

**UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ”.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA.**



**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO.**

**Título:
Estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de
la producción de cemento con adición de puzolana
y caliza en Cementos Cienfuegos S.A.**



AUTORA:

Mabelys LEÓN GONZÁLEZ.

TUTORES:

Ing.: Carmen LAFONT NAVARRO.

MSc.,Ing.: José Luis ROMERO CABRERA.

-Cienfuegos, 2015-





Pensamiento

“El futuro tiene muchos nombres:

para los débiles es lo inalcanzable,

para los temerosos lo desconocido,

para los valientes es la oportunidad.”

Víctor Hugo.



Dedicatoria

*A mi papá y a mi mamá por todo el apoyo incondicional que
me han dado durante toda mi vida estudiantil.*

*A Ernesto por comprenderme y apoyarme en los momentos
difíciles de este camino.*

*A mis hermanos, tíos y abuelos por su infinito amor y por
hacerme saber que siempre puedo contar con ellos.*



Agradecimientos

*A mi tutora Carmen por darme la oportunidad y confiar en
mí sin apenas conocerme.*

A mi tutor José Luis por brindarme su ayuda y amistad.

*A mis compañeros de aula por compartir conmigo esta
travesía durante 5 años, especialmente a Leidis, Anabel y
Claudia.*

*A todos los profesores que durante la carrera me brindaron
sus conocimientos.*

*A mi familia y amistades que me han apoyado y han
contribuido a que hoy mi sueño se realice.*

*A todas las personas que de una forma u otra hicieron
posible la realización de este trabajo.*

....A todos, muchas gracias.



Resumen

Resumen

La fabricación de cemento requiere una cantidad importante de recursos naturales no renovables, un alto consumo energético y genera importantes cantidades de CO₂, factor determinante en el proceso. La presente investigación se desarrolla en Cementos Cienfuegos S. A. con el objetivo de demostrar la factibilidad técnica, económica y ambiental de la producción de cemento con adición de puzolana y caliza, empleando para ello diferentes técnicas: revisión crítica de información, trabajo con expertos, consulta de documentos instructivos y procedimientos técnicos de la producción del cemento, las normas relacionadas con sus componentes, características, propiedades y ensayos. Los resultados del estudio realizado confirman la viabilidad de la producción de cementos mezclados sin impactos negativos en la calidad del producto final, la rentabilidad del proyecto con un período de recuperación de la inversión de 3 meses y una disminución efectiva en las emisiones de CO₂. Los indicadores de gestión y desempeño-compromiso con el desarrollo sostenible validan el proyecto que se lleva a cabo en la empresa “Hacia una industria cementera sostenible”.



Summary

Summary

Cement plant requires a significant amount of non-renewable natural resources, high energy consumption and generates significant amounts of CO₂, determining factor in the process. This research is conducted in Cementos Cienfuegos S.A. in order to demonstrate the technical, economic and environmental feasibility of the production of cement with pozzolan and limestone addition, employing different techniques: a critical review of information, working with experts, consulting instructional documents and technical procedures for the production of cement, the rules relating to the components, features, properties and testing. The results of the study confirm the feasibility of the production of blended cements without negative impacts on the quality of the final product, the profitability of the project with a 3 months payback period of the investment and a real reduction in CO₂ emissions. Management indicators and performance-commitment to sustainable development validate the project carried out in the company "Towards a sustainable cement industry".



Índice

Índice

<i>Introducción</i>	1
<i>Capítulo 1: Revisión Bibliográfica.</i>	5
1.1 Historia del cemento.....	5
1.2 Antecedentes de la producción de cemento en Cuba.	6
1.3 Tipos de cementos.....	7
1.3.1 Cemento Portland.....	7
1.3.2 Cementos con adiciones.	10
1.4 Puzolanas.....	12
1.5 Calizas.....	15
1.6 Perfil medioambiental del cemento.....	16
1.7 Ventajas de los cementos con adiciones.....	17
1.8 Producción de cementos con adiciones a nivel nacional e internacional.	18
<i>Capítulo 2: Descripción de la empresa y metodología a emplear para el estudio.</i>	23
2.1 Caracterización de la empresa Cementos Cienfuegos S.A.....	23
2.1.1 Misión, visión y política de la empresa.	24
2.1.2 Condiciones naturales del entorno.	24
2.1.3 Caracterización socio – demográfica del entorno.	25
2.1.4 Caracterización de las canteras en explotación.	25
2.2 Descripción del proceso productivo.	27
2.2.1 Preparación de las materias primas.	28
2.2.2 Dosificación y molienda de crudo.....	29
2.2.3 Piroproceso.....	29
2.2.4 Preparación de combustibles.	30
2.2.5 Producción de cemento.	30
2.3 Focos contaminantes potenciales y latentes de la fábrica.	31
2.4 Normativa existente.....	33
2.5 Propiedades y usos de los cementos.....	35
2.6 Adición de puzolana y caliza en Cementos Cienfuegos S.A.....	39
2.7 Metodología a emplear para la adición de puzolana y caliza.....	40
<i>Capítulo 3: Aplicación de la metodología y análisis de los resultados.</i>	43

3.1 Desarrollo de los escenarios de mezclas de la caliza con el yeso, de manera que satisfaga el requerimiento normativo relacionado con el SO ₃ .	43
3.2 Factibilidad Técnica.	49
3.2.1 Evaluación de los requerimientos químicos, mecánicos y físicos de los diferentes tipos de cemento.	49
3.2.2 Comportamiento de los diferentes tipos de cemento en relación al SO ₃ y la Resistencia a la Compresión (RC).	51
3.3 Factibilidad Ambiental.	56
3.4 Factibilidad Económica.	56
3.4.1 Evaluación de factibilidad económica que representa la adición de puzolana y caliza..	56
3.4.2 Evaluación económica financiera de la inversión necesaria para el equipamiento que garantice la adición.	60
3.5 Indicadores de gestión y desempeño-compromiso con el desarrollo sostenible de la producción de cemento.	65
<i>Conclusiones</i>	69
<i>Recomendaciones</i>	71
<i>Bibliografía</i>	73
<i>Anexos</i>	79



Introducción

Introducción

El Cemento Portland, resultado innegable del desarrollo histórico de la humanidad, es hoy día uno de los materiales más empleados en la vida moderna. Este material se fabrica actualmente en aproximadamente 150 países. Debido a su uso universal en prácticamente todos los trabajos de la construcción, su costo relativamente bajo, la posibilidad de su producción industrial masiva y los buenos resultados obtenidos en sus aplicaciones han sido la causa de que hoy en día este aglomerante haya desplazado a todos los que le antecedieron. Sin embargo, aunque se le reconoce haber sido uno de los elementos que más ha contribuido al desarrollo de la humanidad también ha resultado ser, de forma paradójica, uno de los principales responsables de la degradación ambiental del planeta, debido a que su proceso productivo está montado sobre la base de la explotación intensiva de recursos no renovables (materias primas y combustibles), emitiéndose significativos volúmenes de gases de efecto invernadero. Las emisiones de considerables volúmenes de gases y el elevado consumo energético se convierten en amenazas para la sostenibilidad de la producción de este aglomerante en los próximos años a nivel internacional.

La industria del cemento necesita reducir las emisiones de gases en más del 50 %, este reto implica un cambio en la producción del Cemento Portland, que permita una adecuación a las exigencias ambientales actuales. Cualquier solución al problema pasa por la reducción del contenido de clínker puro en los materiales aglomerantes. (Martirena, 2008)

Cementos Cienfuegos S.A. actualmente emplea para la producción de cemento un sistema totalmente automatizado, que incorpora procedimientos exhaustivos de control de calidad en tiempo real en cada una de las fases del proceso. Sólo así se puede conseguir un producto óptimo, en un marco de eficiencia productiva, respeto medioambiental y aprovechamiento sostenible de los recursos.

Hoy en día se estudian diferentes medidas para reducir las emisiones de gases, utilización de los recursos naturales y obtener un aumento en la calidad del producto entre la que se destaca la siguiente: Potenciar el uso de cementos con adiciones o cementos mixtos, que incluyen el uso de materiales como puzolanas y calizas que no requieren ser procesados en los hornos de clínker. Esta medida no solo repercutirá en el cuidado del medio ambiente,

también se presentarán beneficios económicos, sociales y productivos; aumentando la competitividad de la fábrica.

Problema de Investigación:

El alto consumo energético y los grandes volúmenes de emisiones de CO₂, implican un cambio de paradigma en la producción y utilización del Cemento Portland. En la actualidad no se cuenta con un estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de la producción de cemento con adición de puzolana y caliza que demuestre una disminución efectiva en la emisión de CO₂, utilización de los recursos naturales y un aumento en la calidad del producto.

Idea a defender:

El estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de la producción de cemento con adición de puzolana y caliza permite demostrar la disminución efectiva en la emisión de CO₂, utilización de los recursos naturales y un aumento en la calidad del producto, siendo factible su empleo para la empresa.

Objetivo general:

Realizar el estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de la producción de cemento con adición de puzolana y caliza en Cementos Cienfuegos S.A.

Objetivos específicos:

1. Realizar estudio documental sobre las particularidades de la producción de cemento y el uso de aditivos.
2. Realizar un estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de los diferentes tipos de cemento producidos con adición de puzolana y caliza.
3. Realizar el estudio de factibilidad para la producción de cemento con el uso de aditivos.
4. Desarrollar indicadores de gestión y desempeño-compromiso con el desarrollo sostenible de la producción de cemento.

Resultados esperados:

La adición de caliza y puzolana a los cementos producidos garantiza los requisitos de calidad establecidos en las normas, así como una disminución de los costos de producción, de los impactos ambientales y mejora la competitividad de la empresa.

Límites del alcance de la investigación.

Esta investigación abarca solo a la adición de puzolana y caliza a los cementos Tipo I, P - 35 y PP - 25 producidos en Cementos Cienfuegos S.A.

A partir de lo antes expuesto el presente estudio quedará conformado de la siguiente manera:

Capítulo 1: Revisión Bibliográfica.

En este capítulo se realiza una revisión bibliográfica sobre la producción de cementos mezclados, más específicamente sobre las adiciones de puzolana y caliza, tanto a nivel nacional como internacional. Se analiza las ventajas de los cementos con adiciones y su perfil medioambiental.

Capítulo 2: Descripción de la empresa y metodología a emplear para el estudio.

Se desarrollará una caracterización de la empresa Cementos Cienfuegos S.A y una descripción del proceso productivo de obtención del cemento. Además, se mostrarán las propiedades y usos de los cementos con adiciones y se planteará la metodología a emplear para la adición al cemento de puzolana y caliza.

Capítulo 3: Aplicación de la metodología y análisis de los resultados.

En este capítulo se desarrollará la metodología planteada para realizar el estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de la producción de cemento con adición de puzolana y caliza y se analizarán los resultados obtenidos.



Capítulo 1

Capítulo 1: Revisión Bibliográfica.

1.1 Historia del cemento.

El cemento es una de las principales materias primas para la industria de la construcción. Este ha estado presente en los adelantos de la civilización. Al mezclarse con aditivos minerales, más agua, más agregados finos y gruesos, y luego endurecerse, la mezcla se convierte en el concreto, siendo este el producto terminado de más interés para la industria de la construcción, por cuanto de esta manera se le puede dar las formas deseadas, tales como edificios, carreteras, puentes, cimentaciones para estructuras metálicas, es decir, la mayoría de las ramas de la ingeniería están ligadas a este material que desde hace mucho tiempo ha marcado, por su utilidad, un importante progreso dentro de la civilización humana.

El cemento fue inventado por los romanos hace aproximadamente 2000 años. Al hacer fuego en un agujero recubierto de piedras, consiguieron deshidratar y descarbonatar parcialmente las piedras calcáreas o el yeso, convirtiéndolas en polvo que se depositó entre las piedras. Al llover dicho polvo unió las piedras entre sí. Los egipcios utilizaron un cemento fabricado con yeso impuro calcinado, que sirvió para unir los bloques de piedra en la construcción de las pirámides. El uso del cemento cesó tras la desaparición de las técnicas constructivas romanas y no volvió a utilizarse hasta varios siglos más tardes.

En 1756, el ingeniero inglés John Smeaton descubrió que los mejores cementos se obtenían al mezclar caliza con un 20 o 25 % de materia arcillosa. Pero no fue hasta 1824 que el albañil inglés Joseph Aspdin empleó por primera vez el término Cemento Portland, por su similitud con la piedra extraída de la Isla de Portland, Inglaterra, quien además obtuvo la patente para este producto en este mismo año. En 1845, Isaac Jonson fijó las proporciones de materias primas a utilizar, así como la temperatura de cocción, con la que se asistió al inicio de la industria del Cemento Portland. (Eras, 2010)

En el siglo XIX empieza a extenderse de manera extraordinaria el uso del cemento y en los inicios del siglo XX se impone el Cemento Portland a los naturales. El Cemento Portland ha llegado a una gran perfección y es material industrializado de construcción de mayor

consumo. Se puede decir que el cemento es el alma del hormigón, yendo destinada, prácticamente, toda su producción a enlazar piedras sueltas para crear el material pétreo que se conoce como hormigón.

1.2 Antecedentes de la producción de cemento en Cuba.

La producción de Cemento Portland comenzó muy temprano en Cuba. El 7 de julio de 1895 se inauguró en La Habana la primera fábrica de cemento gris tipo Portland, también la primera de las Antillas, con una capacidad de producción de unas 20 t/día, es decir, unas 6 000 t/año. A principios del siglo XX comienza su producción la segunda fábrica de cemento en las cercanías del río Almendares, con capacidad de unas 60 000 t/año. Las producciones se realizaban con tecnologías aún muy rústicas y poco productivas, pero que podían abastecer la demanda nacional.

El Triunfo de la Revolución en 1959 trajo significativos cambios para la industria cubana del cemento. El total de la producción de cemento en Cuba entre los años 1988 y 1989 iguala la suma de la alcanzada entre 1918 y 1955. Entre 1959 y 1993 el país invirtió en la industria del cemento por encima de 465 millones de pesos. Con esta inversión se multiplicó la capacidad de producción instalada en más de 5 veces en relación a la existente en 1959.

Los programas de Investigación-Desarrollo para el empleo de mineral puzolánico en la producción de materiales para la construcción se iniciaron con la producción industrial de Cemento Portland Puzolánico y Cemento Puzolánico a partir de 1974, empleando para ello la mordenita (pertenece al grupo de las puzolanas) de los yacimientos ubicados en Palmarito de Cauto, en Santiago de Cuba.

Desde principios de los años 1980 - 1990 comenzó la utilización de puzolanas como extensores del clinker de Cemento Portland en Cuba. En el país existe un gran potencial de puzolanas naturales, con numerosos yacimientos de rocas zeolitizadas prácticamente en todo el territorio nacional. Estas fueron utilizadas como adiciones en fábrica para producir otras variedades de Cemento Portland, conocidas como PP-35 y PP-25.

La crisis que comenzó con el colapso del Socialismo en el este de Europa trajo, a partir de 1989, una seria reducción de la producción de cemento en Cuba, la cual llegó a tener valores similares a los de los años 1970 - 1980.

La falta de portadores energéticos, y la escasez de divisas convertibles, unido a la necesidad de mantener intocables los programas sociales de la Revolución, hicieron que el país se orientara hacia alternativas más económicas que la producción de cemento en grandes plantas. Una alternativa muy importante fue la construcción de una planta de producción de aglomerante puzolánico en la zona de Palmarito, con capacidad de producir hasta 100 000 t/año del aglomerante cal y puzolana.

A partir de 1996, la producción industrial de Cemento Portland ha tenido una lenta recuperación, provocada por la inserción de Cuba en el mercado caribeño y el incremento de las inversiones nacionales en áreas estratégicas como el turismo y desde entonces se ha introducido, además, la variante de exportación de clínker. (Martirena, 2008)

1.3 Tipos de cementos.

Existen dos tipos de cementos: los cementos naturales y el Cemento Portland. El cemento natural se presenta por calcinación de margas naturales a temperaturas medias, sin formación de fase líquida. La materia prima es intermedia entre cales hidráulicas y Cemento Portland. Estos cementos naturales se trituran y muelen posteriormente por apreciarse mejores comportamientos en el producto final obtenido. El Cemento Portland debido a su importancia será el tratado en este trabajo.

1.3.1 Cemento Portland.

El Cemento Portland está formado, básicamente, por una mezcla de varios compuestos como el silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminato tricálcico y el aluminio ferrito tetracálcico, que conforman el 90 % o más del peso del cemento, los cuales se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1.1: Componentes principales del Cemento Portland.

Nombre del Compuesto	Fórmula	Abreviatura
Silicato dicálcico	2CaOSiO_2	C_2S
Silicato tricálcico	3CaOSiO_2	C_3S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaOFe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3$	C_4AF

De forma general, los compuestos activos del cemento son inestables, y en presencia de agua reorganizan su estructura. El endurecimiento inicial del cemento se produce por la hidratación del silicato tricálcico, el cual forma una sílice hidratada gelatinosa e hidróxido de calcio. Estas sustancias cristalizan, uniendo las partículas de arena o piedras para crear una masa dura. El aluminato tricálcico actúa del mismo modo en la primera fase, pero no contribuye al endurecimiento final de la mezcla. La hidratación del silicato dicálcico actúa de modo semejante, pero mucho más lentamente, endureciendo poco a poco durante varios años. El aluminio ferrito tetracálcico contribuye poco al endurecimiento hidráulico inicial y contiene la mayor parte del hierro y del aluminato contenidos en el clínker de cemento.

Los materiales principales que componen al Cemento Portland son:

- a) Clínker de Cemento Portland.

El clínker de Cemento Portland se obtiene por clinkerización de una mezcla homogénea de materias primas (crudo o harina) conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , como se muestra en la tabla 1.2.

Tabla 1.2: Óxidos fundamentales que contienen las materias primas para la obtención del clínker.

Óxidos fundamentales.	Porcentaje (%)	Materia Prima que lo aporta.
(Óxido de Calcio) CaO : Cal	60 – 69	Caliza
(Óxido de silicio) SiO_2 : Sílice	18 – 24	Marga + Puzolana
(Óxido de Aluminio) Al_2O_3 : Alúmina	4 - 8	Marga
(Óxido de Hierro) Fe_2O_3	1 - 8	Perdigón

El clínker de Cemento Portland es un material hidráulico que debe estar constituido al menos en dos tercios de su masa por silicatos de calcio: silicato tricálcico y silicato dicálcico, estando constituido el resto por fases del clínker conteniendo aluminio y hierro.

b) Escoria granulada de alto horno:

La escoria granulada de alto horno se obtiene por enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un horno alto. Dado su contenido en cal combinada, la escoria no es una simple puzolana, sino que tiene de por sí propiedades hidráulicas.

c) Puzolanas:

El término “Puzolana” proviene de la localidad italiana de Puzzuoli, cercana a Nápoles, Italia, donde los romanos encontraron un material reactivo de origen volcánico. Se considera un ingrediente activo que tiene como función básica formar un aglomerante con los productos liberados por la hidratación del cemento. Además, durante la elaboración del concreto, actúa como agregado fino, lo que permite sustituir parte de arena por grava. Como resultado se tienen acabados más tersos e impermeables, de mayor resistencia al ataque de sulfatos, reacción alcalina, agregado y lluvia ácida.

d) Cenizas volantes:

Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. Pueden ser de naturaleza silíceo o calcáreo. Las primeras tienen propiedades puzolánicas; las segundas pueden tener, además, propiedades hidráulicas.

e) Caliza:

La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3). También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla. Por su aspecto blanco son muy distinguibles. Las calizas se forman en los mares cálidos y poco profundos de las regiones tropicales. Las calizas, componente calcáreo, puede representar normalmente del 75 al 80 % en peso de las materias primas a mezclar, siendo esta el componente principal de las materias primas. Dado el gran volumen de material que procesa una fábrica de cementos y principalmente de caliza, estas deben de estar situadas lo más cerca posible de las explotaciones, al objeto de minimizar los gastos de transporte.

f) Yeso:

El yeso (CaSO_4 , sulfato de calcio) es un mineral de origen evaporítico. Es muy abundante en la corteza terrestre y está ampliamente distribuido. Es incoloro o de color blanco, gris amarillento, rojizo o azulado. El yeso natural puede contener impurezas tales como: arcilla, calcita, cuarzo y su contenido varía mucho de un depósito a otro. El yeso, se utiliza en la fabricación de Cemento Portland como aditivo del clinker con el fin de regular el tiempo de fraguado, retardándolo adecuadamente. El retraso en el fraguado se produce por la reacción del sulfato con el aluminato tricálcico (C_3A) que, en otro caso, fraguaría muy rápido no dando tiempo a manipular la pasta. Generalmente la cantidad que se añade es de aproximadamente un 5 %. La cantidad de yeso a añadir también depende del contenido en sulfatos de los productos que componen el cemento. El yeso dihidrato [$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] es el mineral más común en yeso natural y tiene poca pero, normalmente, suficiente solubilidad en agua para facilitar la retardación del cemento de una forma adecuada, así, la naturaleza del compuesto portador de sulfato de calcio juega un importante papel en la regulación del fraguado del cemento. (Castrillón, 2011)

1.3.2 Cementos con adiciones.

En la fabricación del cemento, aproximadamente la mitad del costo de la producción se deriva del consumo de energía, hecho que ha llevado a establecer medidas enfocadas tanto en la reducción del consumo de energía necesaria para la cocción de clinker, como en la sustitución de combustibles, impulsándose con ello el uso de materiales secundarios en el concepto de Cemento Portland.

