

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Construcciones

Departamento de Ingeniería Civil



Tesis de Diploma

Título: Evaluación de la rentabilidad de la producción de Cemento de Bajo

Carbono a partir de la comparación de las metodologías tradicionales, y el

Return on Capital Employed: ROCE.

Autora: Derailis Prieto López

Tutores: Lic. Sofía Sánchez Berriel

Santa Clara, 2016

Pensamiento

*Duda siempre de ti mismo, hasta que los datos no dejen
lugar a dudas.*

Louis Pasteur.

Dedicatoria:

A la persona que en todo momento estuvo ahí sin pedir nada a cambio, a mi razón de ser, a mi guía, mi amiga, mi compañera:

A mi Madre.

Agradecimientos:

A mis padres Idarmis y Wilfredo por darme el privilegio de existir, pues sin ellos no hubiese sido posible cumplir este sueño.

A mi hermana Dairelis, mi padrastro Santiago, mi cuñi Huguito por toda la ayuda que me han dado durante todo este tiempo.

A mi tutora Sofía por toda su ayuda, dedicación y paciencia.

A mi esposo Deivis que aunque no está ahora conmigo sé que este es un día especial para el también.

A mis amigos que no me dejaron caer y que siempre estuvieron ahí para mí cuando los necesité: Daimy, Lianet, Ediel....

A todos los que de una forma u otra hicieron posible mi formación profesional, al profe Yosbani.

En especial a todos aquellos que un día dudaron de mí sin saber que me estaban dando fuerzas para seguir adelante y demostrarles que cuando se quiere se puede sin importar nada ni nadie.

A todos gracias.

RESUMEN

El cemento es un material indispensable en el desarrollo de los países, sin embargo, la industria cementera es responsable de altos niveles de contaminación a nivel global. Para mitigar este efecto negativo se han desarrollado diversas estrategias dentro de las cuales la producción de Cemento de Bajo Carbono (CBC) o LC³ ha demostrado ser la más efectiva. El LC³ es un nuevo tipo de cemento con 50% de sustitución de clínquer que utiliza una combinación de arcilla caolinítica y caliza. El presente trabajo de diploma se realiza con el objetivo de demostrar la rentabilidad de la producción del Cemento de Bajo Carbono en la fábrica de cemento de Siguaney en Sancti Spíritus y escoger la mejor variante de inversión a utilizar en la producción de este nuevo tipo de cemento. Para ello se realizó la evaluación financiera a partir de la comparación de las metodologías tradicionales: *Valor Actual Neto* (VAN), *Tasa Interna de Rendimiento* (TIR) y el *Plazo de Recuperación Descontado* (PERd) y la nueva metodología *Return on Capital Employed* (ROCE) adaptada al contexto cubano. Los resultados obtenidos demostraron por ambas metodologías que la mejor alternativa es producir el Cemento de Bajo Carbono.

ABSTRACT

Cement is an important material in countries development, although, cement industry is responsible of high levels of pollution at global scale. To mitigate this negative effect several strategies have been developed. From all of them, Low carbon cement (LC³) production as proven to be the most effective one. LC³ is a new type of cement with 50% of clinker by using a combination of calcined clay and limestone. The goal of the present bachelor thesis is to demonstrate the profitability of LC³ production in Siguaney factory located in Sancti Spíritus and to select the best investment alternative. Profitability assessment was carried out through the comparison of traditional methodologies: Net present value (NPV), Internal rate of return (IRR) and Discount recovery period (DRP); and the new methodology Return on Capital employed (ROCE) adapted to Cuban context. Results using both technologies show that best alternative is LC³ production.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS- METODOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA RENTABILIDAD DE INVERSIONES, ASÍ COMO LA PRODUCCIÓN DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO.....	7
1.1 Desarrollo de la industria cementera y su papel en el desarrollo.....	9
1.1.1 Producción de cemento a nivel mundial (Historia, situación actual, importancia)	10
1.1.2 Impactos asociados a la producción de cemento.....	12
1.2 El Cemento de Bajo Carbono como alternativa para el desarrollo.....	21
1.2.1 Factibilidad técnica	22
1.2.2 Factibilidad ambiental.....	28
1.2.3 Factibilidad económica	30
1.3 Evaluación de la rentabilidad de inversiones.....	31
1.3.1 Importancia de la evaluación de rentabilidad de inversiones.....	32
1.3.2 Métodos tradicionales para la evaluación de la rentabilidad	33
1.3.3 El método: Return on Capital Employed (ROCE)	39
1.4 Conclusiones parciales del capítulo	42
CAPÍTULO II. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD DE INVERSIONES EN LA INDUSTRIA CEMENTERA CUBANA	43
2.1 Metodología para la comparación entre la metodología roce y metodologías tradicionales.....	44
2.1.1 Diagnóstico de la situación sin proyecto	44
2.1.2 Definición de las alternativas de inversión.....	44
2.1.3 Aplicación de indicadores financieros tradicionales: VAN, TIR y PERd.....	45
2.1.4 Aplicación del método ROCE en el contexto cubano	45
2.1.5 Análisis y comparación de resultados.....	45
2.2 Situación de la Industria del cemento en Cuba.....	45
2.2.1 Producciones de cemento en los últimos años.....	47
2.3 Alternativas de inversión a evaluar	51
2.3.1 Alternativa 1: Situación sin proyecto (Business as Usual -BAU)	53
2.3.2 Alternativa 2: Tecnología tradicional y nuevas plantas de cemento (TT_NCP).....	53
2.3.3 Alternativa 3: Reconversión de viejos hornos de clínquer a calcinadores de arcilla + producción de LC ³ (LC ³ _R).....	54
2.3.4 Alternativa 4: Instalación de calcinadores flash + producción desplegada de LC ³ (LC ³ _F)	55

2.4 Conclusiones parciales del capítulo	57
CAPITULO III: EVALUACIÓN COMPARADA DE LA RENTABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO DE BAJO CARBONO EN LA FÁBRICA DE CEMENTO SIGUANÉY	58
3.1 Estimación de costos operacionales, ingresos y flujos de efectivo para cada una de las alternativas de inversión del proyecto	63
3.1.1 Análisis de los costos unitarios y estimación de los costos totales de operación para cada alternativa de inversión	63
3.1.2 Estimación de los ingresos del proyecto de inversión y los flujos de efectivo operacionales para cada alternativa de inversión	65
3.2 Evaluación financiera a través de métodos tradicionales	68
3.2.1 Aplicación de herramientas de evaluación financiera para la determinación de la factibilidad económico-financiera de las alternativas de inversión del proyecto	68
3.3 Evaluación financiera a través del método ROCE	71
3.4 Comparación de los resultados	74
3.5 Conclusiones parciales del capítulo	76
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS	86

INTRODUCCIÓN

El cemento Portland Ordinario (CPO) se encuentra entre los materiales más empleados y con mayor nivel de producción a escala mundial (más de 3 600 millones de toneladas en el 2012, según CEMBUREAU). 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 clínquer¹, 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 y en Cuba se convierte en la mayor derrochadora 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. La sustitución de una porción de clínquer con Materiales Cementicios Suplementarios está reconocida como la manera más efectiva de reducir las emisiones de CO₂ y disminuir los gastos energéticos asociados a la producción del cemento, al mismo tiempo que puede mejorarse o mantenerse la resistencia mecánica y la durabilidad del hormigón.

Desde 2005 se realizan investigaciones científicas con el objetivo de evaluar la calidad de las arcillas cubanas de bajo grado para la obtención de metakaolín

¹ La molienda del Clinker consume cerca de un tercio de la energía requerida para la producción de una tonelada de cemento.

mediante la activación de arcillas y a partir de estos estudios se han probado formulaciones de cementos con diferentes niveles de sustitución de clínquer. Recientes estudios prueban que el metakaolín usado en diversas proporciones en la producción de cemento le confiere al mismo mejores propiedades mediante un proceso más barato y con menores portadores energéticos. En pruebas de laboratorio realizadas fue demostrado que este nuevo cemento es más resistente y estable que el cemento Portland tradicional.

Al cemento producido con adición de metakaolín se le ha denominado “Cemento de Bajo Carbono” (LC³), este cemento permite triplicar los niveles actuales de sustitución de clínquer que logra la industria de cemento en Cuba (alrededor del 15-18% en el cemento PP-250).

En el año 2013 se realizó la primera prueba industrial de producción del “Cemento de Bajo Carbono” en las instalaciones de la fábrica de cemento Siguaney, ubicada en Sancti Spíritus. Los resultados ratificaron la robustez del producto, que cumple con los requisitos establecidos por la norma cubana para cementos con adiciones. Los estudios realizados hasta el presente, demuestran que este tipo de cemento aventaja en resistencia al Portland ordinario, manifestando, además, una sorprendente firmeza a la penetración de cloruros en ambientes agresivos, como es el caso de la línea costera de Cuba.

La presente investigación se realiza en la Fábrica de Cemento Siguaney en Sancti Spíritus, que ocupa un área de 1 km² aproximadamente. Esta produce a partir de la tecnología por vía húmeda y se dedica fundamentalmente a la producción de cementos especiales, consumiendo el 10% de la electricidad de

la provincia. Con este estudio se pretende estudiar la rentabilidad de la producción de Cemento de Bajo Carbono (LC³) en dicha fábrica.

De esta situación problemática se deriva el siguiente problema científico:

¿Es posible evaluar la rentabilidad de producir Cemento de Bajo Carbono, en la fábrica de cemento Siguaney, a través de la comparación de las metodologías tradicionales y el *Return on Capital Employed*?

Objeto de investigación

Evaluación de la rentabilidad.

Campo de acción

La producción del Cemento de Bajo Carbono.

Para dar respuesta a estas inquietudes científicas el presente trabajo se propone los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar la rentabilidad de la producción de Cemento de Bajo Carbono a partir de la aplicación de metodologías tradicionales, y la nueva metodología ROCE, adaptada al contexto cubano.

Objetivos específicos

- 1- Sistematizar los fundamentos teóricos - metodológicos relacionados con la producción y uso de Cemento de Bajo Carbono, su importancia para el sector de la construcción en Cuba y la rentabilidad de inversiones.

- 2- Diagnosticar el estado actual y potencial de la producción de cemento en Cuba.
- 3- Comparar las metodologías para la evaluación de la rentabilidad de inversiones en la industria cementera cubana.
- 4- Evaluar la rentabilidad de la producción de Cemento de Bajo Carbono en la fábrica de cemento Siguaney ubicado en Sancti Spíritus, a partir de las metodologías tradicionales y el ROCE.

Al concluir este trabajo de diploma se espera demostrar la veracidad de la hipótesis siguiente:

La comparación de la metodología tradicional para evaluar la rentabilidad y la metodología ROCE, contribuye a demostrar la rentabilidad de la producción de Cemento de Bajo Carbono en la fábrica de cemento Siguaney.

La novedad científica del trabajo radica en que por primera vez en Cuba se realiza la comparación de metodologías tradicionales para evaluar la rentabilidad y la metodología internacional ROCE aplicado al Cemento de Bajo Carbono.

La novedad se sustenta en los siguientes aportes:

Aporte Teórico: Se establece una técnica que permite evaluar la rentabilidad de la producción del Cemento de Bajo Carbono de forma más eficiente, permitiendo la comparación con estudios internacionales.

Aporte Técnico: Permite probar la rentabilidad de la producción del Cemento de Bajo Carbono y ofrece a la industria cementera una herramienta útil y de fácil uso para comparar variantes de inversión o estrategias.

Aporte Social: Permitirá acelerar la disponibilidad del Cemento de Bajo Carbono en el mercado al probar una vez más su rentabilidad, acelerando así su producción a gran escala.

Para la realización de esta investigación se emplearon diferentes métodos científicos tanto del nivel teórico como del nivel empírico. Los más relevantes se relacionan a continuación:

Del nivel teórico: Análisis - síntesis, empleado en todo el proceso de investigación para el estudio crítico de la literatura especializada en el temático objeto de estudio. Histórico - lógico, con el fin de analizar la evolución, superación y aportes más relevantes de la teoría vinculada a la producción del Cemento de Bajo Carbono y la evaluación de proyectos de inversión. Inducción - deducción, para el análisis, uso y tratamiento de la información y los datos que se utilizan con mucha frecuencia en la investigación.

Del nivel empírico: Revisión de documentos, permitiendo la obtención de la información precisa y relevante relacionada con el objeto de estudio. Entrevistas, utilizadas en el trabajo con expertos, tanto investigadores y académicos como especialistas y tecnólogos de la producción de cemento. Revisión de resultados de experimentación, consultados por lo novedoso del producto que se espera introducir con el proyecto de inversión estudiado. Técnicas estadísticas para el mejor análisis y entendimiento de los resultados de la investigación, y para facilitar los cálculos realizados.

El trabajo está estructurado en un único texto, contentivo de todos los elementos necesarios: introducción, el cuerpo principal, conclusiones y recomendaciones, así como la bibliografía y los anexos.

El cuerpo principal cuenta con tres capítulos:

- ✓ Capítulo I. Fundamentos teóricos- metodológicos relacionados con la rentabilidad de inversiones, así como la producción del Cemento de Bajo Carbono.
- ✓ Capítulo II. Comparación de metodologías para la evaluación de la rentabilidad de inversiones en la industria cementera cubana.
- ✓ Capítulo III. Evaluación comparada de la rentabilidad de la producción de Cemento de Bajo Carbono en la fábrica de cemento Siguaney a partir de las metodologías tradicionales y el ROCE.

Esta investigación resulta importante y pertinente pues permite el estudio financiero de la producción del Cemento de Bajo Carbono a través de diferentes metodologías con el objetivo de producir a gran escala. Se contó con el apoyo de un grupo de profesores e investigadores del Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) de la Facultad de Construcciones y la Facultad de Ciencias Económicas pertenecientes a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Al concluir la presente investigación se esperan los siguientes resultados:

- Descripción detallada de la situación de la producción de cemento en Cuba.
- Metodología para la evaluación de la rentabilidad de inversiones en el sector cementero adaptada al contexto cubano.
- Obtener la variante tecnológica más práctica en la fábrica de cemento Siguaney y que garantice la mayor rentabilidad posible.

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS- METODOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA RENTABILIDAD DE INVERSIONES, ASÍ COMO LA PRODUCCIÓN DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO.

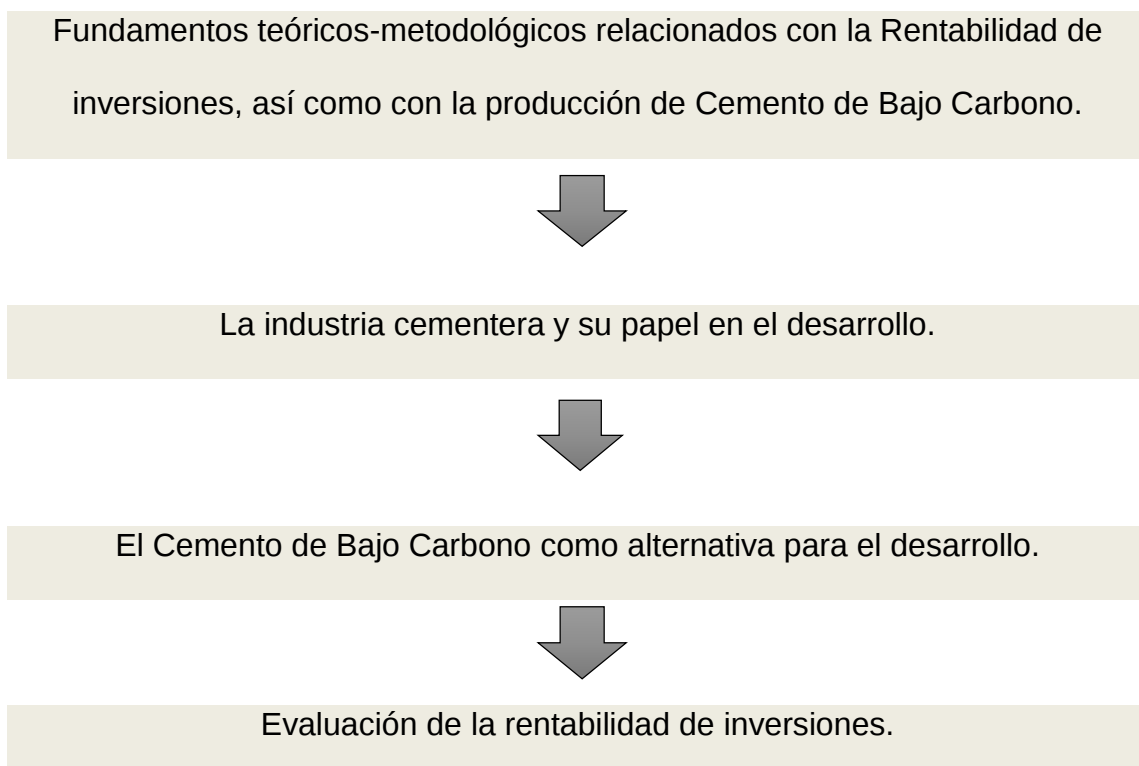
La producción de cemento es considerada frecuentemente un indicador clave en el desarrollo de un país por ser un producto esencial para la fabricación del hormigón, considerado como el material más usado en la industria de la construcción. La contribución del hormigón, y por tanto del cemento a la construcción de edificaciones comerciales y residenciales, carreteras, túneles, entre otros, hace que su producción sea reflejo de la actividad económica global. 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.

Aproximadamente del 5-9 % de las emisiones totales antropogénicas de CO₂ están relacionadas con la producción de hormigón; 85% de estas están asociadas con la producción de cemento, esto representa cerca de un 7% de las emisiones globales de CO₂, por lo que cualquier mejora en el proceso productivo puede tener impactos gigantescos en la reducción del CO₂ que se libera a la atmósfera. Para mitigar este efecto negativo la industria cementera ha desarrollado diversas estrategias dentro de las cuales la sustitución del contenido de clínquer por Materiales Cementicios Suplementarios (MCS por sus siglas en español) ha demostrado ser la más efectiva, en dependencia del tipo de MCS empleado los niveles de sustitución del clínquer pueden llegar a variar hasta un 35 % en masa.

El Cemento de Bajo Carbono, es un nuevo tipo de cemento con 50% de sustitución de clínquer que utiliza una combinación de arcilla caolinítica y caliza. Su ventaja evidente sobre la base del sistema clínquer – arcilla calcinada – caliza con respecto a los cementos mezclados tradicionales radica en la posibilidad de elevar el nivel de sustitución de clínquer sin comprometer las propiedades finales del cemento. Esto incide directamente en la reducción de los costos ambientales, asociados a las emisiones de CO₂, sin que ello implique mayores costos de producción – los cuales pueden ser incluso menores – ni grandes inversiones.

Este capítulo hace una recopilación de investigaciones que han tenido como objeto de estudio cementos de nuevo tipo adicionados con MCS y las principales consideraciones conceptuales y metodológicas sobre el estudio de la rentabilidad de un proyecto de inversión. A continuación se presenta la Figura 1.1 donde se muestra el hilo conductor del capítulo #1:

Figura 1.1 “Hilo conductor del Capítulo 1”



1.1 Desarrollo de la industria cementera y su papel en el desarrollo

Los materiales cementantes han tenido un impacto decisivo en el desarrollo de la humanidad, de tal manera que desde la antigüedad se usaron pastas y morteros elaborados con arcilla, yeso o cal para unir mampuestos 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.

