa: Extracción, preparación y molienda de materias primas. Las materias primas, caliza, marga y mineral de hierro, se extraen de las canteras, las que son transportadas hasta el área donde se trituran y secan. Posteriormente se dosifican a los molinos de crudo hasta obtener la harina o crudo.

Segunda Etapa: Cocción del crudo en hornos rotatorios. Una vez homogenizada la harina entra a los hornos rotatorios, en los que se desarrolla el principal proceso de la planta: la clinkerización.

Tercera Etapa: Molienda del *clinker* con otros componentes: yeso y adiciones para dar lugar a los distintos tipos de cemento. La distribución del cemento puede ser a granel o ensacado.

2.1.3 Análisis FODA del uso del aceite usado como combustible en cementos Cienfuegos S.A.

Fortalezas.

- ✓ Disponibilidad de aceites usados cercano al millón de litros provenientes de los grupos electrógenos y las industria del territorio con posibilidad de incrementarse si se incluye el transporte.
- ✓ Contar con una legislación que prioriza la destrucción de este desecho en hornos de Cemento.
- ✓ La ubicación geográfica de la fábrica favorece las relativas cercanías a los grandes centros generadores y recolectores de este desecho (refinería de petróleo, termoeléctrica, puertos marítimos, planta mecánica, etc.).
- ✓ Existe una empresa con funciones de recolectar y almacenar los aceites usados de la región central ubicada en la refinería de petróleo de Cienfuegos.
- ✓ Contar con capacidades para almacenamiento de este desecho en la empresa.

Oportunidades:

- ✓ Las temperaturas las instalaciones de piroproceso son superiores a 900°C lo que garantiza la combustión de este desecho en condiciones seguras con la destrucción de los posibles contaminantes presentes en el aceite usado.
- ✓ Existe disponibilidad de equipamiento, accesorios y materiales ociosos para la construcción del sistema de inyección de aceites usados.
- ✓ La tecnología instalada permite la quema del aceite usado directamente en el quemador del horno.
- ✓ Existe suficiente espacio cercano al lugar de la quema del aceite usado para la construcción del sistema de almacenamiento con su contención.
- ✓ Toda la zona cercana al horno cuenta con sistemas de aterramiento y cobertura de seguridad contra impacto directo de la descarga eléctrica atmosférica.
- ✓ Se cuenta con transporte certificado para la recolección de aceites usados en el país.

Debilidades.

- ✓ Baja disponibilidad en el país relacionada con la recolección de los aceites usados desde todos los generadores, que limita la disponibilidad para la cogeneración.

Amenazas.

- ✓ La Comercializadora de CUPET no cumpla con el suministro y no crea un centro de recibimiento de los aceites usados en Cienfuegos.
- ✓ Baja disponibilidad de aceites usados en Cuba, a confirmar.
- ✓ Competencia con otros consumidores de aceites usados en el país. Han aparecido otras instalaciones tales como las industrias de la cal y otras fábricas de cemento (incluidas las actualmente en construcción), las cuales buscan alternativas más económicas a sus fuentes tradicionales de energía con el empleo de aceites usados.
- ✓ Costo final inviable de quema de aceites usados. Los aceites usados no llegan en la planta al costo "0". Intención de monetizar la tonelada de aceite usado por la empresa recolectora (Comercializadora CUPET).

2.2 Metodología para valorar el posible uso de combustibles alternativos en la fábrica de cemento.

Para la realización de este trabajo será utilizada la siguiente metodología que permitirá demostrar la factibilidad técnica, económica y ambiental de la quema de aceites usados como combustible alternativo al consumo de petcoke en el horno de la línea III de Cementos Cienfuegos S.A.

1. Estudio de la disponibilidad de aceites usados en el territorio y en Cuba, así como las vías y distancias desde los puntos de generación y recolección. Disponibilidad y estado del transporte.
2. Marco legal y regulador que facilite este objetivo.
 - ✓ El co-procesamiento deberá integrarse a una legislación general respecto a la protección del ambiente y gestión de residuos antes de ser aceptado como una alternativa viable de la gestión de residuos.
 - ✓ Reglamentaciones y normas legalmente obligatorias para garantizar el respaldo legal y un alto nivel de protección ambiental.

La legislación debe definir los principios fundamentales bajo los cuales se realiza el co-procesamiento, así como los requerimientos y normas concretas para el co-procesamiento. De no existir un marco jurídico específico que reglamente el co-procesamiento, se deberá preparar toda la documentación necesaria antes de iniciar cualquier actividad de co-procesamiento o pre procesamiento de residuos y solicitar un permiso de acuerdo con la leyes generales ambientales vigentes, en colaboración estrecha con las autoridades y basando la aplicación en buenas prácticas existentes. Se deberá considerar el intercambio de experiencias e información sobre mejores prácticas en el ámbito regional e internacional.

3. Contar con la permisología para el diseño, construcción y explotación de la instalación para el empleo de aceites usados para el co-procesamiento. Todas las autoridades correspondientes deberán participar en el proceso de otorgamiento de permisos.
 - ✓ Debe crearse credibilidad sobre la base de una comunicación abierta, congruente y continua con las autoridades.
 - ✓ Debe considerarse y ver la manera de aplicar la Mejor Tecnología Disponible.
 - ✓ Deberá proporcionar la información necesaria para que las autoridades evalúen la posibilidad del co-procesamiento.
4. Establecer línea base operacional y emisiones previas al empleo de aceites usados. Uso de estos datos iniciales para definir los impactos potenciales de los combustibles alternos en el ambiente, basándose en Evaluaciones de Impacto Ambiental.
 - ✓ Todos los combustibles alternativos deben suministrarse directamente en las zonas de altas temperaturas de un sistema de horno rotatorio (es decir, vía el quemador principal, la zona media del horno rotatorio, la cámara de transición, combustión secundaria (tubo ascendente), combustión del pre calcinador).
 - ✓ Establecer viabilidad del control de emisiones.

3. Evaluar el cumplimiento de parámetros de producción.
 - ✓ Selección de puntos de inyección apropiados determinados por las características del aceite usado.
 - ✓ Condiciones técnicas de la fábrica que influyen en las emisiones, calidad del producto, y capacidad serán cuidadosamente controladas y verificadas.
 - ✓ Estrategia en relación con la alimentación del aceite usado para condiciones de arranque, cierre, o de inestabilidad del horno rotatorio.
4. Logística: el transporte, almacenamiento y manejo internos de los aceites usados deberá realizarse de manera que se prevenga la posibilidad de derrames y contaminación de aguas subterráneas y suelo, se minimice el riesgo de incendio o explosión, se controle el polvo fugitivo de los materiales secos y se contengan componentes volátiles, olores y ruido. El sitio de pre procesamiento y de co-procesamiento deberá:
 - ✓ Desarrollar y especificar procedimientos e instrucciones para descarga, manejo y almacenamiento de aceites usados.
 - ✓ Proporcionar instalaciones de manejo y capacidades de almacenamiento adecuadas y suficientes.
 - ✓ Implementar y comunicar los planes de respuesta a derrames y emergencias.
 - ✓ Aplicar un diseño seguro contra incendios y explosiones para todas las instalaciones.
 - ✓ Proporcionar instalaciones y equipo adecuados para la supresión o contención de componentes gaseosos volátiles.
 - ✓ Asegurar la disponibilidad de equipo de protección adecuado y de capacitación para los trabajadores en el sitio.
5. Control y auditoría que permitan un rastreo transparente del aceite usado.
 - ✓ Se desarrollarán e implementarán protocolos de control y auditoría en instalaciones para la gestión de aceite usado en la instalación de co-procesamiento.
 - ✓ Se proporcionarán instrucciones y capacitación adecuadas al personal de la empresa en la realización de auditorías internas.

La verificación sistemática del desempeño de un sitio en combinación con auditorías periódicas deberá asegurar que las operaciones del sitio estén siempre cumpliendo con los permisos de operación y otros requerimientos internos o externos.

6. Medidas de seguridad y salud en el trabajo.
 - ✓ Determinación de lo que constituye actividades laborales riesgosas en las que se requiera permisos de trabajo.
 - ✓ Desarrollo de un programa de higiene industrial específica para el lugar de emplazamiento de la instalación de almacenamiento y suministro de aceites usados que asegure que no habrá efectos adversos para los trabajadores o aquellas personas expuestas.
 - ✓ Determinación de cuándo y dónde será necesario el uso de equipo de protección personal según se determine por las mediciones de exposición personal, concentraciones ambientales y límites de exposición ocupacional obligatorios.
7. Desarrollo de un plan de respuesta a emergencias para asegurar que se cuenta con procedimientos de emergencia adecuados y éstos deben ser comunicados a los empleados, autoridades.
8. Evaluación económica financiera del proyecto de co-procesamiento de aceites usados será realizada según procedimiento de la Dra. Milagros Matas, aprobado en la empresa para la este tipo de estudio y donde se prevé utilizar las siguientes conceptos y variables Financieras:
 - a. Horizonte de vida útil del proyecto: es el período en el que se van a enmarcar los flujos netos de caja.
 - b. Horizonte de evaluación: el cual depende de las características de cada proyecto; si el mismo tiene una vida útil posible de prever, si no es de larga duración; lo más conveniente resulta construir flujos de caja para ese número de años. En el caso que la empresa que se crearía con el proyecto tiene objetivos de permanencia en el tiempo; se aplica la convención generalmente usada; los flujos a diez años de proyección.

- c. Tasa de descuento: Actualiza los flujos de caja, dándole así valor al dinero en el tiempo. Corresponde con la rentabilidad que el inversionista le exige a la inversión por renunciar a un uso alternativo de recursos en proyectos con niveles de riesgos similares, en este caso se denominaría costo marginal del capital.
- d. Ingresos y egresos terminales del proyecto: ocurren en el último año de vida útil del proyecto. Incluye recuperación del valor del Capital de Trabajo Neto, el valor de desecho o de salvamento del proyecto.
- e. El Valor Actual Neto (VAN): Es el valor actualizado de la corriente de los flujos de caja que la misma promete generar a lo largo de su vida, véase el segmento esquema temporal. Una vez actualizados los flujos de caja se deduce el valor del desembolso inicial (A) de ahí el nombre de Valor Actual Neto. La expresión general del cálculo del VAN es la siguiente:

$$VAN = -A + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)} = -A + \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+k)^i} \quad (1)$$

Dónde:

A : Inversión inicial en el momento cero de la evaluación.

i : Período.

F_i : flujo de caja neto en el período i

k: Tasa interna de descuento o costo de oportunidad del capital.

n: Vida útil del proyecto.

Criterio: Una inversión es factible cuando el VAN > 0, es decir, cuando la suma de todos los flujos de caja valorados en el año 0 supera la cuantía del desembolso inicial (si éste último se extendiera a lo largo de varios períodos

habrá que calcular también su valor actual). Un VAN positivo implica que el proyecto de inversión produce un rendimiento superior al mínimo requerido y ese exceso irá a parar a los inversores, quiénes verán el crecimiento del capital exactamente en dicha cantidad.

Un VAN=0, el proyecto genera los flujos de caja solo para pagar: intereses de la financiación ajena empleada, los rendimientos esperados (dividendos y ganancias de capital) de la financiación propia, y devolver el desembolso inicial de la inversión.

- f. La Tasa interna de rendimiento (TIR). es la tasa de descuento para la que un proyecto de inversión tendría un VAN igual a cero. La TIR es, pues, una medida de la rentabilidad relativa de una inversión.

Se calcula por aproximaciones sucesivas, utilizando el método de interpolación, el que exige calcular el VAN para diferentes tasas de actualización,

La fórmula general para su cálculo será:

$$TIR = \frac{-A + \sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n iF_i} \quad (2)$$

Criterio

TIR $r > k$ (se acepta el proyecto).

TIR = k , será indiferente

TIR $< k$ nunca se aceptarían proyectos

- g. Determinación de la tasa de descuento. Requiere de análisis tanto en su aspecto cuantitativo como cualitativo. En su aspecto cuantitativo la importancia de una determinada magnitud en el valor de la tasa de

descuento k , se deriva de la influencia que esta tiene sobre el valor actual neto, pues el VAN es mayor en la medida que k es menor y viceversa.