La utilización de las adiciones al clinker en los cementos puede obedecer aislada o conjuntamente a tres razones principales de orden diverso: tecnológico, económico y ambiental. En el orden tecnológico, los cementos con aditivos aportan ventajas, que los hacen más recomendables que el propio Cemento Portland para multitud de usos específicos bien definidos, por ejemplo, los cementos con adición de puzolanas en presas y los siderúrgicos en obras marítimas.

De orden ambiental, la utilización de escorias siderúrgicas y de cenizas volantes de centrales termoeléctricas supone la supresión o reducción de las correspondientes

escombreras, así como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En el orden económico, por una parte, aprovecha subproductos desechados que aún contienen masa y energía potencial recuperables y de menor costo, y, por otra parte, ahorra materias primas y energía térmica para la fabricación del clinker.

A las razones de orden técnico, que fueron al menos aparentemente las primeras, se han impuesto con posterioridad las de orden económico y ambiental, y más concreta y universalmente las relativas al ahorro de materias primas y de energía, en general, combustible (calorías) en los hornos, y energía (kWh) en los molinos y transportes en las plantas de cemento.

Los problemas económicos y ambientales, unidos al avance de la Ciencia de los Materiales en los últimos 50 años, han inducido el empleo de extensores de clinker de Cemento Portland, hecho que ha posibilitado el surgimiento de un grupo genérico de cementos conocido como “cementos compuestos” o “cementos mezclados”, que son una mezcla de clinker de Cemento Portland con uno o más materiales que participan en la hidratación, y por tanto contribuyen a los productos de hidratación.

Los materiales añadidos son denominados “adiciones minerales”. Estas adiciones pueden ser mezcladas y molidas íntimamente con el clinker en fábrica o mezcladas en obras a la hora de producir el hormigón o mortero. (Martirena, 2008)

Las adiciones minerales se pueden clasificar en activas e inertes (no activas). Las adiciones activas son aquellas que tienen la capacidad de hidratarse y formar compuestos SCH (sílico-calcáreos-hidratados), de manera similar a los formados en la hidratación del clinker Portland.

Entre las adiciones consideradas como químicamente activas figuran las escorias básicas granuladas de alto horno, con propiedades hidráulicas latentes o potenciales, las cuales se manifiestan por sí mismas y también las puzolanas naturales y artificiales (cenizas volantes y arcillas activadas).

Las adiciones inertes son aquellas sustancias las cuales se utilizan sin moler y son prácticamente insolubles en agua y no reaccionan con esta. Entre las adiciones consideradas como inertes figuran en particular los de naturaleza caliza. (Calleja, 2013)

Sin duda alguna, la introducción de cementos mezclados ha sido difícil debido al prejuicio del consumidor, manteniéndose aún en muchas regiones la idea que el cemento mezclado es de menor calidad, cuando realmente es de calidad distinta.

1.4 Pozolanas.

Las pozolanas son materiales de composición silíceo o sílico-aluminoso, que por sí mismos poseen poca o ninguna actividad hidráulica, pero que finamente divididos y en presencia de agua pueden reaccionar con hidróxido de calcio, $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$, portlandita, a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes: silicato de calcio y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia. Estos compuestos son similares a los que se forman durante el endurecimiento de los materiales hidráulicos. Las pozolanas deben prepararse correctamente, es decir, deben ser seleccionadas, homogeneizadas, secadas o tratadas térmicamente y pulverizadas, dependiendo de su estado de producción o de suministro.

Los materiales pozolánicos tienen generalmente un alto contenido de SiO_2 y algunas veces también de Al_2O_3 . Estos se presentan de forma general en una estructura vítrea. A veces presentan minerales inactivos, como cuarzo, feldespato, magnetita, en variadas proporciones. Otras contienen sustancias orgánicas o arcillas, que podrían influir en el fraguado y endurecimiento del cemento.

Las pozolanas, independientemente de su clasificación, reaccionan con los productos de reacción del Cemento Portland, para producir compuestos que contribuyen a la resistencia y durabilidad de la matriz aglomerada.

El contenido óptimo de pozolana deberá ser estudiado en función de la calidad del clinker y de la misma pozolana, a fin de mantener una uniformidad en la producción que garantice el empleo de una necesaria cantidad de pozolana. (Martirena, 2008)

La actividad pozolánica en los cementos se explica por un ataque lento de la sílice y de la alúmina, en disolución, de las pozolanas, por parte de la portlandita cuando se hidratan los componentes del clinker, fundamentalmente los silicatos de calcio. El cemento reacciona primeramente con el agua liberando la portlandita, que activa la pozolana. Hay a continuación una recristalización con formación de silicatos de cal hidratados y de aluminatos de cal hidratados, compuestos que tienen propiedades cementantes.

Al formarse compuestos hidráulicos con dicha cal, esta contribuye al desarrollo de la resistencia de los cementos que contienen puzolana, a plazos medios y largos; y que, al fijar de forma estable dicha cal, evitando su disolución o ataque por medios agresivos externos, proporciona al hormigón una mayor durabilidad o resistencia química en múltiples aspectos.

Por ser la acción puzolánica un fenómeno de interacción en el que influye mucho la superficie total y específica del material activo, éste debe estar molido a gran finura.

Las propiedades técnicas de los materiales con adiciones puzolánicas, se derivan, principalmente, de tres características de la reacción puzolánica:

- La primera es una reacción lenta, al contrario que la reacción de hidratación del cemento que es rápida, por tanto, la velocidad de liberación del calor y el desarrollo de resistencias serán procesos más lentos.
- La segunda es una reacción que consume hidróxido de calcio en vez de generarlo, lo que es importante para la durabilidad de las pastas hidratadas en ambientes ácidos.
- La tercera es al producirse en un tiempo posterior los productos de reacción rellenan, de forma muy eficiente, los espacios capilares que quedan después de la hidratación de los componentes del cemento. Así se mejora la impermeabilidad y la resistencia mecánica del sistema dando lugar a una menor porosidad.(Calleja, 2013)

Los materiales puzolánicos de mayor interés en la industria del cemento pueden dividirse en dos grandes grupos: naturales y artificiales (subproductos industriales). Al primer grupo pertenecen las verdaderas puzolanas y las tobas volcánicas, así como una serie de otros productos naturales, que tienen en común un comportamiento similar frente a la cal. En el segundo grupo, están, principalmente, las escorias de alto horno, las cenizas volantes y las arcillas calcinadas.

En la figura 1.1 se puede ver una clasificación de dichos materiales.

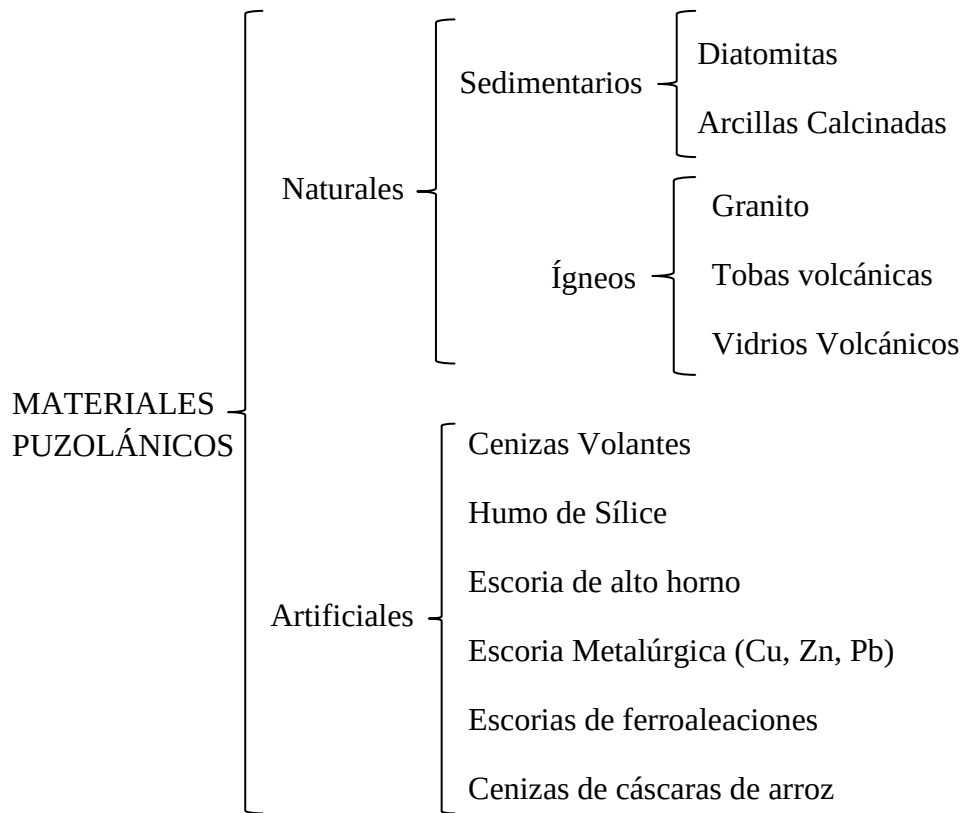


Fig. 1.1: Clasificación de los materiales puzolánicos.

Los países de mayor desarrollo, utilizan puzolanas artificiales, como las denominadas cenizas volantes, subproducto de plantas de generación de energía que emplean carbón y la microsílíce (humo de sílice) subproducto de procesos metalúrgicos de aleaciones de ferro-sílico. También se obtienen puzolanas de las cenizas de la cáscara de arroz y de las escorias de horno alto.

Dentro de las puzolanas naturales encontramos las de origen volcánico se forman por erupciones de carácter explosivo. Las diatomitas o tierra de diatomeas es una roca sedimentaria silíce formada por micro-fósiles de diatomeas. El granito es una roca ígnea constituida esencialmente por cuarzo y feldespato, se producen al solidificarse lentamente magma con alto contenido en sílice en profundidades a alta presión. Las tobas volcánicas son productos de procesos de zeolitización, conformados por rocas volcánicas.(Eras, 2010)

1.5 Calizas.

Las calizas están compuestas principalmente por Carbonato Cálcico (CaCO_3), que molidos conjuntamente con el clinker de Cemento Portland, en proporciones determinadas, afectan favorablemente a las propiedades y comportamiento de los morteros y hormigones. Su acción principal es de carácter físico: dispersión, hidratación, trabajabilidad, retención del agua, permeabilidad, retracción y fisuración. (Prias, Meriño & Quispe, 2012)

Con el nombre de calizas se designan las adiciones que, generalmente en pequeñas proporciones, acompañadas o no de otras, se añaden al clinker con objeto de aumentar y/o abaratar en parte la producción de cemento, y de contribuir al ahorro energético en cocción y en molienda de dicha producción, sin olvidar los efectos benéficos dispersantes y aceleradores de la hidratación del cemento.

Desde hace un par de décadas está planteada la discusión acerca del grado de actividad de las calizas al ser incorporadas como adiciones al cemento, algunos autores sostienen que las calizas no hacen más que aumentar el volumen y disminuir los costos de producción. Otros por el contrario, piensan que es activa y que produce modificaciones químicas que se traducen en cambios en las propiedades físicas y mecánicas del cemento. En lo que están de acuerdo todos es que las calizas de alta pureza son una muy buena adición para los cementos. (Tobón & Kazes, 2008)

En la tabla 1.3 se muestran calizas con diferente composición química.

Tabla 1.3 Calizas de diferente composición química

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total	Contenido de CaCO ₃
Caliza < 70 %	32.27	6.15	3.06	28.44	2.29	2.15	74.36	55.06
Caliza 70 – 80 %	21.95	3.31	2.21	36.99	1.77	2.72	68.95	73.69
Caliza >80 %	4.80	0.66	1.13	50.18	1.43	1.88	60.08	88.39

Las calizas, sean cuales fueran, no son generalmente inertes de un modo absoluto, pues, cuando menos, ejercen en proporción limitada una acción física dispersante del cemento, la cual facilita y acelera la más completa hidratación de este.

Está ampliamente comprobado que, en general, pequeñas adiciones de ciertas calizas, del orden del 1 al 10 % entre límites amplios, con un valor medio muy centrado de alrededor

del 5 %, añadidas al clinker y molidas conjuntamente con él, proporcionan cementos con mejor plasticidad y comportamiento reológico en hormigones que los que no las contienen, con menor retracción y tendencia a la fisuración, y sin afectar las resistencias, o incluso con ligeras mejoras de las mismas.

Se ha comprobado claramente a través de las experiencias de países europeos pertenecientes a la Comunidad Económica Europea (CEE) que trabajan sobre el tema, que el comportamiento de la caliza como adición al clinker puede ser menos dependiente de la cuantía de la adición que de la propia naturaleza de la misma. Esto sería lógico, pues no tiene por qué ser distinto de lo que sucede con las escorias siderúrgicas, con las puzolanas naturales o con las cenizas volantes. Todo esto lleva a considerar que la utilización de una caliza como adición al clinker deberá ser objeto de una prueba previa de idoneidad de la misma, como en el caso de las otras adiciones más activas.

La larga experiencia de los estudios y aplicación del Cemento Portland supone un precedente en favor a un nuevo Cemento Portland con contenido máximo de 5 % de caliza incorporada. (Godoy, 2006)

1.6 Perfil medioambiental del cemento.

El cemento, clasificado como producto básico del sector constructivo, es considerada una industria de tecnología universal, que consume cantidades significativas de combustible fósil como principal fuente de energía térmica y, de forma secundaria, para movilizar los equipos de los subsistemas soportes tales como: máquinas excavadoras, vehículos de transporte y grupos generadores de electricidad. También consume electricidad para la puesta en marcha de los demás conjuntos electromecánicos complementarios (básculas, moliendas, esteras transportadoras). Estos elevados consumos, con consecuencias medioambientales, han movido al sector del cemento a realizar planes medioambientales vinculados a la reducción y/o economía de estos recursos.

Las cargas ambientales resultantes de estos consumos energéticos se presentan, principalmente, en forma de gases emitidos a la atmósfera, como por ejemplo, dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógenos (NO_x) y dióxido de azufre (SO_2) con los efectos correspondientes en el medio ambiente.

Al mismo tiempo, se originan otros efectos, tanto los inherente al proceso de producción, como por ejemplo, las reacciones químicas de descarbonatación de la caliza en el horno de producción de clinker, proceso en el que se genera CO_2 , y en distinta intensidad, otras sustancias como por ejemplo el SO_2 , partículas sólidas (polvo) y algunos metales .

La contribución de la industria cementera en las emisiones del dióxido de carbono es significativa, tanto por las reacciones de descarbonatación como por el uso de combustibles fósiles. En valores absolutos, esta contribución a las emisiones de CO_2 , en el ámbito mundial y por todos los sectores se puede situar en el entorno del 7 % del total. (CIDAC, 2000).

Uno de las vías para reducir esas emisiones de CO_2 es el uso de cementos con mayor contenido de adición, con la finalidad de disminuir la cantidad de clinker responsable mayoritario de dicha emisión, contribuyendo de manera responsable al desarrollo sostenible.

Las empresas cementeras han aumentado su preocupación por el medio ambiente en los últimos años. En la actualidad, casi el 100% de las fábricas siguen el sistema de gestión medioambiental ISO (Organización Internacional de Normalización): 14001, una norma aceptada en todo el mundo, además de imponerse el reto de lograr ser un sector con certificación ambiental.

1.7 Ventajas de los cementos con adiciones.

La trabajabilidad de los concretos elaborados a base de cementos mezclados es sin duda mejor que la obtenida con Cemento Portland tradicional. De la misma forma, el tiempo de fraguado tiende a ser mayor en los cementos mezclados al desarrollarse las reacciones hidráulicas con menor rapidez.

La mayor resistencia que presentan los cementos con adición de puzolanas al ataque de agentes químicos en general, es atribuible a la eliminación de hidróxido de calcio constituido durante la hidratación del cemento por los compuestos formados en la reacción con la puzolana.

El aumento de resistencia a la compresión y de impermeabilidad en los cementos mezclados, encuentra su origen en la formación de fases menos densas, así como de poros

de menor tamaño, hecho que permite alcanzar mayor durabilidad y mejorar la resistencia al ataque de sulfatos, sobretodo en cementos con adición de escoria de alto horno.

Algunas de las ventajas más grandes que presentan los cementos mezclados en la construcción radican en el incremento en la capacidad de producción con inversiones limitadas y realización rápida, la reducción de los costos de energía necesaria para la cocción del clinker, la utilización óptima de materias primas y una mayor resistencia al ataque de medios agresivos.

La elaboración de cementos mezclados constituye además una intersección con la energía, economía y medio ambiente, ya que hasta la fecha en muchos países es apreciable la reducción de la cantidad de energía consumida para la cocción del clinker, obteniéndose de igual forma mejoras en algunas de las propiedades del cemento a través de una considerable disminución de problemas ambientales derivados de las emisiones emitidas durante el proceso de fabricación del material. (Godoy, 2006)

1.8 Producción de cementos con adiciones a nivel nacional e internacional.

El incremento de la producción y empleo de cementos mezclados de diferentes calidades constituye uno de los avances más importantes de la industria cementera y del sector de la construcción en los últimos 60 años. Inicialmente y hasta los años 60 el uso de las adiciones activas al cemento como son las puzolanas naturales, las escorias siderúrgicas y las cenizas volantes estaban dirigidas hacia la fabricación de cementos con características especiales, principalmente una mayor resistencia química o un menor calor de hidratación. En esta etapa el porcentaje de adición superaba generalmente el 30 % y por tanto se consideraban cementos puzolánicos o siderúrgicos. (Herrero, 1987)

En las décadas del 60 y 70 comienzan a aparecer numerosas normativas que, sin dejar de ser cementos Portland, permitían adiciones activas e “inertes” en un rango que oscilaba entre un 10 y un 20 %. En 1973, cuando ocurre el brusco encarecimiento de la energía por la crisis del petróleo, se produce entonces un crecimiento vertiginoso en la producción de cementos con adiciones a nivel internacional como una vía importante para el ahorro energético y una alternativa viable para no afectar la demanda de cemento en la construcción de viviendas y demás obras públicas y privadas. En 1997 se efectúa la conferencia de Kyoto en Japón donde se proponen un conjunto de medidas para la

reducción de gases de efecto invernadero, principalmente los hidrofluorcarbonos y el CO₂. A partir de esta fecha el sector cementero, que genera como promedio unas 0.89 - 1.00 toneladas de CO₂ por tonelada de clínker, se ha sumado al empeño de contribuir no solo en el aspecto del ahorro energético sino también a fomentar la cultura del desarrollo sostenible en el contexto medioambiental actual. (Sanjuán, 2007)

En este sentido quedó evidente que para lograr estos objetivos se debe:

- Continuar optimizando la producción y empleo de los cementos con adiciones.
- Aumentar la utilización de residuos u otros materiales, que cumplan con las características de las materias primas tradicionales, al proceso de cocción del clínker de cemento (aumento del reciclaje y mayor preservación de los yacimientos naturales).
- Introducir al horno de cemento, materiales que disminuyan la generación de CO₂ en el proceso de cocción.

Un ejemplo del crecimiento vertiginoso en la diversificación de los cementos mezclados en los últimos años lo expone la compañía multinacional HOLCIM Ecuador S.A, actualmente una de las mayores cementeras del mundo. En 1995 el 56 % de su producción era de Cemento Portland ordinario y el resto o sea un 44 % de cementos con adiciones (principalmente escorias siderúrgicas, cenizas volantes y puzolanas naturales). Unos años más tarde, en el 2009, la producción de los cementos con adiciones casi se ha duplicado respecto a 1995 y la balanza indica un 20 % al Cemento Portland ordinario y un 80 % a los cementos mezclados. Paralelamente esta compañía también obtuvo resultados importantes en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero.

En cuanto a las puzolanas naturales o artificiales indica que las mayores adiciones están en alrededor del 40 % respecto al peso del cemento. Con relación a las adiciones de caliza se tiene la referencia de varios países que la emplean en un 15 % y que aunque no tiene la actividad de otras adiciones le confieren al cemento un mejor comportamiento físico desde el punto de vista de la trabajabilidad de la mezcla en morteros y hormigones. El desarrollo de la resistencia es relativamente menor a edades tempranas en los cementos con adiciones ya que, si se comparan los cementos (puro y mezclado) con igual composición

mineralógica, hay menor contenido de clinker y la reacción puzolánica es más lenta. (Schneider, 2011)

En el caso de la adición de caliza por encima del 5 %, generalmente hasta un máximo del 30 %, se dan especificaciones para su composición en CaCO_3 que debe ser aproximadamente mayor o igual al 75 %, presentándose las mejores performances con contenidos de CaCO_3 mayores del 90 %. Además se prescriben limitaciones para elementos perjudiciales, con valores muy exigentes para la presencia de arcillas y contenido orgánico.