El incremento de la demanda de los últimos años tiene su fundamento en el desarrollo y crecimiento de las llamadas “economías emergentes” que necesitan construir la infraestructura de base para la industrialización y urbanización en sus países. Solamente en 2010, países de Suramérica, África 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 millones de toneladas de cemento, otros pronósticos sitúan la demanda por encima de los 5000 millones. Dicho incremento elevará de manera consecuente los niveles de emisiones de CO₂, si se mantienen las condiciones de producción actuales (*Andrés, L.M.V., 2014*).

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 usado actualmente y las tecnologías disponibles, se estima que por cada tonelada de cemento producida se emite entre 0.65 – 0.90 toneladas de CO₂, lo que llevado a los datos de producción anual, sitúan a la Industria del cemento como responsable de la emisión de entre 5 – 8 % del CO₂ a escala global.

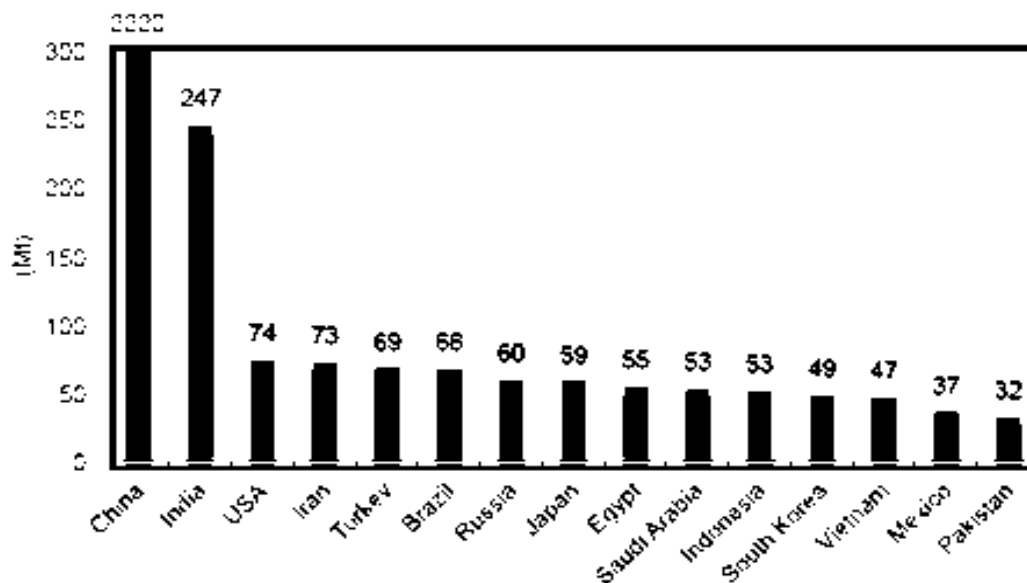
1.1.1 Producción de cemento a nivel mundial (Historia, situación actual, importancia)

Las primeras referencias que se tienen del empleo de materiales cementantes, se remontan a la civilización Egipcia (3000 ANE), en la que se usaba barro mezclado con paja para pegar ladrillos. Fue en la Antigua Grecia cuando empezaron a usarse tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini, los primeros cementos naturales. En el siglo I a. C. se empezó a utilizar el cemento natural en la Antigua Roma, obtenido en Pozzuoli, cerca del Vesubio. Luego, en el siglo XIX, Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el Cemento Portland, denominado así por su color gris verdoso oscuro similar a la piedra de Portland. Isaac Johnson, en 1845, obtiene el prototipo del cemento moderno, con una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura. En el siglo XX entra en auge de la industria del cemento, debido a los experimentos de los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis, que logran cemento de calidad homogénea; la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular y los métodos de transportar hormigón fresco ideados por Juergen Hinrich Magens que patenta entre 1903 y 1907.

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.

Se estima que la producción global de cemento en el año 2012 alcanzó los 3,6 billones de toneladas, lo que se traduce en un incremento del 3% en comparación al año anterior. China representó el 59,3% del total de la producción global de cemento, por encima del 56% alcanzado en 2011. Excluyendo a China, la producción global de cemento aumentó en un 1,8%, inferior al crecimiento del 2,8% registrado en 2011. De acuerdo a cifras provisionales, las tasas más altas fueron registradas en Suráfrica, Indonesia, Brasil y la India, en tanto que la Federación Rusa y Argentina, en donde la producción de cemento aumentó a altas tasas en años anteriores, sufrieron una recesión. En Canadá, la producción de cemento registró un aumento moderado de 1,6%, mientras que los países europeos reportaron fuertes retrocesos en las tasas anuales de crecimiento. La producción continuó en aumento en 2012 en comparación con los años anteriores en América del Sur, África y Asia. Estas regiones fueron responsables del 3%, 4% y 80% de la producción de cemento respectivamente (*Molina, J.V., 2014*). Ya para el año 2013 la producción de cemento se comportó como muestra el siguiente gráfico:

Gráfico 1.1 “Principales productores de cemento en el mundo (Año 2013)”



Fuente: FICEM, 2013(Federación Interamericana del Cemento)

Como puede apreciarse en el gráfico, se mantienen China e India como los mayores productores de cemento en el mundo.

1.1.2 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

monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos, aldehídos, cetonas, y óxidos de azufre y nitrógeno). Los contaminantes hídricos se encuentran en los derrames del material de alimentación del horno (alto pH, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, principalmente potasio y sulfato), y el agua de enfriamiento del proceso (calor residual). El escurrimiento y el líquido lixiviado de las áreas de almacenamiento de los materiales y de eliminación de los desechos puede ser una fuente de contaminantes para las aguas superficiales y freáticas. (Pérez, J.R., 2015).

La Industria del Cemento mundial contribuye con un 5 % (Alujas, A. 2010) a las emisiones globales de CO₂, producidas principalmente en: (a) la combustión necesaria para alcanzar el calor requerido (1450 °C) en la zona de clínquerización, representando el 45 % de las emisiones y (b) la reacción de descarbonatación, es decir, la descomposición de la caliza para formar clínquer, representando el 54.5 % de las emisiones. 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. Por esta razón se deben mejorar tanto la eficiencia del proceso de fabricación como la eficiencia de conversión de energía.

Las emisiones de dióxido de carbono debidas a la descarbonatación no se pueden evitar, es una etapa esencial dentro de la fabricación del cemento, sin embargo, las emisiones se pueden reducir al utilizar materiales con propiedades cementantes como sustitutos parciales para el cemento. La sustitución de clínquer por aditivos, como la puzolana, disminuye las emisiones de CO₂ generadas en la formación del clínquer, tanto en la descarbonatación de la caliza

como en la combustión. La mayor parte de las estrategias que se utilizan para la reducción de estas emisiones están dirigidas a mejorar la eficiencia de la combustión.

1.1.2.1 Alternativas para reducir el impacto ambiental de la producción de cemento

1.1.2.1.1 La mejora en la eficiencia de los procesos

Los dos procesos mayores con mayor consumo energético en la producción de cemento lo constituye la combustión de las materias primas para la obtención del clínquer y el molido final de este último. Mediante la transición tecnológica del proceso húmedo al semi-húmedo, semi-seco o seco, se puede lograr una reducción considerable en los consumos energéticos requeridos durante la combustión de las materias primas. Se estima que los procesos húmedos consumen como promedio entre 5.3 – 7.1 Gigajoules por tonelada (GJ/t) de clínquer contra 3.2 – 3.5 GJ/t clínquer de consumo para el proceso seco, que para la tecnología más eficiente de hornos con pre-calentadores y precalcinadores puede ser hasta de 2.9 GJ/t de clínquer (*Taylor, M., C. Tam, and D. Gielen, 2006*) valor que se encuentra muy cercano al límite termodinámico operable, que según (*Habert, G., et al, 2010*) está alrededor de los 2.5 GJ/t clínquer. Adicionalmente, con el desarrollo e implementación de nuevos tipos de molinos como el de rodillos de alta presión y el de rodillos horizontales, se emplea de un 20 – 50 % menos de energía eléctrica que con los tradicionales molinos de bolas (*Worrell, E. and C. Galitsky, 2008*).

La evolución tecnológica en el período 1990 – 2006 de los 46 países y compañías miembros del Proyecto “Getting the Numbers Right” (GNR por sus

siglas en inglés), auspiciado por la Cement Sustainable Initiative (CSI por su siglas en inglés) y que generaron el 31 % de la producción mundial de cemento en 2006 puede ser revisada en el Anexo I(CSI, 2010).El crecimiento de la producción de cemento de las últimas décadas ha estado sustentado en el uso de las tecnologías más modernas, aunque aún existen otras plantas en el mundo que operan a niveles inferiores de eficiencia, debido fundamentalmente a su envejecimiento. Los datos brindados por (CSI Pekmezci, B. Y. a. S. A. z. 2004) demuestran que desde 1990 hasta el 2006 no ha habido mejoras significativas en la eficiencia térmica para la manufactura de cemento. Solo la transición del proceso húmedo a cualquier otro proceso ofrece un cambio sustancial con respecto a las emisiones. Durante el período mencionado, las fábricas de proceso húmedo decrecieron de un 16 % a un 5.6 %, por lo que podemos considerar que la mejor tecnología actualmente disponible para la manufactura de cemento posee un nivel bastante elevado de eficiencia energética y que la búsqueda y desarrollo de nuevos procesos de fabricación de cemento pueden ofrecer muy pocas mejoras.

1.1.2.1.2 El uso de combustibles alternativos

De acuerdo con Hendriks et al (*Hendriks, C.A., et al, 1998*) 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, la petroleum coke – también conocida como petcoke –, y otros combustibles llamados “alternativos” (*Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, 2000*). 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 (*Hendriks, C.A., et al, 1998*).

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 (*CSI, 2010*).

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.). 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 (*Hendriks, C.A., et al, 1998*), 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, J.S., et al, 2008*).

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 % (CSI, 2010). 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 2009).

1.1.2.1.3 La captura y secuestro de carbono

La captura y secuestro de CO₂ (CSC) es un set de tecnologías que incluye la separación del mismo de los gases liberados en los procesos de manufactura de varias industrias, en este caso del cemento; su presurización; transportación por tuberías y finalmente su inyección geológica en rocas porosas que se encuentran a gran profundidad de la corteza terrestre para su transformación a largo plazo en carbonatos de calcio. Adicionalmente, se puede obtener agua potable como subproducto de estos procesos (Barnett, K. W. a. E. T., 2010).

Barnett y Torres describen las principales tecnologías existentes para la captura y almacenamiento de CO₂, como son:

- ✓ El proceso de Calera, que utiliza un purificador que contiene agua a un alto pH, calcio, magnesio, sodio y cloruro como líquido purificador. El CO₂ es primeramente convertido en ácido carbónico y luego en iones CO₃²⁻,

que reaccionan con el Ca^{2+} y el Mg^{2+} y forman minerales de carbonato. Estos minerales pueden ser precipitados de la solución y secados para ser usados nuevamente como materia prima.

- ✓ La oxi-combustión es el proceso de quemar combustibles en presencia de oxígeno puro en lugar de aire. La eficiencia del combustible aumenta al no haber nitrógeno que calentar y el volumen del gas resultante es menor. Una vez que el flujo de oxígeno alimenta el horno, los gases resultantes de la combustión presentan una alta concentración de CO_2 , el cual es separado, purificado y presurizado.
- ✓ La captura mediante solventes de post-combustión está basada en procesos de absorción química. El flujo de gas entra en contacto con un solvente que reacciona con el CO_2 . La elevación posterior de la temperatura revierte la reacción anterior, libera el CO_2 y permite el reciclaje del solvente (*ALSTOM, 2014*).

Existen otras tecnologías en desarrollo como las membranas de post-combustión y la del súper-calentamiento de CaO , pero ambas se encuentran aún en su estadio teórico. La CSC mediante cualquiera de las tres tecnologías anteriormente descritas puede llegar a capturar entre 80 – 95 % del CO_2 generado en los procesos de producción del cemento (*Müller, N. a. J. H. 2008*) pero aún permanecen varios aspectos técnicos y tecnológicos que deben ser resueltos para su implementación, razón por la cual no ha sido escalado todavía a la industria del cemento y no se espera se encuentre disponible comercialmente antes del 2020 (*EPA 2013*).

Las predicciones de la Agencia Internacional de Energía (IEA) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WDBSC) para el 2050

plantean que en un escenario de alta demanda, la captura y almacenaje de carbono (IEA-WDBSC,2009), podría reducir las emisiones globales de CO₂ causadas por la producción de cemento en un 56 %, sin embargo el alto costo de inversión asociado a estas nuevas tecnologías, que según Damineli et al (*Damineli, B. L., R.G. Pileggi, and V.M. John, 2011*) está estimado entre US\$ 474 y US\$ 593 miles de millones, traería incrementos en los costos del producto, que repercutiría económica y socialmente en los países en desarrollo.

1.1.2.1.4 La reducción del factor de clínquer

La reducción del factor de clínquer en el cemento a través del empleo de otros productos reactivos es otra de las líneas de trabajo establecidas por la industria del cemento en su camino hacia la sostenibilidad ambiental. Se calcula que del total de emisiones de CO₂, aproximadamente el 40 % proviene de la quema de combustibles y el consumo de energía eléctrica, mientras que el 60 % restante es causado por la descarbonatación de las materias primas durante el proceso de fabricación del clínquer (*CSI, 2010*).

Los materiales que se emplean como sustitutos del clínquer y que reaccionan con hidróxido de calcio, son llamados comúnmente MCS. El empleo de los MCS y el nivel de sustitución del clínquer que estos pueden lograr dependen de la naturaleza y características química - físicas de cada material, así como de su variable disponibilidad en cada región. El factor de reducción de clínquer es limitado por la reducción de la resistencia, sobre todo a edades tempranas, y la baja cinética de reacción de muchos MCS en comparación con la dilución del cemento. Algunos MCS provocan un incremento en la demanda de agua, que tiene un efecto negativo en la reología (*Turanli, L., B. Uzal, and F. Bektas, 2004*). Todo ello restringe los niveles de sustitución aprobados en la normativa europea

(CEN, EN. 2011) de cemento hasta el 35 %, en dependencia del tipo del material cementicio utilizado.

Por el impacto que causa con respecto a la reducción de las emisiones de CO₂ al mismo tiempo que posibilitan el aumento de los volúmenes de producción de cemento sin grandes costos de inversión asociados (WBCSD, I, 2009), el empleo de MCS como sustitutos del clínquer en la producción de cementos mezclados constituye una de las alternativas ambientalistas por excelencia. El aumento de los niveles de sustitución de clínquer ha estado liderado por las regiones con economías emergentes, como Latinoamérica, India y China, que se encuentran por encima de la media mundial de 22 % (CSI, 2010). El desafío a enfrentar para el desarrollo de la producción de cementos mezclados y el aumento de los niveles de sustitución a partir del uso de materiales cementicios radica en la posibilidad de cubrir la demanda de cemento prevista para el 2050 con los MCS existentes.

1.1.2.2 El uso de Materiales Cementicios Suplementarios (MCS)

Dentro de las principales fuentes de MCS que se emplean actualmente se encuentran las puzolanas. Según su naturaleza, las puzolanas pueden clasificarse en dos grandes grupos como naturales y artificiales (Lam, M. B. R., 2010). Las propiedades de las mezclas fabricadas, dependerán del tipo de puzolana empleada, pero de manera general, incrementan la resistencia a edades avanzadas y la impermeabilidad del producto final, aunque también tienden a incrementar la demanda de agua.

Las puzolanas naturales más comunes son las cenizas volcánicas, tobas zeolíticas – que son las más abundantes en Cuba – y tierras de diatomeas. A

pesar de presentar una gran variedad, las puzolanas naturales pasan por el problema de la disponibilidad, ya que no se encuentran distribuidas de manera uniforme sobre la corteza terrestre.

En el grupo de puzolanas artificiales se encuentran las pizarras, arcillas calcinadas², los residuos de productos cerámicos, así como las cenizas provenientes de procesos agrícolas como las de cáscara de arroz y las de bagazo de caña. También incluye los subproductos o desechos de procesos industriales como son las cenizas volantes pulverizadas (PFA, por sus siglas en inglés), las escorias granuladas de alto horno (GBFS, por sus siglas en inglés), y el humo de sílice (SF, por sus siglas en inglés).

Otro MCS ampliamente usado por la industria del cemento es el carbonato de calcio en forma de piedra caliza sin calcinar. Aunque este no constituye una puzolana, se le adjudica cierta reactividad, que es muy baja en los cementos convencionales, por lo que se añade habitualmente en pequeñas proporciones como material inerte (*Andrés, L.M.V., 2014*).

1.2 El Cemento de Bajo Carbono como alternativa para el desarrollo

Ante las preocupaciones existentes con respecto al cambio climático, diversos países y corporaciones reconocen la necesidad de implementar políticas que contribuyan a mitigar el impacto ambiental y crear un modelo sostenible para la producción de cemento. Con el objetivo de lograr la sostenibilidad de esta industria se hace necesario incrementar los niveles de eficiencia energética del proceso y el uso de extensores que disminuyan el consumo de clínquer, lo cual

² De las arcillas calcinadas que pueden fabricarse, muestran potencialidades para su utilización en la industria de cemento cubana las arcillas caoliníticas de bajo grado por su amplia disponibilidad a lo largo del país, especialmente en la región central. (*Carratala, F.A., 2015*)

es aplicable en toda su extensión a las industrias cementeras cubanas. En este sentido, las acciones a tomar para la reducción de las emisiones causadas por la industria del cemento deben ser consideradas desde un enfoque regional, atendiendo a las características geopolíticas y tecnológicas de cada país, organización o fábrica.

Lograr esto constituye un reto para las grandes productoras de cemento pues se hace necesario desarrollar un nuevo cemento acorde a las circunstancias vigentes de desarrollo y cuya fabricación sea viable y factible. En Cuba como parte del proyecto que desarrolla el Centro cubano de Investigaciones y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) y la Universidad Politécnica de Lausana (Suiza), fue lanzado al mercado internacional el cemento ecológico, también conocido por Cemento de Bajo Carbono o LC³.

El novedoso producto permite duplicar la cantidad de cemento producido por métodos tradicionales, a partir de sustituir una determinada proporción de clínquer (Alrededor del 50%) por arcilla calcinada y carbonato de calcio, lo cual reduciría hasta un 35% las emisiones de CO₂ a la atmósfera en comparación con otros tipos de cementos.

1.2.1 Factibilidad técnica

1.2.1.1 Cemento a escala de laboratorio

Resultados experimentales de laboratorio han demostrado que es posible sustituir hasta un 50% de clínquer sin que se produzca una significativa disminución del volumen de productos de reacción que se produce en la hidratación del cemento, por lo que no se compromete la resistencia del material. Con sustituciones de un 60% se logra alcanzar hasta un 90% de la resistencia

del Cemento Portland ordinario. Las fases alumínicas reaccionan más rápido, de forma que la resistencia a edades tempranas no se afecta de manera considerable (*Vizcaíno-Andrés, L. M., Sánchez-Berriel, S., Damas-Carrera, S., Pérez-Hernández, A., Scrivener, K.L., Martirena-Hernández, J.F., 2015*).

