

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE CEMENTO LC3 EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

AUTOR

Ing. María Alejandra Prudente Merchán

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

TUTOR

Ing. Juan Francisco Garcés Vargas. PhD

Santa Elena, Ecuador

Año 2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Firmado electrónicamente por:
ALEX GIOVANNY TENICOTA GARCIA

Ing. Alex Giovanny Tenicota García, Mgrt.
COORDINADOR DEL PROGRAMA

Firmado electrónicamente por:
JUAN FRANCISCO GARCES VARGAS

Ing. Juan Francisco Garcés Vargas, PhD.
TUTOR

Firmado electrónicamente por:
LUIS RAFAEL VALDEZ GUZMAN

Ing. Luis Rafael Valdez Guzmán, Mgtr.
DOCENTE ESPECIALISTA 1

Firmado electrónicamente por:
LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCIVAR

Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar, PhD.
DOCENTE ESPECIALISTA 2

Firmado electrónicamente por:
MARIA MARGARITA RIVERA GONZALEZ

Ab. María Rivera González, Mgtr
SECRETARIA GENERAL

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por María Alejandra Prudente Merchán, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Gestión de la Construcción.

TUTOR

Firmado electrónicamente por:
JUAN FRANCISCO GARCES VARGAS

Ing. Juan Francisco Garcés Vargas. PhD.

23 días del mes de abril del año 2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **María Alejandra Prudente Merchán**

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE CEMENTO LC3 EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA previo a la obtención del título en Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Gestión de la Construcción, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, a los 23 días del mes de abril del año 2024

EL AUTOR

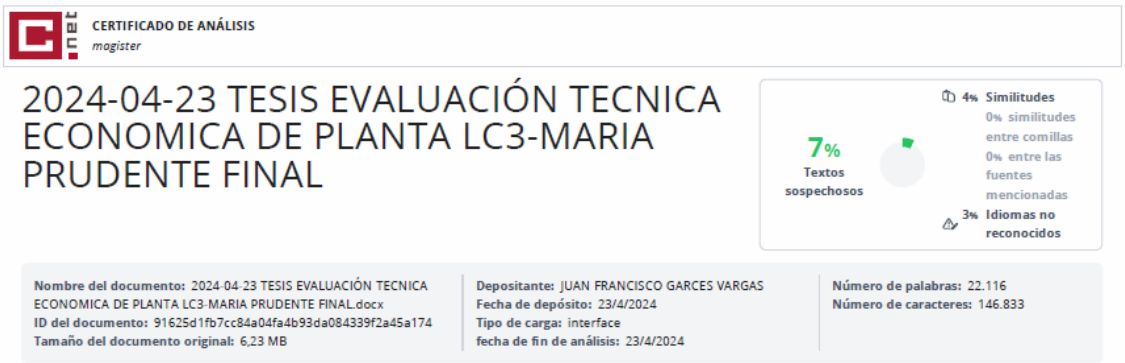
Firmado electrónicamente por:
MARIA ALEJANDRA PRUDENTE MERCHAN

Ing. María Alejandra Prudente Merchán

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE CEMENTO LC3 EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA, presentado por el estudiante, María Alejandra Prudente Merchán fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 7%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

2024-04-23 TESIS EVALUACIÓN TECNICA ECONOMICA DE PLANTA LC3-MARIA PRUDENTE FINAL

7% Textos sospechosos

4% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
3% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: 2024-04-23 TESIS EVALUACIÓN TECNICA ECONOMICA DE PLANTA LC3-MARIA PRUDENTE FINAL.docx
ID del documento: 91625d1fb7cc84a04fa4b93da084339f2a45a174
Tamaño del documento original: 6,23 MB

Depositante: JUAN FRANCISCO GARCES VARGAS
Fecha de depósito: 23/4/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 23/4/2024

Número de palabras: 22.116
Número de caracteres: 146.833

TUTOR

Firmado electrónicamente por:
JUAN FRANCISCO GARCES VARGAS

Ing. Juan Garcés Vargas. PhD.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO

AUTORIZACIÓN

Yo, **María Alejandra Prudente Merchán**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales del informe de investigación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este informe de investigación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, a los 23 días del mes de abril del año 2024

EL AUTOR

Firmado electrónicamente por:
MARIA ALEJANDRA PRUDENTE MERCHAN

Ing. María Alejandra Prudente Merchán

AGRADECIMIENTO

A Dios por poner este tipo de oportunidades de superación en mi vida y darme la fortaleza para culminarlas con éxito.

A mi hermosa y amorosa madre, Elvira, por el apoyo, comprensión y confianza depositada siempre en mí.

A mi precioso bebé, Liam, por existir y ser el motor de mi vida.

A mi compañero de vida, Edwin, por el gran apoyo brindado, por alentarme cada día y permanecer a mi lado siempre.

A mi familia, tanto de la que vengo y la que Dios quiso que me acogiera, por la paciencia, comprensión y apoyo en este proceso.

A mi tutor, el Ing. Juan Garcés, que con su corto tiempo me apoya, guía, ayuda siempre y busca mejoría en mí como profesional.

A cada uno de los docentes por aportar sus conocimientos y experiencias contribuyendo en mi formación profesional.

Ing. María Alejandra Prudente Merchán

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia, pero de manera especial a mi bella madre que jamás pierde la confianza en mí, a mi esposo y mi pequeño niño Liam quienes han sido mi apoyo incondicional y esencial en este proceso de estudio y obtención del título de magister.

Ing. María Alejandra Prudente Merchán

ÍNDICE GENERAL

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN I

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN II

CERTIFICACIÓN III

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD IV

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO V

AUTORIZACIÓN VI

AGRADECIMIENTO VII

DEDICATORIA VIII

ÍNDICE GENERAL IX

ÍNDICE DE TABLAS XII

ÍNDICE DE FIGURAS XIII

RESUMEN XV

ABSTRACT XV

INTRODUCCIÓN 2

Planteamiento de la investigación 4

Formulación del problema de investigación 6

Objetivo General 6

Objetivos Específicos 6

Planteamiento hipotético 6

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL 7

1.1. Introducción 7

1.2. Producción de cemento a nivel mundial 7

1.2.1. Situación actual de la producción de cemento 7

1.3. Impactos ambientales asociados a la producción de cemento 9

1.4. Alternativas para la producción de cemento sostenible 10
1.4.1. Eficiencia de los procesos 10
1.4.2. Utilización de Combustibles alternativos 10
1.4.3. Minimizar las emisiones de CO_2 11
1.4.4. Reducción del factor Clinker a partir de la utilización de Material Cementicio Suplementario 12
1.5. Características de la industria cementera ecuatoriana 15
1.6. Estructura de precios en el mercado del cemento en Ecuador 16
1.7. Utilización de materiales MCS en Ecuador 17
1.8. El Cemento LC3 como alternativa para una producción sostenible 18
1.9. Impactos de la producción de cemento LC3 19
1.10. Impacto técnico de producción del cemento LC3 para el Ecuador. 20
1.10.1. Impacto del cemento LC3 en la fabricación de hormigones 20
1.11. Factibilidad ambiental del cemento LC3 para el caso de Ecuador. 22
1.12. Factibilidad económica del cemento LC3 para el caso de Ecuador. 23
1.13. Fundamentos teórico-conceptuales para el diseño de plantas de cemento 24
1.14. Factores que influyen en el diseño de las plantas de cemento 25
1.15. Viabilidad del montaje de planta de producción de cemento LC3 28
1.16. Evaluación de la rentabilidad de inversiones 28
1.17. Procedimientos para la evaluación de proyectos de inversión 29
1.18. Importancia de la evaluación de rentabilidad de inversiones 29
1.19. Métodos de evaluación de proyectos de inversión 30
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA 35
2.1. Contexto de la investigación 35
2.2. Diseño y alcance de la investigación 36
2.2.1. Estudio Técnico 36

2.2.2. Alternativas de inversión a evaluar 37
2.2.3. Aplicación de indicadores financieros tradicionales: VAN, TIR y PR 38
2.3. Tipo y métodos de investigación 39
2.4. Población y muestra 40
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 42
2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información 42
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 43
3.1. Identificación de la oferta y demanda de cemento en la provincia de Santa Elena. 43
3.2. Propuesta de la implementación de una planta de producción de cemento LC3, considerando una ubicación estratégica, maquinarias y equipos necesarios para la producción y distribución del producto y obteniendo el presupuesto de inversión. 45
3.2.1. Características y disponibilidad de materiales y/o materias primas. 45
3.2.2. Características de las materias primas por utilizar 46
3.2.3. Características de los productos intermedios 50
3.2.4. Caracterización de la inversión 51
3.3. Evaluación de la rentabilidad de la implementación de una planta de producción de cemento LC3 a través del análisis de costos, retorno de inversión obteniendo la viabilidad económica del proyecto. 56
3.3.1. Estudio de oportunidad a partir de la aplicación de indicadores financieros para cada una de las alternativas 56
3.3.2. Costos de inversión 57
3.3.3. Costos de operación 57
3.3.4. Análisis económico-financiero 60
CONCLUSIONES 63
RECOMENDACIONES 64
REFERENCIAS 65
ANEXOS 74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Costos de bolsas de cemento de tres empresas cementeras en el Ecuador ... 17

Tabla 3. 1 Principales parámetros químicos de las arcillas(Carrera et al., 2008)……...47

Tabla 3. 2 Criterios que permiten valorar el potencial de las arcillas como fuente de MCS. 47

Tabla 3. 3 Principales parámetros químicos de la caliza. 49

Tabla 3. 4 Principales parámetros químicos mineralógicos del yeso. 49

Tabla 3. 5 Principales parámetros mineralógicos del clínker 50

Tabla 3. 6 Parámetros productivos de la planta 55

Tabla 3. 7 Programación de la producción por variante para el periodo 2024-2038..... 55

Tabla 3. 8 Gastos por concepto de financiamiento de Inversión 57

Tabla 3. 9 Ahorros en costos LC3 y LC2 frente cemento Tipo GU 58

Tabla 3. 10 Análisis de portadores energéticos por variante 60

Tabla 3. 11 Resumen de los resultados del estudio económico-financiero 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Producción y previsión de cemento por regiones..... 8

Figura 1. 2 Previsión de emisiones de cemento frente a la senda de mitigación..... 9

Figura 1. 3 Evolución de la sustitución de clínker por MSC..... 13

Figura 1. 4 Principales fábricas de cemento en Ecuador..... 15

Figura 1. 5 Variación anual de producción y consumo del cemento gris..... 16

Figura 1. 6 Variación de precio de Cemento en Ecuador hasta el 2023..... 16

Figura 1. 7 Valores de resistencia en los hormigones fabricados con cemento LC3 en Ecuador..... 21

Figura 1. 8 Migración de cloruros Vs. Resistividad en hormigones fabricados con cemento LC3 en Ecuador..... 22

Figura 1. 9 Emisiones de CO2 Vs. Consumo de Clínker..... 22

Figura 1. 10 Precio Unitario de hormigones fabricados con la utilización de arcillas calcinadas..... 23

Figura 2. 1 Provincia Santa Elena……..35

Figura 2. 2 Producción gradual de cemento LC3..... 38

Figura 2. 3 Producción adición mineral LC2..... 38

Figura 3. 1 a)Producción y consumo de cemento en Ecuador hasta el 2021, b) Consumo por habitante……44

Figura 3. 2 Estimado de consumo de cemento en Santa Elena..... 44

Figura 3. 3 Principales marcas de cemento comercializadas en Santa Elena..... 45

Figura 3. 4 Estratigrafía de la Península de Santa Elena, identificación de presencia de arcillas con presencia de caolín: Grupo Ancón, Formación Progreso y Formación Tosagua..... 46

Figura 3. 5 Potencialidades de las arcillas como fuente de MCS..... 48

Figura 3. 6 Mineralogía de la caliza..... 49

Figura 3. 7 Esquema de Calcinación en horno rotatorio doble..... 53

Figura 3. 8 Costo de producción cemento LC3 y LC2 frente al cemento GU..... 59

Figura 3. 9 Costo de materias primas y portadores energéticos LC3 y LC2 59

Figura 3. 10 Evaluación estudio económico-financiero 61

RESUMEN

Se presenta la evaluación preliminar de las condiciones de fabricación del cemento LC3 y la adición mineral LC2. Una nueva tipología de cemento y adición mineral que posibilita la reducción significativa de los portadores energéticos; sin comprometer el comportamiento físico – mecánico del producto. Se realiza el análisis de la rentabilidad de la implantación de una planta de producción de cemento LC3 y adición mineral a través del análisis de costos mediante la comparación con el cemento GU producido industrialmente. Las variantes de producción de cemento LC3 y LC2 muestran ahorros significativos de 11,28 y 15,54% respecto al cemento GU. Las variantes de producción LC3 y LC2 a partir del estudio de técnico – económico se determinó que la TIR para cada una de las variantes están en un rango entre el 17 – 21% y el VAN resultó mayor a 0 por lo que el proyecto es rentable y viable.

Palabras claves: cemento, arcillas calcinadas, producción

ABSTRACT

Preliminary evaluation of the manufacturing conditions of LC3 cement and LC2 mineral addition is presented. A new typology of cement and mineral addition that enables the significant reduction of energy carriers; without compromising the physical-mechanical behavior of the product. The profitability analysis of the implementation of a plant to produce LC3 cement and mineral addition is conducted through the cost analysis by comparing it with the industrially produced GU cement. The LC3 and LC2 cement production variants show significant savings of 11,28 and 15,54% with respect to GU cement. The production variants LC3 and LC2 from the technical-economic study it was determined that the IRR for each of the variants are in a range between 17 - 21% and the NPV was greater than zero, so the project is profitable and viable.

Keywords: cement, calcined clays, production

INTRODUCCIÓN

La industria del cemento juega un papel vital en el desarrollo de la infraestructura y la economía de un país. Sin embargo, la producción convencional de cemento Portland está asociada con emisiones significativas de dióxido de carbono (CO_2) y otros impactos ambientales.