Los cementos Portland con adiciones de calizas han tenido un rápido desarrollo en la última década. En la actualidad los cementos Portland se producen con un 5 % de adiciones calizas en Canadá, Japón y los países del continente europeo. Los cementos Portland adicionados con calizas se encuentran normalizados en Estados Unidos de Norteamérica y en la Comunidad Europea.

En Cuba las investigaciones relacionadas con la producción de los cementos mezclados, comenzaron en el año 1968 en la fábrica de cemento José Merceron de Santiago de Cuba y desde esa fecha se da inicio a su producción. El cemento PP - 25 se produjo en aquel entonces con una adición del 12 - 15 % y fue utilizado masivamente en la urbanización del Distrito José Martí en Santiago de Cuba.

Durante los años 1981 - 1985 se ejecutó el Problema Principal Estatal 046 “Aditivos, Tobas y Minerales en Cemento y Hormigón”, auspiciado por la academia de Ciencias de Cuba, donde se desarrollaron 4 temas de investigación que incluyeron estudios metodológicos para la evaluación de la calidad de las tobas, la optimización de la adición de puzolana en la producción de Cemento Portland Puzolánico y Cemento Puzolánico, en la región oriental y parte de la central. (Gener, 1980)

Se estudió el comportamiento de los mismos en morteros y hormigones. También se realizaron estudios de estabilidad química en medio sulfático y de agua de mar, con mejores resultados para todos los cementos mezclados. Se trabajó en la metodología para determinar el contenido de puzolana en los cementos mezclados. Como resultado se definieron los parámetros de calidad para el empleo de las puzolanas en la producción de cementos mezclados. Se demostró que era factible la ampliación de la producción de los

cementos mezclados de superior resistencia mecánica. Se propuso la producción de un cemento mezclado de mayor calidad, el PP - 35 con un 10 % de adición en la Empresa Karl Marx (hoy Cementos Cienfuegos S.A).

Se realizaron tres pruebas a escala industrial para realizar ensayos mecánicos en morteros y hormigones y estudios de durabilidad. Se ratificó que el empleo de aditivos plastificantes y superplastificantes posibilitaba una solución para ampliar el empleo de los cementos con adiciones.

Como resultado de este trabajo quedó definida la producción de este tipo de cemento en la fábrica, lo que permitió un uso más racional del cemento puro, ahorros de energía, disminución de la contaminación ambiental y una mayor durabilidad en las obras expuestas al aerosol marino.

En los últimos años de la década del 90 del siglo pasado la producción de cementos mezclados en Cuba y fundamentalmente de PP - 25 alcanzó entre el 38 y 40 % de la producción total. En esta etapa es donde se generaliza en el país la producción de cementos P - 35 con 5 % de adición.

Recientemente, y como parte del interés que existe en la mayoría de los países del mundo para la disminución de los gases de efecto invernadero, la fábrica de Cementos Cienfuegos ha sumado su voluntad en este sentido y ha logrado llevar a cabo un proyecto de MDL (Mecanismo Desarrollo Limpio) con entidades internacionales para reducir el nocivo impacto que tiene la generación de CO₂ a la atmósfera, ya que posee una serie de factores que posibilitan la producción de cementos con adiciones: suficiente reservas de calizas y material puzolánico con gran actividad, clinker de elevada calidad y tecnología adecuada para la producción de los cementos mezclados.



Capítulo 2

Capítulo 2: Descripción de la empresa y metodología a emplear para el estudio.

2.1 Caracterización de la empresa Cementos Cienfuegos S.A.

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

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

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

El comportamiento productivo de la fábrica ha ido en ascenso. El año 2007 cerró con una producción superior al millón de toneladas de clinker y se implantaron nuevos record históricos de producción para un mes. En el año 2013 se alcanzó la mayor producción registrada desde su restructuración llegando al millón ciento seis mil toneladas de clinker.

2.1.1 Misión, visión y política de la empresa.

Cementos Cienfuegos S.A. es una empresa mixta, perteneciente al Ministerio de la Construcción, destinada a la producción y comercialización de clinker y cemento consignados a clientes nacionales y extranjeros, ubicada en el Municipio Cienfuegos.

La empresa tiene como misión y visión:

Misión: Nuestro propósito es ser una empresa productora de clinker y cemento para el desarrollo de las personas, la empresa y la sociedad.

Visión: Somos líderes en la fabricación de cemento y una de las mejores empresas industriales de Cuba con índices de seguridad industrial, medio ambiente, calidad, eficiencia, productividad y rentabilidad a nivel internacional; con una gestión de excelencia y un equipo de trabajo comprometido con la satisfacción de nuestro personal, proveedores, clientes, accionistas y el entorno.

Política: “Producimos y comercializamos clinker y cemento para el servicio de nuestros clientes, priorizando nuestro capital humano, conservando el medio ambiente, mejorando continuamente nuestros procesos y creando valor para las partes interesadas”.

2.1.2 Condiciones naturales del entorno.

El relieve del área está formado por una extensa llanura de origen fluvial asociado al río Caunao, donde además se observan manifestaciones acumulativas y ondulaciones con alturas variables desde 60 hasta 100 m sobre el nivel medio del mar.

Los suelos predominantes en el área de estudio son del tipo pardo, con carbonatos, típicos, sobre calizas carbonatadas, profundos, de la variedad loma arcillosa, con fuerte gravillosidad y pedregosos.

Sobre áreas de la cuenca hidrográfica Caunao, se encuentra la mayor cantidad de instalaciones de producción y apoyo a la producción de la fábrica, constituyendo esta cuenca la de mayor incidencia ambiental.

Desde el punto de vista climático, la fábrica se encuentra en una zona tropical poco húmeda de valle, la cual se caracteriza por ser caliente y lluviosa. Los factores climatológicos

inciden en el comportamiento de la distribución del contaminante, en particular por las emisiones de gases y partículas de polvo que genera el proceso.

La flora del territorio está compuesta por residuos de bosque semicaducifolio sobre caliza degradado, cultivos agrícolas, áreas de pastos y residuos de palmares, siendo además, característico, que aparezcan árboles frutales y maderables en grupos o individuos aislados en casi todo el territorio.

Entre las especies faunísticas autóctonas más importantes están los peces Lisa, Biajaca y Mapo, los reptiles Majá de Sta. María y Jubo Criollo; las aves Pedorrera, Zunzún y Gavilán de Monte; y los mamíferos Venado y Murciélago Frutero.

2.1.3 Caracterización socio – demográfica del entorno.

El entorno socioeconómico de la fábrica se caracteriza por la presencia, en primer lugar, de un sistema de asentamientos, desarrollado sobre la base de la presencia de núcleos, tanto urbanos, como rurales, así como la existencia, de pequeños núcleos de población dispersa. La población residente, posee en la zona varias fuentes de empleo, destacándose las actividades, agrícolas, pecuarias, industriales, científico - educativas, turísticas y sociales, las cuales se encuentran dentro del área de influencia de la fábrica que pueden ser impactados por las emisiones que se generan en el proceso.

2.1.4 Caracterización de las canteras en explotación.

Las materias primas empleadas para la elaboración del cemento son fundamentalmente de origen calcáreo: piedra caliza, margas y yeso; las cuales se emplean de manera proporcional y mediante un proceso tecnológico se obtiene el producto final, el cemento.

Cerca de la fábrica, se encuentran los yacimientos de calizas y margas, constituyen las materias primas fundamentales para el proceso de elaboración del cemento. En Carolina, municipio Cienfuegos, se encuentran las tobas y las arcillas con perdigones en el municipio Rodas y el yeso necesario en el proceso es proveniente de la provincia de Matanzas del yacimiento Canasí y de Punta Alegre en Ciego de Ávila.

Estos yacimientos poseen Certificación de Derecho de Concesión Minera, para un período de explotación de 25 años, en ningún caso se ha llegado al nivel de explotación mínima, por lo cual todos los yacimientos poseen considerables reservas actualmente.

Atendiendo al factor crudo/clinker de 1.85 (1.9) : 1 los niveles de reserva respaldaban una vida útil de alrededor de 60 – 70 años en la explotación de caliza. Después de la rehabilitación se tiene una capacidad de producción máxima de 1 650 000 t/año de clinker con un factor crudo/clinker de 1.65:1 que respaldan una vida útil de 94 años de trabajo, según las variantes que se empleen.

Yacimiento Cantabria: Se encuentra al Este de la fábrica, en el municipio Cienfuegos, a una distancia aproximada de 2.0 km. Está constituido por calizas margosas y margas calcáreas, este mineral aporta CaO a la mezcla de cemento y se utiliza en un 70 %. Este yacimiento posee una reserva de 226.61 millones de toneladas y es trasladado hasta la fábrica por camiones y esteras transportadoras. (Anexo 1)

Yacimiento Las Pailas: Se encuentra al Noroeste de la fábrica, en el municipio Cienfuegos, a una distancia de aproximadamente 1.0 km. Está constituido por margas calcáreas y margas, este mineral aporta a la mezcla de cemento: sílice, aluminio, hierro y calcio y se utiliza en un 25 % aproximadamente. Este yacimiento posee una reserva de 55.07 millones de toneladas y es trasladado hasta el lugar del proceso por camiones.

Yacimiento Palanquete: Se encuentra en el municipio Rodas. Está constituido por capa vegetal con perdigones de limonita y por arcillas con perdigones. Este mineral aporta a la mezcla óxido de hierro y óxido de aluminio y se utiliza de un 3 a un 5 %. Posee una reserva de 19.82 millones de toneladas. El material es trasladado por camiones hasta la fábrica.

Yacimiento Carolina: Se encuentra en el municipio Cienfuegos. Está constituido por tobas zeolitizadas, volcánicas, se utiliza como aditivo en la mezcla de cemento. El yacimiento posee una reserva de 141.68 millones de toneladas y el material se traslada por camiones hasta la fábrica. (Anexo 2)

Yacimiento de Yeso: Se encuentran en Punta Alegre, en el municipio Chambas, provincia de Ciego de Ávila y en Canasí, provincia de Matanzas. Es trasladado por ferrocarril y camión hasta la fábrica.

Todos los yacimientos ubicados en la provincia Cienfuegos, cuentan con la documentación necesaria para su explotación, certificado por la Oficina del Fondo Geológico de Villa Clara. En cada caso se plantean medidas para la conservación, asegurando el uso sostenible de los recursos naturales.

La explotación de los yacimientos produce como contaminante fundamental, la generación de polvo a la atmósfera, tanto en el momento de la explotación como en el traslado del material. Por otra parte, la utilización de explosivos para voladuras y la perforación constituyen impactos negativos en el área de explotación y sus zonas aledañas, afectando a los recursos naturales, geología y relieve principalmente y a la población residente en asentamientos cercanos.

2.2 Descripción del proceso productivo.

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

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

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

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

En la figura 2.1 se muestran las tres etapas básicas del proceso de producción de cemento.



Fig. 2.1: Flujograma del proceso productivo.

2.2.1 Preparación de las materias primas.

La marga y la caliza son extraídas por voladura con el empleo de explosivos, posteriormente son transportadas, trituradas, secadas, almacenadas y finalmente dosificadas. Los correctores se extraen con buldócer (generalmente) y transportados a la fábrica siguiendo el mismo curso que la marga y la caliza.

La caliza, marga, el perdigón y las tobas puzolánicas son transportados por camiones desde las canteras hacia la instalación de Materias Primas. Todos los materiales (caliza, marga y perdigón) deberán ser secados hasta 7 o 12 % de humedad como máximo y triturados en el área de la trituradora primaria existente, en operaciones intermitentes. Una criba de alta eficiencia se encuentra instalada antes de la tolva de alimentación de la trituradora primaria para separar los finos (granulometría menor que 75 mm), que serán alimentados directamente al secador rotatorio ubicado en esta área.

Las materias primas trituradas, son conducidas por bandas transportadoras hasta los seis silos de caliza (2 por línea) y en el caso de la marga, perdigón y las tobas puzolánicas, hacia la nave para materiales secos. Una vez dispuestos en la nave de materia prima seca, la

marga y el hierro son transportados por bandas hacia las tolvas de almacenaje intermedio para ser dosificado.

El desempolvado en el área de trituración se realiza mediante dos separadores ciclónicos, a la salida del secador se encuentra instalado el filtro de mangas y en cada torre de transferencia de las bandas transportadoras hasta la fábrica se instalaron filtros de mangas.

2.2.2 Dosificación y molienda de crudo.

La caliza dispuesta en silos, marga más puzolana y el perdigón, son dosificadas y conducidos juntos hasta la estación de molienda de crudo, donde se trituran y se secan en el molino de bolas horizontal, aquí se produce la harina que es transportada por medio de elevadores de cangilones a los silos de mezcla u homogeneización (2 por línea), el polvo de arrastre pasa al separador y se envía al electrofiltro, el material separado se incorpora mediante los sinfines y se envía al precalentador.

Una vez verificada la calidad (composición de la mezcla) la harina cruda pasa a los silos de almacenaje por medios neumáticos.

2.2.3 Piroproceso.

De los silos de almacenaje, la harina cruda es conducida a la parte superior del precalentador, donde comienza a ponerse en contacto con los gases calientes provenientes de la combustión del petcoke.

El calor suministrado por los gases de combustión provoca la descarbonatación del Carbonato de Calcio, que se descompone en CaO y CO_2 , la pérdida de agua de constitución de la marga que proporciona la alúmina y sílice, la fundición de óxidos de hierro y la elevación de temperaturas hasta los $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. Alcanzadas estas condiciones los óxidos se combinan en distintas formas entre sí, con lo cual se obtiene el clinker, como producto fundamental a la salida del horno, el CaCO_3 y MgCO_3 se transforman en CaO y MgO con la emisión de CO_2 , terminando su cocción en el horno rotatorio donde ocurre la clinkerización, que da lugar a un producto intermedio denominado clinker, el cual es descargado al enfriador de parrillas para su enfriamiento mediante aire suministrado por varios ventiladores.

Los gases calientes pasan por filtros de mangas. Una vez desempolvados los gases son expulsados al ambiente por la chimenea. Los polvos recuperados se incorporan al proceso con el clinker seco y frío.

Posteriormente el clinker es transportado por la cadena de arrastre y elevador de cangilones a los silos (2 por línea) de almacenamiento de clinker.

La fuente de calor del horno es el petcoke durante el proceso normal y durante la arrancada se utiliza el diésel para el precalentamiento por un tiempo de duración (10 - 24 horas).

2.2.4 Preparación de combustibles.

El combustible sólido (petcoke), es importado (PDVSA Venezuela) y colocado en el patio de almacenamiento a cielo abierto, se envía mediante banda transportadora hacia las tolvas de recepción, dosificándose para la molienda y secado en un molino vertical de alta eficiencia, este material se deposita en la tolva de finos para la alimentación de combustibles al horno.

2.2.5 Producción de cemento.

El clinker es extraído mediante extractoras de los silos (con sistema de desempolvado) a la banda donde se dosifica junto con yeso y otros componentes a la mezcla, tales como puzolana, consideradas como adiciones activas, o calizas y se envía a los molinos de cemento para su molienda y la obtención de Cemento Portland Gris. Para la separación de los gruesos y los finos a la salida del molino se encuentran instalados ciclones separadores, los finos son enviados a las tolvas y de ahí a los silos de cementos mediante bandas transportadoras; la mezcla de gases y polvo generado en los ciclones pasan a un electrofiltro, donde son finalmente separados enviándose los gases a la chimenea y los finos se incorporan a las tolvas nuevamente y de ahí a los silos.

El producto final transportado a silos de almacenaje es posteriormente despachado a granel o en bolsas por medios de transporte automotor o por ferrocarril. Para el llenado de bolsas se cuenta con 3 máquinas ensacadoras.

2.3 Focos contaminantes potenciales y latentes de la fábrica.

- Ecosistema.

Las fábricas de cemento, necesitan materias primas que se encuentran a flor de tierra, por lo que al extraerlas no se pueden evitar interferencias en el paisaje circundante, afectando a los recursos naturales, geología y relieve principalmente.

Durante la cocción de las materias primas, u obtención del cemento, tiene lugar, por desprendimiento del dióxido de carbono (CO_2) contenido en la piedra caliza, la transformación de carbonato cálcico en óxido cálcico. Así pues, las emisiones gaseosas de la cocción están formadas por el CO_2 de la descarbonatación, los gases de escape de los combustibles y también vapor de agua en pequeña cantidad. En el gas desprendido pueden aparecer también compuestos de azufre (generalmente en forma de SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) por la oxidación del nitrógeno atmosférico.

Las emisiones de vapor de agua y de CO_2 son inherentes al proceso, mientras que la aparición de compuestos de azufre ha sido reducida drásticamente con el uso de materias primas y combustibles adecuados y el control del proceso de combustión. La contribución del dióxido de carbono (CO_2) en el calentamiento global se sitúa entre el 98,8 % y el 100 % del total, es decir, es el principal causante del mismo, lo cual justifica que la producción de cemento sea una fuente relevante de CO_2 , y por lo tanto, del efecto invernadero.

- Aguas residuales.

Se consume agua para la refrigeración de los gases de escape de los hornos y enfriamiento de equipos el consumo neto aproximado de 0,4 a 0,6 m^3 de agua por tonelada de clinker.

El abasto del agua industrial a la fábrica se realiza del río Arimao. Al llegar a la fábrica es almacenada en dos tanques de 2 500 m^3 cada uno, el agua pasa por la planta de tratamiento. Para el tratamiento final de los sistemas de los residuales líquidos se utiliza una laguna de oxidación, asociada a la cuenca Caunao.

- Desechos sólidos (basura).

En la planta de cemento la tecnología y el proceso son muy apropiados para la reutilización o destrucción de una variedad de materiales residuales, incluyendo desperdicios peligrosos, manejando así sus propios desechos sólidos y enviando lo que puede ser reciclable a materias primas.

- Ruido

Las fábricas de cemento ocasionan impacto sonoro. En la extracción de materias primas pueden producirse durante corto tiempo molestias de ruido a causa de explosiones y las consiguientes sacudidas. Durante la preparación surgen ruidos molestos producidos, por ejemplo, por quebrantadoras de impacto y molinos para el desmenuzamiento de materiales duros.

La mayor parte de molinos de materias primas y de cemento producen un ruido intenso por lo que no hay puestos de trabajos permanentes. Las instalaciones de cocción necesitan numerosos ventiladores de gran tamaño que originan ruidos muy penetrantes, por lo que se han tomado medidas contra el ruido, como medios de protección y exámenes médicos periódicos específicos para este riesgo. Además del tráfico pesado que este tipo de instalaciones generan.

- Emisión de polvo

Durante la obtención y elaboración de cemento, el proceso produce polvo en diferentes fases de trabajo incluyendo el transporte de materiales polvorientos o pulverizados desde la cantera de piedra caliza, hasta el embarque del producto terminado para envío. En el cemento este polvo es una mezcla de piedra caliza, óxido cálcico, minerales del cemento y a veces también cemento totalmente cocido. El control del polvo que resulta del transporte de los materiales es uno de los desafíos más difíciles; las bandas transportadoras, pilas de acopio, y caminos de la planta, pueden ser causas más importantes de degradación de la calidad del aire, que las emisiones del molino y el horno. Se emplean recolectores mecánicos de polvo donde es práctico, por ejemplo, en los trituradores, transportadores y el sistema de carga.

2.4 Normativa existente.

Según la NC (Norma Cubana) 95: 2011 CEMENTO PORTLAND – ESPECIFICACIONES.

El producto se clasifica en tres grados de calidad de acuerdo a la resistencia a la compresión a los 28 días expresada en MPa. El producto se designa con las letras que inician el nombre, separadas por un guión del valor numérico de la resistencia a la compresión a los 28 días.

a) Cemento Portland 35: Cemento P - 35

b) Cemento Portland 45: Cemento P - 45

c) Cemento Portland 55: Cemento P - 55

En la tabla 2.1 se establece las especificaciones, clasificación y designación que deben cumplir los cementos Portland que se utilicen en trabajos de construcción y los métodos de ensayo.

Tabla 2.1: Requisitos y métodos de ensayo para diferentes grados de Cemento Portland.

Índice	Requisitos	UM	Tipos de cementos.			Método de Ensayo
			P - 35	P - 45	P - 55	
Físicos	Superficie específica: Blaine (mín.)	cm ² /g	2800	2900	3200	NC EN 196-6
	Tiempo fraguado inicial (mín.)	min	45	45	45	NC 524
	Tiempo fraguado final (máx.)	h	10	10	10	
	Estabilidad de volumen (máx.)	mm	10	10	10	NC 504
Mecánicos	Resistencia a la compresión (mín.)	3 días 7 días 28 días	17 25 35	25 35 45	25 35 55	NC 506
	Pérdida por ignición (máx.)		4.0	4.0	4.0	
	Residuo Insoluble (máx.)		4.0	4.0	4.0	
Químicos	Oxido de Magnesio (máx.)	%	5.0	5.0	5.0	NC 507
	Trióxido de Azufre (máx)		3.5	3.5	3.5	

Según la norma: NC 96: 2011 CEMENTO CON ADICIÓN ACTIVA – ESPECIFICACIONES.