1.2.1.2 Cemento a escala industrial

En el año 2013 se realizó la primera prueba industrial de producción del “Cemento de Bajo Carbono” en las instalaciones de la fábrica de cemento Siguaney, ubicada en Sancti Spíritus, donde se usó un factor de Clinker/MCS de 0.5 e incluyó la calcinación de 120 ton de arcilla caolinítica de mediana pureza; el mezclado y homogeneizado del material calcinado con piedra caliza en proporción 2:1, respectivamente; y la intermolienda de la mezcla arcilla calcinada-caliza con clínquer y yeso (*Vizcaíno-Andrés, L. M., Sánchez-Berriel, S., Damas-Carrera, S., Pérez-Hernández, A., Scrivener, K.L., Martirena-Hernández, J.F., 2015*).

Es notable destacar que la resistencia del cemento fabricado a escala de laboratorio es mucho mayor, pero el producto fabricado a escala industrial fue sometido a varias dificultades durante el proceso de producción debido al carácter empírico que tuvo la experiencia. La caracterización del cemento obtenido fue realizada según el protocolo establecido en las normativas vigentes para cemento Portland ordinario y es presentada de manera resumida en la Tabla 1.1:

Tabla 1.1 “Resumen de las propiedades químicas, físicas y mecánicas del Cemento de Bajo Carbono obtenido en condiciones industriales”.

Composición química	Composición en Óxidos (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	So ₃	RI	PPI	CaO	Total
	23.7	4.6	4.6	49.8	1.3	3.7	12.6	7.1	0.9	98.4
	Proporción promedio de los componentes(%) ^b									
	Clínquer		Arcilla calcinada/Carbonato de calcio					Yeso		
	50.0		41.1					8.9		
Ensayos físicos	Retenido tamiz 4900		Blaine	Peso especifico	Consist. normal	Frag. Inicial	Frag. Final	Estabilidad de volumen		
	%									cm2/g
	12.0		4190	2.9	25.0	135	2.9	0.3		
Ensayos mecánicos	Resistencia a la compresión [MPa]									
	3 días		7 días	28 días						
	11.0		17.5	30.3						

Fuente: Vizcaíno, 2014

Los resultados de composición química revelan un exceso en el contenido de SO₃ con respecto al rango definido mediante la calorimetría isotérmica producto de dificultades tecnológicas durante la molienda industrial. La finura expresada a través del por ciento retenido en el tamiz de 90 µm, aunque cumple con los parámetros establecidos para los cementos mezclados en la NC 96: 2001, es considerada como gruesa. Los resultados de DTP arrojaron un Dv50 de 22.63 µm, lo que indica que menos del 50% de las partículas del cemento tiene un tamaño por debajo de las 20 µm, lo cual incide directamente en el grado de hidratación de los granos de cemento (Vizcaíno-Andrés, L. M., Sánchez-Berriel,

S., Damas-Carrera, S., Pérez-Hernández, A., Scrivener, K.L., Martirena-Hernández, J.F.2015).

Según los resultados de resistencia a la compresión, el cemento obtenido clasifica como Pz-25, aunque el porcentaje de adición sobrepasa los límites establecidos en la norma cubana. La reducción notable de la resistencia con respecto a los resultados obtenidos previamente en la etapa de laboratorio es atribuido a dos factores fundamentales: el exceso de sulfatos en el sistema y la baja finura.

1.2.1.3 Producción de hormigón y elementos estructurales

Se produjeron un total de 10 938 bloques huecos de hormigón, además de paneles, losas de cubierta, cimientos, postes de cerca, obras de fábrica, entre otros elementos para túneles. La producción fue muestreada y ensayada acorde a las regulaciones vigentes (*Andrés, L. M. V., 2014*).

De acuerdo con el análisis de Vizcaíno (2014), todos los hormigones y elementos fabricados alcanzaron resistencias mayores a la de diseño a los 28 días, y los bloques cumplieron los requerimientos en cuanto a la absorción. Los bloques huecos de hormigón presentaron dificultades a la edad de 7 días, lo cual es consistente con la caracterización realizada a la producción industrial del CBC. La influencia de la finura del cemento juega un papel fundamental, considerando que el cemento Portland para el cual la dosificación fue inicialmente diseñada, presenta un retenido por el tamiz de 90 μm entre 5 – 3 %. Aunque el rendimiento de los hormigones estructurales de calidad 25 MPa es variable, incluso mediante la utilización de un diseño de mezclas no optimizado los hormigones producidos

con CBC cumplen con los requisitos de resistencia, que a su vez puede ser mejorada a través del empleo de áridos de mayor calidad.

Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de elementos prefabricados producidos, y la resistencia a la compresión y absorción en bloques huecos de hormigón pueden ser vistos en los Anexos 2 y 3.

Se realizaron también como base previa a un estudio de durabilidad a gran escala enmarcado en los objetivos de un nuevo proyecto, ensayos de permeabilidad al aire en varios elementos prefabricados de hormigón.

El coeficiente de permeabilidad determinado en elementos prefabricados de hormigón fabricados con CBC y P-35 es presentado en la Tabla 1.2. Es interesante ver que el elemento fabricado con CBC presenta valores de kT entre 1.5 – 6 veces superiores a los de la referencia de P-35, lo que indica que el nuevo cemento favorece una estructura de poros más impermeable, al menos en la capa externa medida. Los resultados obtenidos califican a ambos hormigones como de permeabilidad moderada.

Tabla 1.2: “Resultados de permeabilidad al aire en elementos de hormigón fabricado con CBC y P-35 en planta de prefabricado UEB Remedios”.

Tipo de Cemento	Identificación de la muestra	Punto de medición	Humedad (%)	$KT(10^{-16}m^2)$
CBC	M 381	A	4.00	0.23
		B	4.00	0.06
		C	4.10	0.08
		Media	4.03	0.12

P-35	M 397	A	4.90	0,12
		B	5.00	0.19
		C	4.15	0.10
		Media	4.68	0.14

Fuente: Vizcaíno, 2014

Tabla 1.3: “Clasificación de la permeabilidad del hormigón en función de kT ”.

Clase	$KT(10-16m^2)$	Permeabilidad
PK1	<0.01	Muy baja
PK2	0.01-0.10	Baja
PK3	0.10-1.00	Moderada
PK4	1.00-10.00	Alta
PK5	>10.00	Muy alta

Fuente: Vizcaíno, 2014

Considerando la caracterización física y química del CBC y que ambos elementos prefabricados poseen la misma concentración de cemento y similar edad (aproximadamente 4 meses) los resultados de permeabilidad indican un realce de la actividad puzolánica posterior a los 28 días y su efecto en el refinamiento de la estructura de poros de la matriz cementicia. Teniendo en cuenta que el cemento ternario empleado posee solamente un 50% de clínquer, y que las dosificaciones empleadas no son resultado de un diseño óptimo para este tipo de aglomerante, dicho comportamiento es valorado como de muy positivo.

Durante el proceso de fabricación se controló también la finura principalmente a partir de las propiedades reológicas de pastas de cemento utilizando la técnica del semicono, el cemento demostró tener una demanda de agua similar a la de los cementos producidos industrialmente en la fábrica.

1.2.2 Factibilidad ambiental

La factibilidad ambiental del LC³ ha sido evaluada por Sánchez et al. 2016 a través de la técnica Análisis de Ciclo de Vida (Normas ISO). La unidad funcional del estudio es una tonelada de cemento. La evaluación se realiza de la “cuna a la puerta”, es decir, desde la extracción de las materias primas y combustibles hasta que se obtiene el cemento en la puerta de la fábrica. El estudio es desarrollado a través del software profesional Simapro 7.3.3 (Sánchez et al. 2016). Las principales categorías de impacto evaluadas son el consumo de energía y el potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés).

La tabla 1.4 muestra los resultados por tipo de cemento del consumo de energía y la generación de emisiones de CO₂.

Tabla 1.4: “Consumo de energía y emisiones de CO₂ por tipo de cemento”.

Cemento	Emisiones (CO _{2eq} /t)	Consumo de energía (MJ/t)
P-35	890.63	5292.38
PP-25	764.92	4626.33
LC ³	564.39	4367.53

Fuente: Sánchez, 2015

En su estudio Sánchez et al, evalúa tres niveles tecnológicos:

- Escenario Piloto. Considera cero inversiones. Las condiciones de producción son similares a las de la prueba piloto industrial llevada a cabo en 2013 en la fábrica de cemento Siguane.
- Escenario Industrial. Considera un nivel medio de inversión al considerar la reconversión de un horno de clínquer a calcinador de arcillas. El Clínker es producido en una tecnología más eficiente.
- Escenario Mejor tecnología disponible (BAT, *best available technology*). Considera alto nivel de inversión en la mejor tecnología disponible para la producción de arcilla y clínquer.

La tabla 1.5 muestra los detalles de entrada para la evaluación de los diferentes niveles tecnológicos evaluados.

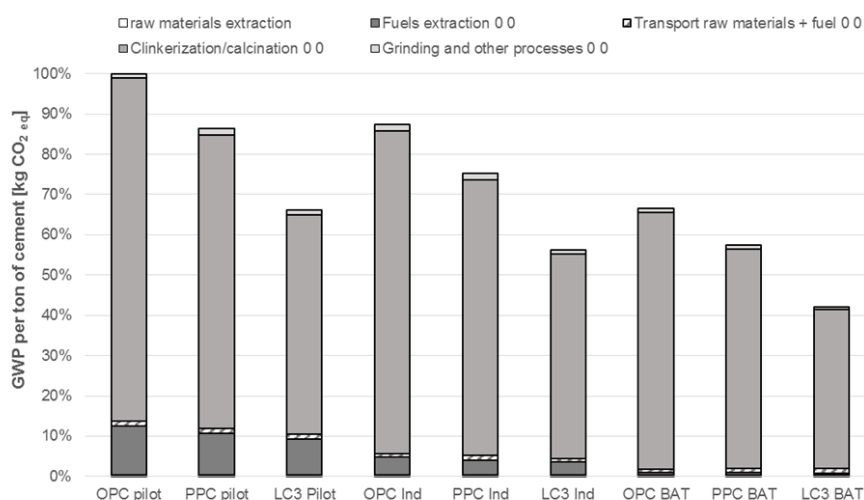
Tabla 1.5: “Detalles en los diferentes niveles tecnológicos para la industria cementera cubana”.

Indicadores	Nivel Piloto	Nivel Industrial	Nivel BAT
Distancia de la arcilla caolinítica (km)	150	60-150	<100
Tipo de combustible	Crudo cubano	Pet-coke + Crudo cubano	Gas + Desechos
Tecnología de clinquerización	Horno rotatorio húmedo	Pre-calentador + pre-calcinador de 4 etapas	Pre-calentador + pre-calcinador de 6 etapas
Tecnología de calcinación de arcilla	Horno rotatorio húmedo	Calcinador recuperado	Calcinador flash optimizado

Fuente: Sánchez et al., 2016

El potencial de calentamiento global calculado para los niveles tecnológicos se muestra en el gráfico 1.2. Los resultados muestran que el cemento LC³ siempre produce aproximadamente 30% de ahorro de emisiones.

Gráfico 1.2: “Potencial de calentamiento global por tipo de cemento en diferentes niveles tecnológicos”.



Fuente: Sánchez et al. 2016

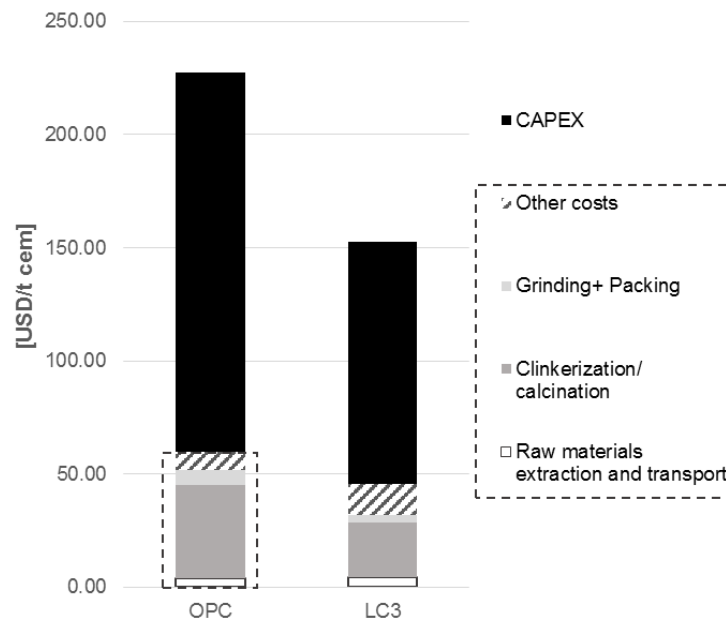
Además, destaca que el peor LC³, fabricado en la prueba industrial es mejor que el P-35 fabricado con la mejor tecnología disponible (nivel BAT). Las mayores reducciones de emisiones están relacionadas con el ahorro de energía y la sustitución de clínquer, aunque se reporta una disminución en el consumo de energía durante el proceso de molienda debido a la suavidad del LC³ en comparación al P-35.

1.2.3 Factibilidad económica

Para evaluar la factibilidad económica se estudian los costos operacionales de los diferentes cementos y los costos de inversión preliminares según aparecen en la literatura. La comparación entre los costos de inversión y operación prueba

la superioridad del LC³ en relación al cemento P-35, como se muestra en el gráfico 1.3.

Gráfico 1.3: “Costos de inversión y operación de cementos LC³ y P-35 (OPC)”.



Fuente: Sánchez et al., 2016

En la evaluación económica, existen muchos factores que pueden hacer variar los resultados como: la tecnología, el tipo de combustible, el tipo de transporte, distancia de los yacimientos, etc. Todos estos factores han sido evaluados por Sánchez, et al, 2016, y en todos los casos el LC³ presenta mejor perfil económico que el P-35, presentando como limitante fundamental de factibilidad distancias mayores de 100km para la transportación de materias primas en las condiciones actuales de transportación.

1.3 Evaluación de la rentabilidad de inversiones

La evaluación de las inversiones con enfoque económico social resulta cada vez más importante y necesaria en el mundo contemporáneo. Este enfoque es tanto

más apremiante en la medida que el componente mercantil está presente con su sesgo de racionalidad microeconómica en Cuba que debe ser subvertida convenientemente en aras de los intereses sociales. La dicotomía planificación - mercado equivale a la del interés social - interés empresarial o de grupo. La solución de dicha contradicción, encuentra en el enfoque social de la evaluación de inversiones, una fórmula de conciliación positiva y normativo (*Machado, I. R. S., 2010*).

Las inversiones comprometen el empleo de recursos en la sociedad en un horizonte temporal extenso, por lo que su asignación a destinos diferentes, debe responder a las mejores expectativas de racionalidad económica y a los más loables empeños de eficiencia a escala agregada.

En la elaboración de un proyecto de inversión lo primero que hay que realizar es la definición clara de la función objetivo. Por lo que es importante una correcta definición de los objetivos; ya que esto permitirá conocer con rigor los impactos que asumirán el proyecto y su clasificación acorde a costos, beneficios o transferencias. Los costos son aquellos impactos que inciden de forma negativa en la función objetivo; los beneficios son los impactos que inciden de forma positiva en la función de objetivos y las transferencias son los efectos que no se manifiestan en la función objetivo, por lo que no serán relevantes para la evaluación.

1.3.1 Importancia de la evaluación de rentabilidad de inversiones

Las referencias comunes a evaluación de proyectos consideran los conceptos de Evaluación Financiera, Evaluación económica y Evaluación Social, cada uno de estos conceptos hace referencia a un mecanismo o metodología básica de

evaluación que consiste en el establecimiento de un patrón o norma de comparación que define la utilidad o bondad del proyecto (*Machado, I. R. S., 2010*).

Con respecto a los tres tipos de evaluación mencionados, el primero permite evaluar la capacidad financiera de un proyecto y determina lo que comúnmente se conoce con el nombre de rentabilidad del inversionista; el segundo, al no considerar las opciones de financiamiento, permite conocer la rentabilidad del proyecto en términos de sus beneficios y costos propios. Metodológicamente corresponde una evaluación en la que se asume total disponibilidad de recursos a precios de mercado y, en el tercer caso, se trata de determinar la rentabilidad del proyecto para la sociedad.

Al analizar la metodología empleada en estos distintos tipos de evaluación se concluye que consiste en un análisis costo-beneficio con distintos objetivos: primero la evaluación para un inversionista específico, que se asocia con el concepto de evaluación privada; luego la evaluación del proyecto independientemente de quien lo realice, asociada al concepto de evaluación económica y por último la evaluación del proyecto según sus efectos en el bienestar de la comunidad conocida como evaluación social.

1.3.2 Métodos tradicionales para la evaluación de la rentabilidad

El análisis de los criterios de evaluación económica financiera de un proyecto de inversión a mediano y largo plazo, es el punto culminante para pasar al proceso de toma de decisión de la rentabilidad de la inversión, en este sentido se hace necesario el análisis de los criterios de decisión.

En el año 2001 John Graham y Cambell Harvey realizaron un completísimo estudio del uso de las diferentes técnicas y modelos de valoración de proyectos de inversión arrojando como resultados los expresados en la siguiente tabla.

Tabla 1.6: “Métodos de valoración de proyectos de inversión y su utilización”.

Métodos	Utilización
Tasa Interna de Rendimiento TIR	75.61%
Valor Actual neto	74.93%
Tasa de Rendimiento Requerida	56.94%
Plazo de recuperación	56.74%
Análisis de sensibilidad	51.54%
Múltiplo de beneficios	38.92%
Plazo de recuperación descontado	29.45%
Opciones reales	26.59%
Tasa de rendimiento contable	20.29%
Simulación /Valor en Riesgo VAR	13.66%
Índice de rentabilidad	11.87%
Valor actual ajustado	10.78%

Fuente: Monografía de Evaluación financiera de proyectos de inversión

✓ **El plazo de recuperación simple (Conocido también por pay-back)**

El plazo de recuperación simple es un método de valoración de proyectos de inversión de tipo estático debido a que no tiene en cuenta el momento del tiempo en el que vencen sus flujos de caja. Se define como el tiempo que se tarda en recuperar el desembolso inicial realizado en una inversión.

En el caso de flujos constantes se puede definir como:

$$PR = \frac{C_1}{C_0} (\text{Años})$$

Siendo:

C_0 = flujos constantes anuales de beneficios netos.

C_1 = costo de la inversión.

Según este método de valoración, los proyectos de inversión serán efectuables siempre que su plazo de recuperación sea inferior a un plazo máximo establecido por la dirección de la empresa; y entre dichos proyectos efectuables serán preferibles aquéllos cuyo plazo sea más bajo, esto es, los que tengan la recuperación del desembolso más rápida.