- h. Plazo de Recuperación de una Inversión Pay Back: Nos proporciona el plazo en el que recuperamos la inversión inicial a través de los flujos de caja netos, ingresos menos gastos, obtenidos con el proyecto. No es más que dividir la inversión inicial más los gastos que origine entre los distintos flujos de caja positivos que origina el proyecto.

$$P \& B = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (3)$$

Dónde: Ri: Suma de la inversión inicial así como de todos los

flujos negativos.

Fi; Suma de todos los flujos positivos originados por

el proyecto de inversión.

- i. Tasa Total de Rentabilidad de una Inversión: Nos proporciona la rentabilidad global de la inversión, recuperado por cada unidad monetaria invertida. División de la suma de los flujos netos de caja producidos a lo largo de toda la vida de la inversión entre el coste de la inversión.

$$TIR' = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{A}$$

DDónde: (4)

TIR' =Tasa de rendimiento.

Fi = Flujo neto de caja del periodo i.

A = Suma de las inversiones realizadas.

- j. Razón Beneficio / Costo (B/C). Representa cuanto se gana por encima de la inversión efectuada. Igual que el VAN y la TIR, el análisis de beneficio-costos se reduce a una sola cifra, fácil de comunicar en la cual se basa la decisión. Solo se diferencia del VAN en el resultado, que es expresado en forma relativa.

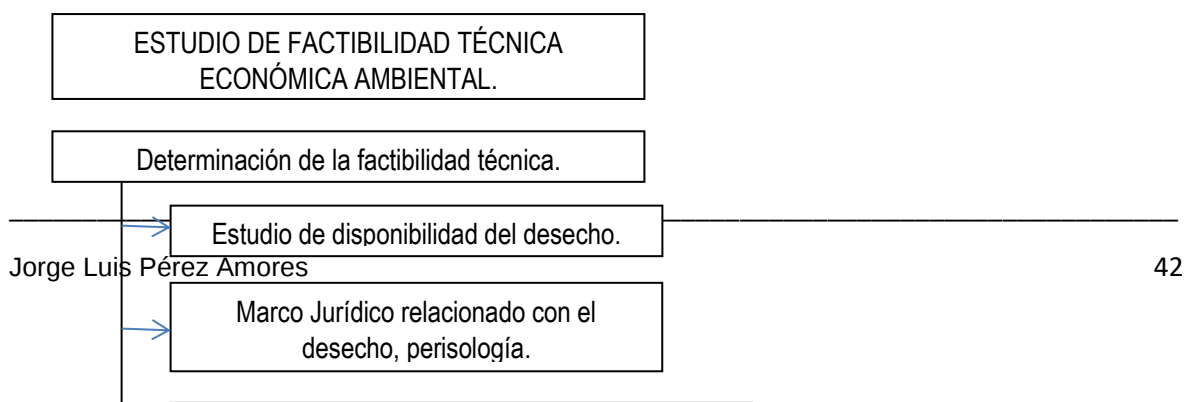
$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+k)^i}}{A} \quad (5)$$

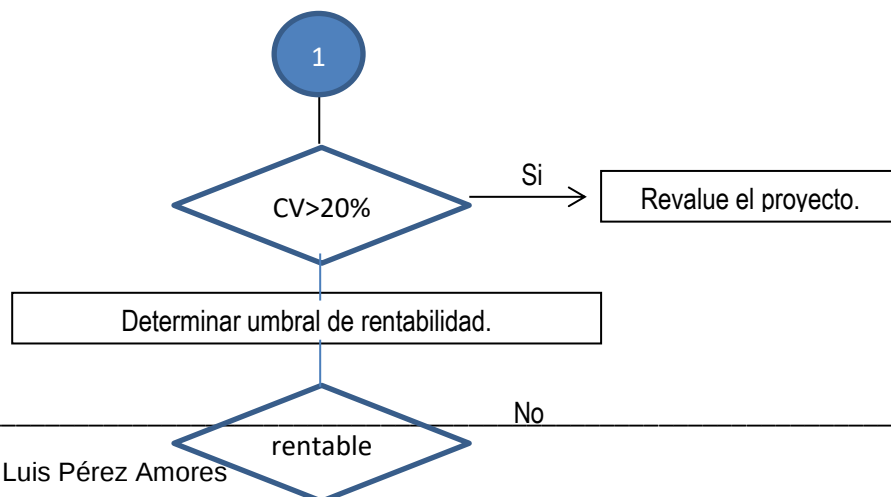
Dónde:

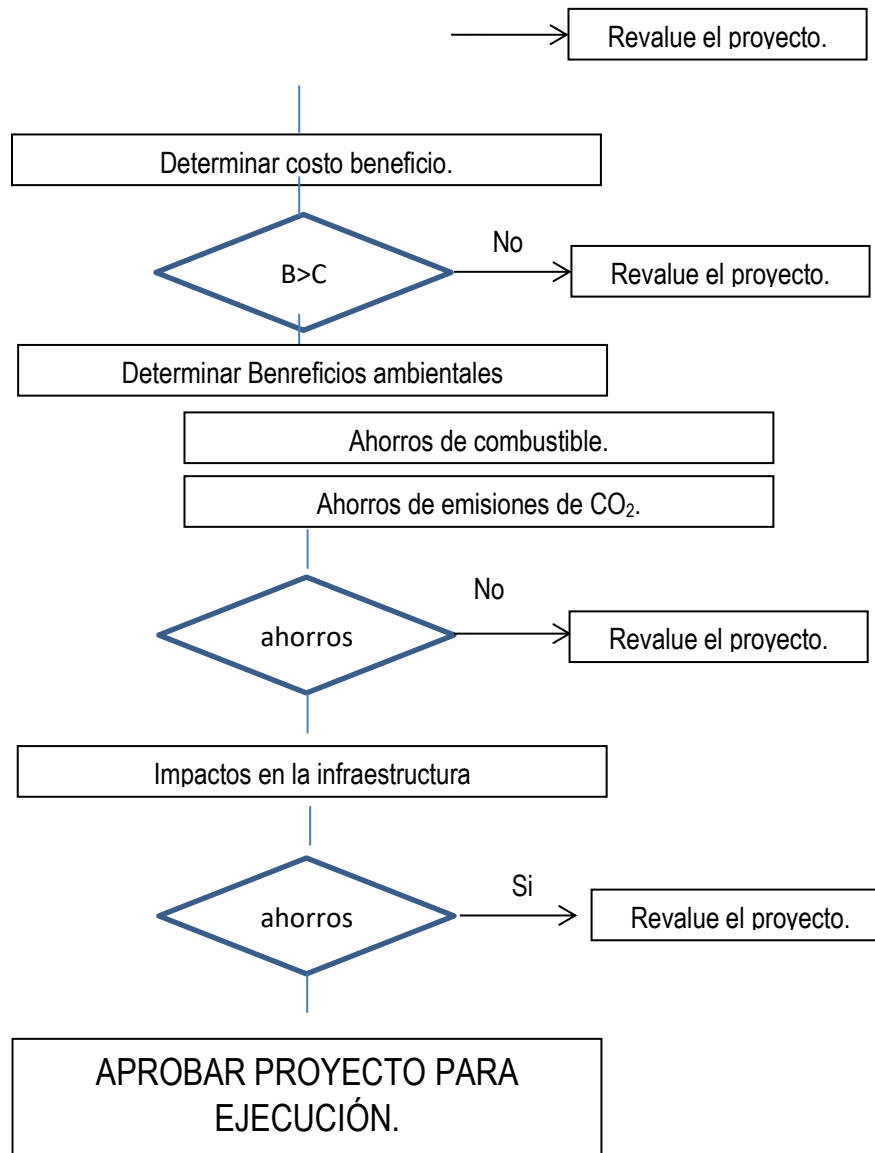
B/C= razón costo beneficio

i= período.

- k. Análisis de sensibilidad El Análisis de Sensibilidad empieza con una situación de un caso básico, lo cual se desarrolla usando los valores esperados por cada insumo. Se puede utilizar en cualquier modelo económico de decisión con el objetivo de determinar la sensibilidad de los resultados obtenidos al variar algunos de los parámetros estimados donde los parámetros a los que el resultado obtenido es más sensible, deben estimarse con mayor precaución y aquellos que puedan variar dentro de un amplio intervalo sin que por ellos varíe de forma significativa el resultado obtenido, puede estimarse con un menor cuidado. Mediante un análisis se trata de ver la sensibilidad del resultado obtenido ante la inversión (desembolso inicial, flujo neto de caja, tasa de actualización) y obtener una idea aproximada del grado de confianza de los resultados obtenidos.







Conclusiones parciales.

Se propone la metodología que permite la valorización de cualquier combustible alternativo para el uso en la fabricación de Clinker en la fábrica de cemento

CAPÍTULO III

Capítulo III. Análisis de resultados del estudio de factibilidad.

En este capítulo se muestran los resultados del estudio de factibilidad del proyecto tecnológico para la valorización energética de los aceites usados a partir de la metodología propuesta.

3.1 Factibilidad técnica del proyecto.

3.1.1 Disponibilidad de aceites usados en el territorio y en Cuba, así como las vías y distancias desde los puntos de generación y recolección. Disponibilidad y estado del transporte.

Se han realizado contactos en el Ministerio de Ciencias Tecnología y Medio Ambiente con entidad reguladora y Organismos Generadores de aceites usados para determinar los posibles inventarios anuales de este desecho en el país notificándose que la cantidad media generada determinada a partir de los volúmenes de comercialización total de aceites es superior al millón de litros anuales.

Tabla 3.1 Cantidad de aceites usados recolectados por año en Cuba.

año	UM	Aceites recolectados		%
		m ³	t	
2007	m ³	178.52	164.24	4.9
2008		193.75	178.25	5.26
2009		241.42	222.11	6.75
2010		385.79	354.93	9.51
2011		416.83	383.48	10.2
2012		458.58	421.89	10.8
2013		587.15	528.44	11.5

2014		686.90	618.21	14.2
2015		786.66	707.99	18
2016		886.41	797.77	22
2017		986.16	887.54	24

Fuente: Información CITMA

Según se observa en la tabla anterior los volúmenes de aceites usados recolectados es inferior al 25% del total disponible mostrando un ligero incremento a partir del 2015. En la provincia de Cienfuegos los valores medios anuales están en el orden de las 300 t (CITMA, 2020).

3.1.2. Marco jurídico en torno a los aceites usados.

En general, existe un amplio marco institucional y legislativo que cubre varios aspectos del ciclo de vida de los desechos peligrosos, y dentro de éste, un grupo de regulaciones y normativas técnicas para el manejo de los aceites usados. A continuación se muestra de forma resumida lo que plantea cada instrumento legislativo del ámbito internacional y nacional.

Tabla 3.2 instrumento legislativo del ámbito internacional y nacional aplicable a los aceites usados.

Ámbito Internacional.	Resumen.
Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y su eliminación.	Limita el comercio de desechos peligrosos. Contiene listas que permiten a los países clasificar los residuos en base a características de peligrosidad, incluyendo además listas específicas de los residuos que caen en su ámbito de aplicación. El Convenio también prevé y permite que cada país Parte elabore su propia lista de residuos peligrosos la notifique a la Secretaría y esta comunique a las Partes.
Ámbito Nacional.	Resumen.

La Ley No. 81/1997. "Del Medio Ambiente.	Establece que será obligatorio someter a la consideración del CITMA, los nuevos proyectos de obras o actividades relacionadas con las instalaciones destinadas al manejo, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de desechos peligrosos, dentro de los que se incluye los aceites usados (categoría Y8).
Decreto -Ley. No. 200/2000. CITMA.	De las contravenciones en materia de medio ambiente. Se consideran contravenciones respecto a los desechos peligrosos: recoger, transportar, disponer, almacenar, o eliminar los desechos peligrosos fuera de la unidad generadora, sin el permiso correspondiente, no rendir la información requerida por el Ministerio relativa al inventario sobre estos desechos, incumplir con los términos de los Planes de Manejo de desechos peligrosos, no informar en el plazo de 24 horas al Ministerio de la ocurrencia de un accidente durante las actividades de generación, transportación, almacenaje o eliminación de estos desechos.
Resolución No.23/2009. CITMA.	Programa Nacional de Lucha contra la Contaminación del Medio Ambiente para el período 2009-2015. Proporciona un marco integrado de política y gestión para enfrentar la problemática de la contaminación ambiental y dar cumplimiento a las metas y acciones contempladas en la Estrategia Ambiental Nacional, orientadas a preservar y proteger los componentes del medio ambiente, la salud y la calidad de vida de la población cubana. Contempla dentro de uno de los objetivos generales prevenir, reducir y controlar la

	contaminación originada por los productos químicos y desechos peligrosos.
Resolución No. 132/2009. CITMA.	Reglamento del proceso de evaluación de impacto ambiental. Establece que es obligatorio someter al Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, los nuevos proyectos de obras o actividades relacionadas con instalaciones destinadas al manejo, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de desechos peligrosos.
Resolución No.136/2009. CITMA.	Reglamento para el manejo integral de desechos peligrosos. Establece las disposiciones que contribuyen a asegurar el manejo integral de los desechos peligrosos en el país, mediante la prevención de su generación en las fuentes de origen y el manejo seguro de los mismos a lo largo de su ciclo de vida, con el fin de minimizar los riesgos a la salud humana y al medio ambiente. También se establecen las normas relativas a los movimientos transfronterizos de estos desechos.
Específicos para aceites usados.	Resumen.
Indicaciones para la implementación de la Resolución CITMA 136/2009. “Reglamento para el manejo integral de desechos peligrosos. CICA. CITMA. (Febrero 2010).	Establece algunas indicaciones particulares para el manejo de los aceites usados, debido a la situación específica de ese desecho peligroso.