EL producto se clasifica en tres grados de calidad de acuerdo al % de adición y la resistencia a la compresión a los 28 días expresada en MPa. El producto se designa de la misma manera que los anteriores:

Cemento Portland Puzolánico:

a) Cemento Portland Puzolánico 25 (con un % adición activa natural entre 6 % y 20 %): **Cemento PP - 25.**

b) Cemento Portland Puzolánico 35 (con un % adición activa natural entre 6 % y 20 %): **Cemento PP - 35.**

Cemento Puzolánico:

a) Cemento Portland 25 (con un % de adición activa natural entre 21 % y 35 %): **Cemento PZ - 25.**

En la tabla 2.2 se establece las especificaciones, clasificación y designación que deben cumplir los cementos con adición que se utilicen en trabajos de construcción.

Tabla 2.3: Requisitos y métodos de ensayo para los cementos con adiciones activas.

Índice	Requisitos		UM	Tipos de cementos.			Método de Ensayo.
				PP -25	PP -35	PZ -25	
Físicos	Tiempo fraguado inicial (mín.)		min	45	45	45	NC 524
	Tiempo fraguado final (máx.)		h	12	12	12	
	Estabilidad de volumen (máx.)		mm	10	10	10	NC 504
Mecánicos	Resistencia a la compresión (mín.)	3 días	MPa	-	17	-	NC 506
		7 días		17	25	17	
		28 días		25	35	25	
Químicos	Pérdida por ignición (máx.)		%	6	6	6	NC 507
	Óxido de Magnesio (máx.)			5	5	5	
	Trióxido de Azufre (máx)			3.5	3.5	3.5	

2.5 Propiedades y usos de los cementos.

Propiedades Físicas y Mecánicas.

Estas propiedades dependen del estado en que se encuentre y son medidas a través de ensayos sobre el cemento los cuales determinan las características físicas y mecánicas del cemento antes de ser utilizado.

- Finura o superficie específica.

La finura es una de las propiedades más importante ya que está ligada a su valor hidráulico, la hidratación de los granos de cemento ocurre desde la superficie al interior, el área total superficial del cemento constituye el material de hidratación, al aumentar la finura aumenta la rapidez a la que se hidrata el cemento dando una mayor retracción y por tanto es más susceptible a la fisuración. Una molienda muy fina dará lugar a cementos que endurecen rápidamente y por tanto también tienen un desarrollo más rápido de su resistencia. Por otro lado los cementos con granos gruesos se hidratan y endurecen lentamente y pueden producir exudación de agua por su escasa rapidez para retenerla.

- Fraguado y endurecimiento.

Cuando un cemento se amasa con agua, se forma una pasta que mantiene su plasticidad durante un tiempo muerto después del cual la pasta empieza a rigidizarse rápidamente hasta que desaparece su plasticidad a la vez que va aumentando su resistencia de forma gradual. Hay que distinguir dos fases:

Fraguado: La pasta pierde su plasticidad llegando a adquirir algo de resistencia. El fraguado va acompañado de desprendimiento de calor; al principio ocurre una elevación fuerte de temperatura seguida de un fuerte descenso.

Endurecimiento: Ganancia progresiva de resistencias de una pasta fraguada.

Tiempo de fraguado: El término tiempo de fraguado se usa para describir el cambio del estado plástico al estado endurecido de una pasta de cemento. En la práctica, cuando una

cantidad de cemento se mezcla con agua se forma una pasta plástica, que se pierde a medida que pasa el tiempo, hasta que llega un momento en que la pasta pierde su viscosidad y se eleva su temperatura, el tiempo transcurrido desde la adición del agua se llama fraguado inicial del cemento e indica que el cemento está hidratado y semiduro. Posteriormente la pasta sigue fraguando hasta que deja de ser deformable con carga relativamente pequeñas, se vuelve rígida y llega al máximo de temperatura este es tiempo de fraguado final. Esto indica que el cemento se encuentra aún más hidratado y que la pasta ya está dura. A partir de este momento la pasta empieza el proceso de endurecimiento y la estructura del cemento fraguado va adquiriendo resistencia mecánica.

Falso fraguado: Rigidez prematura y anormal del cemento, que se presente dentro de los primeros minutos después de haberlo mezclado con agua. Difiere del anterior en que no despiden calor en forma apreciable y, si se vuelve a mezclar la mezcla de cemento sin adición de agua se restablece su plasticidad y fraguado normal sin pérdida de resistencia y se debe a que en algunas ocasiones cuando las temperaturas en fábricas de molino son superiores a 100°C se puede presentar deshidratación parcial o total del regulador del fraguado del cemento que es el yeso.

- Resistencia mecánica.

La aplicación fundamental del cemento es la fabricación de morteros y hormigones destinados a la construcción de elementos en los que, generalmente, la propiedad más interesante es sus resistencias mecánicas, por lo que los cementos, junto con los áridos, tienen que conferírselas y esto lo logran porque al amasarlos con agua dan lugar a pastas que endurecen y tienen una gran cohesión, cuya porosidad va disminuyendo a la vez que las resistencias mecánicas van creciendo con el paso del tiempo, presentando, además, estas pastas una gran adherencia con los áridos que componen el mortero y el hormigón. Es importante tener en cuenta las causas que puedan provocar pérdidas de resistencia: envejecimiento, humedecimiento, incorrecto almacenamiento del cemento.

La resistencia a compresión del concreto de cementos mezclados a edades tempranas (1,3,7 días) tiende a ser menor que la del concreto de Cemento Portland como consecuencia de una menor velocidad de reacción de los componentes químicos provenientes de los

aditivos. Sin embargo, a edades tardías (50 - 60 días) éstos componentes químicos aún desarrollan reacciones que permiten obtener resistencias superiores en los concretos a base de cementos mezclado.

La presencia de una puzolana en el Cemento Portland tiene dos efectos distintos y en los que juega un papel importante el tiempo. Inicialmente, actúa como un inerte no nocivo, con un endurecimiento más lento que el Portland base. Más adelante, aparece como un componente activo, cuyos óxidos (sílice, alúmina e, incluso, óxido de hierro) combinan gradualmente con la cal liberada en la hidratación de los silicatos del Portland, para formar nuevos compuestos hidráulicos estables; las discrepancias mecánicas con el Portland disminuyen, más tarde desaparecen y, finalmente, la resistencia del cemento con adición es superior a la del Cemento Portland, a igualdad de condiciones.

- Expansión.

Los ensayos de estabilidad de volumen tienen por objeto manifestar, a corto plazo, el riesgo de expansión tardía que puede tener un cemento fraguado debida a la hidratación del óxido de calcio y/o del óxido de magnesio libres

Propiedades Químicas:

- Calor de hidratación.

Las reacciones que tienen lugar en la hidratación del cemento son exotérmicas, las cuales hacen que los concretos al fraguar y endurecer aumenten de temperatura, por tanto, provocan un calentamiento y luego un descenso térmico de la masa de cemento. Esta variación de temperatura, desde los momentos iniciales de fraguado hasta el endurecimiento del cemento da origen a contracciones del material, que a su vez dan como resultado el agrietamiento o fisuración. El calor desarrollado en la hidratación de un cemento puzolánico disminuirá, con el tiempo, en una cantidad prácticamente proporcional a la puzolana añadida. No se obtienen valores rigurosamente proporcionales porque también la reacción cal-puzolana es débilmente exotérmica y porque el efecto de dispersión de la puzolana sobre la fracción de Portland facilita su ataque y acelera un poco su calor de

hidratación. Consecuencia inmediata de esta propiedad es la reducción de la tendencia a la fisuración de origen térmico.

- Perdidas por Ignición.

Una elevada pérdida por ignición es una indicación de pre hidratación o carbonatación que puede ser producida por un almacenamiento incorrecto y prolongado.

- Resistencia química a ambientes agresivos.

Resistencia al ataque de sulfatos:

Debido a que los sulfatos atacan al concreto endurecido porque reaccionan con el aluminato tricálcico, para formar el solfoaluminato de calcio el cual tiene un volumen mayor que el de los componentes que lo originan, es conveniente desde un punto de vista controlar el contenido de C_3A , la consecuencia de este aumento de volumen son la aparición de esfuerzos internos que pueden desintegrar el concreto.

El Cemento Portland hidratado y endurecido, por su gran cantidad de cal liberada, es altamente básico y, por constitución (C_3A , en mayor o menor cuantía) es vulnerable al ataque de sulfatos en general (terrenos y aguas selenitosas, agua de mar). Ambas causas de posible agresión (cal liberada y aluminatos) pueden llegar a reducirse y hasta anularse, en presencia de puzolana.

Recomendaciones de Uso:

- Cemento Portland Tipo I:

Hormigones para los elementos prefabricados estructurales en general y en especial los pretensados, puede ser utilizado para todos hormigones de uso general con altas prestaciones.

- Cemento Portland 35 (P - 35)

Hormigones para los elementos prefabricados estructurales en general y en especial los pretensados, puede ser utilizado para todos hormigones de uso general con altas prestaciones.

- Cemento Portland Pozolánico 25 (PP - 25)

Muy utilizables para:

- ✓ Hormigón en masa.
- ✓ Hormigón con áridos, potencialmente reactivos.
- ✓ Hormigón armado.
- ✓ Hormigón para elementos prefabricados no estructurales,

Utilizables para:

- ✓ Hormigón compactado con rodillos.
- ✓ Hormigón armado de media resistencia.
- ✓ Estabilización de suelos.
- ✓ Pavimentos de hormigón para firmes de carretera.
- ✓ Hormigón para elementos prefabricados estructurales no pretensados.
- ✓ Hormigón con áridos potencialmente reactivos,

No utilizables para:

- ✓ Hormigón pretensado.
- ✓ Hormigón de alta resistencia.
- ✓ Hormigón para elementos estructurales prefabricados pretensados.
- ✓ Hormigón para desencofrado rápido.

2.6 Adición de puzolana y caliza en Cementos Cienfuegos S.A.

En nuestro caso, la adición de puzolana y caliza durante la producción de cemento constituye una acción de P+L (Producción más Limpia) que reduce la carga contaminante relacionada con la no producción de clinker, tiene un impacto económico positivo importante por la reducción de los portadores energéticos y permite mantener los requerimientos normativos de las propiedades físico-químicas del cemento.

La norma cubana NC 95: 2011 y la norma venezolana COVENIN 28: 2003, permiten adicionar hasta un 5 % de aditivo no activo (caliza) a la producción del cemento Tipo 1. ambas normas han sido homologadas.

En la norma COVENIN 28:2003, aparece lo siguiente en su acápite 3.1.1: “Se admiten también las adiciones neutras (no activas) que no excedan el 5 % del peso total, u otras adiciones activas en un porcentaje tal que en ambos se cumpla con los requisitos

establecidos en esta norma venezolana. Todos los productos que se añadan deben ser pulverizados conjuntamente con el clinker.”

En la actualidad Cementos Cienfuegos S.A, produce cemento Tipo 1 para la exportación a Venezuela con 0 % de adición no activa, por lo que se ha identificado durante la evaluación preliminar esta oportunidad, como una acción de P+L.

El aditivo no activo a utilizar será la roca caliza (proveniente del cuerpo central calcáreo de la cantera de caliza “Lomas Cantabria” (Anexo 1), más la puzolana del yacimiento “Carolina” (Anexo 2), materiales que será previamente procesados en la instalación de trituración y secado de la empresa.

Las normas cubanas actuales permiten para todos los tipos de cemento una adición no activa hasta un 5 %, mejorando las propiedades físico-mecánicas del cemento.

La disminución del contenido de clinker por la adición de caliza y puzolana a los cemento produce una disminución de las emisiones de CO₂. Para Cementos Cienfuegos S.A. la tasa de emisión es de 1.01 tCO₂ eq. /t (clinker), según Metodología de Cálculo Aprobado (ACM, por sus siglas en inglés) 5 del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), por lo que la disminución del contenido de clinker en el cemento por la adición de puzolana y caliza producirá una disminución significativa de las emisiones de este gas de efecto invernadero.

2.7 Metodología a emplear para la adición de puzolana y caliza.

Previo a la producción de los cementos con adición de puzolana y caliza es necesario realizar un conjunto de actividades que garanticen los niveles de adición y la calidad del producto terminado. Es necesario destacar que los análisis de laboratorio deben contar con los patrones de calibración para estos materiales y cumplir las normas de ensayo.

En la empresa se cuenta con experiencia en lo que respecta a la adición de puzolana en diferentes porcentajes de adición al cemento.

En Cementos Cienfuegos S.A. fue desarrollado un procedimiento para esta actividad, el que fue modificado durante los ensayos de pruebas a escala de laboratorio sobre la base de las

condiciones típicas del proceso de producción de la empresa. Este procedimiento establece las siguientes actividades:

1. Aumentar la capacidad de las dosificadoras de yeso cambiando el diseño del sprocket del reductor de velocidad, de manera que permita llevar las básculas de dosificación hasta 20 t/h. Este aumento de la capacidad de dosificación se justifica ya que la caliza será dosificada junto con el yeso, por lo que el volumen a dosificar será mayor.
2. Acondicionar el almacén de Suplemento 4, para almacenar caliza suficiente para asegurar la adición estable de este aditivo no activo y garantizar el porcentaje de humedad necesario ($< 8\%$).
3. Elaborar las instrucciones para el mezclado del yeso y la caliza en el descargadero de yeso, así como los medios usados para lograr las proporciones.
4. Realizar los análisis de laboratorio a la caliza para determinar sus características físico-químicas para el cálculo de mezcla con el yeso y la adición al cemento y confeccionar las curvas de calibración correspondientes para cada tipo de cemento.
5. Realizar los ajuste del software de dosificación, utilizando los resultados de la prueba industrial.
6. Verificar la capacidad de la dosificadora de puzolana, con el objetivo de cumplir con el 5% y el 20% de adición que establece la norma.
7. Obtener información de proceso, consumo energético y muestras de producción piloto, para poder realizar los estudios de factibilidad técnico económicos iniciales (ex ante).
8. Realizar ensayos de laboratorio, evaluación y comparación contra lo normado.



Capítulo 3

Capítulo 3: Aplicación de la metodología y análisis de los resultados.

3.1 Desarrollo de los escenarios de mezclas de la caliza con el yeso, de manera que satisfaga el requerimiento normativo relacionado con el SO_3 .

La adición de puzolana y caliza en el cemento produce una disminución del contenido de clinker en los diferentes tipos de cemento como se muestra en la gráfica 3.1, por lo que produce un aumento del rendimiento de los molinos al tener la puzolana y caliza un índice de molturabilidad inferior al clinker, con la consiguiente disminución del consumo de energía eléctrica.

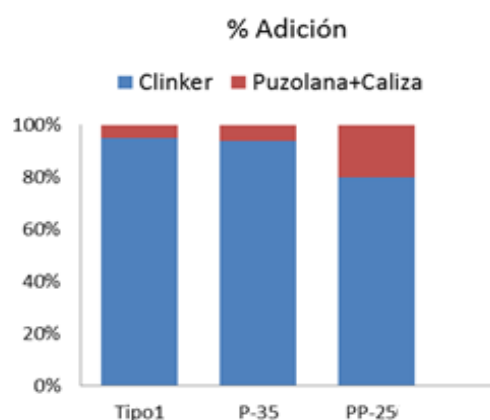


Gráfico 3.1: Adición de puzolana y caliza a los diferentes tipos de cementos.

Para determinar la factibilidad de la adición de puzolana y caliza en el cemento y su impacto positivo en los costos, así como la determinación de la cuantía de reducción de las toneladas de clinker y en correspondencia de las emisiones de CO_2 , fue necesario realizar varias simulaciones para diferentes escenarios de mezclas de diferentes proporciones de yeso y caliza, para dar seguimiento al comportamiento del SO_3 en las diferentes etapas de mezcla.

Para la determinación de las variantes de adición es necesario tener en cuenta la composición del SO_3 en las materias primas del cemento y sus pesos volumétricos esponjados. En la tabla 3.1 y 3.2 se muestran los valores típicos de las materias primas utilizadas en la empresa.

Tabla 3.1: Niveles de SO_3 en las materias primas de entrada, que intervienen en la fabricación del cemento.

Datos de entrada	Materias Primas				
	Yeso	Caliza	Clinker	Puzolana	Cemento
SO_3 (%)	32	0,19	1,6	-	3,5

Tabla 3.2: Peso volumétricos esponjados del yeso y la caliza.

Pesos volumétricos	kg/l	Suma	% en la tonelada de mezcla	%
Caliza.	1,38	2,65	52,1	100
Yeso.	1,27		47,9	

A partir de estos valores fueron definidas tres variantes de proporciones en la mezcla del yeso y caliza, los resultados se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Escenarios de mezclas y proporción en la mezcla de yeso y caliza.

Datos	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
% en la mezcla	1/1		2/1		3/2	
Material	yeso	caliza	yeso	caliza	yeso	caliza
SO_3	16,00	0,10	21,12	0,08	19,20	0,11
Total: SO_3	16,10		21,20		19,31	

A continuación se muestra la secuencia de cálculos y estimaciones para la variante resultante como óptima (Variante 3), la cual ha sido tomada de base para el cálculo de la factibilidad final.

En la actualidad Cementos Cienfuegos S.A. no cuenta con dosificadores de caliza, las mezclas para la prueba se realizaron utilizando equipos de carga (cargador frontal), realizando el cálculo previo de las toneladas a mezclar de ambos componentes en función de las variables que aparecen en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Toneladas a mezclar dependiendo del equipo de carga disponible y el resto de los parámetros de los materiales.

Parámetros	Cargadores	
	Caliza	Yeso
Número de cubo, (u).	2	3
Capacidad del cubo, (m ³).	5	5
Peso volumétrico del material esponjado, (t/m ³).	1,38	1,27
Coeficiente de esponjamiento material.	1	1
Factor llenado del cubo.	0,9	0,8
Tonelaje para un cubo, (t).	6,2	5,1
Tonelaje de ambos materiales en la mezcla.	28	
% de material requerido en la mezcla. (%)	44,9	55,1
Toneladas requeridas de material en la mezcla.	12,4	15,2

En esta variante se determinó en volumen 12.4 t caliza + 15.2 t yeso para la mezcla.

El valor ponderado del SO₃ de la mezcla se obtuvo utilizando la ecuación (1):

$$SO_3 \text{ mezcla} = t \text{ caliza} * SO_3 \text{ caliza}) + (t \text{ yeso}) * SO_3 \text{ yeso}) / (t \text{ caliza} + t \text{ yeso}) \quad (1)$$

El resultado se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Cálculo de la química esperada ponderada de la mezcla de caliza y yeso.

Química esperada en la mezcla de Caliza y Yeso	
Valores Mezcla	SO ₃
Ponderados	17,71

Cementos Cienfuegos S.A tiene valores fijados de SO₃ en cemento para mantener el cumplimiento con lo normado, este valor se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Restricciones de límites permisibles para valores de SO₃ en cemento.

SO ₃	Promedio	Mín.	Máx
Límites permisibles de SO ₃	2.75	2	3,5
Valor fijado.	3,14	>2	<3,5

El valor esperado del SO₃ en el cemento se calcula utilizando la ecuación (2):

$$SO_3 \text{ cemento} = t \text{ clinker} * SO_3 \text{ clinker}) + t \text{ mezcla caliza} - \text{yeso} * SO_3 \text{ mezcla}) / (t \text{ mezcla caliza} - \text{yeso} + t \text{ clinker}) \quad (2)$$

En la ecuación (2) no se considera la puzolana ya que el aporte del SO₃ es despreciable. En la tabla 3.7 se muestra el resultado del valor de SO₃ en cemento teniendo en cuenta las toneladas de clinker y la mezcla de caliza y yeso.

Tabla 3.7: Cálculo del valor esperado de SO_3 en la producción de cemento.

Valor esperado de SO_3 en cemento.		
Materiales	SO_3	Toneladas
Clinker	1,60	90,44
Mezcla de Caliza y Yeso	17,71	9,56
Valor de SO_3 ponderado en cemento		3,14

Como se observa en la tabla 3.7 el valor esperado de SO_3 ponderado en cemento está dentro de los límites permisibles que establecen las normas (NC 95:2011; NC 96:2011).

En las tablas 3.8; 3.9 y 3.10 se registran los resultados de las variantes analizadas mostrando que la número 3 (3Y/2C) es la variante más óptima para la adición de caliza y yeso para la producción de cemento Tipo 1, por cuanto se obtienen los mayores ahorros (2.50 CUC/t cemento) debido a que se produce una reducción mayor en el contenido de clinker (90.44 %). De igual forma se realizaron los cálculos para los cementos P – 35 y PP – 25. (Anexo 11)

Tabla 3.8: Producción de cemento con adición de caliza 1Y/1C.