Las dos grandes limitaciones de este criterio son: a) la no consideración de todos los flujos de caja del proyecto, y b) el no tener en cuenta el momento del horizonte temporal en el que tienen lugar los flujos de caja por lo que no opera con su valor actualizado. En favor de su utilización se puede argumentar que es muy fácil de calcular, que es fácil de comprender, y que para las empresas con problemas de liquidez es muy apropiado.

✓ **Valor actual neto (VAN)**

El VAN representa el máximo valor que la empresa puede pagar por la opción a invertir, sin incurrir en pérdidas financieras de oportunidad. El VAN es el valor actualizado de todos los flujos de caja esperados conociendo la tasa de interés del capital (r), la duración del proyecto (n) y la inversión inicial (I_0). El VAN será calculado entonces por la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^n FE / (1+r)^n$$

El VAN representa la rentabilidad en términos absolutos de un proyecto de inversión. Según este criterio la decisión de inversión se apoya en el siguiente razonamiento:

- Si $VAN > 0$, la inversión debe llevarse a cabo ya que es rentable para la empresa.
- Si $VAN < 0$, la inversión no debe realizarse porque no es rentable para la empresa.
- Si $VAN = 0$, es igual que la inversión se realice o no ya que no modifica el patrimonio de la empresa.

Dentro de las limitaciones de este método tenemos en primer lugar que es incapaz de valorar correctamente aquellos proyectos de inversión que incorporan opciones reales (de crecimiento, abandono, diferimiento, aprendizaje, etcétera) lo que implica que el valor obtenido a través del simple descuento de los flujos de caja infravalore el verdadero valor del proyecto, y en segundo lugar que la forma de calcular el VAN de un proyecto de inversión supone, implícitamente, que los flujos de caja, que se espera proporcionen a lo largo de su vida, deberán ser reinvertidos hasta el final de la misma a una tasa idéntica a la de su coste de oportunidad del capital. Esto no sería un problema si dichos flujos de fondos fuesen reinvertidos en proyectos del mismo riesgo que el actual (y suponiendo que el coste de oportunidad del capital se mantenga constante, lo que es mucho suponer); pero sí ello no se cumple, el VAN realmente conseguido diferirá del calculado previamente, siendo mayor si la tasa de reinversión supera al coste del capital o menor en caso contrario.

✓ Índice de rentabilidad (IR)

Una variante del Valor Actual Neto de una inversión es el denominado Índice de Rentabilidad, que consiste en dividir el valor actual de los flujos de caja por el desembolso inicial de la inversión por lo que analíticamente se expresará de la siguiente forma:

$$IR = \frac{1}{A} \left[\frac{Q_1}{(1+k)} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n} \right] = \frac{VA}{A}$$

Siendo:

A: Desembolso inicial de la inversión

Qn: flujos de fondos generados por el proyecto

K: tasa que expresa el costo de oportunidad del capital

VA: valor actual total de los flujos de fondos del proyecto del año 1 al n.

En principio serían efectuables aquellas inversiones cuyo índice de rentabilidad fuera superior a la unidad ($IR > 1$), ya que esto indicaría que lo recuperado por la inversión, teniendo en cuenta el efecto del paso del tiempo sobre el valor de los capitales, es superior al desembolso realizado (es decir, que el valor actual del proyecto supera a su desembolso inicial).

Como limitación estriba en que el IR no indica la rentabilidad por período sino la rentabilidad a lo largo de todo el horizonte temporal de la inversión lo que complica algo su comprensión.

✓ Tasa interna de rendimiento (TIR)

La TIR o tasa de retorno de la inversión es el tipo de descuento que hace igual a cero el VAN de dicho proyecto, es decir: $VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^i FE / (1+r)^n = 0$ donde r sería la TIR del proyecto. Es la rentabilidad obtenida sobre el capital mientras esté invertido.

La decisión sobre el proyecto teniendo en cuenta el criterio de la TIR se plantea así:

- Si $TIR > r$, la inversión puede realizarse porque la rentabilidad que ofrece el proyecto es mayor que la que ofrece el mercado.
- Si $TIR < r$, no interesa llevar a cabo la inversión porque la rentabilidad que ofrece el proyecto es menor que la que ofrece el mercado.
- Si $TIR = r$, la situación es de indiferencia, por lo que con decisores con aversión al riesgo tampoco se realizaría.

La principal limitación de este método es que la TIR asume que los flujos de caja deben ser reinvertidos a la propia TIR, es decir, la TIR realiza un supuesto sobre el coste de oportunidad totalmente inapropiado.

✓ **Plazo de recuperación descontado (PRD)**

Con objeto de paliar una de las limitaciones del plazo de recuperación simple surge el denominado plazo de recuperación descontado que es semejante al anterior salvo en lo que se refiere al vencimiento de los flujos de caja de la inversión que este método sí lo refleja en sus cálculos. Así pues, se trata de averiguar el tiempo mínimo en que se recupera el desembolso inicial de un proyecto de inversión y para ello iremos sumando los diversos flujos de caja actualizados hasta obtener la cifra de dicho desembolso inicial. La tasa de actualización será el coste de oportunidad del capital.

Este método no tiene en cuenta el valor de los flujos de caja que se producen posteriormente al momento de la recuperación del desembolso inicial; suelen preferir aquellos proyectos de inversión con mayores flujos de caja al comienzo

de los mismos; y el período de recuperación máximo marcado por la dirección, para señalar:

$$\text{PRD} \Rightarrow t : \text{NPV} = N(C_t, M, T, r) = \sum_{t=M}^{M+T} \frac{C_t}{(1+r)^t} = 0$$

✓ **Método de valoración de opciones reales**

Esta metodología, que ha comenzado a utilizarse en los últimos años del siglo XX de forma complementaria al VAN, consiste en valorar los activos (proyectos de inversión, empresas, etcétera) como si fueran opciones. En el caso de los proyectos de inversión este método demuestra su utilidad cuando el VAN medio esperado esté próximo a cero, hay una gran incertidumbre sobre su valor, y el decisor se puede aprovechar de ello. La metodología utilizada es la misma que la de la valoración de opciones financieras. Entre las opciones reales más conocidas están las de: diferir, ampliar, reducir, cerrar temporalmente, abandonar, aprendizaje, compuestas, etc. (*Machado, I. R. S., 2010*).

1.3.3 El método: Return on Capital Employed (ROCE)

El concepto de ROCE surge en los años 20 cuando la Corporación Du Pont desarrolló el método de contabilidad Du Pont para medir el funcionamiento rentable del negocio y comparar el funcionamiento de diversas unidades de negocio (*R. Fleischman, T. T., 2006*). El método de contabilidad de Du Pont es un acercamiento de gran alcance y relativamente simple para determinar el impacto de las decisiones de gerencia en el funcionamiento financiero. La ventaja de este método es que proporciona una forma constante de evaluación para cualquier tipo de negocio.

El Return On Capital Employed, ROCE, es una medida financiera razonable que permite a los responsables y los inversionistas hacer evaluaciones de la capacidad de sus activos de rendir beneficios en un cierto plazo. El enfoque del ROCE es creado en concordancia con la teoría financiera que define la rentabilidad como el retorno de la inversión (*R.A. Brealey, S. C. M., F. Allen, P. Mohanty, 2012*). ROCE es normalmente una función de los precios del cemento, la utilización de capacidades instaladas y de los gastos operacionales (OPEX), pues los costos capitales (CAPEX) siguen siendo en cierto plazo mucho más estables que los gastos operacionales y los factores ya mencionados.

Simplemente calculando el cociente EBIT /Capital empleado, el ROCE se puede obtener para un negocio individual o para la industria en su totalidad (*J. Pearl., et al, 2013*). EBIT es la categoría supuesta "ganancias antes de interés y de impuestos". Alternativamente el ROCE puede ser derivado multiplicando el margen de beneficio (P.M., *Profit Margin*) por el volumen de ventas de capital (CT, *Capital Turnover*). El margen de beneficio es un porcentaje de los ingresos de ventas, es decir, qué parte de los ingresos se convierte en ganancias. El volumen de ventas de capital expresa cómo los fondos han sido utilizados eficientemente por la empresa (o la industria) para generar rentas. Al observar en la fórmula, puede observarse claramente que las ventas en el denominador de la fórmula de PM y el numerador en la fórmula de CT, se cancelan, obteniendo entonces la diferencia entre el margen de ganancias (NP) y el capital empleado (CE), como sigue:

$$ROCE = \text{Margen de Beneficio} * \text{Volumen de Ventas}$$

$$ROCE = \frac{\text{Ganacia neta}}{\text{Ventas}} * \frac{\text{Ventas}}{\text{Capital Empleado}}$$

Los cálculos se deben hacer considerando un costo unitario por capacidad y valores anuales para las capacidades para poner medidas del numerador y del denominador en valores de una unidad apropiados por perspectiva del tiempo.

La contribución principal de ROCE en el campo financiero yace en la consideración de la intensidad de capital en la determinación del retorno del capital empleado. Este acercamiento sobrepasa el análisis tradicional de la rentabilidad el cuál se ha basado comúnmente en el elemental descuento de flujo de caja.

El ROCE se debe comparar contra el costo del capital medio ponderado (WACC, *Weighted Average Cost of Capital*). El costo de capital es el índice de retorno mínimo requerido para justificar el uso del capital. Es el índice de retorno que una firma debe pagar a los inversores, que han proporcionado el capital. Es decir el costo de capital es el costo medio cargado de varias fuentes de las finanzas usadas por la firma. La tarifa de retorno mínima prevista para cada proyecto se llama su costo de capital (*J. Pearl, J. R, 2013*).

Comparar ROCE contra WACC es un método financiero confiable para arribar a conclusiones sobre (1) el funcionamiento financiero de una firma, (2) la estructura de capital óptima de una firma y (3) la viabilidad de las alternativas de la inversión. Cuanto más alto es el ROCE, es mejor. Si $ROCE > WACC$, el sistema económico que es evaluado crea valor para el dinero invertido, por el contrario si $ROCE < WACC$, muestra claramente un patrón no rentable.

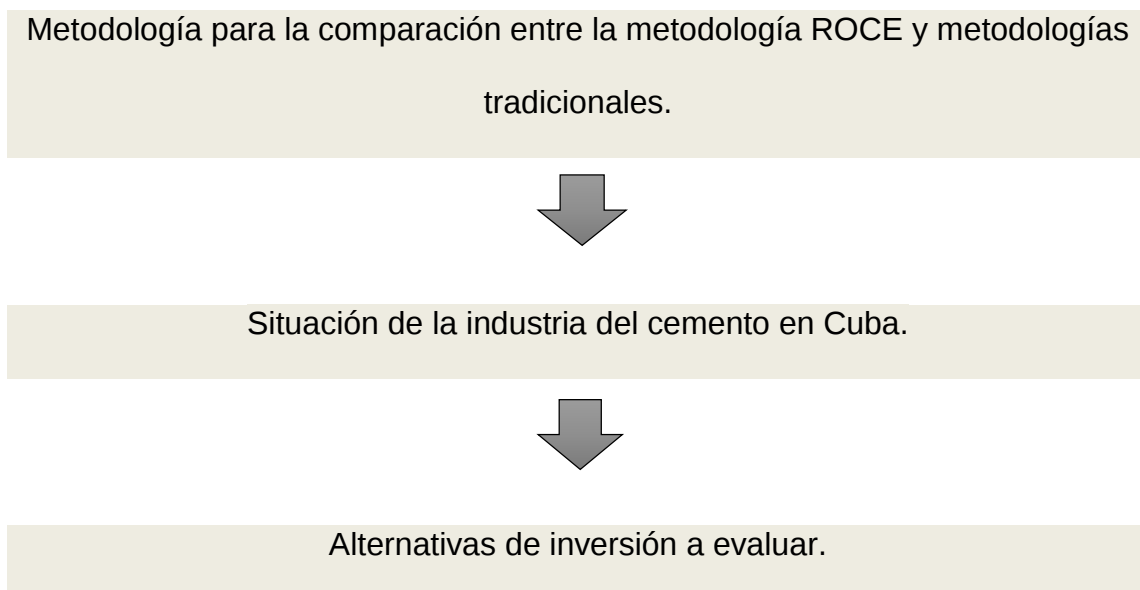
1.4 Conclusiones parciales del capítulo

1. La industria del cemento es una de las principales responsables de las emisiones de gases del efecto invernadero por el uso intensivo de energía en la producción del clínquer, núcleo estructural básico del cemento Portland.
2. La sustitución de una porción de clínquer por materiales cementicios suplementarios es una solución, ampliamente usada, para disminuir las emisiones de CO₂ y el consumo de energía.
3. Desde el punto de vista técnico, económico y ambiental ha sido demostrado que la producción de Cemento de Bajo Carbono es la alternativa más efectiva para disminuir la contaminación ambiental de la cual es responsable la industria cementera.
4. Para realizar un estudio de rentabilidad de la producción de Cemento de Bajo Carbono en la fábrica de cemento de Siguaney pueden ser aplicados métodos tradicionales de evaluación financiera y el nuevo método ROCE, así como un análisis de escenarios posibles, realizables y deseables.

CAPÍTULO II. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD DE INVERSIONES EN LA INDUSTRIA CEMENTERA CUBANA

En este capítulo se explica la metodología que se utilizará para realizar la comparación de las metodologías tradicionales y la metodología ROCE para la evaluación financiera. Se hace un diagnóstico del estado actual y potencial de la producción de cemento en Cuba. Por último se describe las alternativas de inversión para lograr la producción de cemento en Cuba en diversos escenarios productivos. A continuación se muestra el hilo conductor de este capítulo.

Figura 2.1 “Hilo conductor del Capítulo 2”



Fuente: Elaboración propia

2.1 Metodología para la comparación entre la metodología roce y metodologías tradicionales

2.1.1 Diagnóstico de la situación sin proyecto

La Situación sin proyecto (SSP) parte del concepto, que el proyecto no se ejecuta y tampoco se alcanza el objetivo deseado. SSP es un referente de partida sin la cual no se pueden establecer las ganancias o pérdidas de un proyecto dado de inversión. Del análisis de los antecedentes al proyecto saldrá la determinación de la SSP, para hacer comparaciones con las alternativas de inversión determinando así los impactos de la misma.

En la investigación que aquí se describe, se estudia la situación actual de la industria cementera cubana, teniendo en cuenta las condiciones técnicas de las fábricas y el aprovechamiento de la capacidad instalada para establecer la base que nos permitirá llevar a cabo la evaluación financiera para cada una de las alternativas de inversión.

2.1.2 Definición de las alternativas de inversión

Las alternativas de inversión se definen y evalúan teniendo en cuenta las condiciones necesarias para su realización y la viabilidad de cada propuesta. En este caso, se describen las alternativas de inversión para lograr la producción del Cemento de Bajo Carbono en la fábrica de cemento Siguaney en diversos escenarios productivos y la posterior comercialización de este. Para ello, se realiza una explicación detallada de las adecuaciones que son necesarias realizar al proceso productivo para cada alternativa y las acciones y tareas a realizar para cada una de ellas.

2.1.3 Aplicación de indicadores financieros tradicionales: VAN, TIR y PERd

En este paso se aplican técnicas de evaluación financiera tradicionales estableciendo los flujos económicos de cada alternativa de inversión. Para ello se deben tomar varios supuestos como: el costo de capital, la tasa de descuento, el nivel de producción estimado, intereses, entre otros.

Los indicadores financieros que se determinan son el VAN, TIR, PERd. En esta fase se puede realizar un análisis parcial sobre la alternativa más viable teniendo en cuenta los resultados obtenidos.

2.1.4 Aplicación del método ROCE en el contexto cubano

La aplicación del método ROCE se realiza adaptando la metodología al contexto cubano.

2.1.5 Análisis y comparación de resultados

En este paso, se analizan individualmente los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las técnicas de evaluación financiera. Se arriba a conclusiones por separado, luego se comparan los mismos para tomar la decisión final sobre la mejor alternativa de inversión.

2.2 Situación de la Industria del cemento en Cuba

La primera fábrica de cemento que hubo en Cuba se inauguró en la Habana, el 7 de julio de 1895, la cual tenía una tecnología belga de proceso seco, los hornos eran verticales y tuvo un costo de 60.0 MP y una capacidad de unas 20 toneladas diarias, o sea, de unas 4500 a 6000 t al año. Pocos años más tarde, en 1910,

dejó de producir. La tabla 2.1 muestra la historia y evolución de las primeras fábricas de cemento en Cuba entre los años 1900-1990 (Cuevas, J. d. I, 2001).

Tabla 2.1: “Primeras fábricas de cemento en Cuba (1900-1990).”

AÑO	FÁBRICA	TECNOLOGÍA
1918	Mariel	Norteamericana
1957	Cemento Santa María en Santiago de Cuba	-
1965	Ampliación de capacidad de Santiago de Cuba	-
1968	26 de Julio en Nuevitas	-
1968	Jaruco	-
1/971	Siguaney	-
1975	Ampliación de Artemisa	-
1980	Cienfuegos	-
1980	Remodelación del Mariel	-
1988	Instalación de Siguaney	Japonesa
1990	Corporaciones capital extranjero en Mariel y Cienfuegos	-

Fuente: Elaboración propia a partir De las Cuevas, 2001

En el período de 1989 a 1998 existen diferentes aspectos, derivado de la caída del proceso inversionista el aprovechamiento de la capacidad instalada se reduce vertiginosamente. Puede señalarse cómo en 1993 se produjo el 23 % de lo obtenido en 1990. En 1993 concluye el proceso inversionista de la fábrica René Arcay del Mariel, situándola como la más moderna del país por su proceso tecnológico seco (más avanzado), las operaciones de producción automatizados y los consumos de materiales y materias primas más eficientes. En el mismo año 93, el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros autorizó a la Unión de Empresas

del Cemento a constituir una Empresa Mixta con Cementos Mexicanos S.A. (CEMEX) denominada Cementos CURAZAO, con el 50% de las acciones de cada uno. A esta empresa se le vendió la unidad industrial de cemento del Mariel. La empresa mixta Cementos CURAZAO autorizó a CEMEX a comercializar el cemento en el exterior y a la Unión de Empresas de Cementos (UEC) a realizar esta gestión en el país.

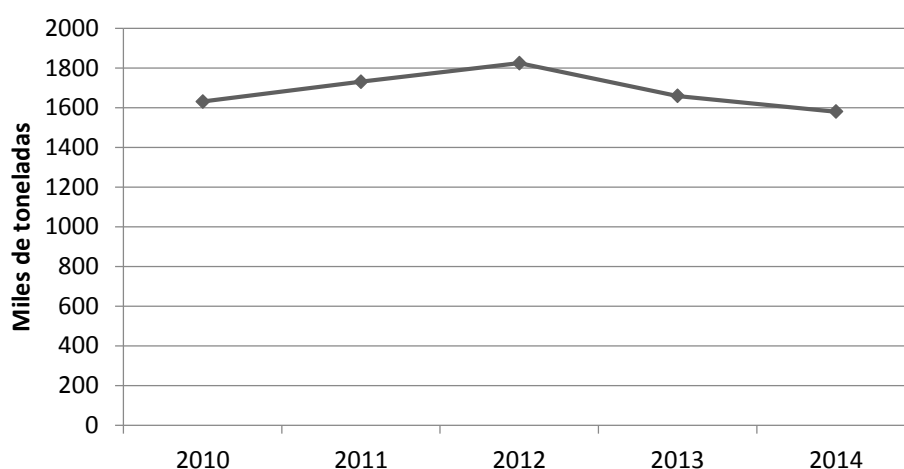
En 1996 se analiza y aprueba el redimensionamiento de la Industria del Cemento que más que un proceso de esta índole como tal, se fue a un reordenamiento tecnológico, teniendo en cuenta el deterioro productivo experimentado en los años precedentes, donde las producciones fueron muy bajas comparadas con la demanda de las construcciones. Desde 1995 y teniendo en cuenta los ingresos provenientes de las exportaciones hechas a través de CEMEX (en el acuerdo hecho con la empresa Mixta CURAZAO), el esquema financiero de la Industria de Materiales de la Construcción en el cual su principal aportador es la Industria Cementera, operaba de forma cerrada, es decir, con sus ingresos financiaba producciones con destino al consumo nacional que no reingresaban divisas, con lo cual han podido garantizarse niveles de ejecución de programas como la vivienda, reparaciones y mantenimiento de obras sociales, la biotecnología, la defensa y Recursos Hidráulicos, entre otras (Cuevas, J. d. I, 2001).