Indicaciones sobre alternativas para el uso como combustible de los aceites usados. CICA. CITMA. (14 de abril de 2010).	Establece que ante la situación actual de Cuba mantener siempre como primera variante en todos los casos que resulte posible el uso de las fábricas de cemento para el co procesamiento de los aceites usados. Potenciar (con independencia del destino final de los aceites usados), que las comercializadoras de CUPET se encarguen del manejo de los aceites usados.
Indicaciones para viabilizar el proceso de recogida y aprovechamiento como combustible de los aceites usados. CICA. CITMA. (20 de julio de 2011).	Establece para las Empresas Comercializadoras de Combustibles contratar el servicio de recogida a Generadores independientemente tengan licencia ambiental o no le indica a las Delegaciones del CITMA inspeccionar a aquellas entidades que reciben el servicio de las Comercializadoras sin Lic. Ambiental, analizar el caso y aplicar las sanciones que correspondan de acuerdo al Decreto Ley 200. De las contravenciones en materia de medio ambiente.

El Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA) en la Resolución 73/2006 definió que las Comercializadoras de Combustibles del país son las encargadas de: recogida, transportación, almacenamiento temporal del aceite usado y su entrega a destino final aprobado por el CITMA. Para ello la Unión CUPET, con el asesoramiento del Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), establecieron el Reglamento del Sistema de Gestión de Aceites Usados, manual que decreta los mecanismos para la recogida, almacenamiento y posterior entrega al destino final aprobado por el CITMA.

Dicho reglamento se enmarca en las actividades indispensables antes señaladas, pero se precisa de un instrumento que sirva de guía y asesore la implementación

exitosa del sistema, que permita la adecuación de las tareas a las condiciones de cada territorio, considerando su situación ambiental. Además, determine la variante

3.3 Descripción del proyecto.

3.3.1 Generalidades.

La utilización como combustible de los aceites de desechos sin tratar, es una opción que se utiliza desde hace años en diversos países, en sustitución de los aceites vírgenes que se emplean como sucedáneos del combustible. Esta opción es reconocida en las Directrices Técnicas sobre Desechos Peligrosos del Convenio de Basilea: “ Aceites de Desechos que tienen sus Orígenes en el Petróleo y sus Fuentes (Y8) ” (Secretaría del Convenio de Basilea, 1997). Esta alternativa es especialmente favorable cuando la incineración se efectúa en los hornos de clinker de las fábricas de cemento, u otros similares donde se alcancen temperaturas superiores a 800°C, pues las altas temperaturas contribuyen a minimizar los riesgos de contaminación.

Los aceites usados, constituyen uno de los desechos peligrosos de más alto nivel de generación en el país y sus volúmenes se han ido acumulando, debido a que no existen instalaciones especialmente diseñadas para su manejo y eliminación. La valorización energética, es una opción importante. El aceite constituye uno de los desechos de mayor potencial como combustible, debido a su alto valor calórico. Aunque la mayoría de las calderas de baja potencia de generación pueden quemar aceites usados, esta es una práctica no recomendable debido a los riesgos de contaminación del aire (especialmente por el contenido de metales pesados), por tratarse de quemas sin el debido control de las especificaciones, bajo condiciones no controladas y sin tratamiento de emisiones. En este sentido la alternativa más favorable es la incineración en los hornos de clinker de las fábricas de cemento (Co procesamiento), donde se alcancen temperaturas por encima de

los 1200°C, en condiciones de máxima seguridad y control cemento, aprovechando las altas temperaturas.

3.3.2 Objetivo.

El sistema está diseñado para recibir, almacenar y dosificar aceites usados al quemador principal del horno para ser utilizado como combustible alternativo.

3.3.3 Condiciones de operación.

Temperaturas en el horno superior a los 800 °C, con control de la combustión. El sistema de almacenamiento de aceites usados cuenta con sistemas de contención de derrames, aterramiento, y equipos portátiles de extinción de incendio. Le fue Otorgada la Licencia Ambiental de la Delegación Territorial del CITMA, tal y como lo establece la Resolución 87/99 del CITMA. Las Empresas Comercializadoras de Combustible, son las encargadas de la recogida de los aceites usados en las principales unidades generadoras, su pre tratamiento y transportación a Cementos Cienfuegos S.A.

3.3.4 Descripción de la instalación.

El esquema de la instalación se muestra en la figura 3.1. El sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- a. Tanques de acero al carbono para recepción de aceite (V01-TQ1 Y V01-TQ2) interconectados, con un volumen de almacenamiento total de 2000l de aceites usados.
- b. Bomba de trasiego desde el camión cisterna a los tanques V01-BC1.
- c. Sistema de filtros a la entrada de los tanques V01- FC1 y V01-FC2.
- d. Sistema de filtros a la entrada de las bombas de inyección al quemador 483-FC1 y 483-FC2.
- e. Bombas de inyección de aceites usados al quemador 483-BC1 y 483-BC2.
- f. Manómetros

- g. Termopares para la medición de la temperatura del aceite usado en los tanques.

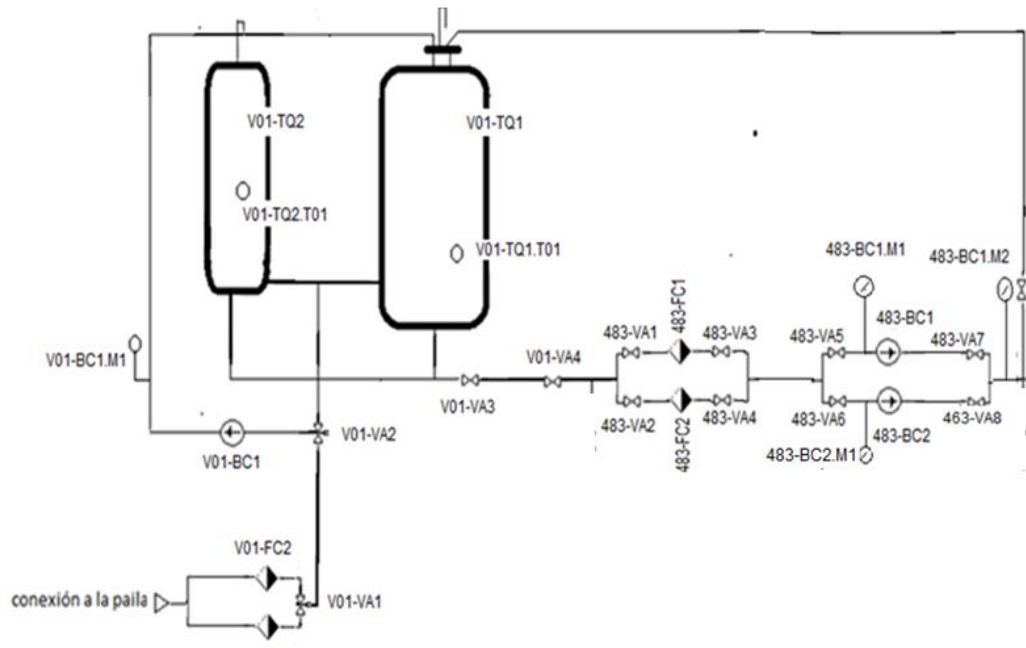


Fig. 3.1 Esquema de la instalación para la recepción, almacenamiento e inyección de aceite en el quemador principal del horno de Línea III.

Fuente: Proyecto Aceites usados. Gerencia Optimización.

3.4 Permisología para el diseño, construcción y explotación de la instalación para el empleo de aceites usados para el co-procesamiento.

El proyecto cuenta con la permisología establecida a través de la ventanilla única, otorgada por los organismos rectores: Planificación Física, MININT, CITMA, APCI. otorgada a partir de la información entregada donde se destaca:

✓ Localización del sistema.

El sistema de recepción y almacenamiento de aceites usados está ubicado en el área entre la Base III del horno de la Línea II (actualmente fuera de servicio) y el edificio del enfriador de la propia línea, separada a 15 m de las instalaciones de Línea I y Línea III (actualmente en servicio).

Las obras ubicadas a sus alrededores están construidas de material incombustibles con espesores mínimos de hormigón armado 400 x 400 (límite de resistencia al fuego de 4h según tabla ANEXO A NC-96-02-01), incluyendo los materiales utilizados en la construcción del cubeto de contención de los tanques de almacenamiento de combustible (bloques de hormigón macizados espesor mayor 120mm, límite de resistencia al fuego de 3.7h según tabla ANEXO A NC-96-02-01).

El piso intermedio de la plataforma de enfriador de Línea II (contiguo al área de ubicación de los tanques de aceites usados son de hormigón armado de espesor 250 mm la Base III del horno de Línea II está construida de hormigón armado de 450 mm con una plataforma en su parte superior de 250 mm también de hormigón armado.

Cerca del lugar de ubicación del tanque de aceites usados se encuentra un local delimitado con paredes (150mm) y techo (200mm) de hormigón armado donde se ubica el tanque de diésel de arranque del horno Línea III con capacidad de 45000 l. Los tanques de recepción estarán ubicados en un área cercana al enfriador de Clinker, facilitando el acceso y descarga de las pailas CUPET. El área es abierta pero de calma respecto a los vientos ya que se encuentra apantallada por las edificaciones de los alrededores.

✓ *Volumen anual de aceite a utilizar como alterno o capacidad de co-procesamiento de este desecho.*

La instalación para la quema de aceites usados consta con un área de tanques de consumo diario con capacidad total de 30m³ (dos tanques de 20m³ y 10m³ de acero al carbono de espesor 7 mm para la recepción de este desecho y posterior dosificación al quemador del horno de la Línea III.



Fig. 3.2 Tanques de almacenamiento de aceites usados.

✓ Ficha técnica del aceite usado (anexo II).

✓ *Condiciones de almacenamiento y requisitos de manipulación.*

Los tanques de almacenamiento se encuentran colocados verticalmente sobre bases de hormigón dentro de un cubeto de contención con capacidad superior a $4/3$ del volumen total de almacenamiento, con un lazo cerrado de recirculación para evitar posibles deposiciones y separación del agua. Los tanques poseen un medidor de nivel colocado en el de mayor capacidad. Para el llenado de los tanques, se cuenta con una bomba montada en un lazo de tubería conectada directamente al tanque de mayor capacidad (interconectado con el de menor capacidad que garantiza el llenado y vaciado uniforme de ambos tanques). Este lazo, una vez concluido el llenado será utilizado para garantizar la recirculación del aceite dentro de los tanques. En la parte lateral de ambos tanques se encuentra conectada la tubería para el suministro de aceite al quemador utilizando las bombas actualmente instalada en el sistema de suministro de diésel.

✓ *Medidas y medios para la contención de posibles derrames.*

Los tanques estarán colocados en una contención de hormigón impermeable, con un sistema de drenaje que evite el escape de aguas oleosas fuera de la contención y facilite la extracción y posterior tratamiento de las mismas. (ver planos anexo III).

Se colocará una tubería con válvula para extraer el agua de lluvia que se acumula dentro del tanque previa verificación de ausencia de trazas de aceites.