A nivel mundial se están ejecutando diversos estudios para producir un cemento ecológico que contenga las mismas o mejores propiedades que el cemento tradicional reduciendo el gran impacto ambiental que éste produce (Huntzinger & Eatmon, 2009). Es debido a esto que el Limestone Calcined Clay Cement (LC3) ha emergido como una alternativa sostenible y ambientalmente amigable. Se puede mencionar a (Cancio Díaz et al., 2017a) basado en "Cemento de arcilla calcinada con piedra caliza como una solución baja en carbono para satisfacer la creciente demanda de cemento en las economías emergentes". El propósito de este estudio fue analizar los resultados financieros y las posibles reducciones de emisiones de carbono derivadas de cinco opciones de inversión consideradas para la industria cementera de Cuba en un período de largo plazo (15 años). Se examinó el impacto positivo de una tecnología innovadora, conocida como cemento LC3, que combina clínker, arcilla calcinada y piedra caliza, y tiene la capacidad de sustituir hasta un 50% del clínker en la producción de cemento. Las emisiones de gases de efecto invernadero se determinan a través de un análisis del ciclo de vida, mientras que los beneficios económicos de la inversión se evalúan utilizando el enfoque del retorno sobre el capital invertido (ROCE). Los resultados principales indican que la satisfacción de la demanda proyectada puede lograrse mediante dos enfoques: la incorporación de nuevas instalaciones de producción de cemento, que conlleva un fuerte impacto ambiental y carece de viabilidad económica, o la implementación de la estrategia LC3 que no solo impulsa el rendimiento de la inversión y la capacidad de fabricación, sino que también reduce las emisiones de gases de efecto invernadero hasta un 20-23 % en comparación con los métodos convencionales.

(Bishnoi et al., 2018) también presenta una evaluación de la "Producción a escala piloto de cemento de arcilla calcinada y piedra caliza" cuyo objetivo fue producir cemento de

arcilla calcinada con piedra caliza (LC3) a escala piloto en una unidad de molienda de cemento. Se realizó el control de calidad mediante el empleo de técnicas como el análisis de difracción de rayos X (XRD), el análisis termogravimétrico (TGA) y la observación visual. La arcilla fue meticulosamente categorizada en lotes según los resultados obtenidos de estas pruebas. La producción del cemento LC3 y la adición mineral LC2 (arcilla calcinada + caliza + yeso) involucró la trituración conjunta de las materias primas utilizando un molino de bolas convencional, el cual demostró ser adecuado para el proceso de fabricación. Los resultados de las pruebas indicaron que, aunque la medición inicial de la finura de Blaine puede ser útil para supervisar el proceso de molienda, la difractometría láser ofrece una evaluación más precisa de la molienda de todos los componentes del cemento, debido a las diferencias en la molienda. Se descubrió que tanto LC3 como LC2 pueden producirse utilizando tecnologías ampliamente disponibles con apenas algunas modificaciones menores. Se realizaron pruebas físicas en LC3 y LC2, y se confirmó que ambos son adecuados tanto para aplicaciones generales como para algunas aplicaciones específicas.

Asimismo, en Guatemala se ha realizado un estudio sustentado por (Torres et al., 2020) con su tema “Producción de cemento de arcilla calcinada y caliza en Guatemala”, la intención fue generar un tipo de cemento que exhiba cualidades comparables a las de un cemento OPC, al mismo tiempo que posea una capacidad superior de resistencia ante la reacción álcali-sílice (ASR), resistencia a la compresión y otros beneficios en cuanto a la durabilidad del hormigón. El cemento producido tuvo un 48% de contenido de clínker verificado por XRD, alrededor de un 12% inferior al de cualquier cemento de uso general producido en el país. Este cemento fue probado para el desarrollo de resistencia, tiempo de fraguado, calor de hidratación y reactividad álcali-sílice mostrando un muy buen comportamiento. No se percibió ninguna diferencia crítica entre el hormigón producido con el nuevo cemento y otro con 83% de clínker con similar comportamiento de resistencia a los 28 días evaluado por ASTM C39. El mortero, desarrolló una resistencia superior en comparación con el Normativa nacional para un cemento de uso general ASTM C1157.

A nivel nacional, son pocos los estudios realizados respecto a este nuevo cemento ecológico, entre ellos, se puede citar el estudio realizado por (Garcés Vargas, Espinosa, et al., 2020) basado en "Uso de intensificadores de molienda para moler mezclas ternarias cemento Portland-arcilla calcinada-piedra caliza", cuyo objetivo fue evaluar tres tipos de aditivos intensificadores de molienda que se utilizaron para la producción de cemento LC3, así como la adición de minerales LC2, tratados en un molino de bolas a escala de laboratorio. Para su análisis se aplicaron técnicas de investigación para estudiar su efecto sobre las propiedades reológicas y físico-mecánicas del cemento LC3 y la adición de mineral LC2. Los resultados del trabajo indican que los aditivos intensificadores de molienda evaluados tienen un impacto positivo en las propiedades mecánicas de las muestras evaluadas, con un ligero aumento en la relación agua-cemento provocado por un aumento en la finura.

Otro estudio muy sobresaliente realizado por (Garcés Vargas, Guamán, et al., 2020) con el tema "Producción de Concreto Duradero con una mezcla de adición de minerales de arcilla calcinada-caliza-yeso (LC2) y Cemento Portland", el cual buscaba evaluar las diferentes formulaciones de concreto producidas con cemento LC3 y adición de mineral LC2. Se utilizó cemento LC3-50 2:1 molido por intermolienda, Cementos Atenas combinado con adición de mineral LC2, 90% Cemento Atenas con 10% SikaFume. El cemento Atenas, producido industrialmente en la planta de Cuenca Ecuador, se utilizó como referencia y el hormigón fue formulado para una dosificación de hormigón certificado, para resistencia de 35 MPa. Los resultados obtenidos fueron que las mejores opciones son producir un cemento LC3-50 con 50% de clínker por intermolienda, o mezclar 70% Cemento Atenas con 30% LC2. Los hormigones producidos presentan una alta durabilidad, comprobada a través de una porosidad efectiva, ensayos de permeabilidad al cloruro y resistividad.

Planteamiento de la investigación

La provincia de Santa Elena, ubicada en la costa ecuatoriana, ha experimentado un crecimiento acelerado en los últimos años, impulsado por el desarrollo turístico y la construcción de viviendas y proyectos de infraestructura. Sin embargo, no se tiene la disponibilidad de una planta de producción de cemento dentro de la región, lo que ha

llevado a un aumento significativo en los precios del cemento importado y una dependencia excesiva de fuentes externas. Además, la producción de cemento tradicional genera una cantidad significativa de emisiones de dióxido de carbono (CO_2), lo que contribuye al cambio climático y afecta negativamente al medio ambiente. De acuerdo a estudios previos realizados existe un cemento ecológico compuesto de arcillas calcinadas que promete ser el futuro de la industria cementera debido a su bajo costo referente al cemento tradicional, las propiedades que proporciona y la reducción de emisiones de CO_2 que genera su producción (Martin Schneider, 2019; K. Scrivener et al., 2019; K. L. Scrivener et al., 2018a; Zunino, 2020).

En este contexto, la implementación de una planta de producción de cemento LC3 en Santa Elena se presenta como una solución potencial para abordar tanto la falta de producción de cemento de manera local, como la necesidad de reducir las emisiones de CO_2. Sin embargo, esta implementación enfrenta varios desafíos. Estos desafíos incluyen el desconocimiento y experiencia en la producción de LC3 en la región, la necesidad de capacitación y formación del personal local, así como la infraestructura y logística requeridas para la operación de la planta.

El uso de la tecnología LC3 en la producción de cemento resultará en una reducción significativa de los costos de materia prima en comparación con los métodos tradicionales de producción de cemento. Se espera que el uso de materiales alternativos, como la arcilla calcinada y la piedra caliza, permita un ahorro considerable en los costos de adquisición y transporte de las materias primas. La planta de producción de cemento LC3 se ubicará en un área estratégica que facilite la distribución eficiente del producto final. Esto reducirá los costos de transporte y logística, lo que contribuirá a la rentabilidad general del proyecto. La calidad y las propiedades del cemento LC3 cumplirán con los estándares y requisitos de la industria de la construcción, lo que atraerá a los clientes y generará una demanda constante del producto en la provincia de Santa Elena. El análisis de costos incluirá una evaluación detallada de los costos de producción, que serán razonables y competitivos en comparación con los métodos tradicionales de producción de cemento. El retorno de inversión se evaluará considerando el periodo de recuperación de la inversión inicial, que incluirá el costo de

construcción de la planta y la inversión en equipos y maquinaria necesarios. Se espera que el proyecto demuestre una recuperación de la inversión dentro de un plazo razonable, lo que indicaría su viabilidad económica.

Este proyecto no solo contribuiría a satisfacer la demanda local de cemento, sino que también permitiría reducir las emisiones de CO_2 y promover un desarrollo sostenible en la región al producir un cemento ecológico. Además, se crearían oportunidades de empleo y se impulsaría la economía local, fomentando la inversión en la provincia y mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

Formulación del problema de investigación

¿Es posible evaluar económica y ambientalmente el montaje de una planta de Cemento de Bajo Carbono, en la provincia de Santa Elena?

Objetivo General

Evaluar técnica y económicamente la implementación de una planta de producción de cemento LC3, contribuyendo al desarrollo de las construcciones y el impacto ambiental en la provincia de Santa Elena.

Objetivos Específicos

1. Identificar la oferta y demanda de cemento en la provincia de Santa Elena mediante un estudio de mercado identificando la capacidad de la planta a instalarse.
2. Proponer la implementación de una planta de producción de cemento LC3, considerando una ubicación estratégica, maquinarias y equipos necesarios para la producción y distribución del producto, y obteniendo el presupuesto de inversión.
3. Evaluar la rentabilidad de la implementación de una planta de producción de cemento LC3 a través del análisis de costos, retorno de inversión obteniendo la viabilidad económica del proyecto.

Planteamiento hipotético

Con el montaje de una planta de cemento LC3 en la provincia de Santa Elena se pueden obtener significativos beneficios económicos y ambientales, los cuales pueden contribuir al desarrollo local.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1.Introducción

La urgente necesidad de abordar la crisis del cambio climático requiere la implementación inmediata de soluciones y el sector industrial responsable del 8% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO_2) es la industria del cemento (Fatih Birol, 2020; Nicolas Müller & Jochen Harnisch, 2023; Pérez & Martirena-Hernandez, 2020), con su producción, se emiten grandes cantidades de CO_2 a la atmósfera, se estima que se liberan entre 0,65 y 0,90 toneladas de CO_2 por cada tonelada de cemento fabricado. Para el año 2050, se espera que la demanda de cemento supere los 5000 millones de toneladas, lo que podría contribuir a un aumento de más del 3% en las emisiones (Machado-Lopez et al., 2020).

El cemento al ser el segundo material más consumido en la Tierra, solo después del agua (Nilimaa, 2023), provoca que la industria cementera mundial enfrente el desafío de mantener su negocio mientras disminuye su intensidad de carbono, a partir de los procesos de producción, los usos de combustible y el uso final de su producto. Por este motivo en los últimos años, la búsqueda de alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente ha impulsado la investigación y desarrollo de nuevos tipos de cemento (Almenares et al., 2017b).

1.2.Producción de cemento a nivel mundial

El cemento es el material más producido en todo el mundo. Los países en vías de desarrollo se enfrentan a un crecimiento de la población que implica una creciente necesidad de infraestructuras. Debido a esta situación, la industria cementera necesita encontrar el mejor equilibrio entre aumentar la producción de cemento y no aumentar el impacto medioambiental negativo (Sánchez Berriel et al., 2016).

1.2.1. Situación actual de la producción de cemento

El cemento es uno de los materiales más utilizado a escala mundial y resulta indispensable para una amplia gama de edificaciones, infraestructuras y sistemas de transporte. En el futuro, el cemento sigue desempeñando en muchos aspectos un papel

importante en las sociedades modernas y en su desarrollo sostenible. La producción mundial de cemento ha aumentado de forma continua y significativa debido al aumento de la población, la continua urbanización y el desarrollo de las infraestructuras (Martin Schneider, 2019). El consumo total anual de cemento en el año 2016 fue de 4,13 Gt y se espera que aumente hasta 4,68 Gt/año en el año 2050 (Andrew, 2018; Martin Schneider, 2019).

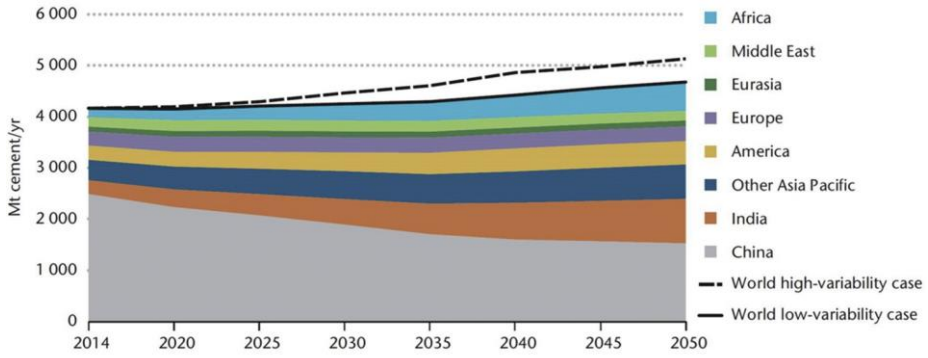


Figura 1. 1 Producción y previsión de cemento por regiones (Martin Schneider, 2019).

La producción de cemento va inevitablemente acompañada de una importante demanda de energía y de elevadas emisiones de CO_2. Esto se debe a los procesos físicos y químicos de transformación de las materias primas calizas en clínker de cemento Portland, que no pueden evitarse, aunque el proceso de producción global se optimice al máximo. En la actualidad, la industria del cemento es el tercer consumidor industrial de energía (Andrew, 2018) y su producción representa hasta el 6-7% de las emisiones antropogénicas mundiales de CO_2, lo que corresponde al 5% de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero en equivalentes de CO_2 (SCRIVENER & Vanderley M, 2019).

Las emisiones de CO_2 del proceso de combustión del clínker se originan como CO_2 relacionado con el combustible procedente de la combustión de combustibles fósiles para generar energía térmica, y como CO_2 de proceso procedente de la descomposición del $CaCO_3$ en CaO y CO_2 en el proceso de calcinación (Martin Schneider, 2019; Fatih Birol, 2020). Las emisiones indirectas de CO_2 proceden de la producción de energía eléctrica, pero también del transporte y la logística relacionados con el cemento. Dado

que el clínker seguirá siendo imprescindible a largo plazo para satisfacer la necesidad mundial de cemento, se mantendrá el reto de reducir significativamente el CO_2 de la producción mundial de cemento (SCRIVENER & Vanderley M, 2019; Martin Schneider, 2019).