2.2.1 Producciones de cemento en los últimos años

La industria del Cemento Portland en Cuba, como consecuencia del proceso revolucionario y el desarrollo industrial que el mismo conlleva, ha experimentado, en su capacidad productiva, una expansión considerable en los últimos años. Al triunfo de la Revolución la capacidad de producción de cemento Portland gris era

de 720 millones de toneladas (MMt), posteriormente fueron modernizadas las fábricas existentes y se construyeron tres nuevas fábricas en Nuevitas, Siguaney y Cienfuegos. En el año 1989, se logró una producción por encima de los 3,5 millones de toneladas. El gráfico 2.1 muestra una relación de las producciones industriales de cemento gris en los últimos años.

Gráfico 2.1: “Producciones industriales de cemento gris en los últimos años”.



Fuente: Anuario Estadístico, 2015

Otro aspecto significativo a destacar es la introducción, desde 1989, en todas las fábricas del país, del uso del crudo cubano, como energético fundamental en la producción de cemento, en sustitución del fuel oil. Esto obligó a hacer inversiones, teniendo en cuenta las características de este producto (más pesado que el fuel oil) para lograr su asimilación. A pesar de esto el impacto económico es favorable por el ahorro de divisas y la contribución al autoabastecimiento energético.

La industria del cemento necesita grandes cantidades de energía en todas sus formas, siendo el principal componente del costo en la fabricación del cemento, por lo que resulta de vital importancia trabajar por la eficiencia energética en las

plantas productoras de cemento en el país. El consumo de energía está directamente relacionado con el tipo de proceso que se emplea en la fabricación de cemento (seco y húmedo). El proceso húmedo tiene un mayor consumo de energía que el seco por la necesidad de secar la pasta -mezcla de arcilla y piedra caliza-, formada para el proceso de elaboración del clínquer. En la tabla 2.2 se muestran las fábricas que existen en Cuba y el tipo de proceso de cada una de ellas.

Tabla 2.2: “Fábricas de cemento y sus tipos de proceso”.

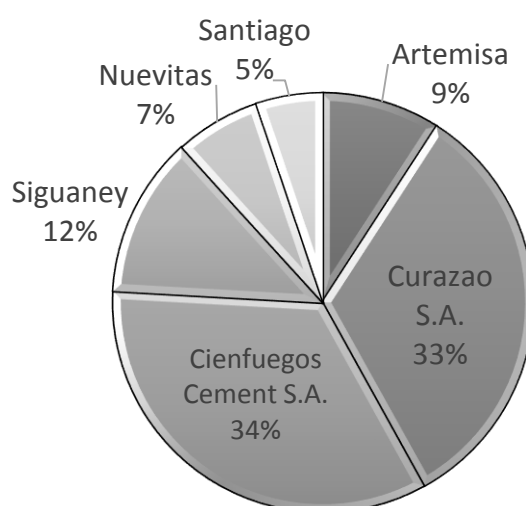
FÁBRICA	UBICACIÓN	TIPO DE PROCESO
Mártires de Artemisa	Artemisa	Vía húmeda
René Arcay	Mariel, Habana	Vía seca
Karl Marx	Guabairo, Cienfuegos	Vía seca
Siguaney	Siguaney, Sancti Spíritus	Vía húmeda
26 de Julio	Nuevitas, Camagüey	Vía húmeda
José Merceron	Santiago de Cuba	Vía húmeda

Fuente: Elaboración propia a partir de Pérez, 2015.

Como se puede ver, en el país la mayoría de las fábricas de cemento presentan un proceso de elaboración por vía húmeda, por lo que la sustitución parcial de una porción de clínquer en el cemento, tendría un mayor impacto en la eficiencia de los procesos de fabricación y en los resultados económicos de la industria cementera. Sin embargo, en los últimos años el 90% de la producción de clínquer se lleva a cabo en las fábricas de proceso seco, única vía a corto plazo de aumentar la eficiencia energética sin la ejecución de inversiones.

Actualmente en nuestro país existe una capacidad de 3.0 MM de toneladas de cemento y 2,8 MM de toneladas de clínquer³. Un análisis de la producción en el año 2014, refleja como tendencia que la mayor parte de la producción (67%) es realizada en las fábricas más modernas del país (Cienfuegos y Mariel). En estas empresas se produce el 80,5 % del P-35 (OPC, por sus siglas en inglés) y el 44.4% de PP-25 (PPC, por sus siglas en inglés) de la producción nacional. Siendo a su vez el P-35 el de mayor producción a nivel nacional con un 64.3% y el PP-25 solo en un 36.7%.

Gráfico 2.2: “Producción por fábricas de Cemento (2015)”.

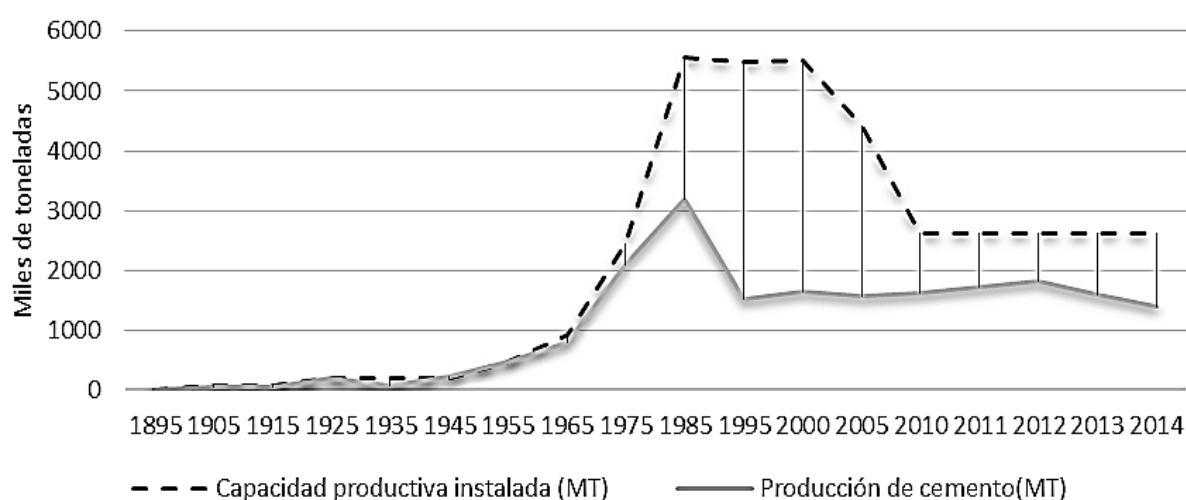


Fuente: Sánchez et al., 2016

Sin embargo, debido a las condiciones técnicas de las fábricas (exceptuando las de proceso seco), el país ha producido los últimos años con aproximadamente un 60% de aprovechamiento de su capacidad instalada. El gráfico 2.3 muestra el aprovechamiento de la capacidad de producción de cemento en Cuba (serie histórica).

³ Calculado a partir de GECEM (2011) y entrevistas a expertos del sector cementero cubano.

Gráfico 2.3: “Aprovechamiento de la capacidad de producción de cemento instalada en los últimos años”.



Fuente: Anuario Estadístico, 2015.

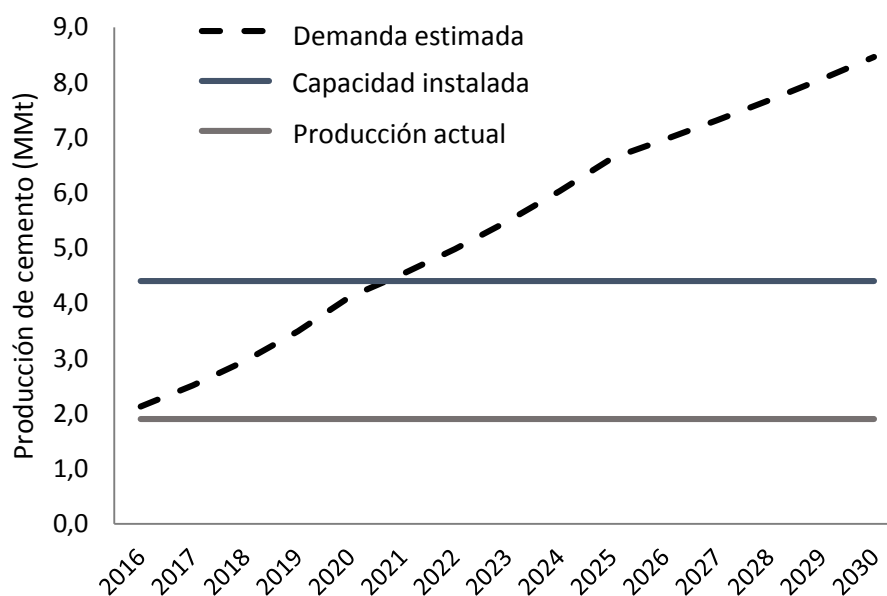
Esta es la situación de base que se toma para la SSP pues en las condiciones existentes es casi imposible aumentar el porcentaje de aprovechamiento. Esto nos permite llegar a la conclusión de que, Cuba actualmente tiene una demanda de cemento insatisfecha. Conociendo entonces la situación “de base” se evalúan las diferentes alternativas de producción para diversos escenarios del despliegue inversionista cubano. A continuación se explican detalladamente las alternativas de inversión proyectadas para el escenario cubano que serán evaluadas.

2.3 Alternativas de inversión a evaluar

La industria del cemento cubano reporta una producción de 1.8 millones de toneladas (MMt) de cemento en 2014 (ONEI, 2015). Según valoraciones del grupo empresarial del cemento (GECEM) en el país (GECEM, 2015), la producción total del cemento en 2015 ascendió a 1.9MMt. La demanda actual excede la producción, lo que indica la necesidad de inversión en este sector para

aumentar las capacidades instaladas así como la eficacia de su uso. La tecnología existente, antigua y descapitalizada, impide mayores porcentajes de aprovechamiento de la capacidad instalada debido a varios períodos de mantenimiento y de reparación de equipos y de las instalaciones. Así, los gastos en inversión de capital (CAPEX, por sus siglas en inglés) se presentan como la alternativa actual para actualizar tecnología, pero los beneficios de la inversión tienen que ser aprobados. Del gráfico 2.4 puede ser deducido un índice de la utilización del áspero 43% con respecto a la capacidad instalada (Yudiesky Cancio Díaz., Sofía Sánchez Berriel, Urs Heierli, Aurélie R. Favier, Inocencio R. Sánchez Machado, Karen L. Scrivener, José Fernando Martirena Hernández, Guillaume Habert, 2016).

Gráfico 2.4: “Capacidad de la producción contra demanda creciente en un cierto plazo”.



Fuente: Sánchez et al., 2016

Figuras oficiales del gobierno pronostican una demanda de cemento de 3.5Mt/año para el 2019 (GCEM, 2015). La proyección de demanda en la fase

culminante (2016-2020) crecerá 18 % al año. Esto es asociado a una actividad prevista de la construcción de retumbo que normalmente ocurre en las economías emergentes (*Habert, G., et al, 2010*). Durante el crecimiento anual de la fase de la demanda máxima se espera 10 % y 5 % de demanda (*N. Mahasenan, S. S., K. Humphreys, 2003*). La Fig.2 también presenta la relación del pronóstico entre la demanda del cemento y la capacidad de la producción en Cuba.

2.3.1 Alternativa 1: Situación sin proyecto (Business as Usual -BAU)

En esta alternativa, se producen los cementos tradicionales (P-35 +PP-25). La proporciones de producción se mantienen en un nivel histórico (63 % vs. 37 %, respectivamente). Los costos capitales se limitan a: (1) concluir el proceso de instalación de la planta de Santiago que comenzará a operar en 2019; (2) modernizar una línea de fabricación del horno en la fábrica de Cemento Curazao SA (cambio de tipo de proceso) para 2021; (3) modernizar un horno de clínquer en la planta de Nuevitas para 2023; y reparaciones regulares para mantener la industria, especialmente la de propiedad estatal.

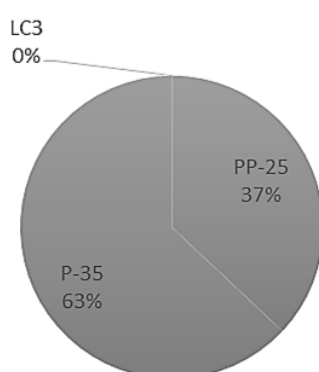
2.3.2 Alternativa 2: Tecnología tradicional y nuevas plantas de cemento (TT_NCP)

En esta alternativa se asume el aumento de la producción para satisfacer la demanda proyectada del cemento sobre el horizonte cronológico de valoración, siguiendo el esquema tecnológico tradicional de producción, que significa las mismas proporciones del cemento. Las inversiones futuras en plantas de cemento, se harán de forma gradual, siguiendo la ruta de la demanda. Las inversiones en las plantas de Santiago, Curazao S.A. y de Nuevitas no se prevén

en este panorama. Por lo tanto, partiendo de la capacidad actual de la producción, la producción adicional se asocia solamente a las plantas nuevas del cemento. Según la demanda pronosticada son requeridas 6 nuevas plantas de cemento con capacidad de 1 MMt/año.

En las alternativas 1 y 2 se asume se mantienen las proporciones de producción de cada tipo de cemento de acuerdo al esquema actual como se muestra en el gráfico 2.5.

Gráfico 2.5. “Producción de cada tipo de cemento en alternativas 1 y 2”



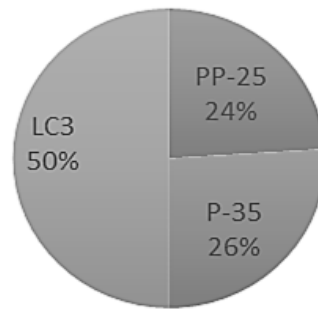
Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Alternativa 3: Reconversión de viejos hornos de clínquer a calcinadores de arcilla + producción de LC³ (LC³_R)

Esta alternativa propone la estrategia de introducir el LC³ en la industria del cemento cubano. Como la sustitución parcial de los cementos tradicionales por el LC³ ha sido demostrada técnica, económica y ambientalmente se propone cambiar la producción gradualmente (de manera que sustituya a los demás cementos) a partir de 0% de LC³ hasta el 50% antes de 2030 (ver gráfico 2.6). Según lo mencionado antes, con un proceso de conversión, es tecnológicamente factible adaptar los hornos húmedos existentes de modo que la calcinación de la

arcilla pudiera asegurar el metakaolín requerido para la producción de LC³. Cuatro calcinadores con capacidad de 300 mil toneladas/año de arcilla calcinada son necesarios para satisfacer la máxima producción de LC³ para 2030.

Gráfico 2.6: “Producción gradual de los distintos tipos de cemento”



Fuente: Elaboración propia

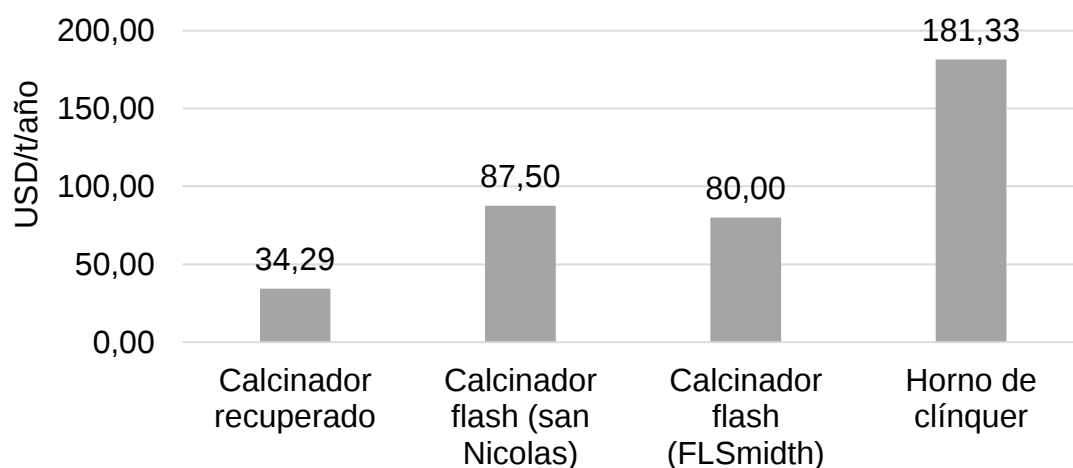
Sumando las producciones pronosticadas de LC³ y PP-25, la producción de cementos mezclados llegaría a representar el 74% de la producción total de cemento en Cuba para 2030.

2.3.4 Alternativa 4: Instalación de calcinadores flash + producción desplegada de LC³ (LC³_F)

Bajo esta alternativa, la calcinación de la arcilla debe realizarse a través de calcinadores flash. Las proporciones entre tipos del cemento se guardan según lo presentado en fig. 2.6 La tecnología flash deberá ser importada pues no se produce en el país.

Los costos de producción varían dependiendo de las capacidades instaladas de diseño y del vendedor. El gráfico 2.7 muestra el costo de inversión por tonelada⁴ para las diferentes tecnologías consideradas en los escenarios.

Gráfico 2.7. “Costo de inversión por tonelada/año para diferentes tecnologías”



Fuente: Elaboración propia

Como puede apreciarse los calcinadores recuperados presentan el menor costo de inversión por tonelada a producir, por lo que para países subdesarrollados constituye la mejor opción.

⁴ Este indicador se utiliza para comparar tecnologías y ofertas con diferentes diseños productivos.