✓ *Sistemas de seguridad contra incendios.*

El sistema de almacenamiento de aceites usados se encuentra aterrado a una barra de cobre unida a la maya de tierra de la base del horno LII, con resistencia de impulso $< 1 \Omega$ ($< 5 \Omega$ valor permisible para combustibles), con elementos equipotenciados entre sí, los tanques de aceites usados están aterrados en un punto con conductores de $> 52 \text{ mm}^2$, la bomba de trasiego está conectada también a la barra de aterramiento. La resistencia de contacto entre sus uniones es de $< 0.01 \Omega$, la misma se garantiza con terminales bimetálicos a presión y pernos de acero cromado.

En ambos frentes del cubeto deberán estar colocados extintores de PQS, para la extinción de posibles focos de incendio. Ambos tanques cuentan con venteo (cuello de ganzo) para excluir la acumulación de gases dentro de los tanques. La zona de ubicación de los tanques de aceites se encuentra cubierto por dos pararrayos PDC tipo Sint Elme con clase de protección I (Precalentador y Transporte de clinker). Durante la descarga de aceite está prevista la equipotencialidad de la paila con el sistema de recepción, mediante un punto de aterramiento de cobre ubicado en la base de III de Línea II, que garantiza la no formación de diferencias de potencial y formación de chispas.

Los sistemas eléctricos están colocados sobre bandejas alejados de posible contacto con el material combustible, los sistemas de bombeo son de categoría IP 68.

✓ Condiciones en las que serán co-procesados los aceites usados, así como condiciones de control de la combustión.

Los desechos del aceite se separarán previamente en los filtros situados antes de las bombas del sistema de recepción de aceites de las pailas de CUPET. Los aceites serán introducidos al quemador del horno por su parte central por donde se inyecta el diésel, utilizando las mismas bombas que se emplean para el diésel.

La boquilla del quemador se tiene que operar con aire comprimido 6-8 bar para tener una buena formación de gotas finas. El agua se tiene que separar hasta aproximadamente el 20%. Una cierta cantidad de agua ayuda por su evaporación explosiva para lograr gotas de aceite más finas. Para que no se peguen partículas pequeñas a la boquilla, antes de las bombas se tienen que instalarán filtros para eliminar partículas de menos 4 μm . Las bombas de transporte y dosificación tienen una presión de 20-30bar.

Durante la combustión se mantendrá un permanente control de la combustión desde la sala de control manteniendo una temperatura superior a los 1000°C.

- ✓ Control que tendrán sobre las especificaciones de los aceites usados que reciben.

Para el control de los aceites se exigirá a CUPET el certificado de la calidad del aceite donde se incluyan los parámetros establecidos en NC-TS 1065:2015 5.2.1 INDUSTRIA DEL PETROLEO-ACEITES LUBRICANTES USADOS. ESPECIFICACIONES, tabla 1 Requisitos de aceites usados para el uso como combustible.

- ✓ Control de emisiones y monitoreo.

Se incluye en el programa de monitoreo actualmente implementado, el monitoreo de emisiones, además se mantendrá un estricto control sobre los gases de salida para el control de la combustión. El proceso de fabricación del cemento se caracteriza por una amplia demanda de energía y la necesidad de muy altas temperaturas para lograr la formación de los minerales que constituyen y aportan al clínker sus características de material aglomerante. Aunque la alta temperatura en el quemador es la razón principal de la formación de NO_x térmico, este calor también es el que permite destruir por completo las sustancias orgánicas indeseables presentes en el material alimentado, lo cual es una gran ventaja para el ambiente.

Durante el proceso de producción, el co-procesamiento tiene las siguientes características:

- ✓ Las condiciones alcalinas y la mezcla intensiva favorecen la adsorción de compuestos volátiles de la fase gaseosa. Esta limpieza interna del gas da como resultado bajas emisiones de compuestos como SO_2 , HCl , NH_3 y, a excepción del mercurio, eso vale también para la mayor parte de los metales pesados.
- ✓ Las reacciones de clínquerización a 1450°C permiten incorporar cenizas y, en especial, combinar químicamente los metales con el clínker, así como que estas mismas temperaturas garantizan la destrucción total de materia orgánica, fuente fundamental de la generación de sustancias tóxicas y persistentes en otros procesos de incineración.

La sustitución directa del combustible primario por material de desecho con alto poder calorífico permite obtener una recuperación muy eficiente de la energía.

A diferencia de la incineración abierta y sin control, el co-procesamiento en hornos de cemento garantiza:

- ✓ Pasar el material por temperaturas superiores a los 800°C , con temperaturas que pueden llegar hasta los 2000°C en la zona de la llama.
- ✓ Altos tiempos de retención, que permiten mantener los compuestos durante 6 segundos o más a estas temperaturas, que incluso puede llegar a 20 minutos para los materiales sólidos.
- ✓ Elevados valores de turbulencia debido a los altos volúmenes de aire que son necesario introducir al horno para asegurar los niveles de O_2 necesarios para una combustión adecuada.
- ✓ Ambiente alcalino, determinado por la composición química que se requiere de las materias primas para lograr la mineralización necesaria en el clínker.
- ✓ La capacidad del clínker de fijar compuestos en forma de sales estables dentro de su retículo cristalino permite que materiales tales como metales

pesados y otros no sean enviados directamente a la atmósfera de conjunto con sus gases de escape.

Relativamente bajos contenidos de Cl en los gases al interior del horno, porque este elemento en altas proporciones afecta la correcta operación del mismo y provoca inestabilidad en su eficiencia operacional. Ciertas reglas básicas aseguran que el uso de combustibles alternativos no cambie las emisiones de una chimenea de un horno de cemento. Estas reglas exigen la alimentación de los combustibles alternativos en las zonas más adecuadas del horno, introducir los materiales que contienen mucha materia volátil solo en la zona de alta temperatura y evitar materiales que contienen contaminantes que el horno no puede retener.

3.5 Estudio de factibilidad económica.

3.5.1 Costo de la inversión.

A la hora de predeterminedar el costo de la inversión para el proyecto de quema de aceites usados se tuvieron en cuenta los siguientes elementos:

- ✓ Acondicionamiento necesario para los trabajos de desmontajes de tuberías, tanques equipos de instalaciones fuera de servicio y el montaje de la nueva instalación, rehabilitación tanques, bombas, construcción civil, montaje mecánico, alquiler de mano de obra y equipos y finalmente un monto de imprevistos. Los montos para cada concepto son relacionados en la tabla 3.3.
- ✓ La vida útil del proyecto es de 17 años. No fue necesaria la compra de equipos ya que fueron utilizados equipos de instalaciones fuera de servicio previa rehabilitación y reparación.
- ✓ La depreciación representa un monto de 27.0 MCUP anual.

Tabla 3.3 Costos de inversión.

EJECUCIÓN TOTAL	CUP	1,932,452.00	DEPRECIACION		FINANCIAMIENTO
			%	CUP	MCUP
			14.0%	270543.3	1932.5
					0.0
REPARACION Y MANTENIMIENTO	CUP	240,000.00			240.0
Equipos		240000.0			240.0
					240.0
					0.0
EJECUCIÓN DEL MONTAJE	CUP	1,690,752.00			1690.8
Acondicionamiento para montaje		360000.00			360.0
Limpieza		240000.00			240.0
Sistemas auxiliares		120000.00			120.0
Alquiler de mano de obra		378936.00			378.9
Alquiler de equipos (Grúa y Camión)		951816.00			951.8
Grúa		259944.00			259.9
Camión		691872.00			691.9
OTROS		1,700.00			1.7
permisología		12000.00			12.0
proyectos		28800.00			28.8
TOTAL	CUP	1,932,452.00		270,543.28	1932.5

3.5.2 Determinación de los Flujos de Caja.

Para la realización del pronóstico de los flujos de caja del proyecto fueron consideradas los siguientes aspectos:

- ✓ Niveles de producción previstos según históricos de Cementos Cienfuegos S.A. ver anexo IV.
- ✓ El período de proyección de los flujos de caja anual.
- ✓ La empresa dispone íntegramente de la depreciación.
- ✓ El cargo anual por concepto de depreciación asciende a un total de 27.0 MCUP.
- ✓ Se proyectaron las entradas por concepto de disminución de los costos asociados a las pérdidas de la instalación sin inversión.
- ✓ La sustitución del petcoke por aceite es de 0.6% anual.

Los pronósticos de producción fueron establecidos a partir de los valores promedios anuales en los últimos 7 años. Para este análisis se trabajó con una tasa de descuento del 10% establecido por la junta de accionistas de Cementos Cienfuegos S.A. para las inversiones y se realizó una proyección hasta un 15%, para la determinación de los perfiles del VAN.

Las entradas están referidas a los ahorros por concepto de sustitución de petcoke, y disminución del tiempo de trabajo del molino de petcoke. Las salidas proyectadas son por concepto de depreciación, fuerza de trabajo y energéticos ver .Anexo VI y VII.

Los flujos de caja son positivos, demostrando la eficiencia del proyecto de quema de aceites usados. Los resultados de los principales indicadores de presupuestación para la alternativa evaluada se muestra en la tabla 3.5, además de presentarse en la figura 3.5 donde se ilustran los perfiles del VAN, con la respectiva Tasa Interna de Retorno calculada mediante el método iterativo según se muestra en la tabla 3.6. El período de recuperación de la inversión del proyecto es aproximadamente de 3 años y 9 meses, lo que representa un 76% del tiempo que como máximo se tiene para la recuperación del desembolso inicial de la inversión (5 años).

Tabla 3.4 Flujos de cajas y período de recuperación de la inversión.

VALOR ACTUAL NETO					
Año	Flujo Caja	PRI real	FC descontados	PRI desc	Fc descontado 15%
0	-1,932,452.00	-1,932,452.00	-1,932,452.00	-1,932,452.00	-1,932,452.00
1	950,731.97	-981,720.03	864,301.79	-1,068,150.21	826,723.45
2	777,871.61	-203,848.42	642,869.10	-425,281.11	588,182.69
3	715,013.30	511,164.88	537,200.07	111,918.96	470,132.85
4	649,297.79		443,479.13		371,238.12
5	590,335.65	-0.47	366,552.00	0.71	293,501.15
6	536,662.87		302,932.20		232,014.17
7	487,875.88		250,357.47		183,410.61
8	443,523.48		206,906.97		144,988.61
9	403,203.16	3 a; 6 meses	170,997.50	3a; 9 meses	114,615.50
10	366,548.33		141,320.25		90,605.14
		VAN	1,994,464.48	VAN	1,382,960.30
TIR	23.7%		24%		18%
		0%	10%	15%	24%
		3,988,612.04	1,994,464.48	1,382,960.30	0

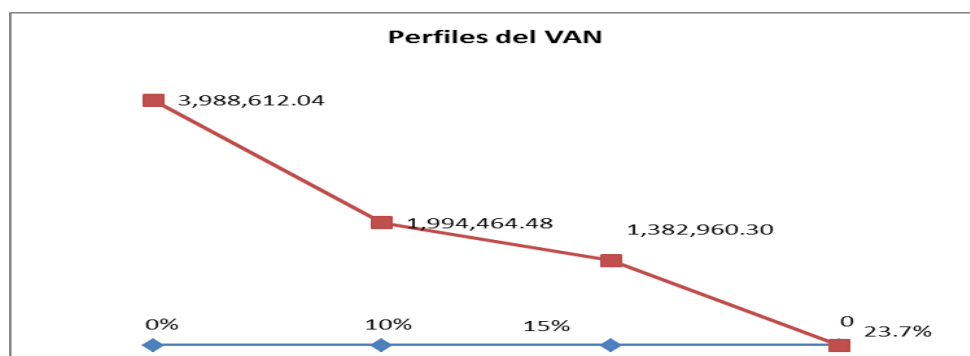


Fig. 3.3 Perfiles del VAN.

3.5.3 Determinación de la TIR.

Tabla 3.5 Calculo de la Rentabilidad Relativa Bruta anual (TIR) método iterativo.