1.3.Impactos ambientales asociados a la producción de cemento

A nivel mundial, se ha llegado a un acuerdo generalizado de que la amenaza del cambio climático es real. Es necesario adoptar medidas a escala mundial para invertir la tendencia al aumento de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Durante los próximos 10 años, los niveles de emisiones mundiales deberán reducirse hasta un 50% con respecto a los niveles de 1990 para 2050. Esto reflejará el llamado escenario de estabilización de 450 ppm, cuyo objetivo es limitar el calentamiento global durante el siglo XXI a 2°C (Nicolas Müller & Jochen Harnisch, 2023).

En 2006, la producción de cemento representaba aproximadamente el 8% de las emisiones antropogénicas mundiales de CO2 (Fatih Birol, 2020; Nicolas Müller & Jochen Harnisch, 2023) o el 6% del total de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. A pesar de las mejoras significativas en la eficiencia (ver Figura 1.2), se espera que las emisiones relacionadas con el cemento aumenten un 260% a lo largo del periodo 1990-2050 (Nicolas Müller & Jochen Harnisch, 2023; Marmier, 2023; Mohamad et al., 2021).

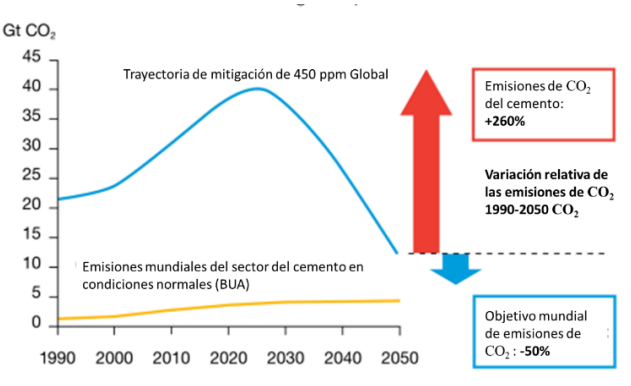


Figura 1. 2 Previsión de emisiones de cemento frente a la senda de mitigación (Nicolas Müller & Jochen Harnisch, 2023)

En consecuencia, se plantea el reto de cómo transformar la forma tradicional de producir cemento en un modelo de negocio sostenible, y cómo pueden aplicarse oportunamente los esfuerzos para reducir las emisiones del sector cementero.

1.4.Alternativas para la producción de cemento sostenible

1.4.1. Eficiencia de los procesos

Los dos procesos que poseen el mayor consumo energético en la producción de cemento lo constituyen la combustión de las materias primas para la obtención del clínker y el molido final de este último. Mediante la transición tecnológica del proceso húmedo al semihúmedo, semiseco o seco, se puede lograr una reducción considerable en los consumos energéticos requeridos durante la combustión de las materias primas (Aristizabal-Alzate & González-Manosalva, 2021; Garcés Vargas, 2022).

Se estima que los procesos húmedos consumen como promedio entre 5.3 – 7.1 Gigajulio por tonelada (GJ/t) de clínker contra 3.2 – 3.5 GJ/t clínker de consumo para el proceso seco, que para la tecnología más eficiente de hornos con precalentadores y precalcinadores puede ser hasta de 2.9 GJ/t de clínker (Aitcin, 2000; Selim & Salem, 2010; Vizcaíno et al., 2015) valor que se encuentra muy cercano al límite termodinámico operable, que se encuentra (Habert et al., 2020) alrededor de los 2.5 GJ/t clínker . Adicionalmente con el desarrollo e implementación de nuevos tipos de molinos como el de rodillos de alta presión y el de rodillos horizontales, se emplea de un 20 – 50 % menos de energía eléctrica que con los tradicionales molinos de bolas (Moesgaard et al., 2011; Garcés Vargas, 2022; Hernández, 2019).

1.4.2. Utilización de Combustibles alternativos

Los combustibles tradicionales utilizados en los hornos tradicionales son el carbón, el petróleo, el coque de petróleo y el gas natural. Más del 90 % de la energía usada en la producción de cemento procede originalmente de la quema de combustibles, lo cual califica a la industria del cemento como energéticamente intensiva. El resto entre 5 – 10 %, de la energía primaria consumida es en forma de electricidad en el proceso de mezclado y molienda de los materiales (Martin Schneider, 2019).

La principal opción para reducir las emisiones de CO_2 es precisamente disminuir el contenido de carbón de los combustibles. Una práctica de ello es el empleo de gas natural, pero los precios de este último se han elevado de manera sostenida en el mercado internacional y no son competitivos con los precios del carbón, además de ser una fuente altamente demandada por otros sectores (FICEM, 2021b; Ruiz, 2019; SCRIVENER & Vanderley M, 2019).

La sustitución de combustibles fósiles por combustibles alternativos (CA) en la producción de clínker de cemento es de gran importancia tanto para los productores de cemento como para la sociedad, ya que conserva las reservas de combustibles fósiles y, en el caso de los residuos biogénicos, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (Mokrzycki et al., 2003; The Pembina Institute and Environmental Defence, 2014). Además, el uso de combustibles alternativos puede contribuir a reducir los costes de producción del cemento. Los costes energéticos y las preocupaciones medioambientales han animado a las empresas cementeras de todo el mundo a evaluar hasta qué punto los combustibles convencionales pueden sustituirse por materiales residuales, como aceites usados, mezclas de plásticos y papel no reciclados, neumáticos usados, residuos de biomasa e incluso lodos de aguas residuales (Mokrzycki et al., 2003).

El proceso de cocción del clínker es muy adecuado para diversos combustibles alternativos; el objetivo es optimizar el control del proceso y el consumo de combustibles alternativos manteniendo la calidad del producto clínker. El potencial es enorme, ya que la industria cementera mundial produce unos 3.500 millones de toneladas que consumen casi 350 millones de toneladas de combustibles fósiles y alternativos equivalentes al carbón (Beguedou et al., 2023; Mokrzycki et al., 2003).

1.4.3. Minimizar las emisiones de CO_2

Las medidas convencionales para mejorar su rendimiento en materia de CO_2 incluyen la mejora adicional de la eficiencia energética de la producción de clínker para reducir las emisiones de CO_2 relacionadas con el combustible y el aumento del uso de combustible de biomasa para sustituir a los combustibles fósiles (Beguedou et al., 2023).

La captura de carbono se ha desarrollado hasta tal punto que ya puede probarse a escala industrial en condiciones prácticas. Aunque se ha demostrado que la tecnología de almacenamiento está disponible, por ejemplo, en los sectores del petróleo y el gas, aún faltan los medios logísticos para conectar las fuentes de CO_2 con los lugares de almacenamiento (Fatih Birol, 2020; Nicolas Müller & Jochen Harnisch, 2023). La utilización del CO_2 es un campo cada vez más interesante. El principal reto sigue siendo proporcionar suficiente energía renovable para almacenar el CO_2 y utilizarlo posteriormente. La cantidad de CO_2 evitada depende no sólo del CO_2 capturado, sino también de la parte que finalmente se libera de nuevo a la atmósfera. El desarrollo de nuevos materiales aglutinantes, que no estén basados en clínker de cemento Portland, está avanzando de forma prometedora. Éstos pueden desempeñar un papel importante a pequeña escala, pero no podrán contribuir significativamente a la reducción del CO_2 en la producción de cemento en el plazo previsto. Como se prevé que la producción de cemento aumente, el reto de reducir las emisiones de CO_2 de la producción de cemento sigue siendo un reto (Nicolas Müller & Jochen Harnisch, 2023). Con el fin de cumplir el objetivo del Acuerdo de París de limitar el calentamiento global a 2 °C y lograr cero emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI) para 2050, se están debatiendo y desarrollando acciones concretas a lo largo de toda la cadena de valor, incluida la producción de cemento, la producción de hormigón y, por último, el uso eficiente de materiales a base de cemento en edificios e infraestructuras (Chatziaras et al., 2016; Appuhamilage et al., 2023; Mishra & Anwar Siddiqui, 2014; M Schneider et al., 2011).

1.4.4. Reducción del factor Clinker a partir de la utilización de Material Cementicio Suplementario

Sin duda, el mayor potencial de reducción reside en la sustitución del clínker por materiales cementantes suplementarios (MCS) adecuados (K. Scrivener et al., 2019; K. L. Scrivener et al., 2018a). En este caso, la disponibilidad de estos materiales desempeña un papel importante (ver figura 1.3), así como los requisitos de rendimiento y durabilidad de los hormigones correspondientes.

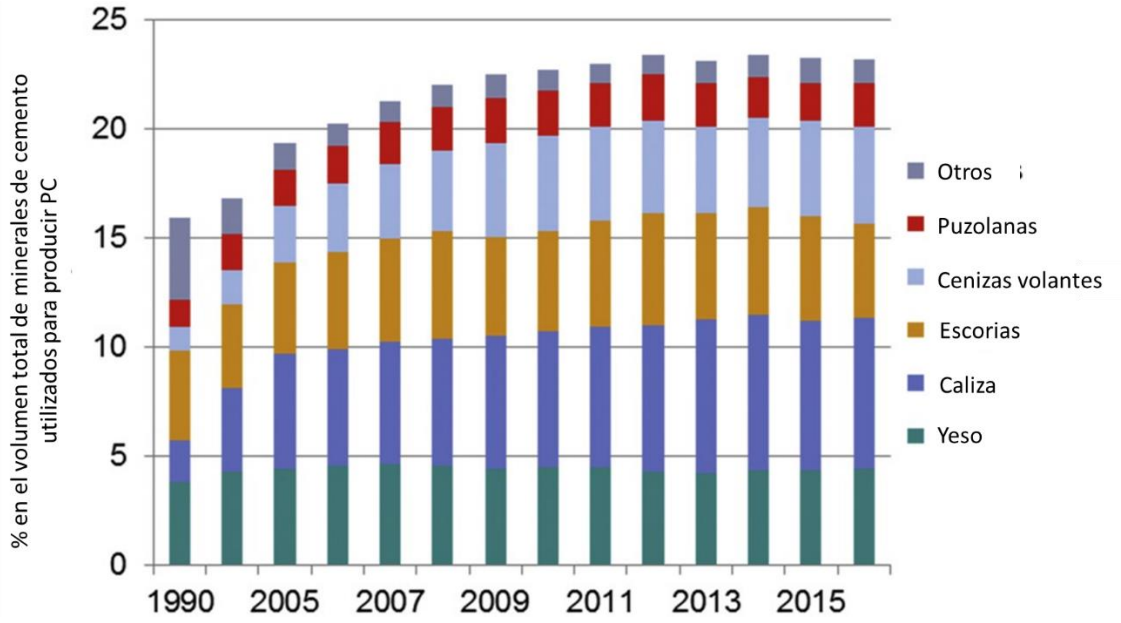


Figura 1. 3 Evolución de la sustitución de clínker por MCS (Martin Schneider, 2019).

Uno de los MCS son las cenizas volantes las cuales se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas similares al polvo procedentes de los gases de combustión de hornos alimentados con carbón pulverizado. Las cenizas volantes pueden ser de naturaleza silícea o calcárea, dependiendo del tipo de carbón utilizado en la combustión. Los principales constituyentes de las cenizas volantes son SiO_2 y Al_2O_3, así como CaO en el caso de las calcáreas. La mayoría de las cenizas volantes silíceas, que presentan propiedades puzolánicas, se utilizan como constituyentes del cemento, lo que se traduce en una mejor trabajabilidad y una resistencia positiva a largo plazo del hormigón, así como en unas buenas características de durabilidad gracias a una estructura de hormigón más densa. Con algunas posibles excepciones, el contenido de cenizas volantes en los cementos utilizados técnicamente se limita al 25-35% en peso (SCRIVENER & Vanderley M, 2019).

Considerando un factor de clínker de referencia de 0,75, el aumento de la proporción de cenizas volantes en el cemento hasta un 25-35% supondría una disminución de las emisiones directas de CO_2 procedentes de la producción de cemento de hasta 90 kg CO_2/t de cemento (Martin Schneider, 2019). La disponibilidad mundial de cenizas volantes a largo plazo depende en gran medida del número de centrales eléctricas de

carbón, que se espera que disminuya ya que cada vez se produce más energía a partir de fuentes renovables (Cemento et al., 2023; Martin Schneider, 2019).

Las puzolanas naturales suelen ser materiales de impacto u origen volcánico, o rocas sedimentarias con una composición química y mineralógica adecuada. Están constituidas por naturaleza de compuestos silíceos amorfos o poco cristalinos disponibles únicamente en ciertas regiones y reaccionan en presencia de agua a temperatura ambiente con hidróxido de calcio disuelto para formar fases C-A-S-H. Su reactividad puzolánica es variable y viene determinada por el contenido de dióxido de silicio reactivo y de alúmina. El pretratamiento necesario implica la trituración, el secado y la molienda, y su adición podría facilitar ligeramente la molturabilidad del cemento (Martin Schneider, 2019).

Al igual que las cenizas volantes, las puzolanas naturales muestran un buen impacto en la trabajabilidad del hormigón, así como en ciertos aspectos de la durabilidad. Las puzolanas naturales ya son hoy en día en algunas regiones un constituyente mineral importante en el cemento y es técnicamente posible aumentar el contenido de puzolanas en ciertos tipos de cemento desde el 6 % en peso hasta el 55 % en peso (Martin Schneider, 2019).

Las puzolanas calcinadas naturales son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas mediante tratamiento térmico. Sin embargo, las puzolanas calcinadas naturalmente utilizadas para los cementos suelen ser arcillas tratadas térmicamente (Liu et al., 2021; Martirena Hernández, 2013a; Karen Scrivener & Favier, 2015). El tratamiento térmico libera el agua ligada y descompone las estructuras minerales mientras se forman compuestos reactivos de sílice y alúmina. Las arcillas tratadas térmicamente reaccionan en presencia de agua a temperatura ambiente con hidróxido de calcio disuelto a fases C-A-S-H (Favier et al., 2018). En este caso, la disponibilidad de estos materiales desempeña un papel importante, así como los requisitos de rendimiento y durabilidad de los hormigones correspondientes (Habert & Roussel, 2020; Sharma et al., 2021a).

1.5.Características de la industria cementera ecuatoriana

El mercado del cemento en Ecuador se comporta como un oligopolio el cual se caracteriza por presentarse en múltiples escenarios económicos, donde compiten las compañías teniendo en cuenta las reacciones de las demás y respetando una jerarquía o poder en el mercado, siendo HOLCIM ECUADOR S.A. quien presenta mayor participación con el 63,56% (ver figura 1.4). Es necesario tener en cuenta los peligros que encierra el comportamiento cooperativo en los oligopolios, por no estimular la competencia y los precios de mercado (Espinosa et al., 2022; Villacís, 2020).