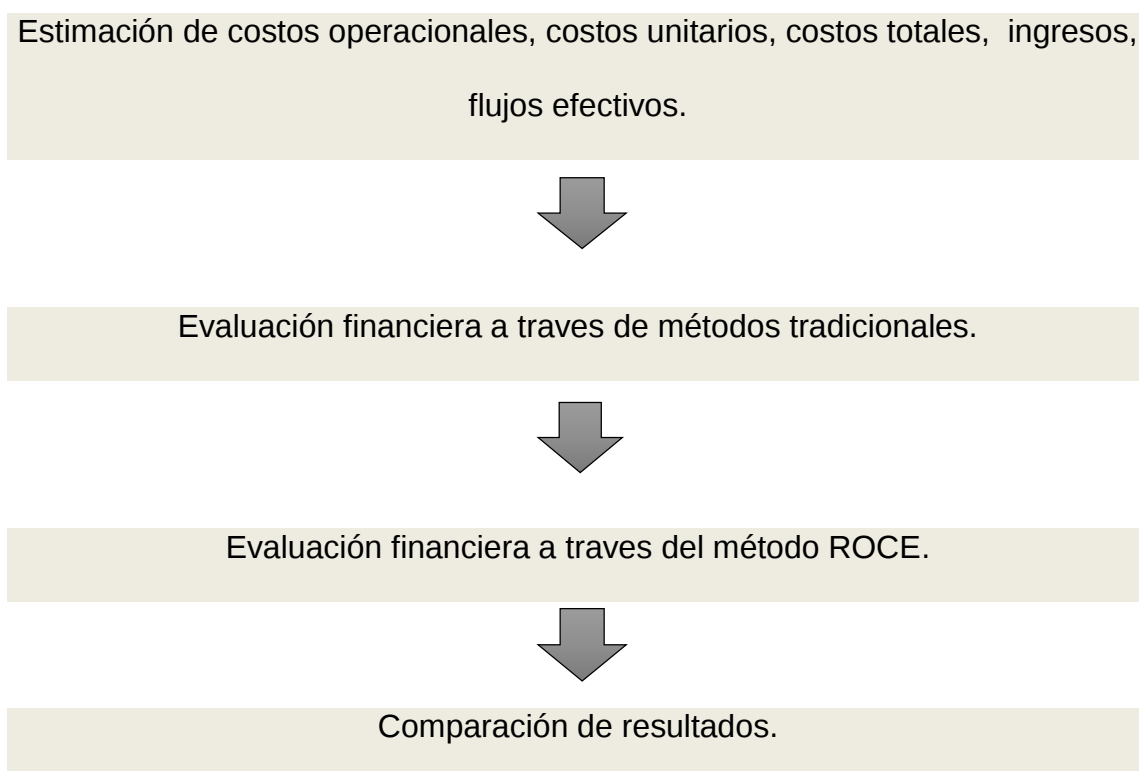
2.4 Conclusiones parciales del capítulo

1. La industria cementera en Cuba ha producido los últimos años con aproximadamente un 60% del aprovechamiento de su capacidad instalada.
2. Actualmente la mayor parte de la producción de cemento en nuestro país (67%) es realizada en las fábricas más modernas del país siendo estas la fábrica de Cienfuegos y la fábrica del Mariel.
3. La introducción de alternativas para lograr mejor eficiencia en el sector de la construcción, requiere disponibilidad de recursos financieros que en Cuba y otros países subdesarrollados escasean ya que los mismos compiten con otras prioridades de la economía nacional.

CAPITULO III: EVALUACIÓN COMPARADA DE LA RENTABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO DE BAJO CARBONO EN LA FÁBRICA DE CEMENTO SIGUANNEY

En el siguiente capítulo se presentan los supuestos para la evaluación financiera establecidos a partir de las adecuaciones realizadas al proceso productivo para cada alternativa. Se estiman los costos de inversión y operacionales y los ingresos que se obtendrán por la puesta en marcha del proyecto. Por último, se aplican las técnicas de evaluación financieras para determinar la rentabilidad de cada una de las alternativas y la decisión de la más rentable y viable para conseguir los objetivos. Como hilo conductor del capítulo se presenta la figura 3.1.

Figura 3.1 “Hilo conductor del Capítulo 3”

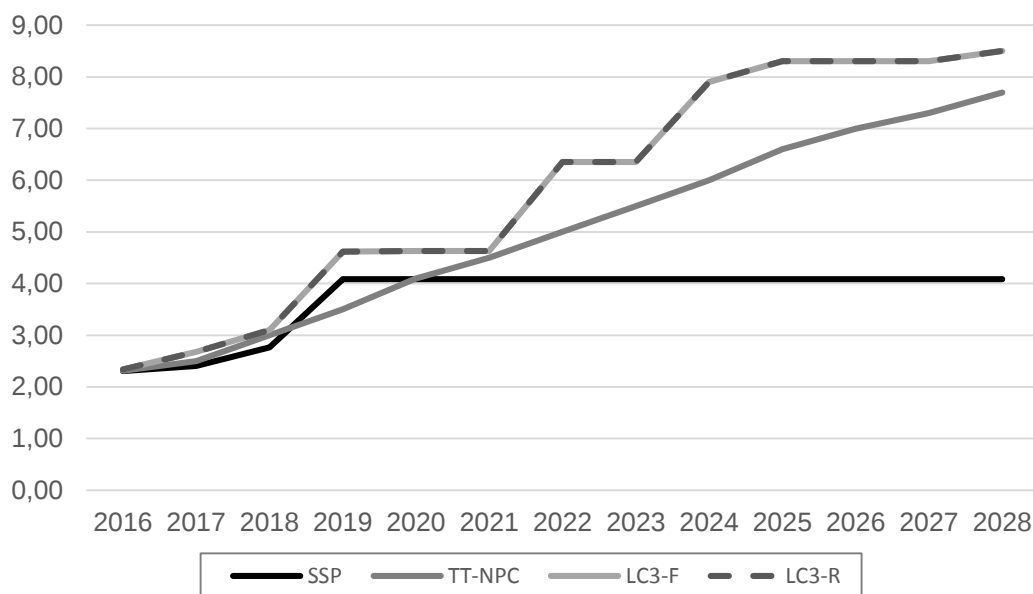


Fuente: Elaboración propia

A modo de resumen se considera necesario mostrar los distintos datos que fueron tomados como referencia y que sirvieron de punto de partida para la evaluación financiera de las distintas alternativas de inversión. En este punto serán mostrados los niveles de producción por alternativa, los supuestos tomados en cuenta para para la evaluación financiera, las proporciones de producción de los distintos tipos de cementos así como los costos de inversión para cada alternativa.

Para la determinación de los niveles de producción se tomó como dato la producción de cemento en miles de toneladas por año esperada para cada una de las alternativas. En el gráfico 3.1 donde se observan los distintos niveles de producción para cada una de las alternativas se puede ver también que las alternativas que incluyen la producción de LC³ alcanzan valores mayores que las restantes.

Gráfico 3.1: “Niveles de producción por alternativa”.



Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de la evaluación es que en todos los escenarios se busque la máxima satisfacción de la demanda. Los valores de las alternativas son diferentes en el tiempo, ya que las diferentes tecnologías poseen diferentes capacidades productivas. Para facilitar el cálculo se asume que todas trabajan al 100% de sus capacidades.

La tabla 3.1 muestra los distintos supuestos tomados como base para la evaluación financiera de cada una de las alternativas analizadas, estos se mantienen para cada una sin sufrir variación alguna.

Tabla 3.1: “Supuestos para la Evaluación Financiera”.

Costo de capital (k)	0,12
Tasa de descuento	35%
Horizonte temporal	15 años

Fuente: Elaboración propia

Las proporciones de producción de los distintos tipos de cemento se mantienen para las alternativas 1 y 2, es decir, estas alternativas se evalúan con los valores históricos: 63% de P-35 y 37% de PP-25. En las alternativas 3 y 4 se considera la introducción del LC³ paulatinamente variando las proporciones de producción como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: “Proporciones de producción de los distintos tipos de cementos (para las alternativas 3 y 4)”.

Año	P-35	PP-25	LC³	Año	P-35	PP-25	LC³
2016	55%	45%	0%	2023	45%	15%	40%
2017	55%	15%	30%	2024	45%	15%	40%
2018	55%	13%	32%	2025	34%	18%	48%
2019	55%	11%	34%	2026	34%	18%	48%
2020	55%	10%	35%	2027	34%	18%	48%
2021	55%	10%	35%	2028	26%	24%	50%
2022	45%	15%	40%	2029	26%	24%	50%

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de inversión para cada una de las alternativas evaluadas solo consideran el costo de la tecnología a instalar. Los costos de inversión son determinados a partir de la revisión bibliográfica sobre ofertas en el mercado de cemento. El costo de inversión es muy variable y depende fundamentalmente de la capacidad de la planta a instalar. No obstante, se considera apropiado el propuesto por IEA para una planta con capacidad de 1.1MMt/año en aproximadamente 263 MMUSD (*IEA-ETSAP, 2010*). Para la reconversión de un horno a calcinador el costo estimado es de 12 MMUSD (*ECRA, 2009*) y según Flsmidth (2013) un calcinador flash puede costar aproximadamente 24MM USD (*Flsmidth, 2013*). La tabla 3.3 muestra los costos de inversión para cada alternativa en cada año de inversión.

Tabla 3.3: “Costos de inversión para cada alternativa”.

Alternativa	1	2	3	4
2016	70	0	0	0
2017	90	263	12	24
2018	140	0	0	0
2019	56	263	12	24
2020	54	0	0	0
2021	80	263	0	0
2022	84	0	12	24
2023	85	263	0	0
2024	56	0	12	24
2025	74	263	0	0
2026	69	0	0	0
2027	64	263	0	0
2028	84	0	0	0
2029	74	0	0	0
2030	64	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

En la SSP, no se consideran grandes costos de inversión solo la puesta en marcha de la fábrica en Santiago de Cuba en 2019. A partir de ello, se estiman a partir de GECOM (GECOM, 2015) los costos de inversión para el mantenimiento del parque actual. En la alternativa dos serían necesarias 6 nuevas plantas de cemento para satisfacer la demanda. Con la introducción del LC³, el número de plantas de cemento necesarias se reduce a 1 que se considera podría ser la planificada en Santiago de Cuba. Además son necesarios 4

calcinadores flash o recuperados con capacidad productiva de 300 mil ton de arcilla calcinada/año.

3.1 Estimación de costos operacionales, ingresos y flujos de efectivo para cada una de las alternativas de inversión del proyecto

Teniendo toda la información necesaria, se calculan los costos de producción y se analizan los flujos de efectivo para cada alternativa de inversión.

3.1.1 Análisis de los costos unitarios y estimación de los costos totales de operación para cada alternativa de inversión

Para el análisis de los costos unitarios es necesario elaborar una ficha de costo para cada una de las alternativas de inversión. Las fichas de costo para cada alternativa calculadas por Sánchez (2015) se muestran en el anexo 4. El resumen de los costos unitarios para el P-35, el PP-25 y el LC³, teniendo en cuenta el costo en moneda total y el componente en CUC, se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: “Costos unitarios (Moneda Total/ton y CUC) para el P-35, el PP-25 y el LC³ según cada alternativa de inversión”.

Producto	Moneda Total	De ello: CUC
P-35	187.70	92.08
PP-25	174.55	80.66
LC³	160.86	68.62

Fuente: Sánchez, 2015.

Como se puede apreciar los costos de producción del LC³ son menores que los costos de producción del P-35 y del PP-25, independientemente de la alternativa de inversión que se analice.

En estos momentos se pueden estimar los costos operacionales totales para cada una de las alternativas de inversión en los próximos 15 años, horizonte temporal del proyecto. La estimación de los costos operacionales se realiza teniendo en cuenta las proyecciones de las unidades de producción por cada uno de los surtidos y el costo unitario de producción para cada una de las alternativas de inversión. Los costos totales de operación en moneda total muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: “Costos de operación (Moneda Total) para cada alternativa de inversión”.

Alternativa	1	2	3	4
2016	227,09	227,29	219,93	219,93
2017	236,55	245,99	200,20	200,20
2018	272,04	307,13	227,78	227,78
2019	402,14	344,38	333,04	333,04
2020	402,14	403,42	331,18	331,18
2021	402,14	442,77	331,18	331,18
2022	532,24	491,97	399,51	399,51
2023	532,24	541,17	399,51	399,51

2024	662,35	590,36	497,17	497,17
2025	662,35	649,40	430,51	430,51
2026	662,35	688,76	430,51	430,51
2027	662,35	718,28	393,10	393,10
2028	662,35	757,63	393,10	393,10
2029	662,35	796,99	393,10	393,10
2030	662,35	817,65	393,10	393,10

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Estimación de los ingresos del proyecto de inversión y los flujos de efectivo operacionales para cada alternativa de inversión

Los ingresos que se obtendrán por la puesta en marcha del proyecto no serán los mismos para cada alternativa de inversión, pues la producción se incrementará con la inserción de diferentes tecnologías. En este caso las alternativas tendrán ahorros en costos e ingresos/costos adicionales. Estos ingresos se presentan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: “Ingresos (Moneda Total) esperados del proyecto de inversión para los próximos 15 años”.

Alternativa	1	2	3	4
2016	272,51	272,75	263,92	263,92
2017	283,86	295,18	240,24	240,24

2018	326,44	354,22	273,33	273,33
2019	482,57	413,25	399,65	399,65
2020	482,57	484,10	397,42	397,42
2021	482,57	519,86	397,42	397,42
2022	638,69	590,36	783,34	479,41
2023	638,69	649,40	479,41	479,41
2024	794,82	708,44	596,60	596,60
2025	794,82	779,28	516,61	516,61
2026	794,82	826,51	516,61	516,61
2027	794,82	861,93	516,61	516,61
2028	794,82	909,16	471,72	471,72
2029	794,82	956,39	471,72	471,72
2030	794,82	981,19	471,72	471,72

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las estimaciones de ingresos del proyecto y costos de las alternativas de inversión se pueden estimar los flujos de efectivos en operaciones para cada una de ellas. Para determinar los flujos de efectivo es necesario restar de las utilidades los pagos fiscales. En este caso se utilizó una tasa impositiva del 35%, vigente en el país para las utilidades de las empresas. Las utilidades son los saldos entre los ingresos y los costos de operación. A continuación, en la tabla

3.7, se muestran los flujos de efectivo esperados para cada una de las alternativas.

Tabla 3.7: “Flujos de efectivo en operaciones (Moneda Total) para las alternativas de inversión”.

Alternativa	1	2	3	4
2016	-33,19	22,71	8,57	9,09
2017	185,37	18,83	6,28	6,67
2018	262,45	17,96	10,58	11,00
2019	184,18	26,53	24,96	24,84
2020	181,48	34,91	25,39	25,30
2021	216,58	27,62	25,53	25,99
2022	256,43	42,34	232,58	35,03
2023	257,78	44,37	35,12	35,68
2024	253,76	51,77	48,38	48,54
2025	278,73	55,60	40,27	40,49
2026	271,98	61,82	40,79	41,08
2027	265,23	66,72	41,30	65,97
2028	292,23	72,87	36,92	37,34
2029	278,73	78,97	37,39	37,87

2030	265,23	82,60	37,84	38,38
-------------	--------	-------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Evaluación financiera a través de métodos tradicionales

La evaluación financiera se realiza utilizando la herramienta de Microsoft Excel que permite calcular los indicadores seleccionados para el análisis: VAN y TIR. El PERd y el ROCE son calculados por la autora utilizando esta herramienta de cálculo.

3.2.1 Aplicación de herramientas de evaluación financiera para la determinación de la factibilidad económico-financiera de las alternativas de inversión del proyecto

Las principales herramientas financieras que se aplican para la evaluación de cada una de las alternativas de inversión son: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) y el Plazo de Recuperación Descontado (PERd). La forma de cálculo de todas estas herramientas financieras se explicaron en el capítulo I de este trabajo de diploma. Para el cálculo de todos estos indicadores financieros se tomó como costo de oportunidad del capital (tasa de interés) el 12%. Los resultados se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8: “Resultados financieros para cada una de las alternativas de inversión”.

Indicadores	VAN(Pesos)	TIR (%)	PRD (Años)
Variante 1	\$816.05	29%	5años, 1 meses y 15 días
Variante 2	-\$513.23	-1%	0
Variante 3	\$227.34	58%	3 años, 8 meses y 10 días

Variante 4	\$123.53	33%	5años y 5 días
-------------------	----------	-----	----------------

Fuente: Elaboración propia.

Evidenciado por los resultados de todas las herramientas financieras aplicadas el proyecto es factible, financieramente. Las alternativas 1, 3 y 4 son aceptables.

Como tres alternativas de inversión son aceptables se puede decidir por la aplicación de una estrategia de inversión para los próximos años. En el corto plazo, con puesta en marcha en el 2017, se invertiría en la alternativa 2. Luego, en un mediano plazo (2017-2019) se invertiría en la alternativa 3. Culminaría esta estrategia de inversión con la adquisición y puesta en marcha de la planta de calcinación flash (2017). Esta estrategia permitiría aumentar de manera sostenida la capacidad de producción de Cemento de Bajo Carbono sin afectar la producción de clínquer y de cemento P-35.

Al aplicar el análisis de sensibilidad (Tabla 3.9) se tuvieron en cuenta las variables: costo de capital, costo de inversión, costo unitario de producción, precio del cemento, % PP-25 SSP y % de P-35 SSP.

Se concluye que las variables más sensibles son: el costo de inversión y operación. Se utiliza una variabilidad de 2%, 10% y 20%. Las variables más importantes demuestran que las alternativas 3 y 4, donde se produce el LC³, son las más factibles.

Tabla 3.9: “Resultados del análisis de sensibilidad (moneda total)”

Escenarios evaluados para las alternativas de inversión										
Variación	Variables	Valores Actuales	Alta tasa	Baja tasa	Baja inversión	Alta inversión	Bajos Costos	Altos Costos	Baja producción PP-25	Alta producción PP-25
2%	Costo de capital (%)	0.12	0.10	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
20%	Costo de inversión SSP (MMPesos)	\$538.74	\$538.74	\$538.74	\$430.99	\$646.49	\$538.74	\$538.74	\$538.74	\$538.74
20%	Costo de inversión TT-NPC (MMPesos)	\$768.45	\$768.45	\$768.45	\$614.76	\$922.14	\$768.45	\$768.45	\$768.45	\$768.45
20%	Costo de inversión LC3-R (MMPesos)	\$31.21	\$31.21	\$31.21	\$24.97	\$37.45	\$31.21	\$31.21	\$31.21	\$31.21
20%	Costo de inversión LC3-F (MMPesos)	\$53.90	\$53.90	\$53.90	\$43.12	\$64.68	\$53.90	\$53.90	\$53.90	\$53.90
10%	Costo unitario P-35 (\$)	\$ 187.70	\$ 187.70	\$ 187.70	\$ 187.70	\$ 187.70	\$ 168.93	\$ 206.47	\$ 187.70	\$ 187.70
10%	Costo unitario PP-25 (\$)	\$ 174.55	\$ 174.55	\$ 174.55	\$ 174.55	\$ 174.55	\$ 157.10	\$ 192.01	\$ 174.55	\$ 174.55
10%	Costo unitario LC3 (\$)	\$ 160.86	\$ 160.86	\$ 160.86	\$ 160.86	\$ 160.86	\$ 144.77	\$ 176.95	\$ 160.86	\$ 160.86
15%	% PP-25 SSP	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.31	0.43
15%	% P-35 SSP	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.69	0.57
VAN SSP		\$ 816.05	\$ 951.07	\$ 704.49	\$ 923.80	\$ 708.31	\$ 736.43	\$ 895.68	\$ 870.74	\$ 781.63
VAN TT-NPC		\$ (513.23)	\$ (598.11)	\$ (440.41)	\$ (359.54)	\$ (666.92)	\$ (551.46)	\$ (474.99)	\$ (479.63)	\$ -536.93
VAN LC3-R		\$ 227.34	\$ 225.35	\$ 229.11	\$ 233.58	\$ 221.09	\$ 189.51	\$ 265.16	\$ 250.04	\$ 204.63
VAN LC3-F		\$ 123.53	\$ 118.70	\$ 127.78	\$ 134.30	\$ 112.74	\$ 94.01	\$ 153.03	\$ 139.82	\$ 107.23

3.3 Evaluación financiera a través del método ROCE

Para dar continuidad al trabajo se procede a realizar la evaluación financiera a través del método ROCE ya adaptado al contexto cubano, en la tabla 3.10 se presentan algunos datos utilizados y los resultados obtenidos para cada alternativa evaluada.