Tasa Dto.	VAN	Tasa Dto.	VAN
10.0%	555,398	13.5%	389,305
0.7%	1,110,403	14.0%	367,120
1.0%	1,089,359	14.5%	345,296
1.5%	1,054,817	15.0%	323,825
2.0%	1,020,928	15.5%	302,699
2.5%	987,673	16.0%	281,910
3.0%	955,038	16.5%	261,451
3.5%	923,008	17.0%	241,316
4.0%	891,566	17.5%	221,497
4.5%	860,699	18.0%	201,988
5.0%	830,394	18.5%	182,782

7.5%	686,820	19.0%	163,873
8.0%	659,609	19.5%	145,254
8.5%	632,872	20.0%	126,920
9.0%	606,599	20.5%	108,865
9.5%	580,777	21.0%	91,082
10.0%	555,398	21.5%	73,567
10.5%	530,451	22.0%	56,314
11.0%	505,925	22.5%	39,318
11.5%	481,813	23.0%	22,573
12.0%	458,103	23.5%	6,075
12.5%	434,788	23.7%	0
13.0%	411,858	24.0%	-10,182

La Rentabilidad Relativa Bruta Anual por unidad monetaria comprometida en el proyecto es del 23.7%. Adicionalmente podemos plantear que la $TIR > k$ (tasa de descuento del proyecto), por lo que la Rentabilidad Neta por unidad monetaria invertida en la inversión es del 13.7%.

3.5.4 Análisis del umbral de rentabilidad.

El umbral de rentabilidad, dependerá de la relación entre los costos fijos y la diferencia entre el precio y los costos unitarios variables, expresando el nivel de producción que es necesario alcanzar para poder cubrir los costos, pues para producciones inferiores al mismo se producirán pérdidas y, para producciones superiores, se comenzará a tener beneficios.

Para la determinación del umbral de rentabilidad fueron considerados los siguientes aspectos:

- ✓ Los precios de venta son constantes.
- ✓ Los precios de los insumos y restantes componentes del costo de producción son constantes.
- ✓ La composición de las ventas es constante.
- ✓ Para la determinación del umbral de rentabilidad se tomaron los valores correspondiente a un año, en este caso el más representativo, aunque es de destacar que los costos fijos tienen un comportamiento estable y los variables presentan una muy pequeña variabilidad.

En la tabla 3.6 se muestra que a partir de las 159.57 t de aceite coprocesados, la inversión comienza a generar beneficios, por lo que este valor representa el umbral de rentabilidad para esta instalación de molienda.

Tabla 3.6 Umbral de rentabilidad.

COSTES FIJOS:		75,000	$UR = \frac{CF}{P - CV}$			
COSTES VARIABLES UNITARIOS:		210				
PRECIO UNITARIO:		680				
UMBRAL DE RENTABILIDAD:		159.57	UNIDADES S			
		108,510.64	INGRESOS S			

UNIDADES	COSTES FIJOS	COSTES VARIABLES	COSTES TOTALES	COSTES MEDIOS	INGRESOS	BENEFICIOS
0.00	75,000.00	0.00	75,000.00		0.00	-75,000.00
15.96	75,000.00	3,351.06	78,351.06	4,910.00	10,851.06	-67,500.00
31.91	75,000.00	6,702.13	81,702.13	2,560.00	21,702.13	-60,000.00
47.87	75,000.00	10,053.19	85,053.19	1,776.67	32,553.19	-52,500.00
63.83	75,000.00	13,404.26	88,404.26	1,385.00	43,404.26	-45,000.00
79.79	75,000.00	16,755.32	91,755.32	1,150.00	54,255.32	-37,500.00
95.74	75,000.00	20,106.38	95,106.38	993.33	65,106.38	-30,000.00
111.70	75,000.00	23,457.45	98,457.45	881.43	75,957.45	-22,500.00
127.66	75,000.00	26,808.51	101,808.51	797.50	86,808.51	-15,000.00
143.62	75,000.00	30,159.57	105,159.57	732.22	97,659.57	-7,500.00
159.57	75,000.00	33,510.64	108,510.64	680.00	108,510.64	0.00
175.53	75,000.00	36,861.70	111,861.70	637.27	119,361.70	7,500.00
191.49	75,000.00	40,212.77	115,212.77	601.67	130,212.77	15,000.00
207.45	75,000.00	43,563.83	118,563.83	571.54	141,063.83	22,500.00
223.40	75,000.00	46,914.89	121,914.89	545.71	151,914.89	30,000.00

En el siguiente gráfico se muestra el comportamiento de las variables costos totales e ingresos.

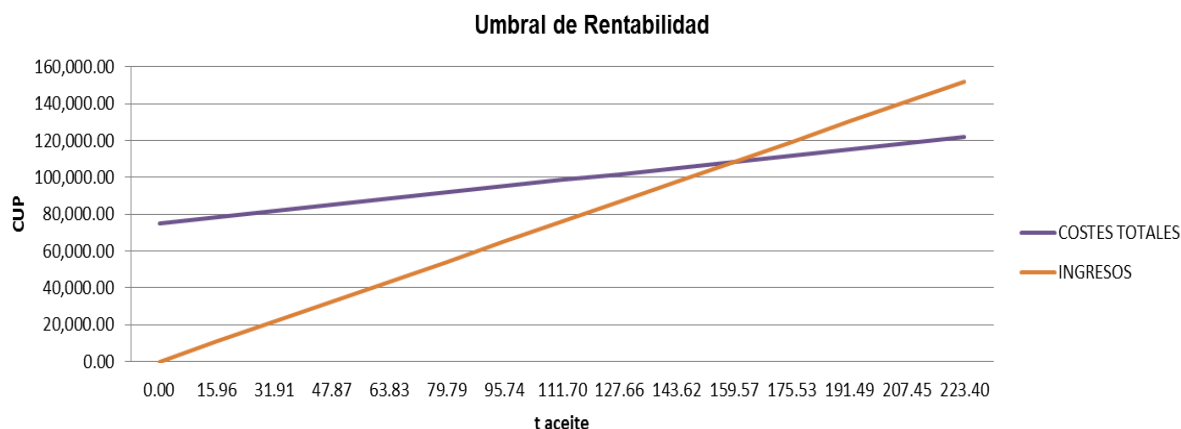


Fig. 3.4 Comportamiento de las variables ingreso y costes totales para la inversión.

En tal sentido podemos plantar que este consumo de aceite representa menos del consumo de 1 día del petcoke para una producción continua, por lo que se considera poco probable el no cumplimiento de este nivel de consumo en el horno si se tiene en cuenta que su disponibilidad es superior al 90%.

3.6 Análisis de Escenarios.

Fue realizado un estudio de escenarios sobre la base de la variación del consumo de aceites usados, ya que estas constituyen ahorro de petcoke, las que guardan una relación directa con los costos.

Los valores consumo considerados en los escenarios fueron determinados por los resultados de las evaluaciones de las cantidades anuales de aceites usados en la provincia de Cienfuegos, estos se encuentran en el intervalo de 130 – 230 t anuales en nuestro caso se tomaron los valores con mayor probabilidad de sustitución: 0.4%, 0.6%, 0.8% del consumo de petcoke diario.

Los resultados se muestran en la tabla 3.8. En las figuras 3.7, 3.8 y 3.9 se observa la fuerte dependencia del VAN, TIR y PRI con los costos con los consumos de aceites usados. Los valores para el estudio de la inversión se realizaron utilizando

el menor valor de consumo de aceite usado siendo conservador en nuestros cálculos, demostrando la viabilidad de la inversión para todos los escenarios considerados.

Tabla 3.7 .Valores del VAN, TIR y PRI descontado, para los escenarios analizados.

Escenarios sustitución de petcoke	VAN	TIR	PRI Descontado
0.4%	685,402.20	2.8	6.21
0.6%	1,994,464.48	23.7	3.80
0.8%	3,303,526.75	42.8	2.10
1	4,612,589.03	60.9	2.20

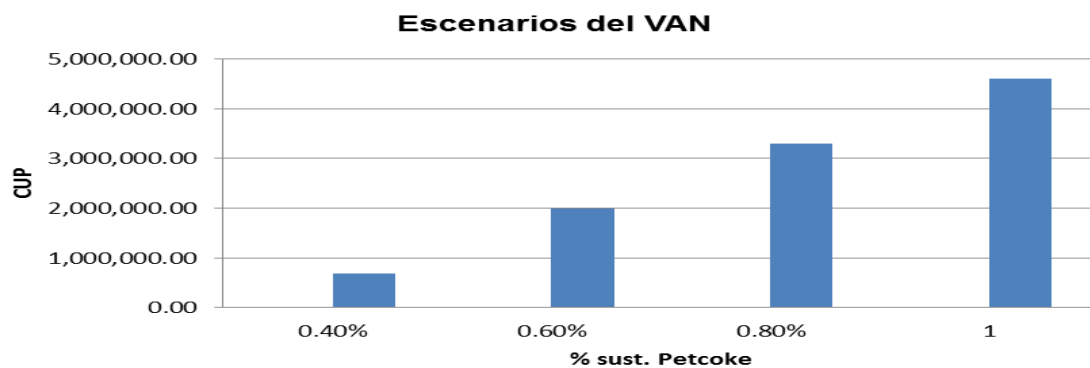


Fig. 3.5 Escenarios del VAN.

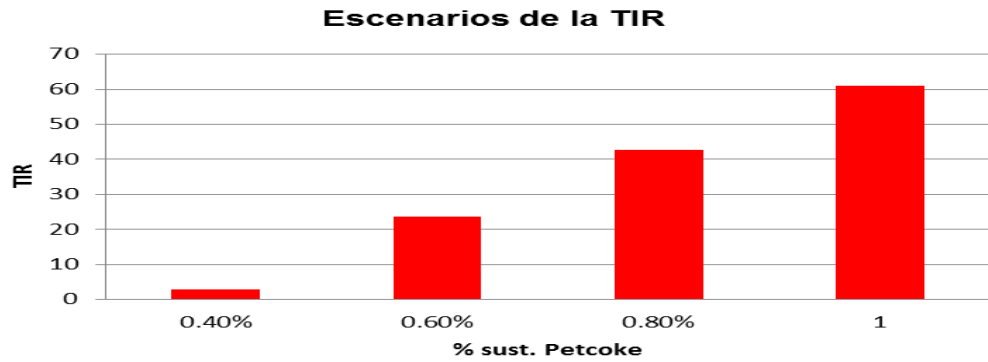


Fig. 3.6 Escenarios de la TIR.

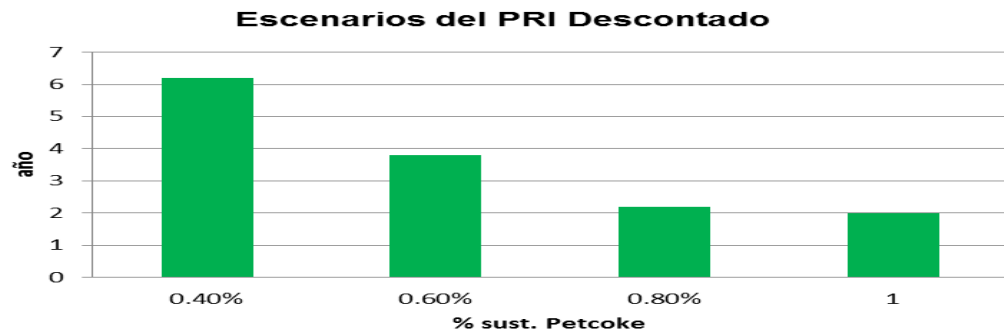


Fig. 3.7 Escenarios del Periodo de Recuperación de la Inversión.

3.7 Análisis Costo - Beneficio.

Tabla 3.8 Análisis costo beneficio de la inversión.

Costos totales	C	1,743,057.00	$(C/B)_1 = (I+C)/B$ (7)
Beneficios	B	4,612,589.03	$(C/B)_2 = (B-C)/I$ (8)
$(C/B)_1$	0.378	<1	Cada CUP de beneficio fue obtenido a un costo de 0.378 CUP.
$(C/B)_2$	3.289 CUP	>1	Por cada CUP invertido se obtiene un beneficio de 9.49 CUP.