Figura 1. 4 Principales fábricas de cemento en Ecuador (Mccaffrey, 2022)

De acuerdo al Instituto Ecuatoriano de la Construcción, la mayor comercialización anual de cemento gris se registró entre los años 2017 y 2018 fue en el año 2018 con total de 5.8 millones de toneladas métricas como se observa en la figura 1.5 (FICEM, 2021a)

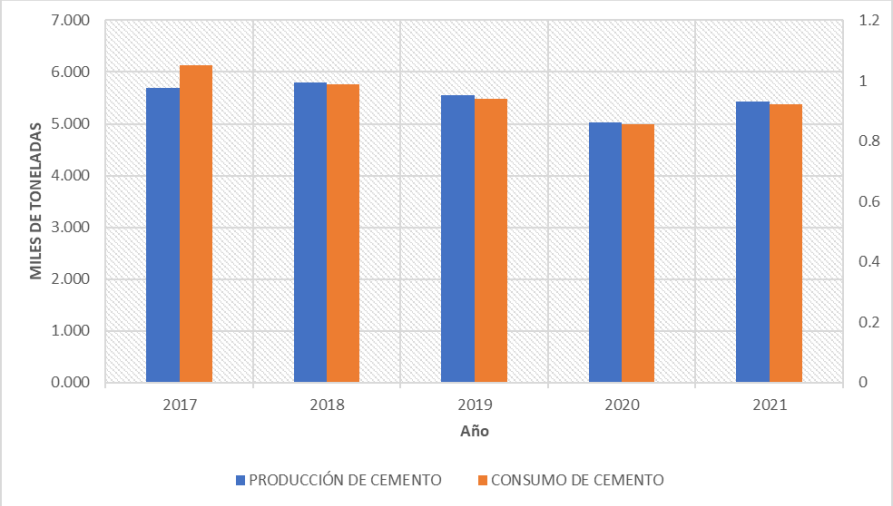


Figura 1. 5 Variación anual de producción y consumo del cemento gris (FICEM, 2021a)

En la figura 1.5 se puede observar gráficamente el constante incremento anual del consumo y comercialización del cemento gris en el Ecuador (FICEM, 2021a; Garcés Vargas, 2022).

1.6.Estructura de precios en el mercado del cemento en Ecuador

El cemento como una de las materias primas principales de la construcción, tiene una evolución de precio muy variable en Ecuador debido principalmente a factores relacionados con los procesos de producción y la demanda en el mercado. La gráfica muestra la variación del precio en el periodo comprendido entre 2000 al 2023 (Figura 1.6)

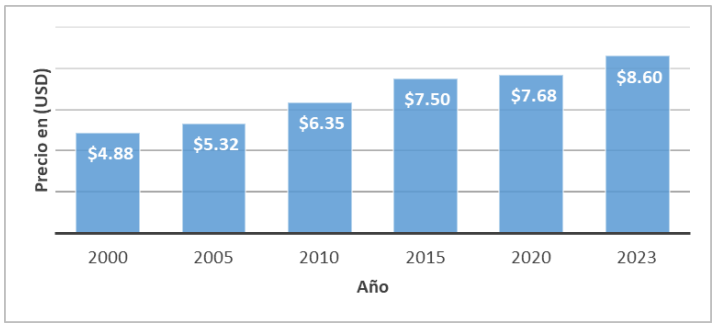


Figura 1. 6 Variación de precio de Cemento en Ecuador hasta el 2023

Como se muestra en la Tabla 1.1, los precios de comercialización del producto de tres empresas cementeras en el Ecuador, se encuentran muy próximos entre sí, siendo superior en el caso del cemento HOLCIM FUERTE (Espinosa et al., 2022).

Tabla 1. 1 Costos de bolsas de cemento de tres empresas cementeras en el Ecuador

Producto cemento	***Imagen***	***Presentación***	***Precio en (USD)***
CEMENTO SELVA ALEGRE		bolsa de (50 kg)	$ 8.63
CEMENTO ROCAFUERTE		bolsa de (50 kg)	$ 8.88
SACO CEMENTO CAMPEÓN		bolsa de (50 kg)	$ 8.30

1.7.Utilización de materiales MCS en Ecuador

Para el caso de Ecuador, la utilización de MCS ha cobrado vital importancia en la formulación de mezclas cementicias debido a la necesidad de reducción del consumo de energía, la protección de los recursos minerales naturales y la disminución de emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero, además de lograr una adecuada sostenibilidad, que contribuya una mayor vida útil de las estructuras. No obstante, su utilización está limitada por la disponibilidad y reactividad de los MCS disponibles en el territorio (Fabiani et al., 2018; Martin Schneider, 2019; FICEM, 2018; Notas técnicas, 2009).

La industria de cemento en Ecuador, presenta una limitada sustitución de clínker debido a la falta de Materiales Cementicios Suplementarios (MCS), los cuales provienen principalmente del empleo de cenizas volcánicas como adiciones minerales

de origen natural con moderada reactividad (León-Velez & Guillén-Mena, 2020) y su uso está limitado a porcentajes inferiores al 29 % (Garcés Vargas, 2022).

Por otro lado el empleo de arcillas calcinadas como MCS resulta una alternativa atractiva en la producción de cemento, debido a su amplia disponibilidad en toda la corteza terrestre (Badogiannis & Tsivilis, 2009; Almenares et al., 2017a; Baghban & Mahjoub, 2020), con una relativa facilidad de tratamiento al ser activadas mediante procesos térmicos que requieren mucho menos energía que la demandada para la elaboración del clínker , además de demostradas propiedades puzolánicas (Hollanders et al., 2016; Ilić et al., 2016; Antoni et al., 2012). El proceso viene dado a partir de la sustitución de una gran parte del clínker utilizado en su fabricación (30 a 50% de sustitución), por arcilla calcinada y carbonato de calcio, lo cual reduciría entre un 20-30 % de las emisiones de CO2 a la atmósfera en comparación con otros tipos de cementos (Cancio Díaz et al., 2017b; K. L. Scrivener, 2014)

1.8.El Cemento LC3 como alternativa para una producción sostenible

Entre varios estudios aparece el cemento de arcilla calcinada y piedra caliza (LC3) que es un nuevo tipo de cemento con bajo contenido de carbono que puede reducir el consumo de energía y las emisiones de CO2 al mismo tiempo que cumple con los requisitos de desempeño del cemento tradicional (Liu et al., 2021; Martirena-Hernandez et al., 2020; Martirena et al., 2018)

La utilización del LC3 en lugar del cemento Portland ordinario (OPC) puede conducir a evitar aproximadamente el 30% de las emisiones de dióxido de carbono (CO2) (Karen Scrivener et al., 2018; Wang et al., 2021).

La ventaja del LC3 radica en su capacidad para incorporar un porcentaje del 50% de clínker junto con componentes más económicos y fácilmente disponibles, como la arcilla y la piedra caliza, sin comprometer el rendimiento del cemento (K. L. Scrivener et al., 2018b). Además, es posible emplear piedra caliza de calidad inferior que contiene impurezas como cuarzo y dolomita, lo que amplía las potenciales ubicaciones geográficas para la producción de LC3. La calcinación de la arcilla ocurre a

temperaturas de 750 a 850 °C, significativamente menos que los 1450 °C requeridos para la clinkerización (K. Scrivener et al., 2019).

Se constató que la caolinita exhibe el mayor potencial de activación, lo cual se atribuye a su elevada presencia de grupos hidroxilo y su posición dentro de la estructura cristalina de la arcilla (Fernandez et al., 2011). Los resultados de pruebas realizadas demuestran que las arcillas con una concentración de caolinita que oscila entre el 40% y 70% resultan óptimas para la fabricación de LC3 y las reservas de estas son de tal magnitud que prácticamente se consideran inagotables en comparación con la cantidad actual de producción de cemento. Las extensas reservas de arcilla de tipo caolinita, adecuadas para este propósito, son abundantes en la franja tropical del planeta, donde el fuerte crecimiento económico se alinea con el consumo de cemento. (K. Scrivener et al., 2019).

1.9.Impactos de la producción de cemento LC3

Se ha comprobado que LC3 aborda eficazmente los tres pilares fundamentales de la sostenibilidad: medio ambiente, economía y sociedad (Martirena Hernández, 2013b), especialmente en el ámbito de los materiales de ingeniería, que se definen por su seguridad y facilidad de servicio, incluido su rendimiento ingenieril (Sharma et al., 2021b). La viabilidad económica del LC3 ha sido establecida en diversos contextos a nivel mundial, donde se ha demostrado que la inversión de capital necesaria para establecer una nueva planta de LC3 es menor en comparación con la de una planta de OPC de capacidad similar, y que los costos para aumentar la capacidad de una planta de cemento mediante la conversión a producción de LC3 son menores que los asociados con el incremento de capacidad mediante la producción convencional de OPC, lo cual es especialmente beneficioso en países que están experimentando una creciente demanda de cemento (Sánchez Berriel et al., 2016).

LC3 es actualmente manufacturado y vendido en etapas experimentales. Las cualidades positivas de este producto podrían servir como un atractivo para clientes y usuarios. Además, sus creadores tienen la intención de promover un uso más amplio debido a sus innegables beneficios medioambientales. Esto conlleva la necesidad de motivar al

inventor, incentivar al fabricante y facilitar así su incorporación y expansión en el ámbito industrial. (Muñoz Alfonso et al., 2019).

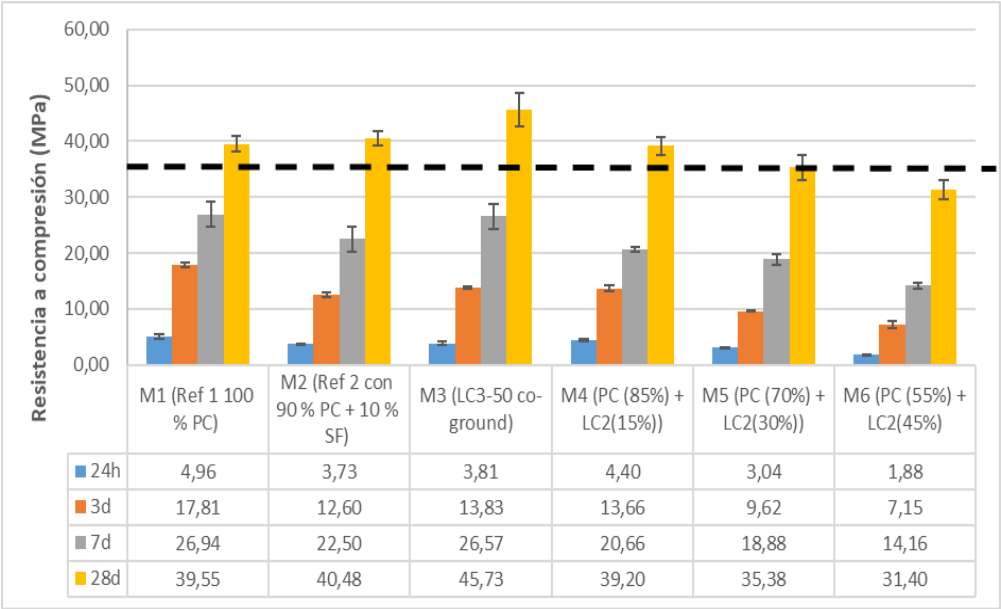
1.10. Impacto técnico de producción del cemento LC3 para el Ecuador.

Resultados experimentales obtenidos a escala de laboratorio por un grupo de investigadores en Ecuador (Garces Vargas et al., 2022) han demostrado que es posible sustituir hasta un 50% de clínker sin que se produzca una significativa disminución del volumen de productos de reacción que se produce en la hidratación del cemento, por lo que no se compromete la resistencia del material. Con sustituciones de un 50% se logra alcanzar resistencias similares a las del Cemento Portland ordinario (Martirena-Hernandez et al., 2020). La inclusión de un material de alta superficie específica como las arcillas calcinadas en los sistemas cementantes, mejora la hidratación de los productos de clínker a edades muy tempranas, pero también puede aumentar la demanda de agua (Favier et al., 2018). Las fases alumínicas reaccionan más rápido, de forma que la resistencia a edades tempranas no se afecta de manera considerable (Liu et al., 2021; Martirena Hernández, 2013a; Karen Scrivener & Favier, 2015).

Por otro lado la utilización de un régimen de molienda adecuado a partir de la molienda separada e intermolienda a partir de la utilización de intensificadores de molienda posee una gran influencia en las propiedades del sistema cementante y podría ayudar a mitigar problemas como la demanda de agua (Garces Vargas et al., 2022; Hernández, 2019; Venkatanarayanan & Rangaraju, 2014).

1.10.1. Impacto del cemento LC3 en la fabricación de hormigones

Según los resultados obtenidos por (Garces Vargas et al., 2022) la utilización de cementos con arcillas calcinadas en diferentes proporciones en la fabricación de hormigones ratifica la alta demanda de agua y la necesidad de incrementar la adición de súper plastificantes. Las mejores opciones son las de producir un cemento LC3-50 con un 50% de clínker por vía de intermolienda, o mezclar un 70% de cemento Portland con un 30% de LC2 (LC3 fabricado por molienda separada) (ver figura1.7).



	M1 (Ref 1 100 % PC)	M2 (Ref 2 con 90 % PC + 10 % SF)	M3 (LC3-50 co-ground)	M4 (PC (85%) + LC2(15%))	M5 (PC (70%) + LC2(30%))	M6 (PC (55%) + LC2(45%)
24h	4,96	3,73	3,81	4,40	3,04	1,88
3d	17,81	12,60	13,83	13,66	9,62	7,15
7d	26,94	22,50	26,57	20,66	18,88	14,16
28d	39,55	40,48	45,73	39,20	35,38	31,40

Figura 1. 7 Valores de resistencia en los hormigones fabricados con cemento LC3 en Ecuador (Garcés Vargas, Guamán, et al., 2020)

Los hormigones producidos con cementos de arcillas calcinadas alcanzan altos valores de resistencia en todas las edades (Garcés Vargas, Guamán, et al., 2020; Martirena-Hernandez et al., 2020). Los mejores resultados se obtienen con el cemento LC3-50 con un 50% de clínker por vía de intermolienda, y de la mezcla de 70% de cemento Portland con un 30% de LC2.

Estos hormigones presentan una alta durabilidad comprobada a través de ensayos de migración de cloruros y resistividad (Garcés Vargas, Guamán, et al., 2020; Garcés Vargas, 2022). Los hormigones elaborados con arcillas calcinadas tienen un comportamiento más favorable que las muestras con CP. (Ver figura 1.8).