Tabla 3.10: “Cálculo de ROCE por alternativa de inversión”.

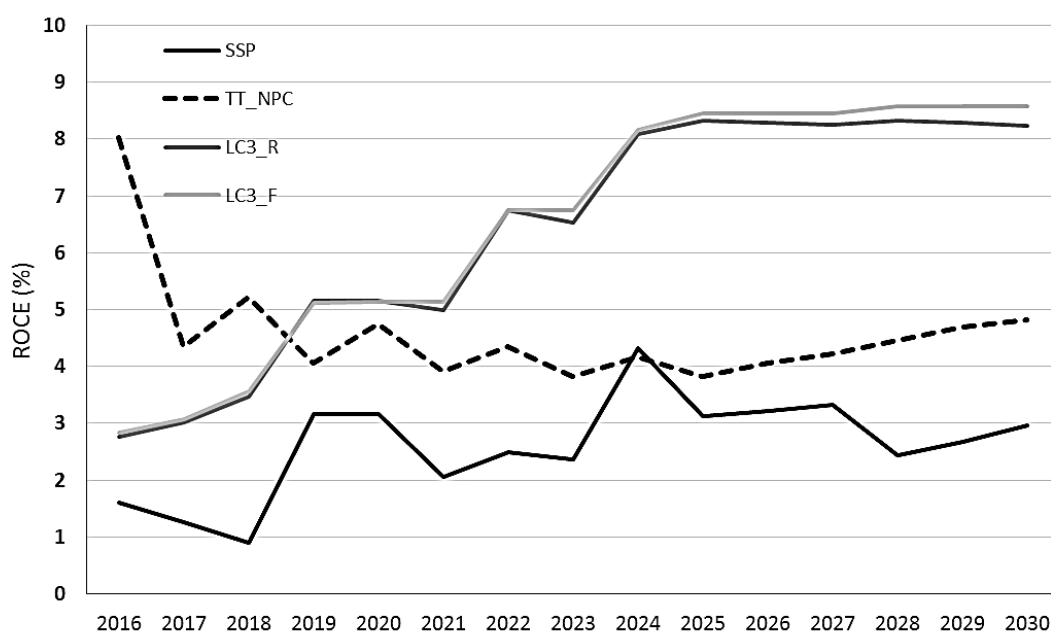
Alternativa 1				Alternativa 2			
Año	EBIT (\$)	Cap.Emp. (\$)	ROCE (%)	Año	EBIT (\$)	Cap.Emp. (\$)	ROCE (%)
2016	112,63	70,00	1,61	2016	84,50	10,50	8,03
2017	112,81	90,00	1,25	2017	87,90	20,20	4,34
2018	124,74	140,00	0,89	2018	101,40	19,50	5,21
2019	177,31	56,00	3,17	2019	113,80	28,10	4,06
2020	170,49	54,00	3,16	2020	128,20	27,00	4,75
2021	163,93	80,00	2,05	2021	135,20	34,60	3,91
2022	208,62	83,50	2,50	2022	144,50	33,30	4,34
2023	200,60	84,50	2,37	2023	152,80	40,00	3,82
2024	240,03	55,50	4,32	2024	160,30	38,40	4,17
2025	230,85	74,00	3,12	2025	169,60	44,30	3,82
2026	221,92	69,00	3,22	2026	172,90	42,60	4,06
2027	213,39	64,00	3,33	2027	173,40	41,00	4,23
2028	205,18	84,00	2,44	2028	175,90	39,40	4,46
2029	197,29	74,00	2,67	2029	177,90	37,90	4,69

2030	189,70	64,00	2,96	2030	175,50	36,50	4,81
Alternativa 3				Alternativa 4			
Año	EBIT (\$)	Cap.Emp. (\$)	ROCE (%)	Año	EBIT (\$)	Cap.Emp. (\$)	ROCE (%)
2016	84,97	30,80	2,76	2016	84,97	30,00	2,83
2017	91,54	30,38	3,01	2017	91,54	29,78	3,07
2018	101,75	29,28	3,48	2018	101,75	28,64	3,55
2019	145,39	28,21	5,15	2019	145,39	28,40	5,12
2020	140,16	27,18	5,16	2020	140,16	27,31	5,13
2021	134,77	26,97	5,00	2021	134,77	26,26	5,13
2022	175,68	26,02	6,75	2022	175,68	26,02	6,75
2023	168,92	25,87	6,53	2023	168,92	25,02	6,75
2024	202,13	25,00	8,09	2024	202,13	24,76	8,16
2025	201,28	24,15	8,33	2025	201,28	23,81	8,45
2026	193,53	23,34	8,29	2026	193,53	22,90	8,45
2027	186,09	22,56	8,25	2027	186,02	22,02	8,45
2028	181,71	21,81	8,33	2028	181,71	21,17	8,58
2029	174,72	21,09	8,28	2029	174,72	20,35	8,58
2030	168,00	20,40	8,23	2030	168,00	19,57	8,58

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 3.2 muestra detalladamente los resultados obtenidos de la evaluación financiera por el ROCE donde se puede observar que las alternativas 3 y 4 son más rentables. Sin embargo, es necesario destacar que ninguna supera el costo de capital, lo que está en concordancia con estudios anteriores realizados utilizando este método en la industria cementera europea (M. Boyer, et al, 2013).

Gráfico 3.2 “Resultados financieros para cada una de las alternativas de inversión”



Fuente: Elaboración propia a partir de Cancio, 2016

La considerable diferencia entre el ROCE de las alternativas 3 y 4 con las primeras se debe fundamentalmente a los bajos costos de inversión que estas alternativas requieren. La SSP, a pesar de reportar bajos costos también presenta alta ineficiencia productiva lo que reduce los márgenes de ganancia que permiten la recuperación de inversiones.

3.4 Comparación de los resultados

Los resultados de ambas metodologías muestran que la mejor alternativa es producir el Cemento de Bajo Carbono. El Roce que se muestra en la tabla resumen 3.11, es el promedio del periodo evaluado. Sin embargo, se notan dos grandes diferencias en los resultados:

- 1- El peor escenario según los métodos tradicionales es la inversión en nuevas plantas de cemento, pero según el método ROCE es la SSP.
- 2- El mejor resultado según los métodos tradicionales es la reconversión de hornos de clínquer para la producción de arcilla calcinada mientras que el método ROCE apunta hacia la inversión en un calcinador flash.

Tabla 3.11: “Resultados de la Evaluación financiera para cada alternativa de inversión”.

Indicadores	VAN(Pesos)	TIR (%)	PRD (Años)	ROCE (%)
Variante 1	\$816.05	29%	5 años, 1 mes y 15 días	3%
Variante 2	-\$513.23	-1%	0	5%
Variante 3	\$227.34	58%	3 años, 8 meses y 10 días	6%
Variante 4	\$123.53	33%	5 años y 5 días	7%

Fuente: Elaboración propia.

Este resultado se explica en la esencia de los indicadores y lo que cada uno expresa. Los métodos tradicionales muestran la rentabilidad de la inversión a través de los flujos de caja. El ROCE es una razón financiera que expresa la rentabilidad esperada por peso invertido. Al incluir el indicador Capital Empleado (*Capital Employed*) que relaciona los costos totales de inversión con las

capacidades productivas de cada tecnología el ROCE cambia, en relación a los métodos tradicionales.

No obstante, el ROCE es una herramienta diseñada para las economías de mercado y su adaptación a las condiciones de la economía cubana, necesitan ser estudiadas con mayor profundidad. A grandes rasgos se aprueba la utilización de ambos métodos, conociendo previamente sus particularidades y significado.

3.5 Conclusiones parciales del capítulo

1. Las alternativas de inversión del proyecto son viables desde el punto de vista técnico, no sin la presencia de algunos riesgos atenuables.
2. La producción del cemento LC³ es más barato y emite menos cantidad de CO₂ por tonelada producida que el cemento P-35, bajo cualquier alternativa de inversión analizada.
3. Las alternativas de inversión 1, 3 y 4 son factibles financieramente, siendo preferible la alternativa 1 a corto plazo, existiendo la posibilidad de la realización de una estrategia de inversión a largo plazo con las alternativas 3 y 4.
4. Ambas metodologías evaluadas (métodos tradicionales y ROCE) demostraron que la producción de Cemento de Bajo Carbono es la mejor alternativa de inversión.

CONCLUSIONES

1. La sustitución de una porción de clínquer por materiales cementicios suplementarios es una solución, ampliamente usada, para disminuir las emisiones de CO₂ y el costo por tonelada en la industria del cemento.
2. El Cemento de Bajo Carbono es un sustitutivo perfecto del cemento gris P-35 tradicional, con similares características físicas y mecánicas.
3. La producción de Cemento de Bajo Carbono en la Empresa del Cemento de Siguaney, Sancti Spíritus, tiene impactos favorables en el costo, las emisiones de CO₂ y el consumo de potadores energéticos por tonelada producida.
4. Aunque ambas metodologías aportan resultados diferentes en cuanto al mejor escenario de inversión ambas apuntan hacia las alternativas que involucran la producción de CBC como la alternativa más rentable y viable.
5. La diferencia en los resultados obtenidos por ambas metodologías radica en la esencia de los indicadores de cada metodología de evaluación y lo que cada uno expresa y sus resultados pueden complementarse.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con las investigaciones de la producción del cemento LC³ como alternativa más rentable para ampliación de las capacidades productivas de la industria cementera.
2. Seguir profundizando en los métodos de evaluación de proyectos, para su posible introducción y generalización, como práctica cotidiana.
3. Estudiar con mayor profundidad la adaptación a las condiciones de la economía cubana del método ROCE.
4. Realizar un seguimiento continuo a la ejecución de las inversiones, dejando constancias que permitan la revisión documental, tan necesaria a la hora de evaluaciones futuras.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALSTOM (2014) Oxy and post-combustion technologies. [Cited 2014 11-3-2014]; Available from: <http://www.alstom.com/power/coal-oil/carbon-capture-solutions/oxypost-combustion-technology/>
2. Alujas, A. (2010). Obtención de un material puzolánico de alta reactividad a partir de la activación térmica de una fracción arcillosa multicomponente, UCLV.
3. Andrés, L.M.V. (2014) Cemento de bajo carbono a partir del sistema Cementicio ternario clínquer – arcilla calcinada –Caliza. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Cuba. Departamento de ingeniería civil. . Universidad “Marta Abreu” de Las Villas.
4. Barnett, K. W. a. E. T. (2010) Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from the Portland cement Industry. October: www.epa.gov/nsr/ghgdocs/cement.pdf.
5. Carratalá, F. A. (2015) Arcillas caoliníticas en la región norcentral de cuba para su uso en la fabricación del cemento LC³. Julio/2015.Presentación power point.
6. Castillo, I. M. (2012). Estudio de factibilidad económico-financiera de la producción de metakaolín y su utilización en la producción de cemento en la fábrica de cemento de Siguaney, Sancti Spíritus. Tesis de Diploma. Cuba. Departamento de Economía Universidad “Marta Abreu” de Las Villas.

7. CEMBUREAU (2009) Sustainable cement production. Co-processing of alternative fuels and raw materials in the European cement industry: www.cembureau.eu.
8. CEN, E.-. (2011). "Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements." p. 29.
9. CSI (2010) Cement Industry Energy and CO₂ Performance "Getting the Numbers Right". World Business Council for Sustainable Development: www.wbcsdcement.org. p. 42.
10. Cuevas, J. d. I. (2001). Historia de la Industria de Materiales de la construcción en Cuba. La Habana.
11. Damineli, B.L., R.G. Pileggi, and V.M. John, (2011) Lower binder intensity eco-efficient concretes, in Eco-efficient concrete. Woodhead publishing. p. 20.
12. Damtoft, J.S., et al., (2008) Sustainable development and climate change initiatives. Cement and Concrete Research, 38: p. 115-127.
13. ECRA, 2009. ECRA__Technical_Report_CCS_Phase_II [WWW Document].URL http://www.ecra-online.org/fileadmin/redaktion/files/pdf/ECRA__Technical_Report_CCS_Phase_II.pdf (Accessed 10.20.15).
14. EPA (2013) Carbon Dioxide Capture and Sequestration.
15. FICEM (2013) Federación Interamericana del Cemento. Informe estadístico. Disponible en: www.cem.org.

16. Flsmidth, 2013. Información no publicada.
17. GECEM (2015) Diagnostico del Grupo Empresarial del Cemento.
18. Habert, G., et al., Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives. Cement and Concrete Research, 2010(40): p. 820 – 826.
19. Hendriks, C.A., et al (1998). Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry.in Fourth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies. 1998.
20. IEA-ETSAP (2010) Cement Production Highlights: Technology Brief I03-June, 2010.(Accessed.28-4-15)
21. IEA-WBCSD (2009). Cement Roadmap targets, International Energy Agency and World Business Council for Sustainable Development.
22. J. Pearl, J. R, (2013) Investment banking: valuation, leveraged buyouts, and mergers and acquisitions, John Wiley & Sons.
23. Lam, M. B. R. (2010). Zeolita Natural Cubana del Tipo Clinoptilolita-Heulandita como Material Cementicio Suplementario en Hormigones. Tesis En Opción de Grado a Doctor en Ciencias Técnicas. Ciudad de La Habana. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
24. Machado, I. R. S. (2010). Monografía Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión. Programa de Maestría de Economía. Universidad de Guayaquil de Ecuador. Febrero 2010.

25. Molina., J. V. (2014) Estudio de pre factibilidad de la producción de Cemento de Bajo Carbono en la fábrica de cemento Siguaney. Tesis de Diploma. Cuba. Departamento de ingeniería civil. Universidad “Marta Abreu” de Las Villas.
26. Müller, N. a. J. H. (2008) A blueprint for a climate friendly cement industry, WWF. Lafarge Conservation Partnership: www.panda.org/climatesavers.
27. NC, 2005. ISO 14040. GESTIÓN AMBIENTAL—ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA — PRINCIPIOS Y MARCO DE REFERENCIA. Available at: <http://www.iso.ch>.
28. NC, 2000. ISO 14041. GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA. DEFINICION DEL OBJETIVO Y ALCANCE Y ANALISIS DEL INVENTARIO. Available at: <http://www.iso.ch>.
29. NC, 2001a. ISO 14042. GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA. EVALUACION DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA. Available at: <http://www.iso.ch>.
30. NC, 2001b. ISO 14043. GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA. INTERPRETACION DEL CICLO DE VIDA. Available at: <http://www.iso.ch>.

31. N. Mahasen, S. S., K. Humphreys, (2003) The Cement Industry and Global Climate Change: Current and Potential Future Cement Industry CO₂ Emissions A2 - Kaya, J. Gale, Greenhouse Gas Control Technologies - 6th International Conference, Pergamon, Oxford, pp. 995-1000.
32. ONEI (2015) Statistical Yearbook of Cuba, Oficina Nacional de Estadística e Información.
33. Pekmezci, B. Y. a. S. A. z. (2004) Optimum usage of a natural pozzolans for themaximum. Cement and Concrete Research, 2004(34): p. 2175 – 2179.
34. R. Fleischman, T. T (2006). The History of Management Accounting in the U.S, in: A.G.H. Christopher S. Chapman, D.S. Michael (Eds.) Handbooks of Management Accounting Research, Elsevier 2006, pp. 1071-1089.
35. R.A. Brealey, S. C. M., F. Allen, P. Mohanty (2012), Principles of corporate finance, Tata McGraw-Hill Education 2012.
36. Ramírez, J. P. (2015) Proyección de las capacidades productivas cementeras ante escenarios diversos derivados del despliegue inversionista cubano. Tesis de Diploma. Cuba. Departamento de Economía Universidad “Marta Abreu” de Las Villas.
37. Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries. (2000).

38. Sánchez S., F. A., Rosa E., Sánchez I.R., Heierli U., Scrivener K., Martirena F., Habert G (2015). "Assessing the environmental and economic potential of Limestone Calcined Clay Cement in Cuba."
39. Sanchez, S. (2015) Economic and environmental impacts of LC³. Update of Cuban case. Presentación de power point. Dic 2015. Santa Clara, December 2015.
40. Taylor, M., C. Tam, and D. Gielen, (2006) Energy Efficiency and CO₂ Emissions from the Global Cement Industry in Energy Efficiency and CO₂ Emission Reduction Potentials and Policies in the Cement Industry. 4-5 September, Energy Technology Policy Division International Energy Agency: IEA, Paris. p. 77
41. Turanlı, L., B. Uzal, and F. Bektas, (2004) Effect of material characteristics on the properties of blended cements containing high volumes of natural pozzolans. Cement and Concrete Research, 34(12): p. 2277 – 2282.
42. Vizcaíno-Andrés, L.M., Sánchez-Berriel, S., Damas-Carrera, S., Pérez-Hernández, A., Scrivener, K.L., Martirena-Hernández, J.F., (2015) Industrial trial to produce a low Clinker, low carbon Cement. Materiales de Construcción Vol. 65, Issue 317, January–March 2015, e045 ISSN-L: 0465-2746 <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2015.00614>.
43. WBCSD, I., (2009) Cement Technology Roadmap 2009. Carbon emissions reductions up to 2050 (CSI report). International Energy

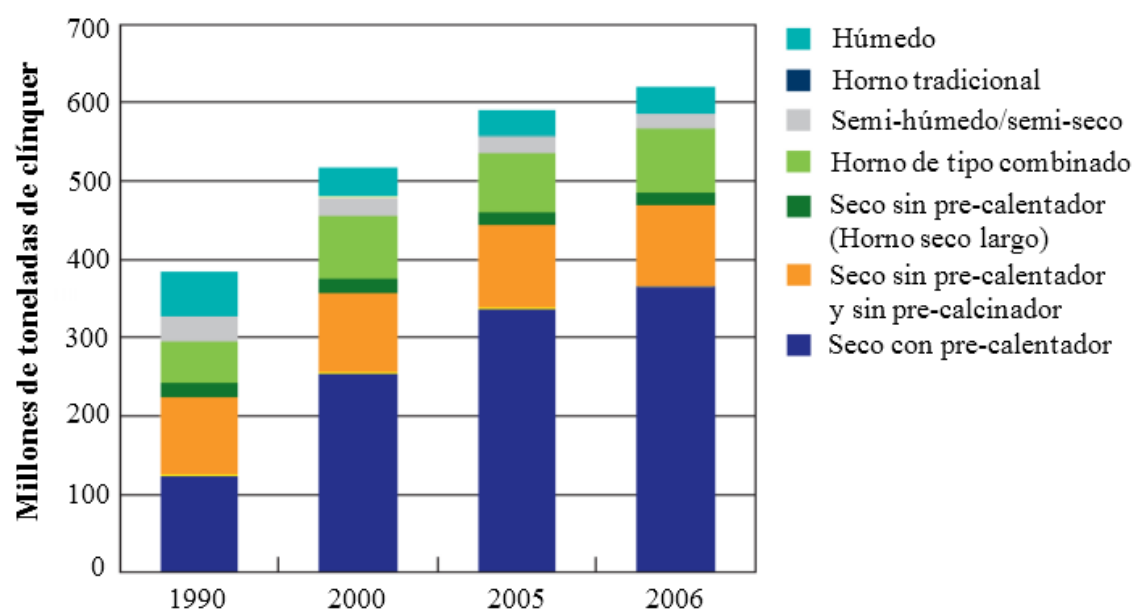
Agency and World Business Council for Sustainable Development:
www.wbcsd.org.