3.8 Costos sociales.

La ejecución del proyecto de inversión produce los siguientes impactos:

Ambientales:

- ✓ Reducción de las emisiones de Gases de efecto invernadero, y de combustión a la atmósfera trae aparejado una significativa reducción de la carga contaminante asociada a la combustión en el horno de clinker debido a la sustitución del petcoke con alto contenido de carbono por el aceite usado. Para la determinación de los ahorros de emisión se emplea la metodología descrita en el anexo UUUU. Es de destacar que la combustión de aceite usado trae aparejado la emisión de CO₂ (73.3 kgCO₂/GJ) aunque en menor proporción que cuando se emplea petcoke (97.5 kgCO₂/GJ). Esto debe ser considerado como una fuga que debe ser considerado en los cálculos de reducción total. Para la determinación de la disminución de emisiones de CO₂ asociadas a la quema de aceites usados se emplea la ecuación (9) y los resultados se muestran en la tabla 3.10.

$$R^{CO_2} = 0.001\{C_p * PC_p * fe_p - C_{AU} * PC_{AU} * fe_{AU} - [(C_p - C_{AU}) * PC_p * fe_p]\} \quad (9)$$

Dónde:

R^{CO_2} :Reducción de emisiones de CO₂.
[t]

C_p :Consumo de Petcoke anual.
[t]

C_{AU} : Consumo anual de Aceites Usados.
[t]

PC_P : Poder calórico del Petcoke.

0.03177 [TJ/t]

PC_{AU}: Poder calórico del Aceite Usado.

42.2 [GJ/t]

fe_p: factor de emisión de CO₂ para el Petcoke.
97500 [kgCO₂/TJ]

fe_{AU}: factor de emisión de CO₂ para el Aceite Usado.
73.3 [kgCO₂/GJ]

Tabla 3.9 Resultados de los cálculos de la disminución de emisiones de CO₂ asociadas al consumo de aceites usados.

Producción diario de Clinker.	3100	t
-------------------------------	------	---

	kcal/kg	kJ/kg	kJ/t	TJ/t
Consumo calórico petcoke.	875	3658	3657500	0.00366
Poder calórico del petcoke.	7600	31768	31768000	0.03177

	t
Consumo diario de petcoke.	357

	tCO ₂ /tJ petcoke
--	---------------------------------

Factor de emisión del petcoke.	97500	2006 IPCC for National Green House Gas Inventory.
--------------------------------	-------	---

	kcal/a	kJ/a	TJ/a
Consumo energético			
anual.	813750000000	3.40148E+12	3.4015
	tCO ₂ /a		
Emisión por combustión.	331644		
	GJ/t		
Poder calórico del aceite.	40.2		
	kgCO ₂ /GJ		
Factor de emisión.	73.3		

% sustitución de petcoke por aceite usado.	0.60	%
Consumo de aceite.	600	t
Energía calórica total aportada por aceite.	24104	GJ
Emisión del aceite.	1767	tCO ₂
Consumo anual de petcoke sin aceites.	107072	t
Consumo anual de petcoke con aceite.	106275	t
dif	797	t
Disminución de emisión.	703	tCO ₂

Al mismo tiempo se reducen los inventarios de aceites usados del país considerados como desechos peligrosos (Y8) según la Resolución 136/2009 del CITMA, al disponer de un destino final seguro para su eliminación. Las altas temperaturas del horno ($> 1800^{\circ}\text{C}$) y los altos tiempo de residencia (> 30 min), garantizan la destrucción segura de las dioxinas y furanos que pudieran formarse durante el proceso de combustión.

Implicaciones para la infraestructura.

La inversión del sistema para la quema de aceites usados no produce variaciones significativas en la infraestructura de la instalación no obstante las tecnologías son muy compatibles y solo se modificarán los elementos componentes del sistema, por lo que no se hace necesario la ampliación del espacio actual utilizado.

Conclusiones parciales.

1. Se determinó que existe una factibilidad técnica en el uso de los aceites usados como combustibles alternativos.
2. Para poder utilizar los aceites usados como combustibles en la empresa cementos Cienfuegos S.A. se hizo necesario el diseño de una instalación con capacidad para recepcionar. Almacenar y dosificar a este desecho en el quemador principal del horno de la línea #3.
3. La sustitución del 6% del consumo de petcoke por aceites usados produce un ahorro de 792 t de petcoke y una disminución de las emisiones de CO_2 de 703t CO_2 anuales.
4. El resultados del $\text{VAN} > 0$ la $\text{TIR} > k$ (tasa de descuento), el PRI y el umbral de rentabilidad y el bajo coeficiente de variación para los distintos escenarios muestran que el proyecto es de alta rentabilibilidad.

CONCLUSIONES

Conclusiones

1. La literatura demostró que el consumo de portadores energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero constituye uno de los mayores problemas en la en la producción de cemento siendo necesarios estudios integrales que evalúen el empleo como combustibles alternativos incluyendo los desechos industriales como aceites usados, lodos petrolizados y NFU entre otros.
2. Se propone una metodología para la valoración de estos combustibles alternativos en fábricas de cemento que incluyen aspectos tecnológicos, ambientales y económicos la cual fue validada a partir del uso de de los aceites usados en la empresa Cementos Cienfuegos S.A.
3. La valoración técnica demostró que con pequeños montos de inversiones, es posibles el uso de los aceites usados dentro del esquema de abastecimiento de combustible en la producción de Clinker para cemento, así como el cumplimiento de las normas de seguridad durante todo el proceso de logística.
4. La valoración ambiental demostró aspectos positivos ya que la quema de aceites usados en Cementos Cienfuegos S.A. constituye un destino final confiable y seguro para ese desecho peligroso que al mismo tiempo disminuye el consumo energético del horno y las emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2) y de combustión, por su bajo contenido de carbono. Las elevadas temperaturas del horno garantizan la destrucción total de las dioxinas y furanos que pudieran generarse durante el proceso de combustión.
5. Las variables de rentabilidad de la inversión del proyecto para la quema de aceites usados VAN (1,994,464.48 CUP), TIR (23.7), PRI (3 años y 9 meses) y una razón Beneficio-Costo de 3.289 CUP demuestran su factibilidad económica.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones

Realizar un seguimiento al menos durante 1 año del comportamiento de los parámetros de la instalación para detectar posibles desviaciones del régimen tecnológico y realizar las debidas correcciones o modificaciones. Se debe además dar seguimiento al consumo calórico del horno durante la inyección de aceites usados para determinar los índices de consumo y la eficiencia del sistema.

Realizar el estudio de factibilidad ex post pasado 1 año para comprobar y corregir posibles variaciones negativas de los flujos de cajas que pudieran afectar los indicadores financieros de la inversión del sistema de aceites usados.

Aplicar la metodología para la valoración de otros residuales.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- Albuja Echeverría, R., López Ayala, J., Guilcapi Mosquera, J. & Guamán Reinoso, C. (2019). Valor energético del aceite usado en sistemas de combustión térmicos de la industria cementera del país. *Ciencia Digital*, 3(42), 100-115. <http://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i4.2.1012>
- Álvarez, F. (2013). *Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión en el Ecuador*. ESPOL
- Banco Central Europeo (BCE), (2019). *Estadísticas Macro Económicas*. <http://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*.
- CEMBUREAU, (2020). *The European Cement Association Based in Brussels Is the Representative Organisation of the Cement Industry in Europe*. <https://cembureau.eu/>.
- Cisneros Moreno, M. G. (2013). *Repositorio Digital-UPS*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6369>.
- Costanza, R., d'Arge, R., deGroot, S., Farber, & Grasso, M. (2017). *The Value of the World's Ecosystem Service Sand Natural Capital*.
- Cruz, J. (2009). *Levantamiento del Catastro de Generadores, diseño de un Plan de Recolección y Alternativas del Aceite Usado*. Escuela Politécnica Nacional

- Damtoft, J.S. (2017). *Eficiencia de Combustibles*.
<https://www.law.georgetown.edu/faculty/russell-w-damtoft/>.
- Delgado, E., & Parra, J. (2007). *Combustibles Alternativos a Partir de Aceites Usados Con Tratamiento de Limpieza*. Chile.
- Diosdado, J. (2009). *Recuperación de Energía En Hornos Cementeros, Residuos y Energéticos Alternos*. México.
- Environmental Protection Agency (EPA), (2018). "Standard for Management of Used CFR". <http://www.epa.gov>
- Espinosa, L. (2016). *Estudio de los aceites lubricantes recuperables y aceites usados del territorio Matanzas*. Centro de Convenciones de la Empresa de Intercambio Científico Educativo del Ministerio de Educación Superior.
- Federación Internacional de Cemento. (FICEM), (2014). *Federación Internacional de Cemento*. <http://www.ficem.org/ficem/temas-clave/recuperacion-deresiduos.html>.
- Grupo Empresarial de Cemento, (GECEM), (2019). *Reporte Cementos GECEM*. La Habana.
- GTZ/Holcim. (2017). *Guía Para El Co-Procesamiento de Residuos (En La Producción de Cemento)*, vol.10.
- Holcim. (2019). *Guidelines on Co-Processing Waste Materials in Cement Production*.
http://www.holcim.com/gc/CORP/uploads/GuidelinesCOPROCEM_web.pdf.
CSI (Cement Sustainability Initiative).

- Holcim. (2020). *Reporte Financiero 2020*.
https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/atoms/files/reporte_financiero_2020_-_holcim_ecuador_s.a.pdf.
- Lagarinhos, C. & Tenório, J., (2008). *Tecnologías utilizadas para la reutilización, reciclaje y valorización energética de aceites usados*.
- López, D., Cobo, H., Blanco, S., & Gutiérrez, G. (2012). *Mejora Del Rendimiento En Una Cementera Mediante El Empleo de Combustibles Alternativos*.
- Parlamento Europeo Directiva, (2008). *Política de La Unión Europea En Materia de Residuos*.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), (2012). *Directrices Técnicas Sobre El Co-Procesamiento Ambientalmente Racional de Los Desechos Peligrosos En Hornos de Cemento*.
- Rosales, L. (2008). *Bioremedación de Los Suelos Contaminados Con Aceite Usado de Automóvil*.
- Sauvé, S., Bernard, S. & Bernard, P. (2016). *Environmental Sciences, Sustainable Development and Circular Economy: Alternative Concepts for Trans-Disciplinary Research*. <http://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>.
- Soto, S., Martínez, P. & Ruiz, M. (2011). *Evaluación de Aceites Usados Cubanos Para El Uso Como Combustible*.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO I

INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN SISTEMA DE QUEMA DE ACEITES USADOS.

Operaciones iniciales.

- ✓ Verificar el estado del manómetro de salida de la bomba V01-BC1.M01.
- ✓ Colocar bajo la toma de interconexión de la paila la bandeja colectora de derrames.
- ✓ Registrar la cantidad de aceite usado de la paila (previo pesaje).
- ✓ Antes de conectar la paila al sistema, es obligatorio equipotenciar la paila con el sistema de recepción de aceites mediante la unión del conductor de tierra de la paila con la tierra de la bomba V01-BC1.



Se prohíbe conectar la manguera de la paila al sistema de suministro de aceites si ésta no cuenta con el sistema de aterramiento.

- ✓ Verificar el cierre de las siguientes válvulas.
 - V01-VA1
 - V01-VA2
 - V01-VA3
 - V01-VA4
 - V01-VA5
 - 483-VA1
 - 483-VA2
 - 483-VA3
 - 483-VA1
 - 483-VA2
 - 483-VA3
 - 483-VA4
 - 483-VA5
 - 483-VA6
 - 483-VA7
 - 483-VA8
 - 483-VA9

Recepción de aceites.

- ✓ Colocar la paila manera que se minimice la distancia a la toma del sistema de inyección.
- ✓ Poner la válvula V01-VA1 del filtro en la posición de descarga.
- ✓ Conectar la bomba V01-BC1 pulsando el interruptor.
- ✓ Durante la descarga de aceites se verificará:
 - La indicación del manómetro muestre valor de
 - Existencia de salideros en las conexiones.
 - Funcionamiento de la bomba.
 - Vibraciones en la tubería.
- ✓ Una vez concluida la descarga de aceites se desconecta la bomba V01-BC1, se coloca la V01-VA1 en la posición recirculación.



De observarse algún tipo de anomalía durante la descarga de aceite, desconectar la bomba V01-BC1 y cerrar las válvula V01-VA1.

Una vez corregido el defecto, el jefe de la prueba (Gerente de Optimización), autorizará la apertura de las válvulas V01-VA1 y la conexión nuevamente de la bomba V01-BC2.

De no poder corregir el defecto, el jefe de la prueba (Gerente de Optimización), suspenderá la operación y se procederá a realizar las acciones de desconexión de la paila.

Recirculación de aceite a los tanques V01-TQ1 y V01-TQ2.