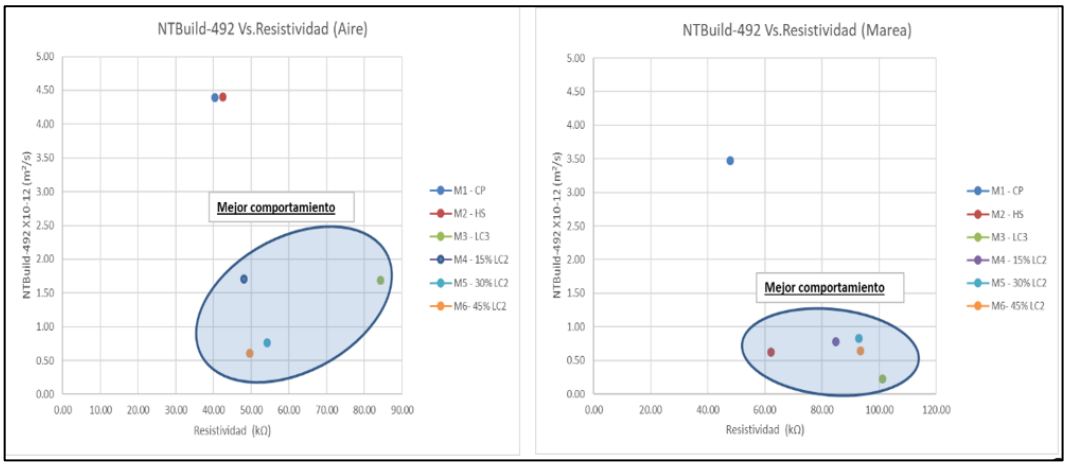


Figura 1. 8 Migración de cloruros Vs. Resistividad en hormigones fabricados con cemento LC3 en Ecuador (Garcés Vargas, 2022)

Este comportamiento está dado porque en los hormigones elaborados con arcillas calcinadas, los iones deben transitar por caminos tortuosos que dificultan notablemente su difusión, confirmando la ventaja de estos sistemas en ambientes de alta concentración de cloruros (Antoni et al., 2013; Maraghechi et al., 2018).

1.11. Factibilidad ambiental del cemento LC3 para el caso de Ecuador.

La figura 1.9 muestra los principales resultados de impacto medio ambiental producidos por la utilización del cemento LC3 y la adición mineral LC2 para el caso de Ecuador. Estos impactos están relacionados con la disminución del consumo de clínker y las emisiones de CO_2 (Garcés Vargas, 2022).

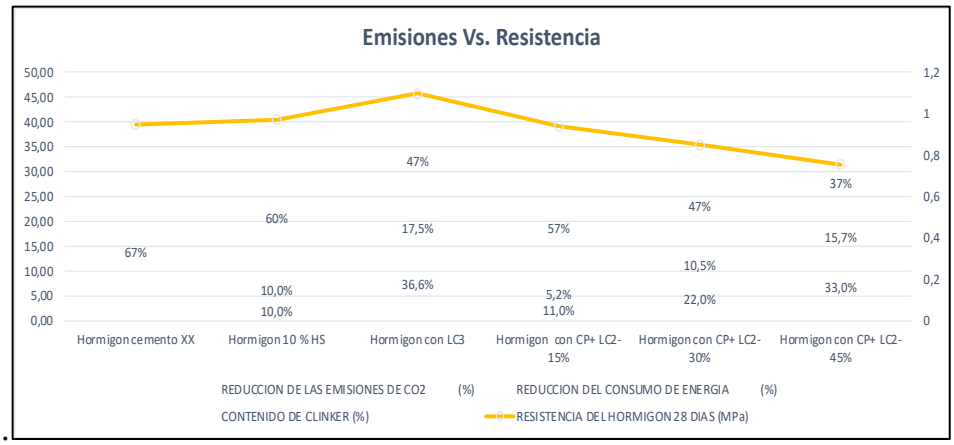


Figura 1. 9 Emisiones de CO2 Vs. Consumo de Clínker (Garcés Vargas, 2022)

De acuerdo al análisis realizado en la figura 1.9, se observa claramente el uso del cemento LC3 y la adición mineral LC2 en la elaboración de hormigones de alto desempeño genera mayores beneficios con respecto a los hormigones elaborados con el 100% de cemento Portland ya que se genera una disminución significativa de las emisiones de CO_2 en valores superiores al 35% por cada metro cúbico de hormigón (Garcés Vargas, 2022; López, 2016; Karen L. Scrivener; Vanderley M. John; Ellis M. Gartne, 2016).

1.12. Factibilidad económica del cemento LC3 para el caso de Ecuador.

Según los resultados obtenidos por (Garcés Vargas, 2022) cuyos resultados se basaron en fichas de costos de una empresa de producción de hormigón en la ciudad de Cuenca. Se tuvo en cuenta el costo del mismo y su repercusión en la disminución de % de clínker en las hormigones fabricados con arcillas calcinadas (Garcés Vargas, Guamán, et al., 2020).

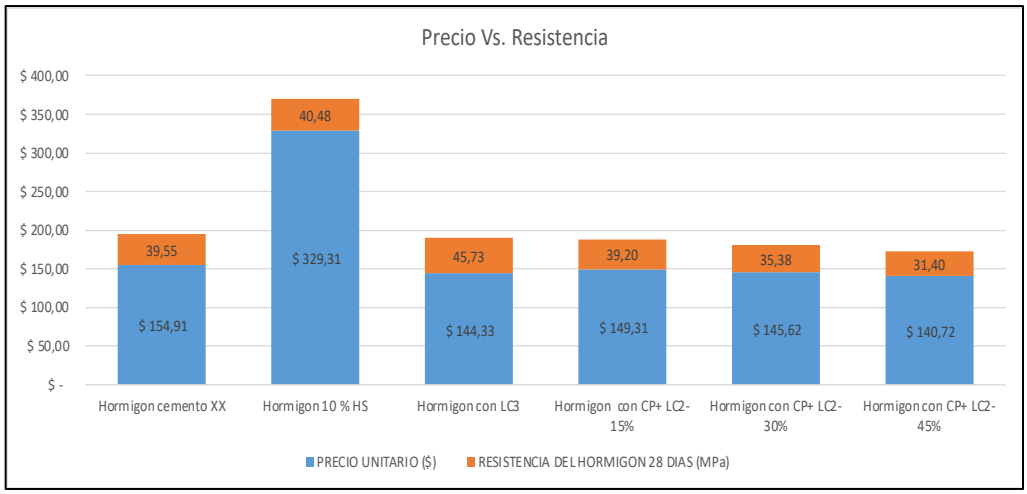


Figura 1. 10 Precio Unitario de hormigones fabricados con la utilización de arcillas calcinadas (Garcés Vargas, 2022)

De acuerdo con la figura 1.10, es visible que el uso del cemento LC3 y las adiciones minerales activas como el LC2 en la elaboración de hormigones genera mayores beneficios económicos con respecto a los hormigones elaborados con cemento Portland por cada m^3 de hormigón (Garcés Vargas, 2022).

1.13. Fundamentos teórico-conceptuales para el diseño de plantas de cemento

El objetivo principal de la planificación de la distribución en planta consiste en permitir que los obreros y las maquinarias trabajen con mayor eficiencia. Es necesario encontrar una ordenación de los equipos y de las áreas de trabajo que sea más económica y eficiente, al mismo tiempo que segura y satisfactoria para el personal que va a efectuar el trabajo (Absi Guido et al., 2013; Cerdá et al., 2017). Esta planificación se alcanza a través de la consecución de hechos como:

- Disminución de la congestión.
- Supresión de áreas ocupadas innecesariamente.
- Reducción del trabajo administrativo e indirecto.
- Mejora de la supervisión y el control.
- Mayor facilidad de ajuste a los cambios de condiciones.
- Mayor y mejor utilización de la mano de obra, la maquinaria y los servicios.
- Reducción de los sustentos y del material en proceso.
- Disminución del riesgo para el material o su calidad.
- Reducción del riesgo para la salud y aumento de la seguridad de los trabajadores.
- Disminución de los retrasos y del tiempo de fabricación e incremento de la producción

Los objetivos básicos que ha de conseguir una buena distribución en planta son:

Unidad. Al perseguir el objetivo de unidad se pretende que no haya sensación de pertenecer a unidades distintas ligadas exclusivamente a la distribución en planta (Cerdá et al., 2017).

Circulación mínima. El movimiento de productos, personas o información se debe minimizar (Cerdá et al., 2017).

Seguridad. La Seguridad en el movimiento y el trabajo de personas y materiales es una exigencia en cualquier diseño de distribución en planta (Cerdá et al., 2017).

Flexibilidad. Se alude a la flexibilidad en el diseño de la distribución en planta como la necesidad de diseñar atendiendo a los cambios que ocurrirán en el corto y medio plazo en volumen y en proceso de producción (Cerdá et al., 2017).

1.14. Factores que influyen en el diseño de las plantas de cemento

Los materiales: Dado que el objetivo fundamental del Subsistema de Operaciones es la obtención de los bienes y servicios que requiere el mercado, la distribución de los factores productivos dependerá necesariamente de las características de aquellos y de los materiales sobre los que haya que trabajar. A este respecto, son factores fundamentales por considerar: el tamaño, forma, volumen, peso y características físicas y químicas de los mismos, que influyen decisivamente en los métodos de producción y en las formas de manipulación y almacenamiento. La bondad del diseño de una planta dependerá en gran medida de la facilidad que aporta en el manejo de los distintos productos y materiales con los que se trabaja (Aristizabal-Alzate & González-Manosalva, 2021).

Las máquinas y equipos por utilizar: Para lograr un diseño adecuado es indispensable tener información de los procesos a emplear, de la maquinaria, utillaje y equipos necesarios, así como de la utilización y requerimientos de los mismos. La importancia de los procesos radica en que éstos determinan directamente los equipos y máquinas a utilizar y ordenar. El estudio y mejora de métodos queda tan estrechamente ligado a la distribución en planta que, en ocasiones, es difícil discernir cuáles de las mejoras conseguidas en una redistribución se deben a ésta y cuáles a la mejora del método de trabajo ligada a la misma, incluso hay veces en que la mejora en el método se limitará a un reordenamiento o redistribución de los elementos implicados (Cerdá et al., 2017; Helwig et al., 2009).

En lo que se refiere a la maquinaria, se habrá de considerar su tipología y el número existente de cada clase, así como el tipo y cantidad de equipos. El conocimiento de factores relativos a la maquinaria en general, tales como espacio requerido, forma, altura y peso, cantidad y clase de operarios requeridos, riesgos para el personal,

necesidad de servicios auxiliares, etc., se muestra indispensable para poder afrontar un correcto y completo estudio de diseño de una planta (Helwig et al., 2009).

La mano de obra especializada: También la mano de obra ha de ser ordenada en el proceso de diseño, englobando tanto la directa como la de supervisión y demás servicios auxiliares. Al hacerlo, debe considerarse la seguridad de los empleados, junto con otros factores, tales como luminosidad, ventilación, temperatura, ruidos, etc. De igual forma habrá de estudiarse la cualificación y flexibilidad del personal requerido, así como el número de trabajadores necesarios en cada momento y el trabajo que habrán de realizar (Absi Guido et al., 2013; Cerdá et al., 2017).

La circulación: En relación con este factor, hay que tener presente que la circulación no es una operación productiva, pues no añaden ningún valor al producto. Debido a ello, hay que intentar que sean mínimas y que su realización se combine en lo posible con otras operaciones, sin perder de vista que se persigue la eliminación de manejos innecesarios y antieconómicos (Cerdá et al., 2017).

Uno de los objetivos que se persiguen al estudiar la distribución en planta es conseguir que la circulación de los materiales sea fluida a lo largo de la misma, evitando así el costo que suponen las esperas y demoras que tienen lugar cuando dicha circulación se detiene. Sin embargo, el material en espera no siempre supone un costo a evitar, pues, en ocasiones, puede proveer una economía superior (por ejemplo: protegiendo la producción frente a demoras de entregas programadas, mejorando el servicio a clientes, permitiendo lotes de producción de tamaño más económico, etc.), lo cual hace necesario que sean considerados los espacios necesarios para los materiales en espera (Cerdá et al., 2017; Muther, 1965).

Los servicios auxiliares: Los servicios auxiliares permiten y facilitan la actividad principal que se desarrolla en una planta. Entre ellos, se puede citar los relativos al personal (por ejemplo: vías de acceso, protección contra incendios, primeros auxilios, supervisión, seguridad, etc.), los relativos al material (por ejemplo: inspección y control de calidad) y los relativos a la maquinaria (por ejemplo: mantenimiento y distribución de líneas de servicios auxiliares). Estos servicios aparecen ligados a todos los factores

que toman parte en la distribución estimándose que aproximadamente un tercio de cada planta o departamento suele estar dedicado a los mismos. Con gran frecuencia, el espacio dedicado a labores no productivas es considerado un gasto innecesario, aunque los servicios de apoyo sean esenciales para la buena ejecución de la actividad principal. Por ello, es especialmente importante que el espacio ocupado por dichos servicios asegure su eficiencia y que los costos indirectos que suponen queden minimizados (Absi Guido et al., 2013; Cerdá et al., 2017).

El inmueble: La consideración del inmueble es siempre un factor fundamental en el diseño de la distribución, pero la influencia de la edificación será determinante si ésta ya existe en el momento de proyectarla. En este caso, su disposición espacial y demás características (por ejemplo: número de pisos, forma de la planta, localización de ventanas y puertas, resistencia de suelos, altura de techos, emplazamiento de columnas, escaleras, montacargas, desagües, electricidad, etc.) se presenta como una limitación a la propia distribución del resto de los factores, lo que no ocurre cuando el edificio es de nueva construcción (Cerdá et al., 2017; Helwig et al., 2009; Muther, 1965).

La flexibilidad o cambios: uno de los objetivos que se persiguen con la distribución en planta es su flexibilidad. Es, por tanto, ineludible la necesidad de prever las variaciones futuras para evitar que los posibles cambios en los restantes factores que se han enumerado lleguen a transformar una distribución en planta eficiente en otra anticuada que merme beneficios potenciales. Para ello, habrá que comenzar por la identificación de los posibles cambios y su magnitud, buscando una distribución capaz de adaptarse dentro de unos límites razonables y realistas (Cerdá et al., 2017; Kirk, 2008; Muther, 1965).