Producción de cemento con adición de caliza 1Y/1C.					Producción anual Clinker (t)		242 583	Precio CUC/kWh	0,1903
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo (t) Cemento
Tipo I		t	CUC	CUC	t/h	kWh/t	CUC	CUC	CUC/t
clinker	91,18	221 179	48.00	10 616 574.00	69	39.00	1 800 378.00	12 689 658.00	52,31
puzolana	-	0	10.00	0.00					
caliza	4,59	11 146	6.06	67 547.00					
yeso	4,23	10 258	20.00	205 159.00					
Tipo I	100	242 583		10 889 280.00	Clinker utilizado en la producción de cemento.				221 179
						Ahorro Clinker	CUC/t	Diferencia de Costo	CUC/t
						10 367	52,31		2,24

Tabla 3.9: Producción de cemento con adición de caliza 2Y/1C.

Producción de cemento con adición de caliza 2Y/1C.					Producción anual Clinker (t)		242 583	Precio CUC/kWh	0,1903
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo (t) Cemento
Tipo I		t	CUC	CUC	t/h	KWh/t	CUC	CUC	CUC/t
clinker	91,32	221 535	48.00	10 633 697.00	69	39.00	1 800 378.00	12 702 237.00	52.36
puzolana	-	0	10.00	0.00					
caliza	4,52	10 961	6.06	66 422.00					
yeso	4,16	10 087	20.00	201 740.00					
Tipo I	100	242 583		10 901 858.00	Clinker utilizado en la producción de cemento.				221 535
						Ahorro Clinker	CUC/t	Diferencia Costo	CUC/t
						10 010	52,36		2,19

Tabla 3.10: Producción de cemento con adición de caliza 3Y/2C.

Producción de cemento con adición de caliza 3Y/2 C.					Producción anual Clinker (t)	242 583	Precio CUC/kWh	0,1903	
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo ton Cemento
Tipo I		t	CUC	CUC	t/h	KWh/t	CUC	CUC	CUC/t
clinker	90,44	219 395	48.00	10 530 956.00	69	39.00	1 800 378.00	12 626 766.00	52.05
puzolana	-	0	10.00	0.00					
caliza	4,98	12 075	6.06	73 176.00					
yeso	4,58	11 113	20.00	222 256.00					
Tipo I	100	242 583		10 826 388.00	Clinker utilizado en la producción de cemento (t).				219 395
						Ahorro Clinker	CUC/t	Diferencia de Costo CUC/t	
						12 151	52.05	2.50	

En la tabla 3.11 se resumen los resultados de las variantes analizadas.

Tabla 3.11: Resumen de los resultados por variantes de mezclas.

Resultados por variantes de mezclas	Variante 1	Variante 2	Variante 3
SO ₃ mezcla de C/Y	16,10	21,20	19,31
SO ₃ Clinker	1,60	1,60	1,60
SO ₃ Cemento	2,82	2,80	2,92
% de Clinker	91,18	91,32	90,44
% de Pozzolana	-	-	-
% de Caliza	4,59	4,52	4,98
% de Yeso	4,23	4,16	4,58
Total	100	100	100

3.2 Factibilidad Técnica.

3.2.1 Evaluación de los requerimientos químicos, mecánicos y físicos de los diferentes tipos de cemento.

En las tablas 3.12 a la 3.15, se muestran los resultados de los diferentes tipos de cemento. La adición de puzolana y caliza es analizada técnicamente, desde el punto de vista de la calidad del producto, por análisis a nivel de laboratorio de los cementos tradicionales producidos y los cementos mezclados (referencias de producción de años anteriores y uso del producto).

En todos los casos el cemento producido con adición de caliza cumple con los requisitos de calidad establecidos según las normas y sus propiedades no varían significativamente con respecto a los cementos sin adición de caliza, observándose un aumento sensible en las expectativas de calidad.

Tabla 3.12: Requisitos químicos del cemento Tipo 1.

Requisitos	Norma Venezolana COVENIN 28: 2003 Tipo 1	Resultados Típicos Cemento Tipo I 0 % de Caliza	Resultados Esperados Cemento Tipo I 3,5 % de Caliza	Resultados Obtenidos Cemento Tipo I 4,98 % de Caliza
Requisitos Químicos		%	%	%
Dióxido de Silicio (SiO ₂) % mín	-	20.89	ligeramente menor	20,29
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃) % máx	-	4.76	ligeramente menor	4,45
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃) % máx	-	2.98	ligeramente menor	2,98
Óxido de Calcio (CaO) %máx	-	63.80	ligeramente menor	62,89
Óxido de Magnesio (MgO) %máx	6	1.43	similar	1,48
Óxido de Azufre (SO ₃) % máx	3.5	2.94	similar	2,93
Perdidas al fuego (PPI)% máx	5.5	0.9	< 4	1,69
Resido Insoluble (RI)% máx	1.5	0.73	< 1	0,87

Tabla 3.13: Requisitos físicos y mecánicos del cemento Tipo1.

Requisitos	Norma Venezolana COVENIN 28: 2003 Tipo 1	Resultados Típicos Cemento Tipo I 0 % de Caliza	Resultados Esperados Cemento Tipo I 3,5 % de Caliza	Resultados obtenidos Cemento Tipo I 4,98 % de Caliza
Requisitos Físicos		%	%	%
Blaine (m ² /kg)	280	306	similar	310
Retenido en malla 90	-	1.42	similar	2,55
Estabilidad de volumen (% Máx.)	0.8	0.1	Ligero aumento	0,59
Tiempo de Fraguado, ensayo Vicat Inicial minutos	> 45	105	similar	105
Tiempo de Fraguado ensayo Vicat Final minutos	< 480	180	similar	178
Resistencia a la Compresión. (MPa)	1 día	-	22.9 (229)	Ligeramente abajo -
	3 días	10 (100)	35.6 (356)	Ligeramente abajo 30,9
	7 días	17 (170)	45.4 (454)	Ligeramente abajo 37,5
	28 días	27,4 (280)	56.4 (564)	Ligeramente abajo 49,5

Tabla 3.14: Requisitos físicos, químicos y mecánicos del cemento P - 35.

Requisitos			UM	Valores medios (sin adición de caliza)	Valores medios (con adición de caliza)
Físicos	Superficie específica: (mín.)		cm ² /g	3204	3159
	Tiempo fraguado inicial (mín.)		min	104	110
	Tiempo fraguado final (máx.)		h	2.88	3.02
	Estabilidad de volumen (máx.)		mm	0.67	0.77
Mecánicos	Resistencia a la compresión (mín.)	3 días	MPa	26.2	25.5
		7 días		34.4	32.6
		28 días		46.3	43.9
	Pérdida por ignición (máx.)			2.17	2.72
Químicos	Residuo Insoluble (máx.)		%	2.77	2.80
	Óxido de Magnesio (máx.)			1.52	1.46
	Trióxido de Azufre (máx.)			3.01	2.95

Tabla 3.15: Requisitos físicos, químicos y mecánicos del cemento PP - 25.

Requisitos			UM	Valores medios (sin adición de caliza)	Valores medios (con adición de caliza)
Físicos	Superficie específica: (mín.)		cm ² /g	3665	3567
	Tiempo fraguado inicial (mín.)		min	141	154
	Tiempo fraguado final (máx.)		h	3.64	4.15
	Estabilidad de volumen (máx.)		mm	0.63	0.80
Mecánicos	Resistencia a la compresión (mín.)	3 días	MPa	-	-
		7 días		24.9	23.2
		28 días		38.9	36.0
	Pérdida por ignición (máx.)			4.9	5.64
Químicos	Residuo Insoluble (máx.)		%	7.90	7.81
	Óxido de Magnesio (máx.)			1.55	1.49
	Trióxido de Azufre (máx.)			2.97	2.95

3.2.2 Comportamiento de los diferentes tipos de cemento en relación al SO₃ y la Resistencia a la Compresión (RC).

En los gráficos 3.2 a 3.9 se muestran los resultados del comportamiento de estos tipos de cemento (Tipo 1, P – 35, PP - 25) en relación al SO₃ y la Resistencia a la Compresión (RC), como se muestra en los mismos la adición de puzolana y caliza no producen variaciones significativas de estos requisitos manteniéndose dentro de los límites establecidos y mostrando un comportamiento similar al de los cementos sin adición de caliza. Esto demuestra la factibilidad técnica de la adición de puzolana y caliza a los cementos producidos en la empresa.

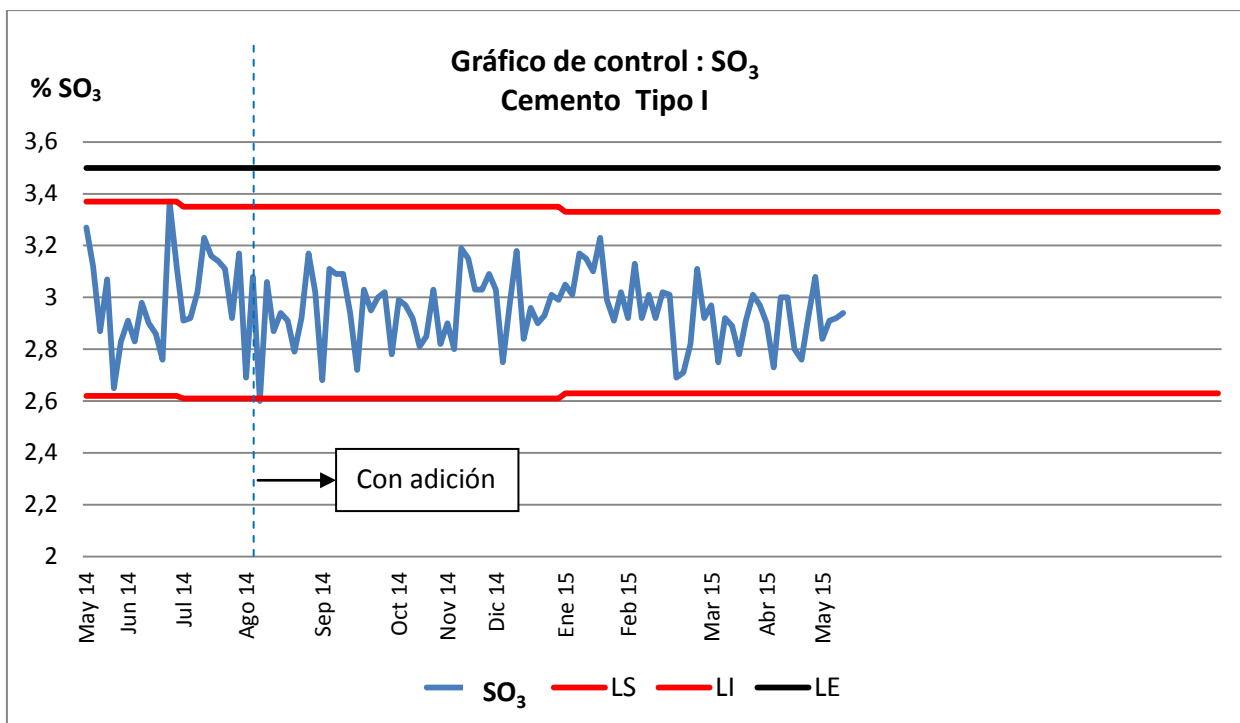


Grafico 3.2: Comparativo de los valores de SO_3 con y sin adición de caliza en el cemento Tipo 1.

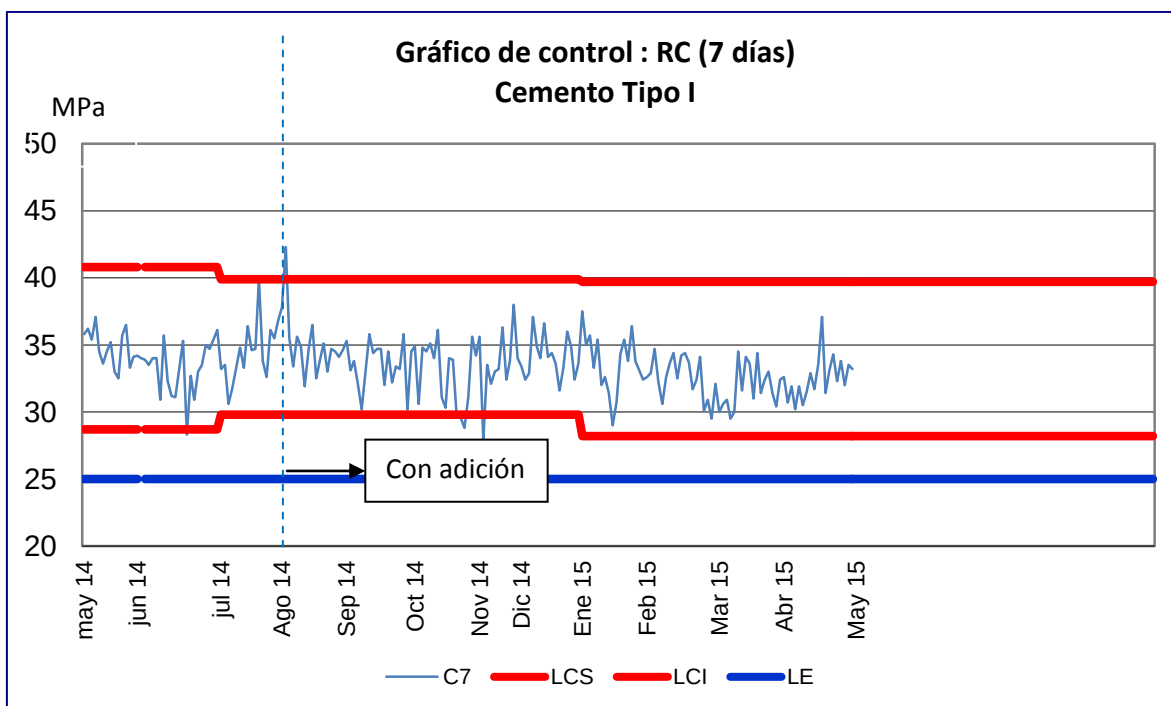


Grafico 3.3: Comparativo de los valores de RC a los 7 días con y sin adición de caliza en el cemento Tipo I.

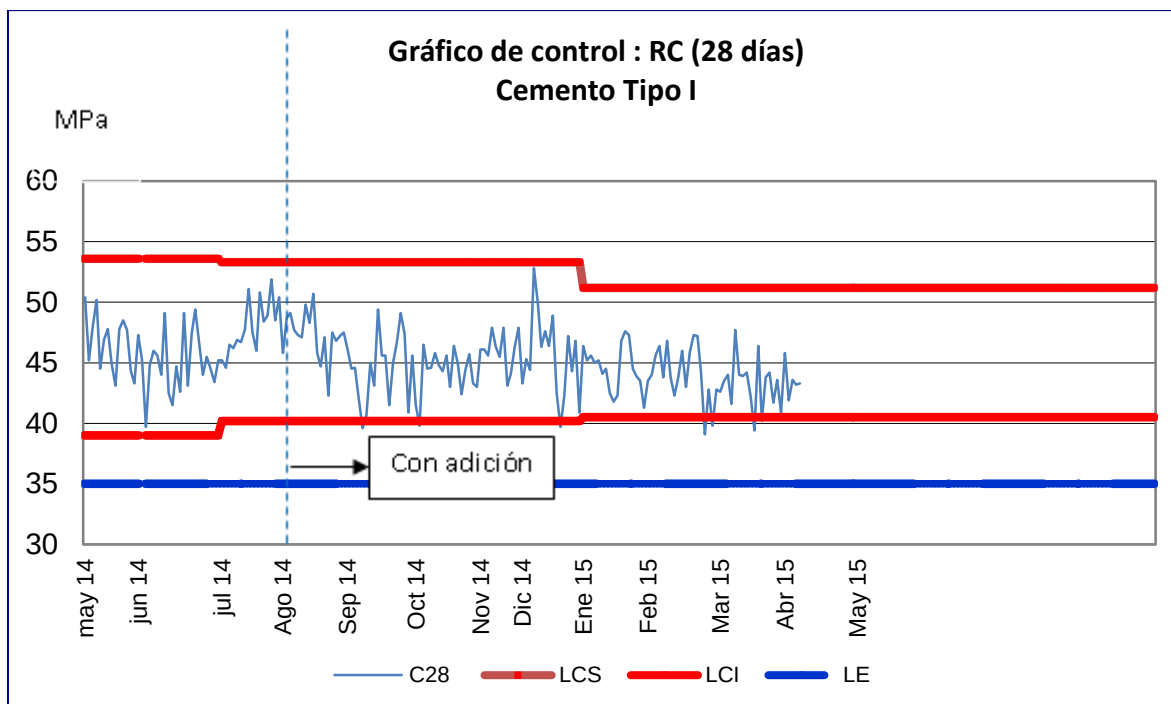


Grafico 3.4: Comparativo de los valores de RC a los 28 días con y sin adición de caliza en el cemento Tipo I.

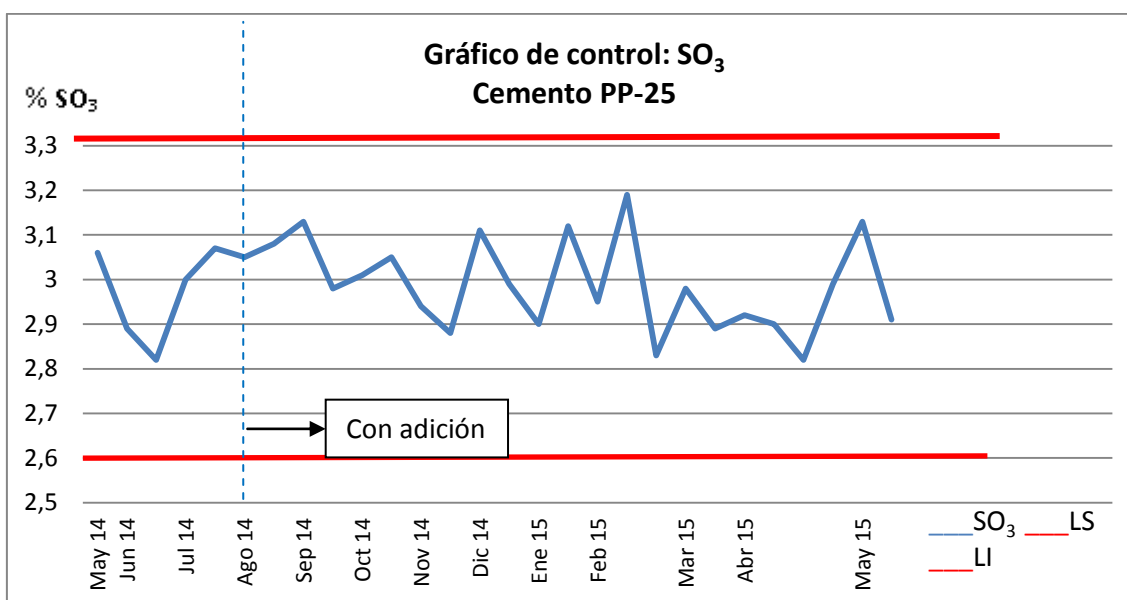


Grafico 3.5: Comparativo de los valores de SO_3 con y sin adición de caliza en el cemento PP-25.

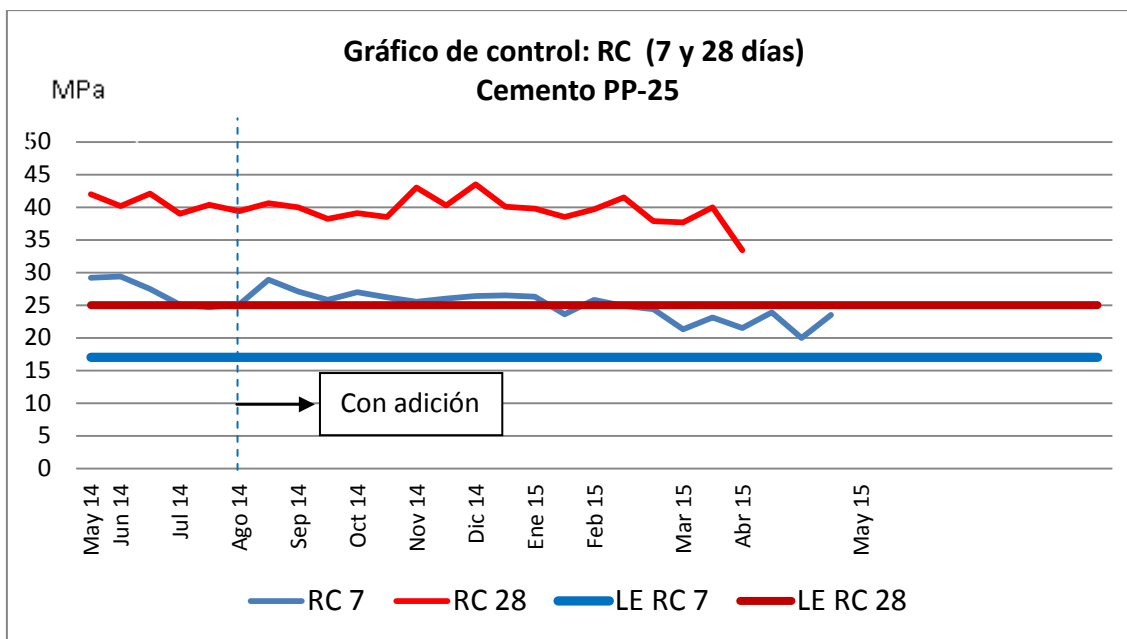


Grafico 3.6: Comparativo de los valores de RC a los 7 y 28 días con y sin adición de caliza en el cemento PP-25.