- ✓ Colocar la válvula V01-VA1 del filtro en la posición de recirculación.
- ✓ Conectar la bomba V01-BC1 pulsando el interruptor.
- ✓ Verificar que se establece la recirculación mediante la señalización del valor de presión del manómetro en caso de que la presión no alcance el valor indicado, revisar apertura de la V01-VA1.
- ✓ Revisar valores de temperatura de los tanques.
- ✓ Pasados 30 min detener la bomba V01-BC1.

Recirculación de aceite en el sistema de inyección.

- ✓ Cerrar las válvulas
 - 483-VA6
 - 483-VA2
 - 483-VA4
 - 483-VA6
 - 483-VA8
 - 483-VA9
 - 483-VA10
- ✓ Abrir Las válvulas
 - V01-VA3
 - V01-VA4
 - V01-VA5
 - 483-VA1
 - 483-VA3
 - 483-VA5
 - 483-VA7
- ✓ Conectar la bomba 483-BC1.
- ✓ Verificar lecturas de los manómetros 483-BC1.M1, 483-BC2.M1 y 483-BC1.M2 este último debe marcar una presión superior a 22 bar.
- ✓ Verificar la existencia de salideros en todo el trazado de tuberías.
- ✓ Mantener la recirculación durante 30 min, posteriormente desconectar la bomba 483-BC1 y cerrar las válvulas que fueron abiertas para la prueba.
- ✓ Una Vez concluida la recirculación se deberá revisar el filtro 483-FC.



Se deberá prestar especial atención al cierre de las válvulas V01-VA3, V01-VA4 y V01-VA5 PARA EXCLUIR EL RETORNO DE ACEITES AL TANQUE DE DIESEL

Inyección de aceite en el quemador principal de LIII



Antes del inicio de la prueba el personal de la Gerencia de Optimización que participa en la prueba de conjunto con el personal de planta verificará y registrará que los parámetros de operación del horno se mantengan estables.

El Gerente de Optimización coordinará con el Gerente de Planta el momento para comenzar la prueba de inyección de aceites usados. Una vez recibida la confirmación de iniciar la prueba el Gerente de Optimización (Jefe de la prueba) autorizará el comienzo de las operaciones.

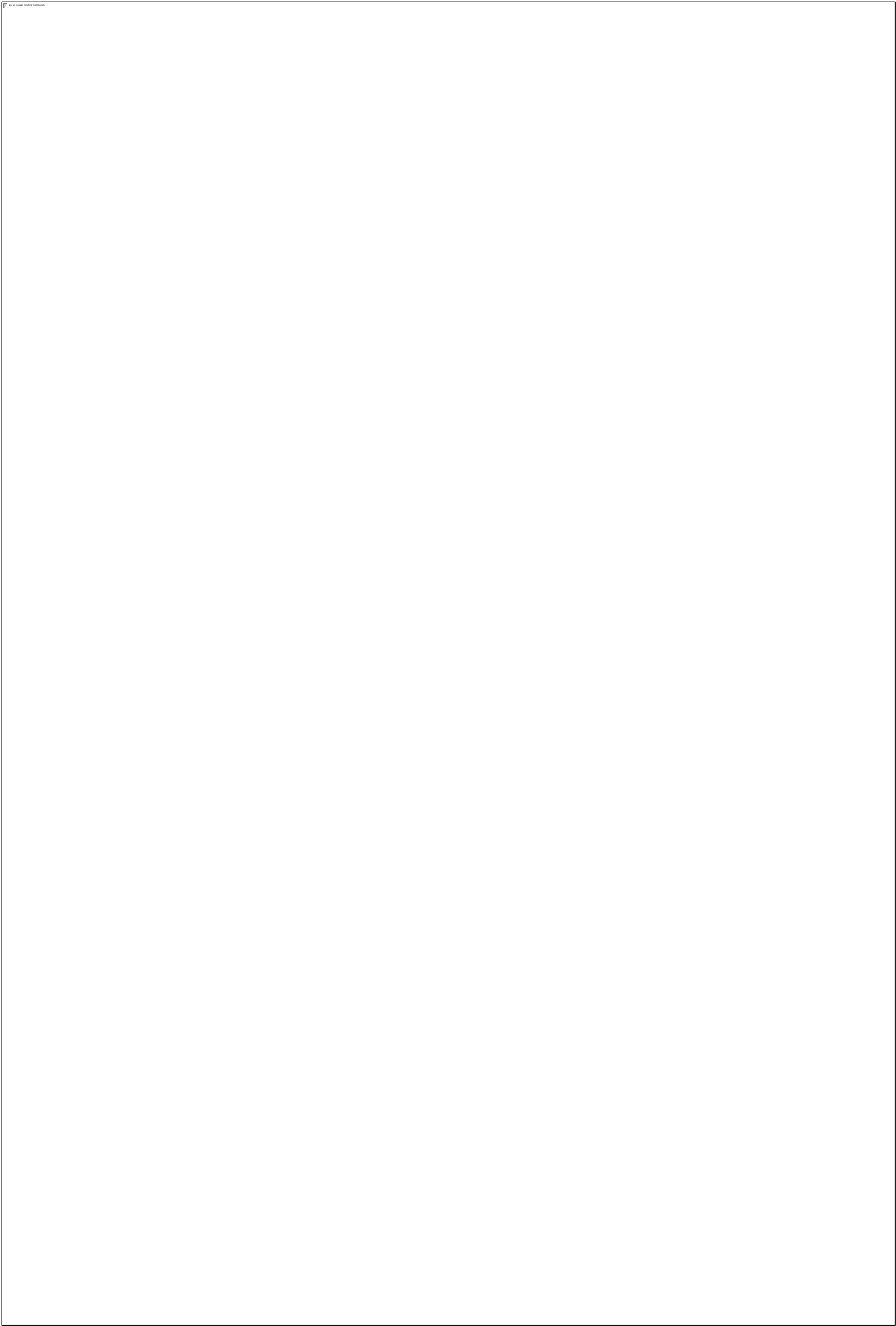
Realizar las mismas operaciones.

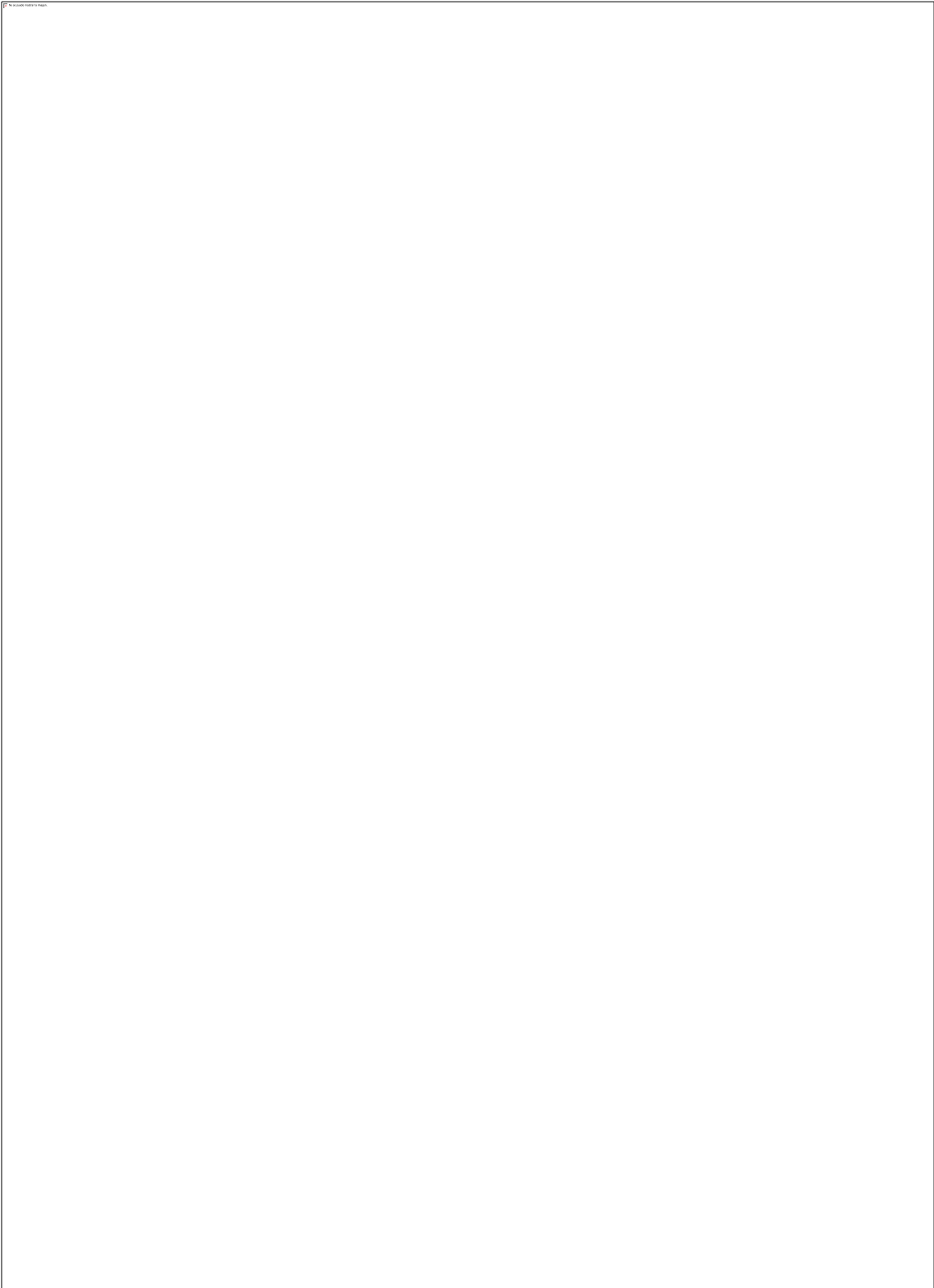
- ✓ Al menos 1 hora antes del inicio de la prueba se deberá comenzar a recircular el aceite realizando las operaciones descritas en el subtítulo **Recirculación de aceites a los tanques V01-TQ1 Y V01-TQ2.**
- ✓ Cerrar las válvulas
 - 483-VA6
 - 483-VA2
 - 483-VA4
 - 483-VA6
 - 483-VA8
 - 483-VA9
 - 483-VA10
- ✓ Abrir Las válvulas.
 - V01-VA3
 - V01-VA4
 - V01-VA5
 - 483-VA1
 - 483-VA3
 - 483-VA5
 - 483-VA7
- ✓ Conectar la bomba 483-BC1.
- ✓ Verificar lecturas de los manómetros 483-BC1.M1, 483-BC2.M1 y 483-BC1.M2 este último debe marcar una presión superior a 22 bar.
- ✓ Verificar la existencia de salideros en todo el trazado de tuberías.
- ✓ Mantener la recirculación en el sistema de inyección durante 10 min, posteriormente se procederá a la apertura de la válvula de regulación 483-VA9
- ✓ Comenzar el cierre paulatino de la válvula de recirculación V01-VA5 para garantizar un flujo de aceite en función de la temperatura del horno.
- ✓ Una vez terminada la prueba, desconectar la bomba 483-BC1 y cerrar en orden inverso, las válvulas que fueron abiertas para la prueba.
- ✓ Revisar el filtro 483-FC1.