En resumen, de las principales consideraciones para tener en cuenta respecto de los factores en el diseño de una planta. Son notorias las conexiones que existen entre materiales, almacenamiento, la circulación, mano de obra, maquinaria y edificación existiendo otros muchos ejemplos que muestran que, en numerosas ocasiones, deberán tenerse presentes a la vez más de uno de los evaluados. Lo importante es que no se obvie ninguno, dándole a cada uno su importancia relativa dentro del conjunto y buscando que en la solución final se consigan las máximas ventajas del conjunto.

1.15. Viabilidad del montaje de planta de producción de cemento LC3

La evaluación técnica económica se refiere a un análisis exhaustivo que combina consideraciones técnicas y económicas para determinar la viabilidad y rentabilidad de una propuesta o iniciativa. Implica evaluar los aspectos técnicos de la implementación y operación del proyecto, así como los aspectos económicos relacionados con los costos, beneficios y retorno de la inversión (David, 2003), mediante la evaluación de los flujos de efectivo futuros generados por la inversión utilizando métricas como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) para medir la rentabilidad y el valor presente de los flujos de efectivo a lo largo del tiempo.

La viabilidad de la planta de producción de cemento LC3 en Santa Elena se basa en varios factores clave. La disponibilidad de arcilla calcinada y piedra caliza en la región es fundamental para asegurar un suministro constante de materias primas. La inversión en tecnología y equipos de producción adecuados, así como la capacitación de la mano de obra local, son aspectos cruciales para garantizar la calidad y la eficiencia del proceso de producción (Esperanza et al., 2020).

La implementación de una planta de producción de cemento LC3 no solo tiene el potencial de reducir las emisiones de CO_2, sino también de generar empleo local y fomentar el desarrollo económico en la región. La creación de oportunidades de empleo en la extracción de materias primas, la producción y la distribución del cemento LC3 puede contribuir al fortalecimiento de la economía local y al alivio de la pobreza (Esperanza et al., 2020; Karen L. Scrivener; Vanderley M. John; Ellis M. Gartne, 2016; Karen Scrivener, 2019).

1.16. Evaluación de la rentabilidad de inversiones

Las inversiones comprometen el empleo de recursos en la sociedad en un horizonte temporal extenso, por lo que su asignación a destinos diferentes, debe responder a las mejores expectativas de racionalidad económica y a los más loables empeños de eficiencia a escala agregada (López, 2016).

En la elaboración de un proyecto de inversión lo primero que hay que realizar es la definición clara de la función objetivo. Por lo que es importante una correcta definición

de los objetivos; ya que esto permitirá conocer con rigor los impactos que asumirán el proyecto y su clasificación acorde a costos, beneficios o transferencias. Los costos son aquellos impactos que inciden de forma negativa en la función objetivo; los beneficios son los impactos que inciden de forma positiva en la función de objetivos y las transferencias son los efectos que no se manifiestan en la función objetivo, por lo que no serán relevantes para la evaluación (López, 2016; Vierreira Avila, 2020).

1.17. Procedimientos para la evaluación de proyectos de inversión

Para hacer la evaluación de proyectos de inversión se debe realizar los siguientes procedimientos:

Procedimientos financieros: Determinar el proyecto de inversión, ejecutar el análisis técnico y definir los parámetros económicos (como márgenes, rentabilidades y ciclos de conversión de caja) para conocer la correcta asignación de los recursos y poder estar seguros de que la inversión será realmente rentable (Financiera, 2021; Vierreira Avila, 2020).

Procedimientos operacionales: Calcular los indicadores clave de rendimiento a nivel operativo, como las **capacidades y las velocidades de producción*, y medir el **riesgo operacional** y de gestión; todo ello aplicado a cada fase del proceso para determinar con certeza la factibilidad del proyecto y su productividad cuando esté en curso (Financiera, 2021; Vierreira Avila, 2020).

Procedimientos macroeconómicos: Analizar si será posible igualar el valor adquisitivo de la moneda presente en la moneda futura, y determinar de qué manera la ubicación geográfica puede afectar el ciclo de negocio del proyecto, ya sea por factores fiscales, legales, sociales, logísticos, naturales u otros (Financiera, 2021; Vierreira Avila, 2020).

1.18. Importancia de la evaluación de rentabilidad de inversiones

La evaluación de proyectos de inversión es un instrumento prioritario al momento de desarrollar iniciativas de inversión. Esta técnica debe ser tomada como una posibilidad de proporcionar información clave y determinante a las personas que toman decisiones dentro de una empresa, para que tenga todos los datos que se necesitan al momento de

decidir sobre una inversión. Así, la importancia de la evaluación de proyectos de inversión es que facilita el trabajo de identificar y rechazar un proyecto no rentable y de identificar y aceptar uno rentable (José Antonio Chumacero, 2021).

El planteamiento sistemático, metodológico y científico de los proyectos es de gran importancia en la evaluación de proyectos de inversión, ya que complementan la visión empírica y la acción empresarial. A nivel de empresa, la importancia es tal, que el éxito de las operaciones normales se apoya principalmente en conocer cada elemento del costo y poder así determinar con certeza la utilidad que el proyecto genera (Financiera, 2021).

Las referencias comunes a evaluación de proyectos consideran los conceptos de Evaluación Financiera, Evaluación económica y Evaluación Social, cada uno de estos conceptos hace referencia a un mecanismo o metodología básica de evaluación que consiste en el establecimiento de un patrón o norma de comparación que define la utilidad o bondad del proyecto (López, 2016).

Con respecto a los tres tipos de evaluación mencionados, el primero permite evaluar la capacidad financiera de un proyecto y determina lo que comúnmente se conoce con el nombre de rentabilidad del inversionista; el segundo, al no considerar las opciones de financiamiento, permite conocer la rentabilidad del proyecto en términos de sus beneficios y costos propios. Metodológicamente corresponde una evaluación en la que se asume total disponibilidad de recursos a precios de mercado y, en el tercer caso, se trata de determinar la rentabilidad del proyecto para la sociedad (Vierreira Avila, 2020; José Antonio Chumacero, 2021).

1.19. Métodos de evaluación de proyectos de inversión

El análisis de los criterios de evaluación económica financiera de un proyecto de inversión a mediano y largo plazo, es el punto culminante para pasar al proceso de toma de decisión de la rentabilidad de la inversión, en este sentido se hace necesario el análisis de los criterios de decisión (López, 2016; Uzcátegui Sánchez et al., 2018).

El primer paso para la evaluación de proyectos de inversión es estimar el flujo de efectivo de cada proyecto, tal como la inversión inicial, los flujos de efectivo de

operación anual y los flujos de efectivo de terminación del proyecto (Financiera, 2021; Ramalle-Gómara, 2022). Una vez determinados los flujos de efectivo es posible pasar a aplicar uno de estos cuatro métodos de evaluación de proyectos de inversión:

Valor Actual Neto (VAN) o Valor Presente Neto (VPN): El VAN es la diferencia entre el valor de mercado de una inversión y su costo, por lo que este modelo mide el valor generado por una inversión. Para que un proyecto de inversión sea aceptado, debe contar con un VAN positivo (Uzcátegui Sánchez et al., 2018; Vierreira Avila, 2020).

El VAN representa el máximo valor que la empresa puede pagar por la opción a invertir, sin incurrir en pérdidas financieras de oportunidad(Vierreira Avila, 2020). El VAN es el valor actualizado de todos los flujos de caja esperados conociendo la tasa de interés del capital (r), la duración del proyecto (n) y la inversión inicial (Io). El VAN será calculado entonces por la siguiente fórmula:

$$VAN = -Io + \Sigma_{i\,n=1}\, FE / (1+r)\, n$$

El VAN representa la rentabilidad en términos absolutos de un proyecto de inversión.

El criterio del VAN establece que:

- Si VAN >0, la inversión debe llevarse a cabo ya que es rentable para la empresa (Vierreira Avila, 2020).
- Si VAN<0, la inversión no debe realizarse porque no es rentable para la empresa (Vierreira Avila, 2020).
- Si VAN=0, es igual que la inversión se realice o no ya que no modifica el patrimonio de la empresa (Vierreira Avila, 2020).

Dentro de las limitaciones de este método se tiene en primer lugar que es incapaz de valorar correctamente aquellos proyectos de inversión que incorporan opciones reales (de crecimiento, abandono, diferimiento, aprendizaje, etcétera) lo que implica que el valor obtenido a través del simple descuento de los flujos de caja infravalore el verdadero valor del proyecto, y en segundo lugar que la forma de calcular el VAN de un proyecto de inversión supone, implícitamente, que los flujos de caja, que se espera proporcionen a lo largo de su vida, deberán ser reinvertidos hasta el final de la misma a

una tasa idéntica a la de su coste de oportunidad del capital (Uzcátegui Sánchez et al., 2018; Vierreira Avila, 2020). Esto no sería un problema si dichos flujos de fondos fuesen reinvertidos en proyectos del mismo riesgo que el actual (y suponiendo que el coste de oportunidad del capital se mantenga constante, lo que es mucho suponer); pero sí ello no se cumple, el VAN realmente conseguido diferirá del calculado previamente, siendo mayor si la tasa de reinversión supera al coste del capital o menor en caso contrario (Uzcátegui Sánchez et al., 2018; Vierreira Avila, 2020).

Tasa Interna de Retorno (TIR): La TIR busca dar con una tasa que permita al VAN llegar a un resultado igual a cero. No existe una fórmula matemática que permita calcular la TIR, por lo que la única manera de encontrarla es bajo prueba y error. Si la TIR excede el rendimiento requerido, la inversión puede ser tomada en cuenta (Faster Capital, 2023; Financiera, 2021; Ramalle-Gómara, 2022).

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

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

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

La principal limitación de este método es que la TIR asume que los flujos de caja deben ser reinvertidos a la propia TIR, es decir, la TIR realiza un supuesto sobre el coste de oportunidad totalmente inapropiado (Uzcátegui Sánchez et al., 2018; Vierreira Avila, 2020).

Método de periodo de recuperación: El método de periodo de recuperación determina el tiempo que tomará recuperar la inversión inicial o punto de equilibrio (Faster Capital, 2023; Financiera, 2021; Ramalle-Gómara, 2022). El plazo de recuperación simple es un

método de valoración de proyectos de inversión de tipo estático debido a que no tiene en cuenta el momento del tiempo en el que vencen sus flujos de caja. Se define como el tiempo que se tarda en recuperar el desembolso inicial realizado en una inversión (Vierreira Avila, 2020; López, 2016).

En el caso de flujos constantes se puede definir como:

$$PR = \frac{C0}{C1} \text{ (Años)}$$

Siendo:

C0 = flujos constantes anuales de beneficios netos.

C1 = costo de la inversión.

Según este método de valoración, los proyectos de inversión serán factibles siempre que su plazo de recuperación sea inferior a un plazo máximo establecido por la dirección de la empresa; y entre dichos proyectos ejecutables serán preferibles aquellos cuyo plazo sea más bajo, esto es, los que tengan la recuperación del desembolso más rápida (López, 2016; Faster Capital, 2023; Vierreira Avila, 2020).

Las dos limitaciones de este criterio son:

a) la no consideración de todos los flujos de caja del proyecto.
b) el no tener en cuenta el momento del horizonte temporal en el que tienen lugar los flujos de caja por lo que no opera con su valor actualizado.

En favor de su utilización se puede argumentar que es muy fácil de calcular, que es fácil de comprender, y que para las empresas con problemas de liquidez es muy apropiado (Vierreira Avila, 2020).

Índice de rentabilidad: El índice de rentabilidad permite evaluar, de manera rápida, si el proyecto de inversión es viable. Esto se consigue determinando el valor obtenido entre beneficio en base al costo (Vierreira Avila, 2020).

El Índice de Rentabilidad, consiste en dividir el valor actual de los flujos de caja por el desembolso inicial de la inversión por lo que analíticamente se expresará de la siguiente forma:

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

Siendo:

A: Desembolso inicial de la inversión

Qn: flujos de fondos generados por el proyecto

k: tasa que expresa el costo de oportunidad del capital

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

En principio serían realizables aquellas inversiones cuyo índice de rentabilidad fuera superior a la unidad (IR>1), ya que esto indicaría que lo recuperado por la inversión, teniendo en cuenta el efecto del paso del tiempo sobre el valor de los capitales, es superior al desembolso realizado (Vierreira Avila, 2020).

Como limitación estriba en que el IR no indica la rentabilidad por período sino la rentabilidad a lo largo de todo el horizonte temporal de la inversión lo que complica algo su comprensión (José Antonio Chumacero, 2021; Vierreira Avila, 2020).

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1.Contexto de la investigación

La planta para la producción de cemento de bajo carbono LC3, seria única de su tipo en la región, se encontrará ubicada en la provincia de Santa Elena (Figura 2.1). Esta es una instalación industrial que se utilizará para satisfacer la demanda de cemento a nivel local asegurando la calidad del producto y ayudando en la reducción de la gran afectación que esta industria provoca a nivel mundial.

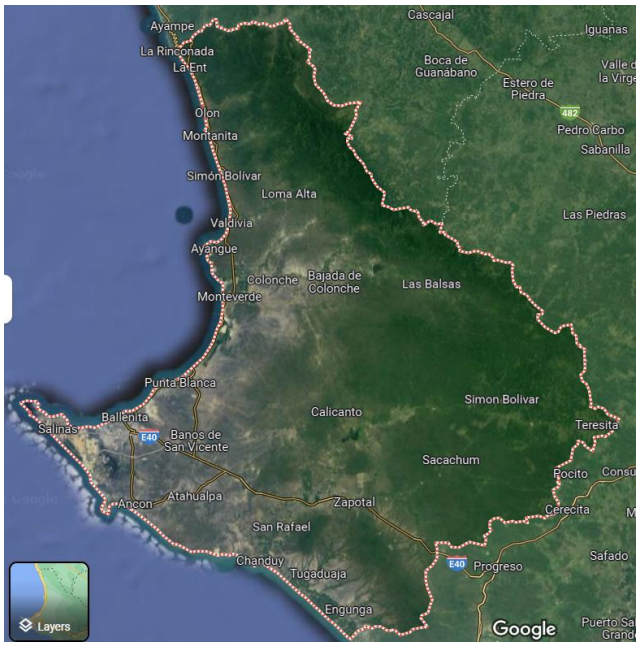


Figura 2. 1 Provincia Santa Elena

Los productos finales que pueden obtenerse en la planta lo constituyen el LC2 y el LC3. El LC2 es una adición mineral con una proporción de 60,0% de arcilla calcinada, 35,0% de caliza y 5,0% de yeso. El LC3 es un cemento ternario, con una proporción de 45,0% de clínker, 30,0% de arcilla calcinada, 20,0% de caliza y 5% de yeso. Este aglomerante alcanza una resistencia similar a los cementos Portland con adiciones activas (INTE INEN 152:2012, 2012). El potencial de estos productos se ha demostrado en la investigación colaborativa entre el Laboratorio de Materiales de Construcción en la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL), Suiza y Centro de Investigaciones de las Estructuras y Materiales (CIDEM), en Cuba. La producción masiva de este tipo de

cemento puede contribuir a la reducción de las emisiones asociadas a la manufactura de clínker en más de un 25 % con respecto a la práctica diaria.