El comportamiento del cemento Tipo I y el P - 35 en cuanto a requisitos de calidad son similares.

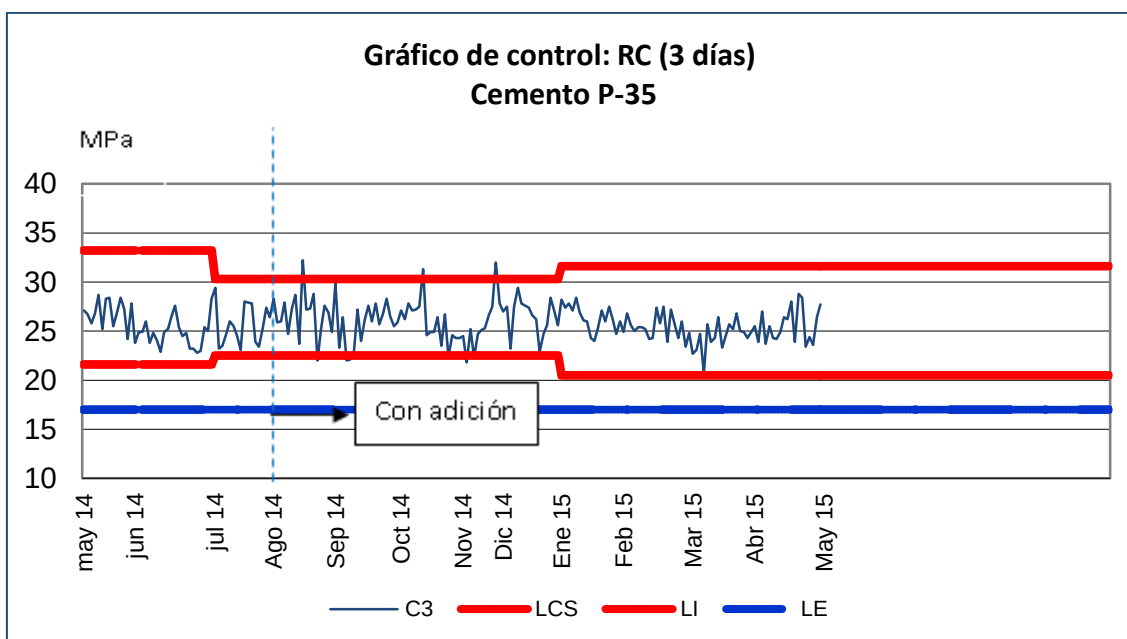


Grafico 3.7: Comparativo de los valores de la RC a los 3 días con y sin adición de caliza en el cemento P-35.

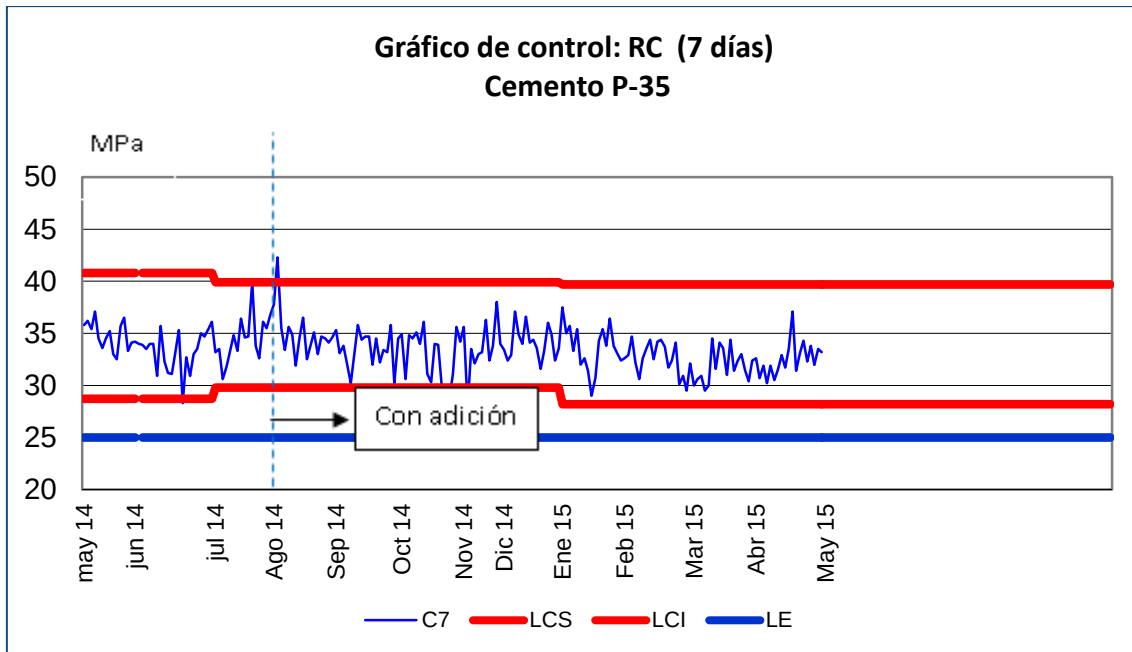


Grafico 3.8: Comparativo de los valores de la RC a los 7 días con y sin adición de caliza en el cemento P-35.

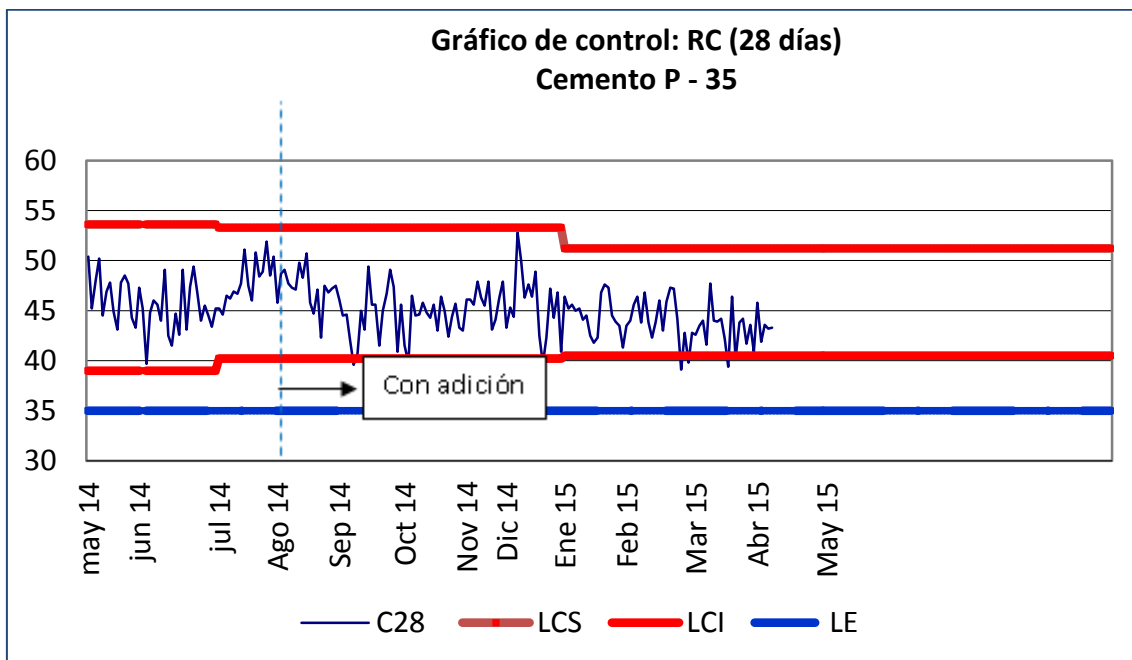


Grafico 3.9: Comparativo de los valores la RC a los 28 días con y sin adición de caliza en el cemento P-35.

3.3 Factibilidad Ambiental.

Desde el punto de vista ambiental, la adición de puzolana y caliza, produce un impacto positivo por cuanto la tasa de emisión calculada según la metodología ACM 5 del IPCC para Cementos Cienfuegos S.A. es de 1.01 tCO_{2 eq}/t clinker. Las reducciones de emisión de ese gas de efecto invernadero por la sustitución del clinker en los cementos se muestran en la tabla 3.16 y se calculan como se muestra en la ecuación (3).

$$t \text{ CO}_2 \text{ dejadas de emitir} = t \text{ de clinker ahorradas} * 1.01 \text{ t CO}_2 \text{ eq} \quad (3)$$

Tabla 3.16: Resumen sobre la reducción de los niveles de CO₂ necesario para la fabricación de los diferentes tipos de cemento.

Tipo de cemento.	Ahorro t Clinker.	t CO _{2eq} dejadas de emitir.
Tipo 1	12 151	12 272
P - 35	18 288	18 470
PP - 25	10 525	10 630
Total cemento producido	40 960	41 370

3.4 Factibilidad Económica.

Para la determinación de la factibilidad económica de la adición de puzolana y caliza el estudio considera dos aspectos fundamentales:

- ✓ La evaluación de factibilidad económica que representa la adición de puzolana y caliza.
- ✓ La evaluación económica - financiera de la inversión necesaria para el equipamiento que garantice la adición de dichos materiales.

3.4.1 Evaluación de factibilidad económica que representa la adición de puzolana y caliza.

En este caso los ahorros generados por la adición de puzolana y caliza están determinados por los costos de las toneladas de clinker dejadas de dosificar, en el caso de Cementos Cienfuegos S.A. estos costos están en el orden de los 48.00 CUC/t de clinker sustituida por puzolana y caliza.

En la tabla 3.17 se muestra los costos sin adición de puzolana y caliza para cemento Tipo 1.

En la tabla 3.18 se registran los resultados de la factibilidad del resto de las variantes analizadas en relación a los ahorros generados por la sustitución de clinker en el cemento.

De los resultados de la factibilidad económica solo por la adición de puzolana y caliza se comprueba que la variante 3 (3Y&2C) es la que mayores ahorros genera.

Tabla 3.17: Producción de cemento sin adición de puzolana y caliza.

Producción de cemento sin adición de caliza					Producción anual Clinker (t)		242 583	Precio CUC/kWh	0,1903
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo (t) Cemento
Tipo I		t	CUC	CUC	t/h	kWh/t	CUC	CUC	CUC/t
Clinker	95,45	231 545	48.00	11 114 183.00					
puzolana	-	0	10.00	0.00	68	41.14	1 899 168.00	13 234 101.00	54.55
caliza	-	0	6.06	0.00					
yeso	4,55	11 038	20.00	220 751.00					
Tipo I	100	242 583		11 334 933.00	Clinker utilizado en la producción de cemento.				231 545

Tabla 3.18: Resumen de la factibilidad por variantes para el cemento Tipo 1.

Variantes	Producción anual	Costo específico	Diferencia de Costo	Ahorros totales
	Clinker (t)	CUC/t	CUC/t	CUC
V- 0 C&Y	242 583	54.55	0	0.00
V- 1, 1Y&1C	242 583	52.31	2.24	544 443.00
V- 2, 2Y&1C	242 583	52.36	2.19	531 865.00
V-3, 3Y&2C	242 583	52.05	2.50	607 335.00

Igual trabajo se realizó para los cementos P - 35 y PP – 25, (Anexo11), a los efectos de determinar también la factibilidad del uso de la adición de puzolana y caliza en la fabricación de estos cementos, como se aprecia en la tabla 3.19 su factibilidad también es significativa en todos los aspectos referidos anteriormente a partir determinar la Variante 3 como óptima.

Tabla 3.19: Resumen de la factibilidad por tipos de cemento.

Variantes	Tipo de Cemento	Producción anual de Cemento	Costo específico	Diferencia de Costo	Ahorros totales.
		(t)	CUC/t	CUC/t	CUC
V-3, 3Y&2C	Tipo 1	242 583	52.05	2.50	607 335.00
V-3, 3Y&2C	P - 35	362 257	50.56	2.11	763 429.00
V-3, 3Y&2C	PP - 25	205 598	44.86	2.13	437 339.00
Variante Óptima	Total	810 438	49.56	2.23	1 808 104.00

3.4.2 Evaluación económica financiera de la inversión necesaria para el equipamiento que garantice la adición.

Para la adición de puzolana y caliza a escala industrial es necesario realizar una inversión dirigida a la instalación de una nueva dosificadora por lo que es necesario además realizar el estudio económico - financiero de la misma para determinar la factibilidad por este concepto.

El estudio de factibilidad es el análisis de una empresa para determinar si el negocio que se propone será bueno o malo, y en cuales condiciones se debe desarrollar para que sea exitoso y si el negocio propuesto contribuye con la conservación, protección o restauración de los recursos naturales y ambientales.

La evaluación económico-financiera del proyecto permite determinar si conviene realizar un proyecto, o sea si es o no rentable y si siendo conveniente es oportuno ejecutarlo en ese momento o cabe postergar su inicio. En presencia de varias alternativas de inversión, la evaluación es un medio útil para fijar un orden de prioridad entre ellas, seleccionando los proyectos más rentables y descartando los que no lo sean.

Los estudios de mercado, así como los técnicos y los económicos, brindan la información necesaria para estimar los flujos esperados de ingresos y costos que se producirán durante la vida útil de un proyecto en cada una de las alternativas posibles.

La comparación de estos flujos de beneficios y costos tiene que ser atribuibles al proyecto. Al decidir sobre la ejecución del mismo no deben tomarse en cuenta los flujos pasados ni las inversiones existentes.

El objetivo fundamental de la evaluación económica - financiera es evaluar la inversión a partir de criterios cuantitativos y cualitativos de evaluación de proyectos. En el primer criterio mencionado encontraremos los más representativos y usados para tomar decisiones de inversión, es decir nos referimos al Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Período de Recuperación, teniendo en cuenta en este criterio el valor del dinero en el tiempo y la razón Beneficio / Costo (B/C) o Índice de Rentabilidad (IR). En los criterios cualitativos se puede utilizar el que mayor garantía tiene.

El análisis Beneficio/Costo permite establecer un proceso de valoración económica de los costos evitados como beneficios o de los beneficios no percibidos como costos, ante el proyecto. El beneficio constituye entonces una estimación y no la realidad. En todo análisis beneficio/costo es de vital importancia los costos, ya que estos también influyen en los beneficios que se estimen del proyecto en términos cuantitativos.

Para realizar el estudio económico - financiero en la empresa Cementos Cienfuegos S.A. para llevar a cabo la inversión necesaria para el equipamiento que garantice la adición de caliza se desarrollaron diferentes tareas como se muestra a continuación.

En la tabla 3.20 se muestran los costos de la inversión para la instalación de una nueva dosificadora.

Tabla 3.20: Costos de Inversión

CONSTRUCCION Y MONTAJE				DEPRECIACION	FINANCIAMIENTO
				%	MCUC
TOTAL				6.0 %	29.20
TOTAL					487.00
SUMINISTROS					MCUC
Equipamiento					
Báscula				120.00	120.00
Sistema de despolvado				126.00	126.00
Transportador				110.00	110.00
TOTAL				356.00	356.00
EJECUCIÓN DEL MONTAJE					MCUC
Acondicionamiento para montaje				8.00	8.00
Montaje				50.00	
Alquiler de mano de obra				54.00	54.00
Alquiler de equipos:				17.00	17.00
Grúa				12.00	12.00
Camión				5.00	5.00
Imprevistos				2.00	47.50
TOTAL				487.00	487.00
CONDICIONES DE FINANCIAMIENTO:					
INTERESES		6.0 %	anual		
PERIODO GRACIA		1	año		
PLAZO DE PAGO		5	años		

En el pronóstico de los flujos de caja (FC) del proyecto se consideraron los siguientes aspectos:

- Los niveles de producción previstos en el futuro en función de la demanda estimada del mercado para los próximos años. (Anexo 3)
- Proyección anual de los flujos de caja. (Anexo 7)
- La empresa dispone íntegramente de la depreciación ya que es propiedad de los activos.
- La tasa de interés de préstamos a largo plazo es del 6 % anual.
- El cargo anual por concepto de depreciación asciende a un total de 29.20 MCUC
- Se proyectaron las entradas por concepto de disminución de los costos totales de operación sin la inversión.

Para la realización de los análisis de la inversión se tomó la tasa de descuento del 10 % establecido por la junta de accionistas de Cementos Cienfuegos S.A. para las inversiones y se realizó una proyección hasta un 15 % según se establece en nuestro país, para la determinación de los perfiles del VAN.

Las entradas están asociadas a los ahorros por concepto de disminución del consumo de clinker en cemento y de los portadores energéticos por la adición de puzolana y caliza (Anexo 7).

Las salidas están dadas por concepto de gastos de mantenimiento, depreciación, fuerza de trabajo y energéticos. (Anexo 7)

En su totalidad los flujos de caja son positivos, lo que evidencia la eficiencia y eficacia del nuevo equipamiento a instalar. Los resultados de los indicadores principales de presupuesto para la inversión analizada en este trabajo, aparece en la tabla 3.21 y el gráfico 3.10 muestra los perfiles del VAN.

Tabla 3.21: Valores de los flujos de cajas considerados en la determinación del VAN.

Año	Flujo Caja (MCUC)	PRI real	FC descontados (MCUC)	PRI descontado	FC descontado 15% (MCUC)
0	-487.00	-487.00	-487.00	-487.00	-487.00
1	2 354.77	1 867.77	2 140.70	1 653.70	2 047.63
2	2 301.37		1 901.96		1 740.17
3	2 301.37	0.21	1 729.06	0.23	1 513.19
4	2 301.37		1 571.87		1 315.82
5	2 301.37	3 meses	1 428.97	3 meses	1 144.19
6	2 301.37		1 299.07		994.95
7	2 301.37		1 180.97		865.17
8	2 301.37		1 073.61		752.32
9	2 301.37		976.01		654.19
10	2 334.89		900.20		577.15
VAN	22 613.66		13 715.42		11 117.79
TIR	68 %				

PRI real: Período de recuperación de la inversión real, PRI descontado: Período de recuperación de la inversión descontado.

El PRI real y el PRI descontado se calculan como se muestran en las ecuaciones (4) y (5).

$$PRI\ real = \frac{Inversión}{FC} \quad (4)$$

$$PRI\ descontado = \frac{Inversión}{FC\ descontado} \quad (5)$$

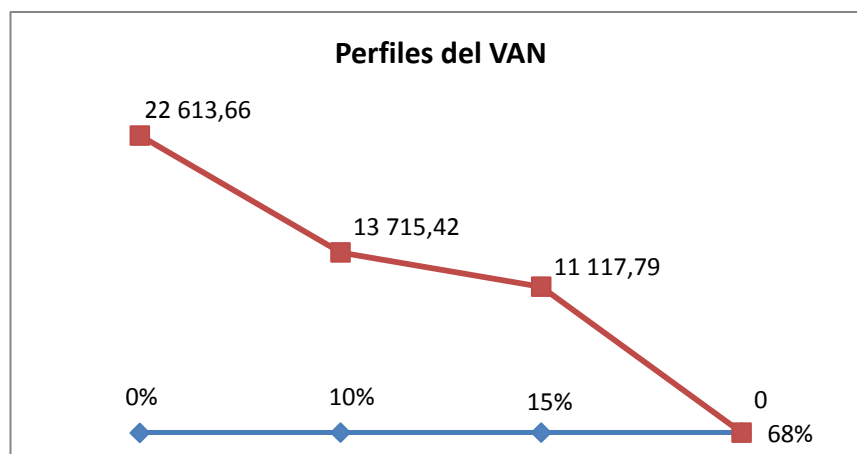


Gráfico 3.10: Perfiles del Van

El período de recuperación de la inversión del proyecto es aproximadamente de 3 meses, lo que representa un 3.11 % del tiempo que como máximo se establece en el país para la recuperación del desembolso inicial de la inversión (8.02 años), el 5 % del establecido por la compañía (5 años) y el 2.5 % de la vida útil de la inversión (10 años).

La Tasa Interna de Retorno (TIR) fue calculada usando el método iterativo, el valor de la TIR será la tasa de descuento para el cual el VAN = 0. La Rentabilidad Relativa Bruta Anual por unidad monetaria comprometida en la inversión es del 68 %, este valor es mayor que la tasa de descuento (k), (TIR > k), por lo que la Rentabilidad Neta por unidad monetaria invertida en la inversión (TIR - k) es del 58 %.

El criterio VANA (Valor Actual Neto Ajustado) parte de calcular independientemente, la rentabilidad de la inversión y la rentabilidad de la financiación, con la suma posterior de ambos resultados, en este sentido, hayamos primeramente el VAN de la inversión sin considerar los efectos de la financiación, o sea como si se financiara sólo con capital propio, y posteriormente se calcula el VAN del efecto de la financiación.