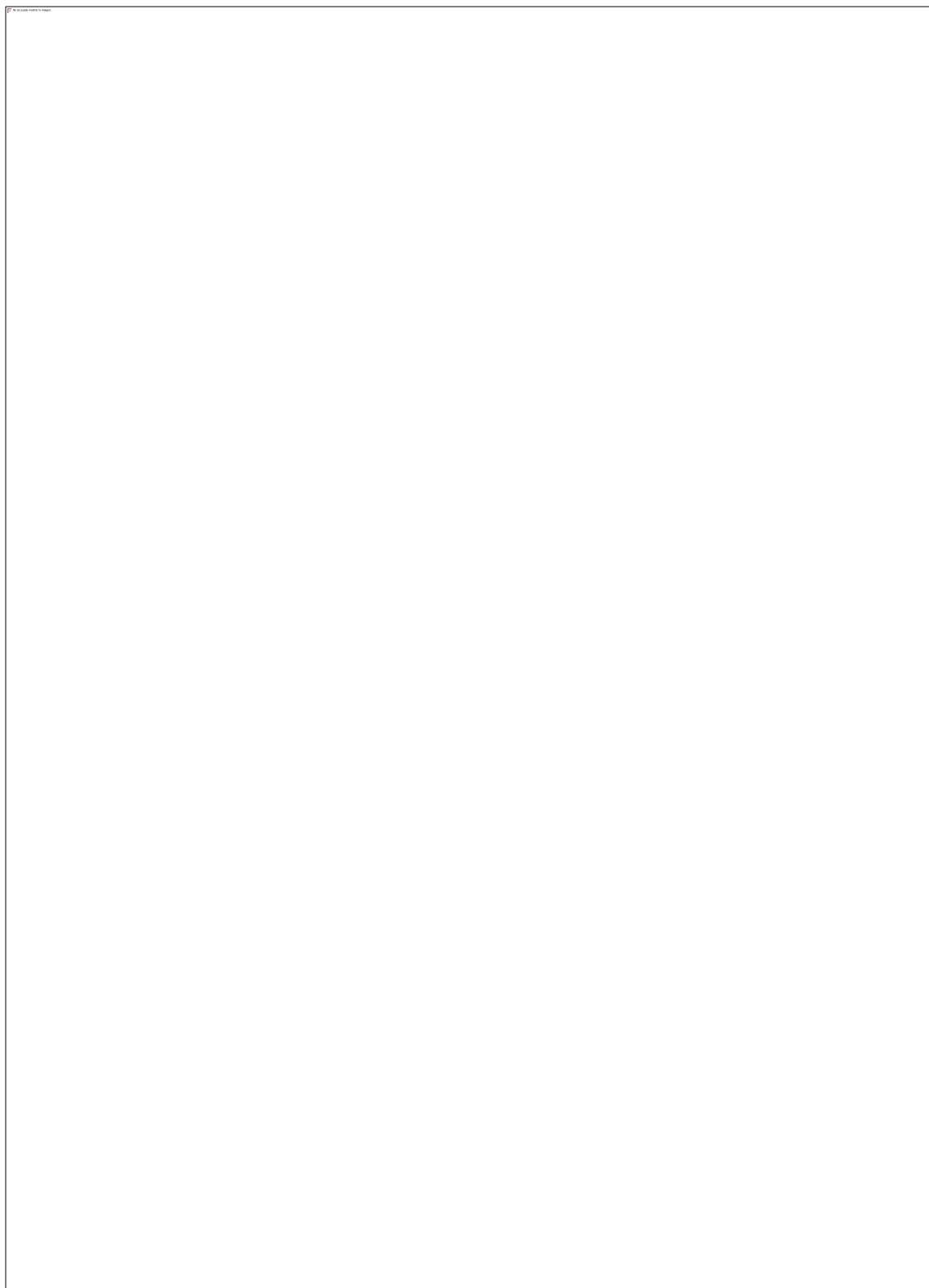
Una vez concluida la prueba será elaborado un informe con sus resultados los que serán incluidos en la documentación posterior que se entregará a la Gerencia de Planta.

ANEXO II

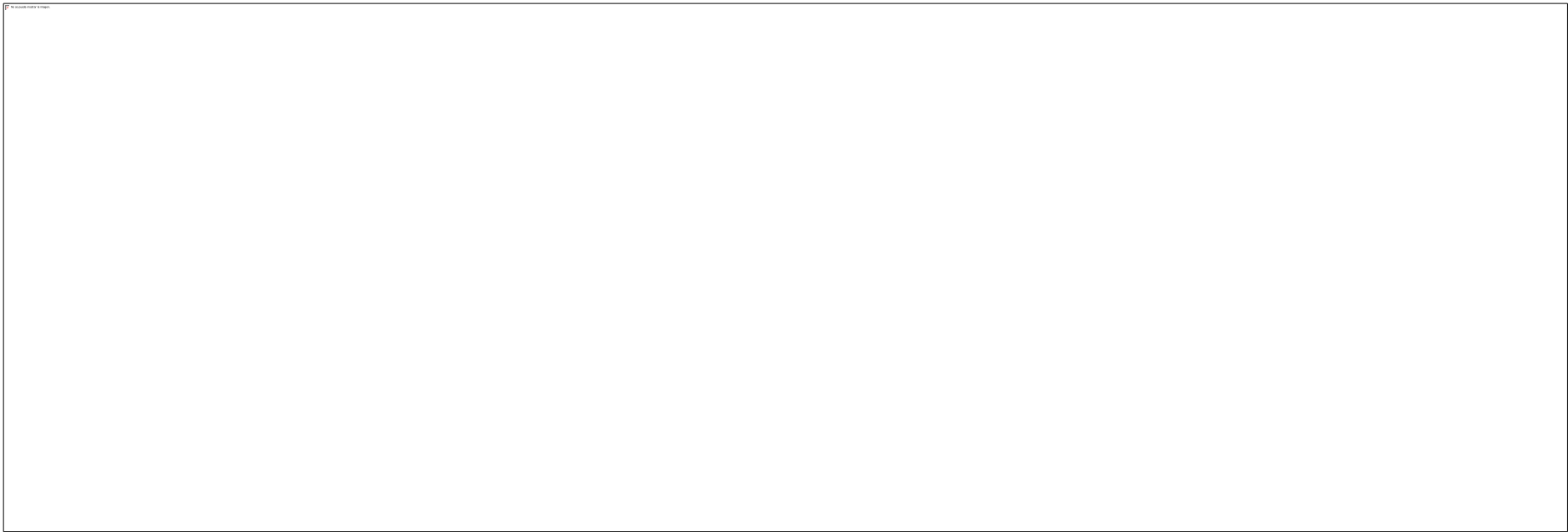
 LM-244	HOJA DE SEGURIDAD DE ACEITE USADO		Fecha de Revisión: 27 de May. de 2014
			V.2
1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA			
NOMBRE DEL RESIDUO		ACEITE USADO	
Datos del Proveedor o Generador		Esta hoja de seguridad se obtiene de la recopilación de información de diferentes entidades relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por la empresa ECOLCIN S.A.S CRA 43 No 11 A - 27. Teléfonos: 3689066 / 2447924 Bogotá D.C. – Colombia.	
Número de teléfono en caso de emergencia		Línea 123 unifica los números de emergencias de la ciudad de Bogotá D.C. El resto del país comunicarse con los organismos de atención de emergencias establecidos.	
2. COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES			
Impurezas y aditivos estabilizadores que estén a su vez clasificados y que contribuyan a la clasificación de la sustancia.			
CONTAMINANTE		CONCENTRACIÓN (ppm)	
Bario		01-03	
Plomo		10-50	
Zinc		60 - 120	
Cromo		03-08	
Níquel		1 - 1.5	
Estaño		3 - 5	
Cadmio		1 - 2	
Arsénico		01-02	
Halógenos Orgánicos Totales (como HCl)		400 - 650	
Halógenos Totales (como HCl)		500 - 800	
PCB's		05-15	
Punto de chispa (°F, valor mínimo)		>170	
3. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS			
Clasificación SGA de la sustancia/mezcla y cualquier información nacional o regional.			
Elementos de la etiqueta SGA, incluidos los consejos de prudencia. (Los símbolos de peligro podrán presentarse en forma de reproducción gráfica en blanco y negro o mediante su descripción por escrito (por ejemplo, llama, calavera y tibias cruzadas).			
PELIGROS FÍSICOS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGROS PARA EL MEDIO AMBIENTE ACUÁTICO	
LÍQUIDOS INFLAMABLES, Categoría 4.	TOXICIDAD AGUDA, Categoría 3.	TOXICIDAD ACUÁTICA CRÓNICA, Categoría 2.	
	<u>Indicación de peligro</u>	<u>Indicación de peligro</u>	
<u>Indicación de peligro</u>	Oral: tóxico en caso de ingestión.	Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.	
Líquido combustible	Cutánea: tóxico en caso de contacto con la piel.	...	
	Inhalación: tóxico si se inhala.	...	
<u>Símbolo</u>	<u>Símbolo</u>  Peligro	<u>Símbolo</u> 	
Sin símbolo			
<u>Palabra de Advertencia</u>	<u>Palabra de Advertencia</u>	<u>Palabra de Advertencia</u>	
Atención	Peligro	Sin palabra de advertencia	
<u>Consejos de prudencia</u>	<u>Consejos de prudencia</u>	<u>Consejos de prudencia</u>	







ANEXO III. Producción del 2020. Cementos Cienfuegos S.A.



Fuente: Registro de indicadores.

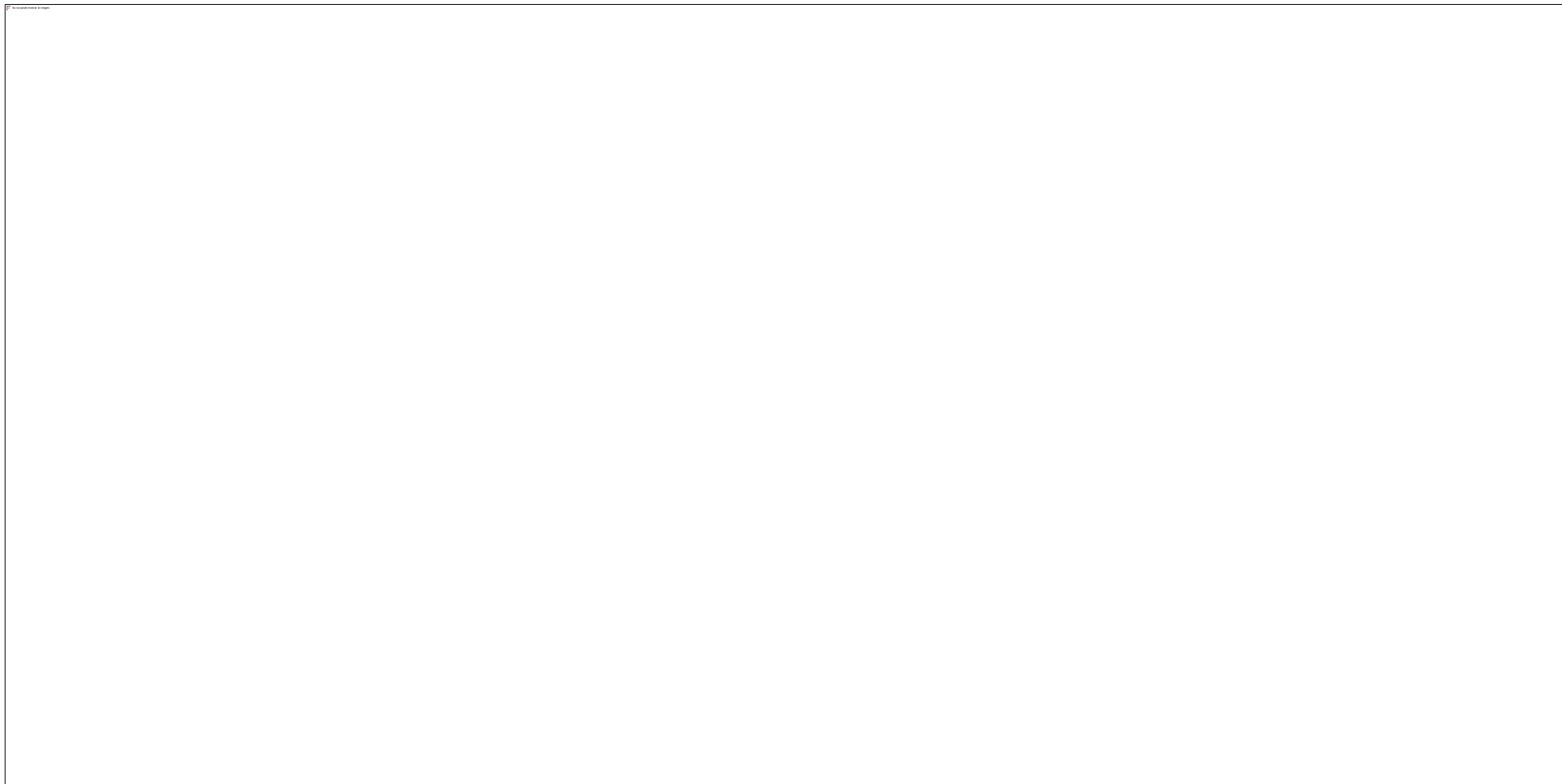
Anexo IV: Estrategia de consumo de aceites en el horno.



ANEXO V. Operación del horno III sin inversión.

Fig. 5. Operación del horno III sin inversión.

ANEXO VI. Operación del horno III con inversión.



ANEXO VII. Estado de resultado.