2.2.Diseño y alcance de la investigación

Para el proyecto "Evaluación técnica económica de una planta de cemento LC3 en la provincia de Santa Elena", está dirigido al diseño no experimental, que se puede describir como un tipo de investigación en la que no se manipulan de manera deliberada las variables (Risco, 2020). En otras palabras, se trata de estudios en los que no se introducen cambios intencionados en las variables independientes para observar cómo afectan a otras variable, el enfoque consiste en observar o medir fenómenos y variables tal como ocurren en su entorno natural, con el propósito de analizarlos (Hernández-Sampieri, 2018).

2.2.1. Estudio Técnico

Para el presente estudio, se plantean una serie de interrogantes desde el punto de vista técnico que es necesario resolver antes de continuar.

Tecnología necesaria

La tecnología es la forma de combinar los factores de la producción para transformar diversos insumos en productos. Por tanto, impacta de manera directa la función de producción de una empresa y el tipo de proceso con que se lleva a cabo la producción. Las decisiones de tecnología se relacionan con:

1. Características y disponibilidad de materiales y/o materias primas.
2. Relación demanda-capacidad.
3. Características del flujo tecnológico

Disponibilidad financiera.

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

se asume total disponibilidad de recursos a precios de mercado y, en el tercer caso, se trata de determinar la rentabilidad del proyecto para la sociedad.

Impactos Ambientales

No obstante, todo cambio o crecimiento genera en diferentes formas un daño al medio ambiente, es por eso que se vuelve inevitable pensar en la necesidad variantes al cemento que cumplan su función y que generen menor daño ecológico (Garcés Vargas, 2022).

Dentro del estudio técnico es necesario tener en cuenta los impactos positivos y negativos que tiene el proyecto de inversión en el ambiente. Este es un tema de gran importancia hoy en día por la necesidad de la promoción del desarrollo sostenible y el uso de tecnologías limpias (Sánchez Berriel et al., 2016).

2.2.2. Alternativas de inversión a evaluar

Las alternativas de inversión se definen y evalúan teniendo en cuenta las condiciones necesarias para su realización y la viabilidad de cada propuesta. En este caso, se describen las alternativas de inversión para lograr la producción del Cemento de Bajo Carbono en la provincia Santa Elena en diversos escenarios productivos.

Alternativa 1: Montaje de una planta para producir cemento LC3

Esta alternativa propone la estrategia de montar una planta de cemento LC3 en la provincia de Santa Elena. Como la sustitución parcial de los cementos tradicionales por el cemento LC3 el cual ha demostrado su eficiencia técnica, económica y ambiental se propone introducir la producción gradualmente (de manera que sustituya parcialmente los demás cementos) (ver figura 2.2). Esta alternativa permitirá hacer frente a la creciente demanda de cemento utilizando materiales cementicios suplementarios y al mismo tiempo, reduce el consumo de combustible, las emisiones de CO_2, además de garantizar un cemento de alta resistencia y puede ser utilizado en la producción de hormigones de alta resistencia y durabilidad.



Figura 2. 2 Producción gradual de cemento LC3

Alternativa 2: Montaje de planta de Producción de una adición mineral LC2

El esquema propuesto incluye la alternativa de una planta para la producción de otra de las formulaciones de esta familia de aglomerantes, la cual está basada es una mezcla de arcilla calcinada, caliza y yeso para obtener el denominado LC2, una adición mineral activa que permite la sustitución de 50 % de cemento Portland. Esta adición mineral mezclada con cemento Portland alcanza una resistencia similar a los cementos Portland con adiciones activas. Esta adición mineral podría comercializarse de varias formas y con varias estrategias entre ellas: adición para fortalecer la resistencia del hormigón a la corrosión y hormigones usados en suelos salinos.

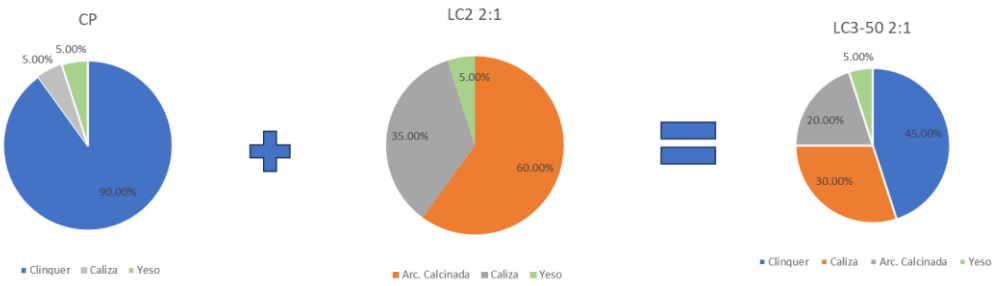


Figura 2. 3 Producción adición mineral LC2

2.2.3. Aplicación de indicadores financieros tradicionales: VAN, TIR y PR

En este paso se aplican técnicas de evaluación financiera tradicionales estableciendo los flujos económicos de cada alternativa de inversión. Para ello se deben tomar varios

supuestos como: el costo de capital, la tasa de descuento, el nivel de producción estimado, intereses, entre otros.

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

2.3. Tipo y métodos de investigación

La investigación cuantitativa se concentra en examinar y comprender información, valores numéricos y datos estadísticos relacionados con el tema de estudio. Esto habilita al investigador para recolectar datos que pueden ser representados en forma numérica para su análisis lógico y objetivo (Pimienta & De la Orden, 2012). La investigación cualitativa se fundamenta en la recopilación y síntesis de información cualitativa a través de acciones de campo, que incluyen la realización de entrevistas, la observación directa y el análisis de documentos (Pimienta & De la Orden, 2012).

Se podría realizar un estudio cualitativo para comprender a fondo los aspectos sociales, culturales y ambientales relacionados con la implementación de la planta de cemento LC3.

También se necesitaría un enfoque cuantitativo para recopilar datos numéricos y medibles sobre aspectos técnicos, económicos y de producción de la planta. Esto podría incluir datos sobre inversión, costos de operación, producción estimada, impacto en la economía local, demanda proyectada, entre otros.

Bajo este contexto se puede definir que el tipo de investigación es mixta, ya que combinará ambos tipos que permitiría obtener una comprensión completa y equilibrada de todos los aspectos del proyecto. Combinando datos cualitativos y cuantitativos, se lograría una visión integral de los desafíos, oportunidades y efectos potenciales de la implementación de la planta de cemento LC3 en la provincia de Santa Elena. Esto ayudaría a tomar decisiones informadas y a abordar tanto los aspectos técnicos como los sociales de manera efectiva.

En base a esta conceptualización se determina que el enfoque de este proyecto es hipotético-deductivo, ya que se respaldará en estudios e investigaciones previas de la obtención y propiedades del cemento LC3 y así determinar si sería rentable o no la implementación de una planta de producción dentro de la provincia de Santa Elena.

2.4. Población y muestra

De acuerdo a (Sucasaire, 2022), la población se define como el conjunto total de elementos en los cuales se llevará a cabo el análisis de las variables. Las conclusiones y hallazgos derivados de una investigación se formulan en relación con la población en estudio. No obstante, en ocasiones no se examinan todos los elementos de dicha población, sino que los resultados se extrapolan a partir de un número determinado de observaciones.

La selección de sujetos o elementos representativos de la población o de las categorías que surjan de la misma se define como la muestra, el muestreo es la técnica que se emplea para obtenerla (Leyton, s. f.).

Con lo expuesto anteriormente se manifiesta que la provincia de Santa Elena al no contar con una planta de producción de cemento, se dificulta evaluar directamente la producción y demanda local del cemento tradicional para determinar la cantidad que se produciría en la planta proyecto de LC3, pero para ello se recurrirá a tomar como población de estudio a los principales proveedores (12 proveedores) de cemento dentro de la provincia de Santa Elena, y así determinar la demanda a cubrir para el posterior diseño de la planta. Para lo cual fue necesario aplicar y responder la siguiente encuesta:

Interrogantes por responder:

1. ¿Distribuye más de una marca de cemento? Detallar

   Si ___ No___

Señale cuáles de las siguientes:

HOLCIM ____

CHIMBORAZO ____

CAMPEÓN ____

SELVALEGRE ____

Otros _____

2. ¿Cuál es su relación con la marca de cemento que comercializa?

Exclusividad ____

Contrato abierto ____

contrato por volumen ____

3. ¿Qué problemas o debilidades percibe usted en la oferta actual de cemento?

No percibe debilidad ____

Tiempo de llegada del producto ____

Transporte del producto ____

Competencia del precio ____

Falta de stock del producto ____

4. ¿Estaría dispuesto a comercializar una nueva marca de cemento?

Si ____ No ____ Tal vez ____

De ser positiva ¿Qué atributos técnicos necesitaría que la nueva marca de cemento cumpla?

_____

5. ¿Qué otros atributos o condiciones serían necesarios para comercializar una nueva marca de cemento?

Precio ____

Marca reconocida ____

Resistencia ____

Calidad ____

Publicidad ____

Transporte ____

Garantía ____

Cuidado con el medio ambiente ____

6. ¿Cuáles son los atributos que más valora el cliente al momento de adquirir cemento?

Precio ____

Calidad ____

Tiempo de entrega ____

Prestigio ____

Otros ____

7. ¿Considera Ud. que el cliente final estaría dispuesto a cambiar de marca de cemento?

   Si ____ No ____ Tal vez ____

¿Qué factores son los que llevarían al cliente a cambiar de marca de cemento?

8. Usted como distribuidor, ¿Qué cantidad de sacos de cemento aproximadamente distribuye semanalmente dentro de la provincia de Santa Elena?

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos en la presente investigación se utilizará encuestas que de acuerdo a (Blanco, 2011) es una herramienta o recurso uniforme que posibilita adquirir datos acerca de un subgrupo de la población completa, se basa en la interacción directa o indirecta con todas las personas cuyas actitudes, comportamientos o atributos son relevantes para una investigación específica.

2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.

(Blanco, 2011) Para la validez y confiabilidad del levantamiento de información se realizará: (i) Revisión de Expertos, que consiste en someter los instrumentos de recolección de datos, como cuestionarios o encuestas, a la revisión de expertos en el campo. Estos expertos evaluarán la relevancia, claridad y adecuación de las preguntas y categorías propuestas. (ii) Prueba Piloto, se realiza una prueba piloto del instrumento con un pequeño grupo de muestra que sea similar a la población objetivo. Esto permite identificar posibles problemas, ambigüedades o dificultades en las preguntas y el proceso de recolección. (iii) Análisis de Contenido, luego de la recolección de datos, se analiza el contenido de las respuestas para asegurar que se captura la información deseada y que las preguntas generan resultados coherentes y relevantes.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

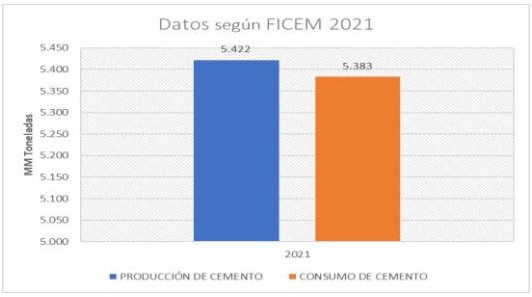
El objetivo general de esta investigación fue el de evaluar técnica y económicamente la implementación de una planta de producción de cemento LC3, contribuyendo al desarrollo de las construcciones y el impacto ambiental en la provincia de Santa Elena. Siendo el cemento de bajo carbono (LC3), un tipo de cemento que puede producirse a escala local mediante el proceso de intermolienda mezclando arcillas calcinadas, caliza, yeso más clínker y mediante molienda separada mezclando la adición mineral LC2 con cemento Portland. Este cemento puede contribuir a elevar significativamente su producción en la provincia.

La evaluación técnico - económico de producir este cemento generó la idea proyecto de construir una Planta para la producción del cemento de bajo carbono con una rentabilidad del 17% al 21%, con un VAN positivo.

La inversión tiene como objetivos fundamentales: i) Aprovechar la relativa cercanía de las fuentes de las materias primas para la producción de LC2 y LC3; ii) Utilizar el extensor LC2 para incrementar la producción de cemento LC3 destinado a la producción local de materiales de la construcción y construcción de viviendas convencionales; iii) Contribuir a la reducción de las emisiones de CO_2 al sustituir al clínker en determinadas proporciones, mejorando el perfil medioambiental del cemento; iv) Acercar la producción de cemento de bajo carbono (LC3) a la población dentro de la provincia.

3.1. Identificación de la oferta y demanda de cemento en la provincia de Santa Elena.

De acuerdo con la Federación Interamericana del Cemento (FICEM), la industria del cemento ecuatoriana reporta una producción de 5.42 MM de toneladas en el año 2021 como se observa en la figura 3.1 a.



a)



b)

Figura 3. 1 a)Producción y consumo de cemento en Ecuador hasta el 2021, b) Consumo por habitante (FICEM, 2021a).

El consumo es de 5,38 MM, el cual no excede la producción, este suceso se debe a que Ecuador es país en vías de desarrollo lo cual lo convierte en un gran consumidor del cemento, promoviendo de esta manera la expansión territorial a través de la construcción, y a su vez generando más fuentes de empleo a lo largo del territorio nacional. Según datos de oficiales de consumo de cemento por habitante en el Ecuador (FICEM, 2021a) ronda los 301 kg/hab (ver figura 3.1 b).

La proyección para el caso de la provincia de Santa Elena con una población según último censo de 385,735 habitantes el cual representa un consumo anual estimado 116,106.24 t/año de cemento para el año 2021 (ver figura 3.2).