Para la determinación del VANA se tomaron las condiciones del financiamiento del socio extranjero, utilizando las expresiones que aparecen al final de la tabla 3.22, el método utilizado fue el del Interés Simple Decreciente (según exigencia del financista).

Tabla 3.22: Cálculo del VANA por el método de Interés Simple Decreciente.

Años	T.A.P (MCUC/ año)	T.L.I (MCUC)	T.L.T (MCUC)	T.L.T act (MCUC)
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	97.40	17.53	114.93	94.99
3	97.40	17.53	114.93	86.35
4	97.40	17.53	114.93	78.50
5	97.40	17.53	114.93	71.36
6	97.40	17.53	114.93	64.88
			VAN fin	-396.08

$$\text{VANA} = \text{T.LIQ.TOTAL act} + \text{VAN}$$

$$\text{VANA} = - 396.08 + 13\,715.42$$

$$\text{VANA} = 13\,319.3 \text{ MCUC}$$

$$T.A.P = \frac{\text{Deuda}}{\text{plazo de pago}} \quad (6)$$

$$\text{Interés de la deuda} = \frac{\text{Deuda} * \text{Interés} * (\text{plazo de pago} + 1)}{2} \quad (7)$$

$$T.L.I = \frac{\text{Interés de la deuda}}{\text{plazo de pago}} \quad (8)$$

Donde:

T.A.P.: Tasa Amortización del Principal

T.L.I.: Tasa Liquidez de Intereses.

T.L.T.: Tasa de Liquidez Total.

T.L.T.act.: Tasa de Liquidez Total actualizada.

Análisis beneficio/costo de la inversión:

INVERSIÓN INICIAL (COSTO)	=	487.00	MCUC
BENEFICIOS	=	13 319.30	MCUC
B/C	=	27.35	

Por cada CUC invertido en la instalación para la dosificación de caliza se obtiene un beneficio 27.35 CUC.

La ejecución del proyecto de inversión produce los siguientes impactos:

- Ambientales:

La disminución del consumo de energía eléctrica y combustible, además de una sensible disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂).

- Implicaciones para la infraestructura.

La inversión no introduce variaciones en la infraestructura de la instalación de dosificación por cuanto las dimensiones del equipamiento son similares y solo se modificarán los componentes del equipo, esto hace que no sea necesaria la modificación del local de instalación.

- Rendimiento.

El nuevo proyecto permitirá lograr rendimientos superiores a los alcanzados en la actualidad ya que se alcanzarán volúmenes de producción superiores con un consumo energético inferior debido a la significativa disminución de las pérdidas.

3.5 Indicadores de gestión y desempeño-compromiso con el desarrollo sostenible de la producción de cemento.

La búsqueda de un modelo de producción sostenible y rentable, tanto desde el punto de vista económico como social y medioambiental, se ha convertido en línea prioritaria de actuación de las empresas del sector en los últimos tiempos. Estos condicionan las medidas adoptadas por los grupos cementeros para reducirlo y así compatibilizar la actividad productiva con la protección del entorno, optimizando el comportamiento de las instalaciones de fabricación a través de una mejora continua, la modernización de equipos y la inversión en medios de reducción de los distintos impactos ambientales.

El compromiso de la industria del cemento con el medio ambiente y el desarrollo sostenible, mediante la gestión racional de los recursos y la compatibilidad de la producción del cemento con la protección del entorno natural y la mejora de la calidad de las personas, bajo el marco legal vigente, se refleja en el volumen de inversiones que dicho sector ha realizado en los últimos años.

Cementos Cienfuegos S.A lleva a cabo un proyecto “Hacia una industria cementera sostenible”, que abarcan aspectos de comunicación y diálogo con las partes interesadas, innovación, análisis de ciclo de vida, minimización de impactos, reducción del efecto invernadero (Mecanismo de Desarrollo Limpio: MDL), productividad de recursos, bienestar de los empleados y comunidad, cooperación de la industria, integración empresarial y desarrollo de indicadores de desempeño sostenible para la industria del cemento.

Los Indicadores Clave de Desempeño (KPI, por sus siglas en inglés) miden el nivel del desempeño de un proceso. Para evaluar el desempeño se proponen los siguientes indicadores principales:

Indicadores de crecimiento económico.

- ✓ Rendimiento de instalación (TRT).
- ✓ Índices energéticos (energía eléctrica y combustible).
- ✓ Consumo de Agua.
- ✓ Índice de Calidad del Producto (ICP).
- ✓ Factor Clinker/Cemento.
- ✓ Costo de Producción (Variable).

Indicadores ambientales.

- ✓ Índice de Calidad del Aire (ICA).
- ✓ Consumo de agua.
- ✓ Índice de Calidad del Residual (ICR).
- ✓ Índice de Calidad de Deposición (ICD).

Indicadores de responsabilidad social.

- ✓ Indicador de trabajo y salario.
- ✓ Capacitación.
- ✓ Indicadores de accidentalidad.

Estos forman parte del conjunto de indicadores que se registran en Cementos Cienfuegos S.A. y se ajustan a los tres criterios del enfoque de desarrollo sostenible como se muestra en la figura 3.1. Estos indicadores aportan elementos para la evaluación de la estabilidad y las buenas prácticas, información que se utiliza para desarrollar las acciones correctivas y/o preventivas, planes de mejoramiento enfocados hacia una industria más sostenible. Son utilizados además para comparar con los estándares internacionales para este tipo de industria.

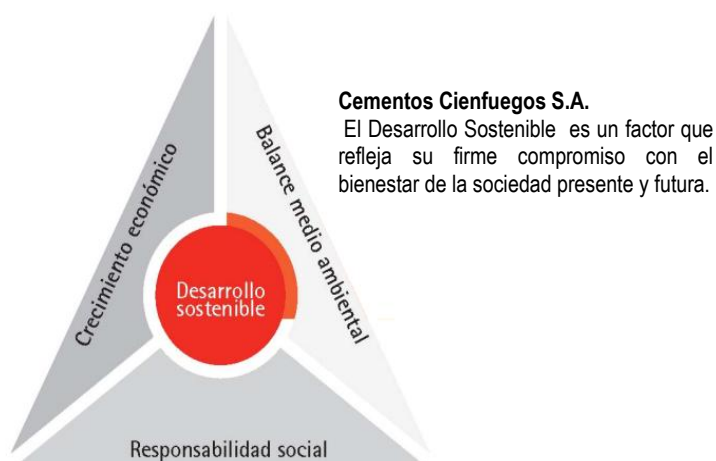


Fig. 3.1: Enfoques del desarrollo sostenible.



Conclusiones

Conclusiones.

- El estudio documental realizado permitió comprender que la puzolana y la caliza son una buena adición para los cementos.
- La adición de puzolana y caliza a los cementos no producen variaciones significativas de las propiedades físicas - mecánicas manteniendo un comportamiento similar al de los cementos sin adición.
- Los porcentos de adición calculados producen un ahorro de alrededor de 40 960 t de clinker al año, lo que representa más de 41.37 MtCO_{2eq}, dejadas de emitir a la atmósfera.
- Los indicadores de rentabilidad, VAN 13 715.42 MCUC y TIR 68 %, demuestran ser un proyecto factible económicamente y de rápida recuperación (3 meses).
- La relación Beneficio/Costo muestra que por cada CUC invertido se obtienen 27.35 CUC de beneficio.
- Los indicadores de gestión y desempeño aportan elementos hacia una industria más sostenible y pueden ser utilizados para comparar con los estándares internacionales para este tipo de industria.



Recomendaciones

Recomendaciones.

- Se debe solicitar el aumento del SO_3 del cemento hasta un 4 %, atendiendo a que muchas normas internacionales trabajan con esos valores y considerando que el 50 % o más lo aporta el clinker, con esto se garantiza para clinker con mayores contenidos de SO_3 mantener la misma adición porcentual de caliza.
- Verificar que las curvas de calibración de los cementos se ajusten a los futuros cementos con mayor porcentaje de adición de puzolana y caliza.
- Incluir en los planes de inversiones futuras un sistema independiente de almacenamiento y dosificación de caliza.



Bibliografia

Bibliografía.

AFCP. (2010, Octubre). La industria del cemento y la sostenibilidad. Asociación de fabricantes de Cemento Portland.

Alonso Lavernia, Juan M., & Martín Acosta, Ana R. (2014, octubre). Evaluación del Cemento PP 35 con Adición del 15% de Toba Las Carolinas en la Fábrica de Cementos Cienfuegos S.A.

Boza Regueira, Maile. (2011). Utilización de las escorias de acería como material de construcción, V.1 No. 4.

Calleja, José. (2013). Adiciones y cementos con adiciones. Recuperado a partir de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/9691029>.

Campos Avella, Juan C., & Lora Figueroa, Edgar. (2011). Ahorro de energía en la industria del cemento.

Castrillón Mendoza, Rosaura. (2011). El Cemento. Recuperado a partir de <http://ocw.usal.es/senanzas-tecnicasciencia-y-tecnologia-de-los-materiales/contenido/TEMA%205-%20EL%20CEMENTO.pdf>.

Chavez, Francisco. (2005, Abril). Análisis de ciclo de vida del concreto en México.

CIDAC. (2000). Investigaciones para el desarrollo.

Díaz, Jherson E. (2013, diciembre). Mezcla ternaria de cemento Portland, escoria de alto horno y piedra caliza: Resistencia mecánica y durabilidad. Recuperado a partir de

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2013000300006&script=sci_arttext

Dopico Montes de Oca, Juan J. (2009, agosto). Efecto de la adición mineral cal- zeolita sobre la resistencia a la compresión y la durabilidad de un hormigón., 24 N°2, 181- 194.

- Duda, Walter H. (1997). *Manual Tecnológico del Cemento*. España.
- Eras Correa, Miguel A. (2010). *Simulación Del Comportamiento Del Cemento Tipo I, Adicionando Zeolita Ecuatoriana Al 20% Con Un Curado En Agua*. Guayaquil, Ecuador.
- García Vivancos, Jorge. (2011, Junio). *Análisis de viabilidad económico - financiera de una planta de cemento*. Universidad Pontificia Comillas, Madrid.
- Gener, M. (1980, 1985). Calidad de las Tobas para Cementos Portland Puzolánicos y Puzolánicos. Problema Principal Estatal 046 Aditivos, Tobas y Minerales en Cemento y Hormigón.
- Godoy. (2006, Noviembre). *Desarrollo y aplicaciones de los cementos mezclados hidráulicos*. Guatemala.
- Gómez González, Antonio. (2009, Abril). *Caracterización y utilización de puzolanas como aditivos minerales activos en cementos. Aplicación en viviendas de bajo coste*. Universidad Politécnica de Valencia, España. Recuperado a partir de <http://www.upv.esuplU0566483.pdf>
- González López, Raúl. (2004, Santa Clara, Cuba). *Producción de materiales de construcción y energía a partir de desechos orgánicos: el bloque sólido combustible*. Recuperado a partir de <http://www.ecosur.org/index.php/publicaciones/category/3-tesis?download=35:produccion-de-materiales-de-construccion-y-energia-a-partir-de-desechos-organicos-el-bloque-solido-combustible->
- González, Manuel. (2010). Estudio de un Cemento Portland ecológico. Recuperado a partir de http://www.asocem.org.peSCMRootbvaf_doccementoMGC59_portland_ecologico.pdf

- Herrero Nuñez, E. (1987). Adiciones al cemento. Curso de Ahorro de Energía en el Sector Cemento.
- Kandora Montrone, Kurt Arthur. (2008, Octubre). *Factibilidad técnico - económica de producción de cal hidráulica alta resistencia y alta rentetividad*. Santiago de Chile. Recuperado a partir de http://prepositorio.uchile.cl/tesis/uchile2008kandora_ksourceskandora_k.pdf
- León Rodríguez, Rosa M. (2010). *Análisis de ciclo de vida (ACV) de la producción de cemento: caso de estudio Cementos Cienfuegos SA*. Cienfuegos, Cuba.
- López Castrillón, Yuri. (2011). Lección 9: Cementos / Materias Primas. Recuperado a partir de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion9.CEMENTOS.MateriasPrimas.pdf>.
- Martirena. (2008). *Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerantes de clinker de cemento Portland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa*". Cuba.
- Navarro Gómez, Alfredo, & Tovar Ospino, Iván. (2013). Minimizar el impacto medioambiental de nuestras operaciones y trabajar por la sostenibilidad de los recursos naturales. Recuperado a partir de <http://saber.ucv.ve/jspui/handle/123456789/2412>
- Peña, Oxana. (2011). *Integración del Sistema de Gestión Energética al sistema de Gestión de Cementos Cienfuegos SA*. Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.
- Prias Caicedo, Omar, Meriño Stand, Lourdes, & Quispe Oqueña, Enrique Ciro. (2012). Cementos RC - 08. Recuperado a partir de http://www.uclm.es/areaing_rural/HormigonTemasCementos_RC08.pdf
- Ramírez Almaguer, Daniarys. (2009). Etapas del análisis de factibilidad. Recuperado a

partir de <http://www.eumed.net/ce/2009a/amr.htm>

- Rodríguez, Berlan, Romero, José L., & León, Rosa M. (2012, octubre). Comparación técnica, económica y ambiental de los cementos cubanos portland P-350 y PP-250 con sus equivalentes puzolánicos PP-350 y PZ-250., 8, 281 - 292.
- Roskovic, & Bjegovic. (2010). Contribución del cemento de adición en la producción de cemento sostenible. Parte II, N°. 937, 38-43.
- Rovira, Nadal, M., Schuhmacher, & Domingo, J.L. (2011). Use of sewage sludge as secondary fuel in a cement plant: human health risks. Recuperado a partir de <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2010.08.004>.
- Salas Vinenti, M. E. (2002). Estudio cinético del sistema de molienda de una fábrica de cemento cubana., 52, N°266. Recuperado a partir de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/337/385>
- Sancha Dionisio, M^a del Pilar. (2013, Enero). *Nuevo enfoque de la planificación de la producción sostenible del cemento : propuesta de un modelo de optimización para reducir las emisiones de CO2*. Universidad de Huelva, Huelva, España.
- Sanjuán M. A. (2007, diciembre). Los Cementos de adición en España del 2000 al 2005, 909, 4-55.
- Schmidt, T., Rogge, K., Schuetz, M., & Hoffmann, V.H. (2012). The effects of climate policy on the rate and direction of innovation: A survey of the EU ETS and the electricity sector. 2, N° 3, 23-48.
- Schneider. (2011, Julio). Sustentabilidad en la producción de cemento. Presente y futuro., 41, 642 - 650.
- Silva Parrales, Geovanna B., & Suquinagua Yascaribay, Flor E. (2012, julio). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de un aditivo que acelera*

los procesos de fraguado de las construcciones y obras civiles de la Ciudad de Milagro. Universidad Estatal de Milagros, Ecuador.

Suárez Silgado, Sindy Sofía. (2010, Julio). *Mezclas binarias y ternarias basadas en cenizas volantes. Influencia del activador sobre la formación de fases y resistencias mecánicas.* Universidad Politécnica de Catalunya, Catalunya, España.

Tobón, Jorge I., & Kazes Gómez, Rebeca. (2008, Enero). Desempeño del Cemento Portland adicionado con calizas de diferentes grados de pureza. Recuperado a partir de <http://www.scielo.org.copdfdynav75n156a17v75n156.pdf>

Vidal Medina, Juan R. (2012). Tipos de cementos y sus usos. Recuperado a partir de <http://www.iccyc.comsitesdefaultfilesConcrenoticiasTIPOS%20DE%20CEMENTO%20Y%20SUS%20USOS.pdf>

Zhou, Pan, Chen, & Yang. (2012). Selection and evaluation of green production strategies: analytic and simulation models., *Nº 26*, 9-17.



Anexos

Anexos

Anexo 1: Vista satelital del emplazamiento de Cementos Cienfuegos S.A y el yacimiento Cantabria.



Anexo 2: Yacimiento Carolinas.



ANEXO 3: ANÁLISIS DE MERCADO PARA LA FABRICACION DE CEMENTOS

	AÑOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PROYECCION DE LA DEMANDA											
CANTIDAD DE CEMENTO [t]											
P - 35		320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00
PP - 25		163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163.200,00	163 200,00
Tipo I		300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300.000,00	300 000,00
TOTAL		783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783.200,00	783 200,00
PROYECCION DEL PRECIO DE VENTA											
(MCUC/t)											
P - 35		105,7	105,7	105,7	105,7	105,7	105,7	105,7	105,7	105,7	105,7
PP - 25		104,7	104,7	104,7	104,7	104,7	104,7	104,7	104,7	104,7	104,7
Tipo I		105,7	105,7	105,7	105,7	105,7	105,7	105,7	105,7	105,7	105,7
VALOR ANUAL DE VENTAS (MCUC)											
P - 35		33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00
PP - 25		17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04
Tipo I		31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00
TOTAL		82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04

ANEXO 4: PLANTILLA DE CARGOS Y SALARIOS MOLIENDA CEMENTO

SALARIOS (EN CUC)	TURNOS	TRAB/ TURNO	TOTAL TRAB	SALAR/ TRAB	SALAR/ MES	SALAR/ AÑO				
TRABAJADORES INDIRECTOS			3	558	1 674	20 088,00				
TRABAJADORES DIRECTOS			59							
PRODUCCION			59	498,00	29 382	352 584,00				
DIRIGENTES			2	719,00	1 438,00	17 256,00				
SERVICIOS			0	0,00	0,00	0,00				
ADMINISTRATIVOS			1	420,00	420,00	5 040,00				
TOTAL SALARIOS			62			395,0				
AÑOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VOLUMEN PRODUCCION	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00
SALARIO/AÑO	MCUC	395,0	395,0	395,0	395,0	395,0	395,0	395,0	395,0	395,0

ANEXO 5: PRODUCCIÓN ACTUAL

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VOLUMEN DE PRODUCCIÓN		783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00
P - 35		320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00
PP - 25		163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00
Tipo I		300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00
VALOR ANUAL DE VENTAS	MCUC	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04
P - 35		33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00
PP - 25		17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04
Tipo I		31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00
COSTO TOTAL DE LA PRODUCCIÓN	MCUC	37 705,39	37 705,39	37 705,39	37 705,39	37 705,39	37 705,39	37 705,39	37 705,39	37 705,39	37 705,39
P - 35		15 290,17	15 290,17	15 290,17	15 290,17	15 290,17	15 290,17	15 290,17	15 290,17	15 290,17	15 290,17
PP - 25		7 167,86	7 167,86	7 167,86	7 167,86	7 167,86	7 167,86	7 167,86	7 167,86	7 167,86	7 167,86
Tipo I		15 247,36	15 247,36	15 247,36	15 247,36	15 247,36	15 247,36	15 247,36	15 247,36	15 247,36	15 247,36
MAT PRIMAS Y MATERIALES P - 35											
CLINKER	MCUC	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75
PUZOLANA		44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00
YESO		331,52	331,52	331,52	331,52	331,52	331,52	331,52	331,52	331,52	331,52
TOTAL MAT PRIM Y MATER		12 601,27	12 601,27	12 601,27	12 601,27	12 601,27	12 601,27	12 601,27	12 601,27	12 601,27	12 601,27
MAT PRIMAS Y MATERIALES PP - 25											
CLINKER	MCUC	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94
PUZOLANA		89,76	89,76	89,76	89,76	89,76	89,76	89,76	89,76	89,76	89,76
YESO		169,08	169,08	169,08	169,08	169,08	169,08	169,08	169,08	169,08	169,08
TOTAL MAT PRIM Y MATER		5 454,78	5 454,78	5 454,78	5 454,78	5 454,78	5 454,78	5 454,78	5 454,78	5 454,78	5 454,78
MAT PRIMAS Y MATERIALES Tipo I	MCUC										
CLINKER		12 098,40	12 098,40	12 098,40	12 098,40	12 098,40	12 098,40	12 098,40	12 098,40	12 098,40	12 098,40
YESO		310,80	310,80	310,80	310,80	310,80	310,80	310,80	310,80	310,80	310,80
TOTAL MAT PRIM Y MATER		12 409,20	12 409,20	12 409,20	12 409,20	12 409,20	12 409,20	12 409,20	12 409,20	12 409,20	12 409,20

ANEXO 5- PRODUCCIÓN ACTUAL. Cont...

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mano de Obra											
SALARIOS DIRECTOS		395,00	395,00	395,00	395,00	395,00	395,00	395,00	395,00	395,00	395,00
IMP. SALAR + SEG. SOC	0,25	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75
GASTOS ADMON		5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
TOTAL		498,75	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75
ENERGETICOS											
AGUA	MCUC	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50
ELECTRICIDAD		4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65
TOTAL ENERGETICOS		4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES P - 35											
CLINKER											
INDICE CONS	0,9										
COSTO		42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45
PUZOLANA											
INDICE CONS	0,05										
COSTO		2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
YESO											
INDICE CONS	0,05										
COSTO		20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES PP - 25											
CLINKER											
INDICE CONS	0,75										
COSTO		42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45
PUZOLANA											
INDICE CONS	0,2										
COSTO		2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
YESO											
INDICE CONS	0,05										
COSTO		20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72

ANEXO 5- PRODUCCIÓN ACTUAL. Cont...