44. Worrell, E. and C. G. (2008) Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making, in An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California:
www.energystar.gov.

45. Yudiesky Cancio Díaz., Sofia Sánchez Berriel, Urs Heierli , Aurélie R. Favier, Inocencio R. Sánchez Machado, Karen L. Scrivener, José Fernando Martirena Hernández, Guillaume Habert (2016) Limestone calcined clay cement as a sustainable solution to meet expanding cement demand in emerging economies. (Artículo en proceso de publicación.)

ANEXOS

ANEXO 1 “VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DE CLÍNQUER ASOCIADO A CADA TECNOLOGÍA DE LOS PAÍSES INSCRITOS AL PROYECTO GNR”.



Fuente: Vizcaíno, 2014

**ANEXO 2 “RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ELEMENTOS
PREFABRICADOS PRODUCIDOS EN UEB REMEDIOS”.**

No. muestra	Elementos	Tipo cemento	Cem. (kg)	a/c real	Asent. (cm)	Cant. Elem.	Resistencia media (MPa)			Rendim.
							3d	7d	28d	
M30	▪ Cimiento C1	CBC	330	0.58	11.0	5	-	19,0	24,4	0.74
M381	▪ Cajón 1x1x2 ▪ Cimiento C-1 ▪ Panel cuña PC-3 ▪ Losa GP LM 32-5 ▪ Postes para cerca ▪ Baranda para puentes ▪ T-26 pared	CBC	360	0.58	8.0	17	-	21.0	31,4	0.87
M393	▪ Panel cuña PC-24	CBC	360	0.59	14.0	1	-	19,7	27,7	0.77
M25	▪ Cimiento C1	CBC	360	0.58	12.0	5	-	18,5	30,8	0.86
M370	▪ Panel cuña PC-3	P-35	360	0.49	11.0	1	22,7	-	35,0	0.86
M21	▪ Panel cuña PC-3	P-35	360	0.49	9.0	1	23,5	-	37,3	1.04
M5	▪ Panel cuña PC-24	P-35	360	0.49	10.0	1	20,0	-	36,2	1.00
M397	▪ Baranda para puentes	P-35	360	0.49	10.0	1	20,4	-	33,2	0.92
M6	▪ Panel cuña PC-24	P-35	375	0.45	10.0	1	-	22,0	33,2	0.89

Fuente: Vizcaíno 2014

**ANEXO 3 “RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y
ABSORCIÓN EN BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN”.**

Dimensiones bloques (mm)	Consumo de cemento (kg/m³)	Resistencia media a 7d (MPa)	Resistencia media a 28d (MPa)	Rendimiento	% absorción
500 x 200 x 150	300	3.3	5.9	2.0	5.6
Especificación	-	4.0	5.0	-	≤10

Fuente: Vizcaíno 2014

**ANEXO 4 “FICHAS DE COSTO PARA CADA ALTERNATIVA DE
INVERSION”**

FICHA DE COSTOS : LCC_10				LCC_Yaguajay_Truck_Calciner		
EMPRESA: SIGUANAY						
		Consumo	Precio		Costo por tonelada.	
Conceptos de gastos	UM	Indice	Total	De ello: CUC	Total	De ello: CUC
1	3	4	6	7	8	9
MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES					71.07	62.06
Caliza	Kg/ton	150.00	3.48	1.69	0.52	0.25
Clinker Cfgos.	Kg/ton	480.00	101.87	89.94	48.90	43.17
Arcilla calcinada	Kg/ton	300.00	44.36	40.98	13.31	12.29
Yeso	Kg/ton	70.00	36.82	8.79	2.58	0.62
Bolas de Molienda	Kg/ton	0.10	1,347.50	976.56	0.14	0.10
Lubricantes	Kg/ton	0.39	2,900.00	2,900.00	1.12	1.12
Energía eléctrica	Kwh/ton	40.16	112.20	112.20	4.51	4.51
SUBTOTAL GASTOS DE ELABORACIÓN					89.79	6.56
OTROS GASTOS DIRECTOS					6.89	0.00
GASTOS DE FUERZA DE TRABAJO (DIRECTOS)					17.85	0.00
GASTOS INDIRECTOS DE PRODUCCION					41.94	4.10
GASTOS GENERALES Y DE ADMINISTRACIÓN					5.18	0.16
GASTOS DE DISTRIBUCIÓN Y VENTA					10.13	1.69
OTROS GASTOS					7.32	0.56
GASTOS BANCARIOS	\$				0.47	0.05

GASTOS TOTALES O COSTOS DE PRODUCCION					160.86	68.62
GASTOS DE OPERACIÓN COMERCIAL	\$				0.00	0.00
GASTOS TOTALES (hasta Exportación)					160.86	68.62
GASTOS TOTALES (con toda la circulac.)					160.86	68.62

FICHA DE COSTOS : PPC (100% ck Cfgos)					PPC	
EMPRESA: SIGUANEY						
		Consumo	Precio		Costo por tonelada.	
Conceptos de gastos	UM	Indice	Total	De ello: CUC	Total	De ello: CUC
1	3	4	6	7	8	9
MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES					84.77	74.10
Clinker Cfgos.	Kg/ton	750.00	101.87	89.94	76.40	67.46
Flete Toba	Kg/ton	200.00	3.78	2.40	0.76	0.48
Yeso	Kg/ton	50.00	36.82	8.79	1.84	0.44
Bolas de Molienda	Kg/ton	0.10	1,347.50	976.56	0.14	0.10
Lubricantes	Kg/ton	0.39	2,900.00	2,900.00	1.12	1.12
Energía eléctrica	Kwh/ton	40.16	112.20	112.20	4.51	4.51
SUBTOTAL GASTOS DE ELABORACIÓN					89.79	6.56
OTROS GASTOS DIRECTOS					6.89	0.00
GASTOS DE FUERZA DE TRABAJO (DIRECTOS)					17.85	0.00
GASTOS INDIRECTOS DE PRODUCCION					41.94	4.10
GASTOS GENERALES Y DE ADMINISTRACIÓN					5.18	0.16
GASTOS DE DISTRIBUCIÓN Y VENTA					10.13	1.69
OTROS GASTOS					7.32	0.56
GASTOS BANCARIOS	\$				0.47	0.05
GASTOS TOTALES O COSTOS DE PRODUCCION					174.55	80.66

GASTOS DE OPERACIÓN COMERCIAL	\$				0.00	0.00
GASTOS TOTALES (hasta Exportación)					174.55	80.66
GASTOS TOTALES (con toda la circulac.)					174.55	80.66

FICHA DE COSTOS : OPC (100% ck Cfgos)					OPC	
EMPRESA: SIGUANEY						
		Consumo	Precio		Costo por tonelada.	
Conceptos de gastos	UM	Indice	Total	De ello: CUC	Total	De ello: CUC
1	3	4	6	7	8	9
MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES					97.91	85.52
\ Caliza	Kg/ton	57.50	3.48	1.69	0.20	0.10
Clinker Cfgos.	Kg/ton	880.00	101.87	89.94	89.65	79.15
Yeso	Kg/ton	62.50	36.82	8.79	2.30	0.55
Bolas de Molienda	Kg/ton	0.10	1,347.50	976.56	0.14	0.10
Lubricantes	Kg/ton	0.39	2,900.00	2,900.00	1.12	1.12
Energía eléctrica	Kwh/ton	40.16	112.20	112.20	4.51	4.51
SUBTOTAL GASTOS DE ELABORACIÓN					89.79	6.56
OTROS GASTOS DIRECTOS					6.89	0.00
GASTOS DE FUERZA DE TRABAJO (DIRECTOS)					17.85	0.00
GASTOS INDIRECTOS DE PRODUCCION					41.94	4.10
GASTOS GENERALES Y DE ADMINISTRACIÓN					5.18	0.16
GASTOS DE DISTRIBUCIÓN Y VENTA					10.13	1.69
OTROS GASTOS					7.32	0.56
GASTOS BANCARIOS	\$				0.47	0.05
GASTOS TOTALES O COSTOS DE PRODUCCION					187.70	92.08

GASTOS DE OPERACIÓN COMERCIAL	\$				0.00	0.00
GASTOS TOTALES (hasta Exportación)					187.70	92.08
GASTOS TOTALES (con toda la circulac.)					187.70	92.08

ANEXO 5 “CÁLCULO DE LOS FLUJOS DE EFECTIVOS OPERACIONALES PARA 15 AÑOS PARA ALTERNATIVA 1”

Situación sin proyecto(Business as Usual -BAU).		<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>15</u>
	F.Actualizados	<u>2016</u>	<u>2017</u>	<u>2018</u>	<u>2019</u>	<u>2020</u>	<u>2021</u>	<u>2022</u>	<u>2023</u>	<u>2024</u>	<u>2025</u>	<u>2026</u>	<u>2027</u>	<u>2028</u>	<u>2029</u>	<u>2030</u>
Inversión inicial		70,00	90,00	140,00	56,00	54,00	80,00	83,50	84,50	55,50	74,00	69,00	64,00	84,00	74,00	64,00
	538,74	62,50	71,75	99,65	35,59	30,64	40,53	37,77	34,13	20,01	23,83	19,84	16,43	19,25	15,14	11,69
Flujo de Efectivo Inicial	-538,74															
Ingresos		272,51	283,86	326,44	482,57	482,57	482,57	638,69	638,69	794,82	794,82	794,82	794,82	794,82	794,82	794,82
Costos		227,09	236,55	272,04	402,14	402,14	402,14	532,24	532,24	662,35	662,35	662,35	662,35	662,35	662,35	662,35
<u>(-)Depreciacion</u>		70,00	90,00	140,00	56,00	54,00	80,00	83,50	84,50	55,50	74,00	69,00	64,00	84,00	74,00	64,00
U. Bruta		-24,58	137,31	194,41	136,43	134,43	160,43	189,95	190,95	187,97	206,47	201,47	196,47	216,47	206,47	196,47
Impuestos (35%)		8,60	-48,06	-68,04	-47,75	-47,05	-56,15	-66,48	-66,83	-65,79	-72,26	-70,51	-68,76	-75,76	-72,26	-68,76
U. Neta Anual		-33,19	185,37	262,45	184,18	181,48	216,58	256,43	257,78	253,76	278,73	271,98	265,23	292,23	278,73	265,23
Flujos de Efectivo Operativos y Terminales	-538,74	-33,19	185,37	262,45	184,18	181,48	216,58	256,43	257,78	253,76	278,73	271,98	265,23	292,23	278,73	265,23
Flujos Anualizados		-29,63	147,78	186,81	117,05	102,98	109,72	116,00	104,11	91,51	89,74	78,19	68,08	66,97	57,03	48,46
Flujos acumulados		-568,37	-420,60	-233,79	-116,74	-13,77	95,96	211,95	316,07	407,57	497,32	575,51	643,59	710,56	767,59	816,05

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 6 “CÁLCULO DE LOS FLUJOS DE EFECTIVOS OPERACIONALES PARA 15 AÑOS PARA ALTERNATIVA 2”

Tecnología tradicional y nuevas plantas de cemento (TT_NCP)																
		<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>15</u>
	<u>F.Actualizados</u>	<u>2016</u>	<u>2017</u>	<u>2018</u>	<u>2019</u>	<u>2020</u>	<u>2021</u>	<u>2022</u>	<u>2023</u>	<u>2024</u>	<u>2025</u>	<u>2026</u>	<u>2027</u>	<u>2028</u>	<u>2029</u>	<u>2030</u>
Inversión inicial			263,00		263,00		263,00		263,00		263,00		263,00			
	<u>768,45</u>	0,00	209,66	0,00	167,14	0,00	133,24	0,00	106,22	0,00	84,68	0,00	67,51	0,00	0,00	0,00
Flujo de Efectivo Inicial	-768,45															
Ingresos		272,75	295,18	354,22	413,25	484,10	519,86	590,36	649,40	708,44	779,28	826,51	861,93	909,16	956,39	981,19
Costos		227,29	245,99	307,13	344,38	403,42	442,77	491,97	541,17	590,36	649,40	688,76	718,28	757,63	796,99	817,65
<u>(-)Depreciacion</u>		10,52	20,23	19,45	28,06	26,98	34,59	33,26	39,97	38,43	44,35	42,64	41,00	39,42	37,91	36,45
U. Bruta		34,94	28,97	27,64	40,82	53,71	42,50	65,14	68,26	79,64	85,53	95,11	102,65	112,10	121,49	127,08
Impuestos (35%)		12,23	10,14	9,67	14,29	18,80	14,87	22,80	23,89	27,87	29,94	33,29	35,93	39,24	42,52	44,48
U. Neta Anual		22,71	18,83	17,96	26,53	34,91	27,62	42,34	44,37	51,77	55,60	61,82	66,72	72,87	78,97	82,60
Flujos de Efectivo Operativos y Terminales	-768,45	22,71	18,83	17,96	26,53	34,91	27,62	42,34	44,37	51,77	55,60	61,82	66,72	72,87	78,97	82,60
Flujos Anualizados		20,28	15,01	12,79	16,86	19,81	13,99	19,15	17,92	18,67	17,90	17,77	17,13	16,70	16,16	15,09
Flujos acumulados		-748,18	-733,17	-720,38	-703,52	-683,71	-669,72	-650,56	-632,64	-613,98	-596,08	-578,30	-561,18	-544,48	-528,32	-513,23

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 7 “CÁLCULO DE LOS FLUJOS DE EFECTIVOS OPERACIONALES PARA 15 AÑOS PARA ALTERNATIVA 3”

Reconversión de viejos hornos de clínquer a calcinadores de arcilla + producción de LC3 (LC3_R).																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	F.Actualizados	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Inversión inicial		12,00	12,00				12,00		12,00							
	31,21	10,71	9,57	0,00	0,00	0,00	6,08	0,00	4,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Flujo de Efectivo Inicial	-31,21															
Ingresos		263,92	240,24	273,33	399,65	397,42	397,42	783,34	479,41	596,60	516,61	516,61	516,61	471,72	471,72	471,72
Costos		219,93	200,20	227,78	333,04	331,18	331,18	399,51	399,51	497,17	430,51	430,51	430,51	393,10	393,10	393,10
(-)Depreciacion		30,80	30,38	29,28	28,21	27,18	26,97	26,02	25,87	25,00	24,15	23,34	22,56	21,81	21,09	20,40
U. Bruta		13,19	9,66	16,28	38,40	39,05	39,27	357,82	54,03	74,44	61,95	62,76	63,54	56,80	57,53	58,22
Impuestos (35%)		4,62	3,38	5,70	13,44	13,67	13,74	125,24	18,91	26,05	21,68	21,97	22,24	19,88	20,13	20,38
U. Neta Anual		8,57	6,28	10,58	24,96	25,39	25,53	232,58	35,12	48,38	40,27	40,79	41,30	36,92	37,39	37,84
Flujos de Efectivo Operativos y Terminales	-31,21	8,57	6,28	10,58	24,96	25,39	25,53	232,58	35,12	48,38	40,27	40,79	41,30	36,92	37,39	37,84
Flujos Anualizados		7,65	5,00	7,53	15,86	14,40	12,93	105,21	14,18	17,45	12,96	11,73	10,60	8,46	7,65	6,91
Flujos acumulados		-23,55	-18,55	-11,02	4,84	19,25	32,18	137,39	151,57	169,02	181,98	193,71	204,31	212,77	220,42	227,34

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 8 “CÁLCULO DE LOS FLUJOS DE EFECTIVOS OPERACIONALES PARA 15 AÑOS PARA ALTERNATIVA 4”

Instalación de calcinadores flash + producción desplegada de LC3 (LC3_F)																
		<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>15</u>
	<u>F.Actualizados</u>	<u>2016</u>	<u>2017</u>	<u>2018</u>	<u>2019</u>	<u>2020</u>	<u>2021</u>	<u>2022</u>	<u>2023</u>	<u>2024</u>	<u>2025</u>	<u>2026</u>	<u>2027</u>	<u>2028</u>	<u>2029</u>	<u>2030</u>
Inversión inicial			24,00		24,00			24,00		24,00						
	53,90	0,00	19,13	0,00	15,25	0,00	0,00	10,86	0,00	8,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Flujo de Efectivo Inicial	-53,90															
Ingresos		263,92	240,24	273,33	399,65	397,42	397,42	479,41	479,41	596,60	516,61	516,61	516,61	471,72	471,72	471,72
Costos		219,93	200,20	227,78	333,04	331,18	331,18	399,51	399,51	497,17	430,51	430,51	393,10	393,10	393,10	393,10
<u>(-)Depreciacion</u>		30,00	29,78	28,64	28,40	27,31	26,26	26,02	25,02	24,76	23,81	22,90	22,02	21,17	20,35	19,57
U. Bruta		13,99	10,26	16,92	38,21	38,93	39,98	53,89	54,89	74,67	62,29	63,21	101,50	57,45	58,27	59,05
Impuestos (35%)		4,90	3,59	5,92	13,37	13,63	13,99	18,86	19,21	26,13	21,80	22,12	35,52	20,11	20,39	20,67
U. Neta Anual		9,09	6,67	11,00	24,84	25,30	25,99	35,03	35,68	48,54	40,49	41,08	65,97	37,34	37,87	38,38
Flujos de Efectivo Operativos y Terminales	-53,90	9,09	6,67	11,00	24,84	25,30	25,99	35,03	35,68	48,54	40,49	41,08	65,97	37,34	37,87	38,38
Flujos Anualizados		8,12	5,32	7,83	15,78	14,36	13,17	15,84	14,41	17,50	13,04	11,81	16,93	9	8	7
Flujos acumulados		-45,78	-40,46	-32,64	-16,85	-2,49	10,67	26,52	40,92	58,43	71,46	83,27	100,21	108,77	116,52	123,53

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9 “RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA A PARTIR DE
LA APLICACIÓN DE LOS INDICADORES TRADICIONALES”**

Indicadores	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
VAN	\$816,05	-\$513,23	\$227,34	\$123,53
TIR	29%	-1%	58%	33%
PRD	5años, 1 mes y 15 días	0	3 años, 8 meses y 10 días	5años y 5 días

Fuente: Elaboración propia