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES Tipo I											
CLINKER											
INDICE CONS	0,95	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45
COSTO											
YESO											
INDICE CONS	0,05	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72
COSTO											
ENERGETICOS											
AGUA											
INDICE CONS	0,55	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50
PRECIO	0,15										
ELECTRICIDAD P - 35											
INDICE CONS	34,7										
PRECIO	0,166	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73
ELECTRICIDAD PP - 25											
INDICE CONS	32,0	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92
PRECIO	0,166										
ELECTRICIDAD Tipo I											
INDICE CONS	40,0	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00
PRECIO	0,166										
MANTENIMIENTO											
		1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88

ANEXO 6 - PRODUCCIÓN ADICIÓN

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VOLUMEN DE PRODUCCIÓN		783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00	783 200,00
P - 35		320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00	320 000,00
PP - 25		163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00	163 200,00
Tipo I		300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00
VALOR ANUAL DE VENTAS	MCUC	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04	82 621,04
P - 35		33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00	33 824,00
PP - 25		17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04	17 087,04
Tipo I		31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00	31 710,00
COSTO TOTAL DE LA PRODUCCIÓN	MCUC	37 332,03	37 332,03	37 332,03	37 332,03	37 332,03	37 332,03	37 332,03	37 332,03	37 332,03	37 332,03
P - 35		15 284,66	15 284,66	15 284,66	15 284,66	15 284,66	15 284,66	15 284,66	15 284,66	15 284,66	15 284,66
PP - 25		7 165,05	7 165,05	7 165,05	7 165,05	7 165,05	7 165,05	7 165,05	7 165,05	7 165,05	7 139,79
Tipo I		14 882,32	14 882,32	14 882,32	14 882,32	14 882,32	14 882,32	14 882,32	14 882,32	14 882,32	14 882,32
MAT PRIMAS Y MATERIALES P - 35											
CLINKER	MCUC	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75	12 225,75
PUZOLANA		26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	18,14
YESO		331,52	331,52	331,52	331,52	331,52	331,52	331,52	331,52	331,52	331,52
CALIZA		12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10
TOTAL MAT PRIM Y MATER		12 595,77	12 595,77	12 595,77	12 595,77	12 595,77	12 595,77	12 595,77	12 595,77	12 595,77	12.587,51
MAT PRIMAS Y MATERIALES PP - 25											
CLINKER	MCUC	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94	5 195,94
PUZOLANA		80,78	80,78	80,78	80,78	80,78	80,78	80,78	80,78	80,78	55,52
YESO		169,08	169,08	169,08	169,08	169,08	169,08	169,08	169,08	169,08	169,08
CALIZA		6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17
TOTAL MAT PRIM Y MATER		5 451,97	5 451,97	5 451,97	5 451,97	5 451,97	5 451,97	5 451,97	5 451,97	5 451,97	5 426,71
MAT PRIMAS Y MATERIALES Tipo I	MCUC										
CLINKER		11 716,34	11 716,34	11 716,34	11 716,34	11 716,34	11 716,34	11 716,34	11 716,34	11 716,34	11 716,34

ANEXO 6 - PRODUCCIÓN ADICIÓN. Cont...

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
YESO		310,80	310,80	310,80	310,80	310,80	310,80	310,80	310,80	310,80	310,80
CALIZA		17,01	17,01	17,01	17,01	17,01	17,01	17,01	17,01	17,01	17,01
TOTAL MAT PRIM Y MATER		12 044,15	12 044,15	12 044,15	12 044,15	12 044,15	12 044,15	12 044,15	12 044,15	12 044,15	12 044,15
Mano de Obra											
SALARIOS DIRECTOS		395,00	395,00	395,00	395,00	395,00	395,00	395,00	395,00	395,00	395,00
IMP. SALAR + SEG. SOC	0,25	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75	98,75
GASTOS ADMON		5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
TOTAL		498,75	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75
ENERGETICOS											
AGUA	MCUC	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50
ELECTRICIDAD		4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65	4 701,65
TOTAL ENERGETICOS		4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15	4 784,15
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES P - 35											
CLINKER											
INDICE CONS	0,9										
COSTO		42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45
PUZOLANA											
INDICE CONS	0,03										
COSTO		2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	1,89
YESO											
INDICE CONS	0,05										
COSTO		20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72
CALIZA											
INDICE CONS	0,02										
COSTO		1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89

ANEXO 6 - PRODUCCIÓN ADICIÓN. Cont...

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES PP - 25											
CLINKER											
INDICE CONS	0,75										
COSTO		42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45
PUZOLANA											
INDICE CONS	0,18										
COSTO		2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	1,89
YESO											
INDICE CONS	0,05										
COSTO		20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72
CALIZA											
INDICE CONS	0,02										
COSTO		1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES Tipo I											
CLINKER											
INDICE CONS	0,92	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45	42,45
COSTO											
YESO											
INDICE CONS	0,05	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72	20,72
COSTO											
CALIZA											
INDICE CONS	0,03										
COSTO		1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
ENERGETICOS											
AGUA											
INDICE CONS	0,55	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50
PRECIO	0,15										
ELECTRICIDAD P - 35											
INDICE CONS	34,7										
PRECIO	0,166	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73	1 842,73

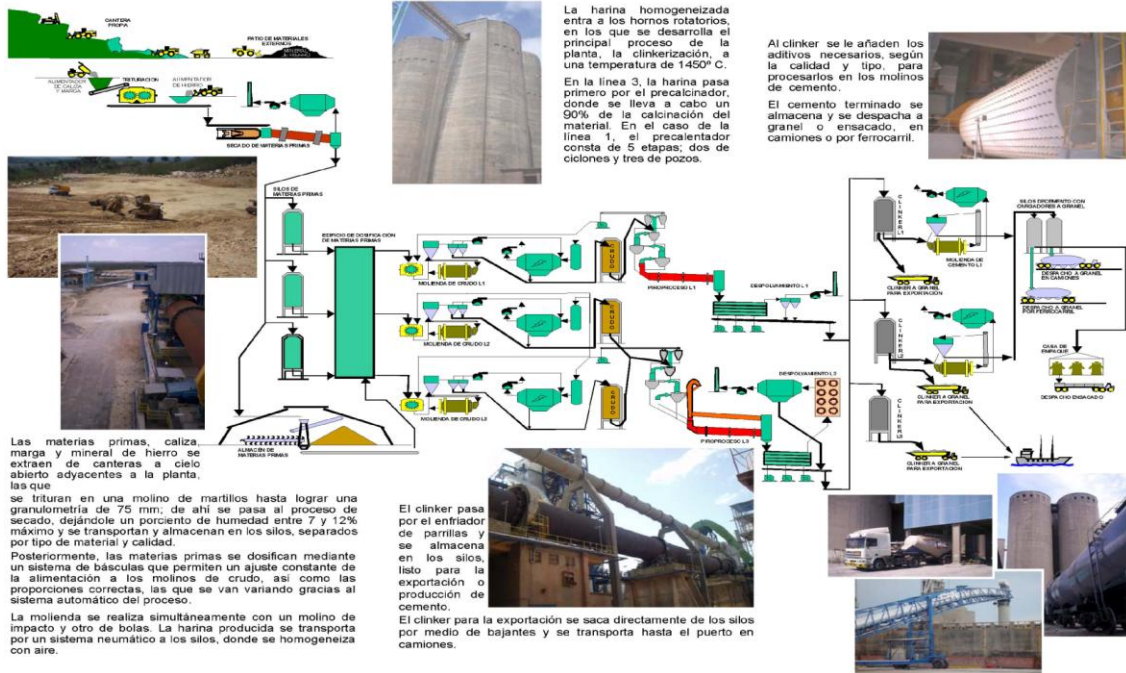
ANEXO 6 - PRODUCCIÓN ADICIÓN. Cont...

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ELECTRICIDAD PP - 25											
INDICE CONS	32,0	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92	866,92
PRECIO	0,166										
ELECTRICIDAD P Tipo I											
INDICE CONS	40,0	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00	1 992,00
PRECIO	0,166										
MANTENIMIENTO		1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88	1 982,88

ANEXO 7- EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INVERSIÓN
ESTADO DE RESULTADOS

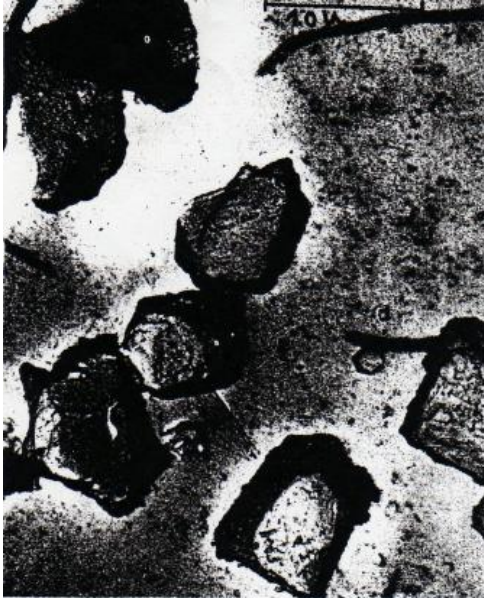
	AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS POR VENTAS			82 621,0	82 621,0	82 621,0	82 621,0	82 621,0	82 621,0	82 621,0	82 621,0	82 621,0	82 621,0
COSTOS DE PRODUCCION VARIABLES												
MAT PRIMAS Y MATERIALES			30 091,9	30 091,9	30 091,9	30 091,9	30 091,9	30 091,9	30 091,9	30 091,9	30 091,9	30 058,4
ENERGETICOS			4 784,2	4 784,2	4 784,2	4 784,2	4 784,2	4 784,2	4 784,2	4 784,2	4 784,2	4 784,2
TOTAL COST. PROD. VAR.			34 876,0	34 876,0	34 876,0	34 876,0	34 876,0	34 876,0	34 876,0	34 876,0	34 876,0	34 842,5
COSTOS DE PRODUCCION FIJOS												
MANTENIMIENTO			1 982,9	1 982,9	1 982,9	1 982,9	1 982,9	1 982,9	1 982,9	1 982,9	1 982,9	1 982,9
MANO DE OBRA			498,75									
TOTAL COST. PROD. FIJOS			2 481,6	2 481,6	2 481,6	2 481,6	2 481,6	2 481,6	2 481,6	2 481,6	2 481,6	2 481,6
DEPRECIACION			29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2
COSTOS FINANCIEROS			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL COSTOS NUEVO			37 386,9	37 386,9	37 386,9	37 386,9	37 386,9	37 386,9	37 386,9	37 386,9	37 386,9	37 353,4
UTILIDADES BRUTAS			2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 334,9
TOTAL COSTOS ACTUAL			39 688,3	39 688,3	39 688,3	39 688,3	39 688,3	39 688,3	39 688,3	39 688,3	39 688,3	39 688,3
IMPUESTO SOBRE UTILIDADES												
FLUJO DESPUES DE IMPUESTOS			2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 334,9
BONIFICACION	50,0%		53,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FLUJO DE CAJA	AÑOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GANANCIA NETA			2 354,8	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 334,9
- INVERSION		-487,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ VALOR RESID ACT FIJOS			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
= FLUJO NET CAPITAL		-487,0	2 354,8	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 301,4	2 334,9
FC DESCONTADO	10%	-487,0	2 140,7	1 902,0	1 729,1	1 571,9	1 429,0	1 299,1	1 181,0	1 073,6	976,0	900,2

Anexo 8: Flujo de Producción de Cementos Cienfuegos S.A.

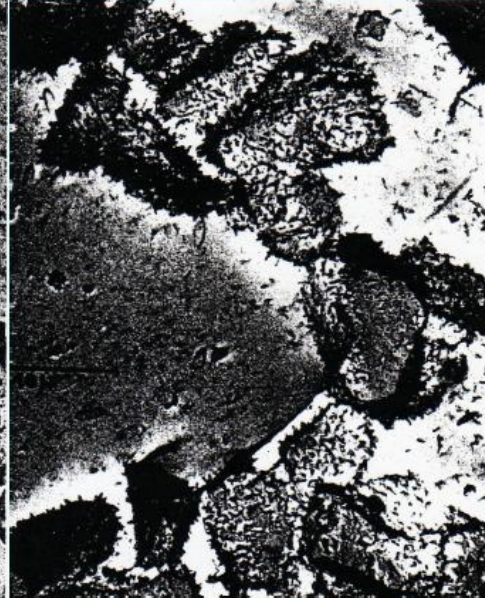


Anexo 9: Fotografías de granos de cementos mezclados con agua, muestran los cambios que se producen en la estructura a medida que transcurre el tiempo. (Microscopio electrónico). A) Poco después de mezclado con al agua. B) 1 hora después. C) 28 días después.

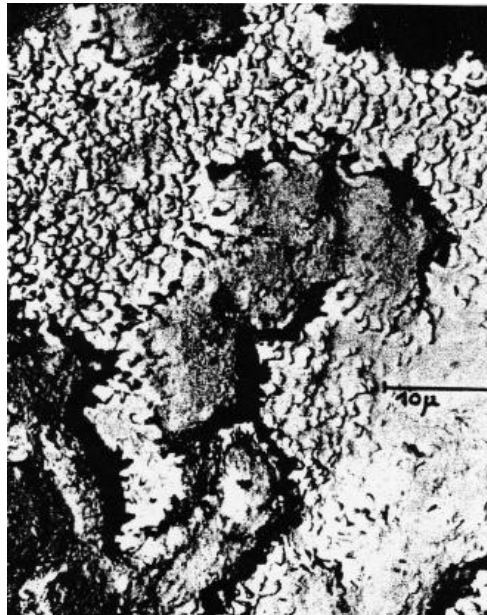
A)



B)



C)



Anexo 10: Ventajas de los cementos con adición.



Anexo 11: Producción de cemento con y sin adición de caliza.

Producción de cemento sin adición de caliza (P - 35)						Producción anual Clinker (t)	362 257	Precio CUC/kWh	0,1903
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo (t) Cemento
Tipo P35		t	CUC	CUC	t/h	kWh/t	CUC	CUC	CUC/t
clinker	90,49	327 804	48.00	15 734.611	68	41,14	2 836.089	19 078.623	52,67
puzolana	5	18 113	10.00	181.129					
caliza	0	-	6,06	0					
yeso	4,511	16340	20.00	326.795					
Tipo P35	100	362 257		16 242.534	Clinker utilizado en la producción de cemento.				327.804
						Ahorro Clinker	CUC/t	Diferencia Costo CUC/t	
						0	52,67	0	

Producción de cemento P - 35 con adición de caliza 1Y/1C.						Producción anual Clinker (t)	362 257	Precio CUC/kWh	0,1903
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo (t) Cemento
Tipo P35		t	CUC	CUC	t/h	kWh/t	CUC	CUC	CUC/t
clinker	85,59	310 049	48.00	14 882.370	69	41,14	2 836.089	18 333.978	50,61
puzolana	5,00	18 112,85	10.00	181.129					
caliza	4,90	17 755	6,06	107.595					
yeso	4,51	16 340	20.00	326.795					
Tipo P35	100	362 257		15 497.889	Clinker utilizado en la producción de cemento.				310.049
						Ahorro Clinker	CUC/t	Diferencia Costo CUC/t	
						17 755	50,61	2,06	

Anexo 11: Producción de cemento con y sin adición de caliza. Cont.

Producción de cemento P - 35 con adición de caliza 2Y/1C.						Producción anual Clinker (t)	362 257	Precio CUC/kWh	0,1903
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo (t) Cemento
Tipo P35		t	CUC	CUC	t/h	kWh/t	CUC	CUC	CUC/t
Clinker	86,18	312 180	48,00	14 984.654	69	41,14	2 836.089	18 409.113	50,82
Puzolana	5,00	18 112,85	10,00	181.129					
caliza	4,59	16 645	6,06	100.871					
yeso	4,23	15 319	20,00	306.371					
Tipo P35	100	362 257		15 573.024	Clinker utilizado en la producción de cemento.				312.180
						Ahorro Clinker	CUC/t	Diferencia Costo CUC/t	
						15 624	50.82	1.85	

Producción de cemento P - 35 con adición de caliza 3Y/2 C.						Producción anual Clinker (t)	362 257	Precio CUC/kWh	0,1903
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo (t) Cemento
Tipo P35		t	CUC	CUC	t/h	kWh/t	CUC	CUC	CUC/t
Clinker	85,44	309 517	48.00	14 856.799	69	41,14	2 836.089	18 315.194	50,56
puzolana	5,00	18 112,85	10.00	181.129					
caliza	4,98	18 032	6,06	109.277					
yeso	4,58	16 595	20.00	331.901					
Tipo P35	100	362 257		15 479.105	Clinker utilizado en la producción de cemento.				309.517
						Ahorro Clinker	CUC/t	Diferencia Costo CUC/t	
						18 288	50,56	2,11	

Anexo 11: Producción de cemento con y sin adición de caliza. Cont.

Variantes (Cemento P - 35)	Producción anual Clinker (t)	CUC/t	Diferencia Costo CUC/t	Factibilidad CUC
V- 0 C&Y	362 257	52,67	0	0
V- 1, 1Y&1C	362 257	50,61	2,06	744.645
V- 2, 2Y&1C	362 257	50,82	1,85	669.510
V-3, 3Y&2C	362 257	50,56	2,11	763.429

Variantes (Cemento PP - 25)	Producción anual Clinker (t)	CUC/t	Diferencia Costo CUC/t	Factibilidad CUC
V- 0 C&Y	205 598	46,99	0	0
V- 1, 1Y&1C	205 598	44,96	2,02	416.018
V- 2, 2Y&1C	205 598	45,12	1,87	384.036
V-3, 3Y&2C	205 598	44,86	2,13	437.339

Anexo 11: Producción de cemento con y sin adición de caliza. Cont.

Producción de cemento sin adición de caliza (PP - 25)						Producción anual Clinker (t)	205 598	Precio CUC/kWh	0,1903
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo (t) Cemento
Tipo P250		t	CUC	CUC	t/h	kWh/t	CUC	CUC	CUC/t
Clinker	75,56	155 350	48.00	7 456.786	68	41,14	1 609.615	9 660.171	46,99
puzolana	20	41 120	10.00	411.196					
caliza	0	0	6,06	0					
yeso	4,44	9 129	20.00	182.574					
Tipo P250	100	205 598		8 050.556	Clinker utilizado en la producción de cemento.				155.350
						Ahorro Clinker	CUC/t	Diferencia Costo CUC/t	
						0	46,99	0	

Producción de cemento PP - 25 con adición de caliza 1Y/1C.						Producción anual Clinker (t)	205 598	Precio CUC/kWh	0,1903
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo (t) Cemento
Tipo P250		t	CUC	CUC	t/h	kWh/t	CUC	CUC	CUC/t
Clinker	70,74	145 430	48.00	6 980.657	69	41,14	1 609.615	9 244.153	44,96
zeolita	20,00	41 119,60	10.00	411.196					
caliza	4,82	9 919	6,06	60.111					
yeso	4,44	9 129	20.00	182.574					
Tipo P250	100	205 598		7 634.538	Clinker utilizado en la producción de cemento.				145.430
						Ahorro Clinker	CUC/t	Diferencia Costo CUC/t	
						9 919	44,96	2,02	

Anexo 11: Producción de cemento con y sin adición de caliza. Cont.

Producción de cemento PP - 25 con adición de caliza 2Y/1C.						Producción anual Clinker (t)	205 598	Precio CUC/kWh	0,1903
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo (t) Cemento
Tipo P250		t	CUC	CUC	t/h	kWh/t	CUC	CUC	CUC/t
Clinker	71,18	14 6337	48,00	7 024.195	69	41,14	1 609.615	9 276.135	45,12
puzolana	20,00	41 119,60	10,00	411.196					
caliza	4,59	9 447	6,06	57.249					
yeso	4,23	8 694	20,00	173.880					
Tipo P250	100	205 598		7 666.520	Clinker utilizado en la producción de cemento.				146.337
						Ahorro Clinker	CUC/t	Diferencia Costo CUC/t	
						9 012	45,12	1,87	

Producción de cemento PP - 25 con adición de caliza 3Y/2 C.						Producción anual Clinker (t)	205 598	Precio CUC/kWh	0,1903
Tipo de cemento	%	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Rend.	Consumo Eléctrico	Costo energía	Costo total	Costo (t) Cemento
Tipo P250		t	CUC	CUC	t/h	kWh/t	CUC	CUC	CUC/t
Clinker	70,44	144 826	48,00	6 951.631	69	41,14	1 609.615	9 222.831	44,86
puzolana	20,00	41 119,60	10,00	411.196					
caliza	4,98	10 234	6,06	62.020					
yeso	4,58	9 418	20,00	188.370					
Tipo P250	100	205 598		7 613.217	Clinker utilizado en la producción de cemento.				144.826
						Ahorro Clinker	CUC/t	Diferencia Costo CUC/t	
						10 524	44,86	2,13	