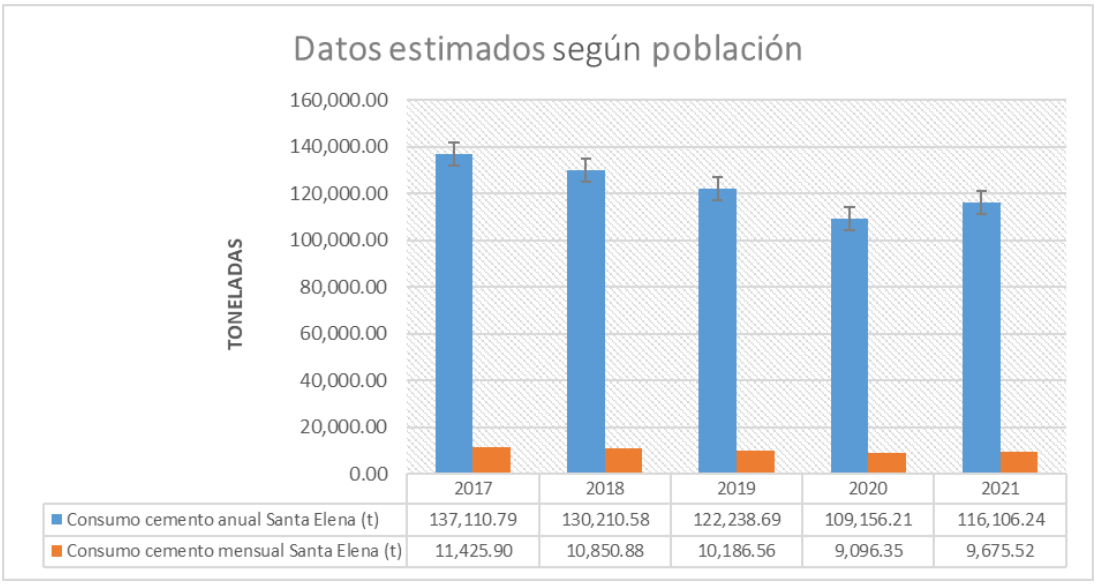


Figura 3. 2 Estimado de consumo de cemento en Santa Elena.

Actualmente en la provincia Santa Elena según datos obtenidos mediante encuestas a 12 suministradores, **el consumo de cemento fluctúa a 9050 t/mes** (Anexo I). Un análisis del consumo en el año 2023 refleja como tendencia, que la mayor parte del cemento más comercializado en la provincia de Santa Elena (50%) corresponde al cemento HOLCIM (Ver figura 3.3) cuya producción se realiza en la fábrica de provincia de Guayas ubicada a aproximadamente a unos 100 Km.

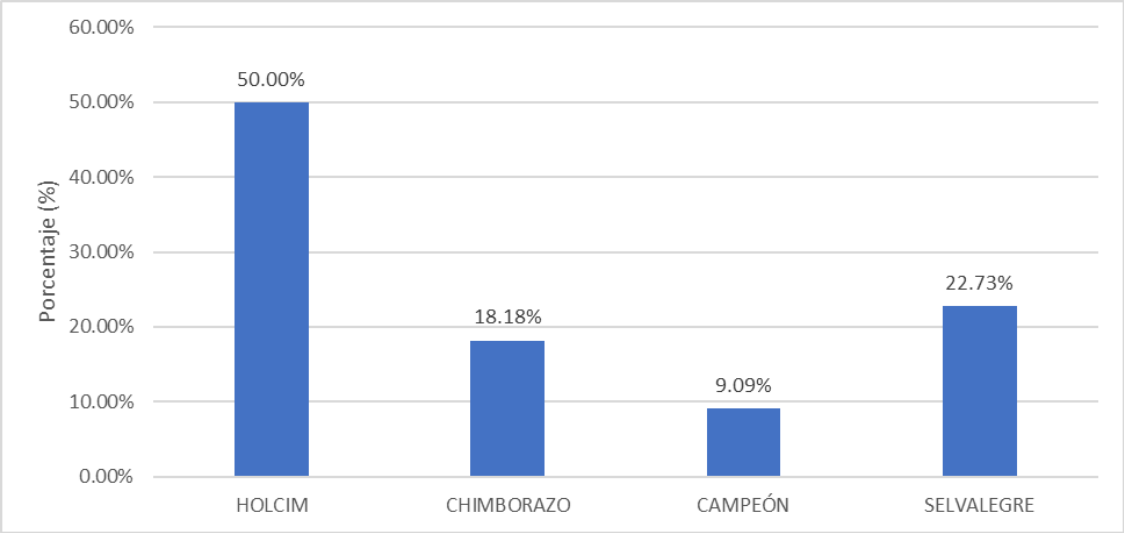


Figura 3. 3 Principales marcas de cemento comercializadas en Santa Elena

3.2. Propuesta de la implementación de una planta de producción de cemento LC3, considerando una ubicación estratégica, maquinarias y equipos necesarios para la producción y distribución del producto y obteniendo el presupuesto de inversión.

En esta propuesta se consideró cuatro caracterizaciones que son: i) disponibilidad de materiales y/o materias primas; ii) materias primas a utilizar; iii) de los productos intermedios; iv) de la inversión

3.2.1. Características y disponibilidad de materiales y/o materias primas.

Existen condiciones que favorecen la elección de provincia de Santa Elena como productora del cemento LC3 y la adición mineral LC2. Esta provincia cuenta con yacimientos para la obtención del carbonato de calcio, producto que se obtiene de la piedra caliza y es una de las materias primas complementarias a utilizar en la

producción del cemento LC3 y LC2. En la provincia se cuenta con yacimientos de arcilla de alta reactividad, componente fundamental para la producción del cemento de bajo carbono. Además, dispone de la infraestructura necesaria para el montaje de una planta productora.

3.2.2. Características de las materias primas por utilizar

Arcillas: Las potenciales fuentes de arcillas caolinitas a utilizar en el proceso de producción del cemento LC3 y la adición mineral LC2 son procedentes de la localidad de Santa Elena localizados al suroeste del litoral ecuatoriano, donde existen grandes reservas de recursos minerales no metálicos, entre los cuales destacan los grandes depósitos de arcillas de las unidades litológicas Grupo Ancón y Formación Tosagua (ver figura 3.4). Estas arcillas han sido utilizadas en la fabricación de ladrillos, cerámica de uso doméstico y como adición en la fabricación de cemento.

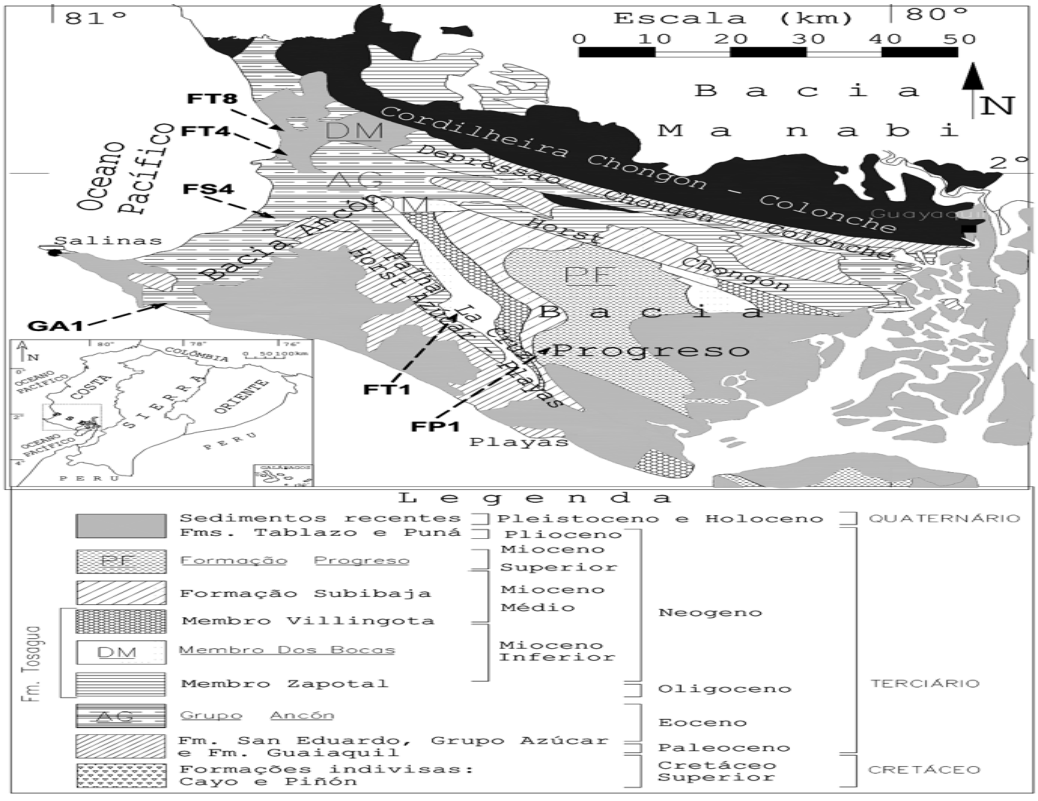


Figura 3. 4 Estratigrafía de la Península de Santa Elena, identificación de presencia de arcillas con presencia de caolín: Grupo Ancón, Formación Progreso y Formación Tosagua (Carrera et al., 2008)

Los principales parámetros químicos mineralógicos de estas arcillas se muestran en la tabla 3.1. Las cuales, al ser evaluadas a través de una serie de criterios empíricos, a partir de la composición química de un mineral arcilloso, se puede determinar si una arcilla posee potencial para convertirse en un material cementicio suplementario (MCS) (tabla 3.2).

Tabla 3. 1 Principales parámetros químicos de las arcillas (Carrera et al., 2008)

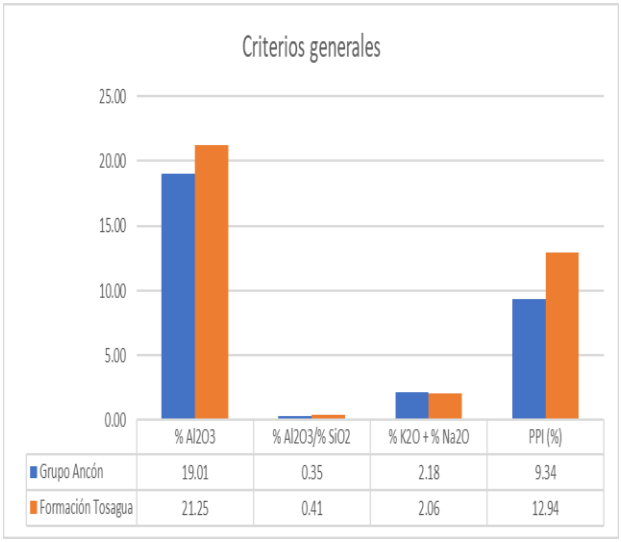
Unidad litológica	muestra	SiO 2	%Al2O3	%Fe 2 O 3	%MgO	%CaO	%K2O	%Na2O	%TiO 2	%SO 3	%P2 O5	%LOI
Grupo Ancón	GA1	54.64	19.01	8.91	3.07	2.04	1.84	0.34	0.66	0.02	0.13	9.34
	FS4	52.55	20.21	8.77	2.66	2.22	1.03	0.2	0.7	0.03	0.09	11.54
Formación Tosagua	FT1	51.24	21.25	7.68	2.61	1.3	0.79	1.27	0.7	0.01	0.21	12.94
	FT8	46.2	17.76	7.75	2.34	8.36	0.58	0.38	0.62	0.01	0.13	15.87

Tabla 3. 2 Criterios que permiten valorar el potencial de las arcillas como fuente de MCS (Reyes, 2017).

Criterio	**Valor**	**Grupo Ancón**		**Formación Tosagua**	
Criterios generales		GA1	FS4	FT1	FT8
% Al_2O_3	> 18.0	19.01	20.21	21.25	17.76
% Al_2O_3/% SiO_2	> 0.3	0.35	0.38	0.41	0.38
% K_2O + % Na_2O	< 3.0	2.18	1.23	2.06	0.96
PPI (%)	> 7.0	9.34	11.54	12.94	15.87
Recomendaciones adicionales					
% CaO	< 3.0	2.04	2.22	1.3	8.36
% MgO	< 3.0	3.07	2.66	2.61	2.34
% SO_3	< 2.0	0.02	0.03	0.01	0.01

Como se puede observar en las tablas anteriores, las arcillas evaluadas en su mayoría cumplen con casi todos los criterios generales y las recomendaciones adicionales para

ser considerada como una fuente de MCS una vez activada adecuadamente. Además, los bajos contenidos de CaO, MgO y de SO3 indican que en la arcilla hay poca presencia de carbonatos y sulfatos de estos elementos químicos (Ca y Mg)



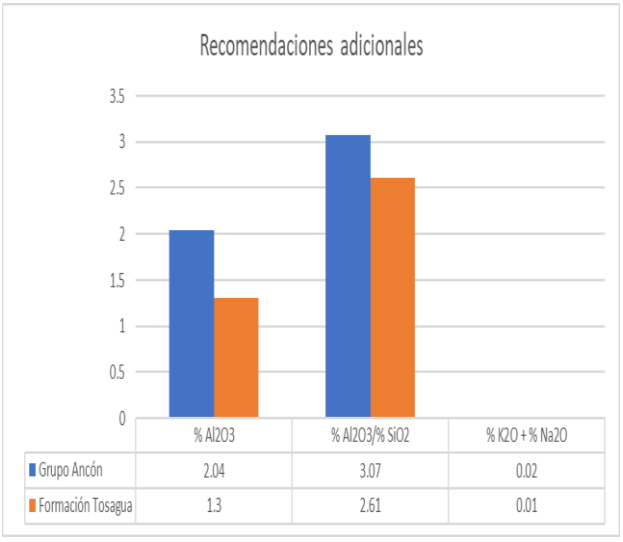


Figura 3. 5 Potencialidades de las arcillas como fuente de MCS

Analizando la figura 3.5 se puede concluir que las arcillas de las unidades litológicas Grupo Ancón y Formación Tosagua cumplen con los criterios empíricos, composición química, y las recomendaciones adicionales establecidas para considerar a una arcilla como una fuente para la fabricación de la adición mineral LC2 y cemento LC3.

Aunque es recomendable evaluar los porcentajes de minerales arcillosos del grupo del caolín los cuales según el criterio de varios autores (Almenares et al., 2017c; Martirena-Hernandez et al., 2020) deben de estar en valores superiores al 40%.

Caliza por utilizar: La caliza por utilizar en el proceso de producción del cemento LC3 y la adición mineral LC2 presenta un 97,3 % de calcita (ver figura 3.6) y la misma está ubicada a 88 km de la provincia Santa Elena. Los principales parámetros químicos mineralógicos de esta se muestran en la tabla 3.3.

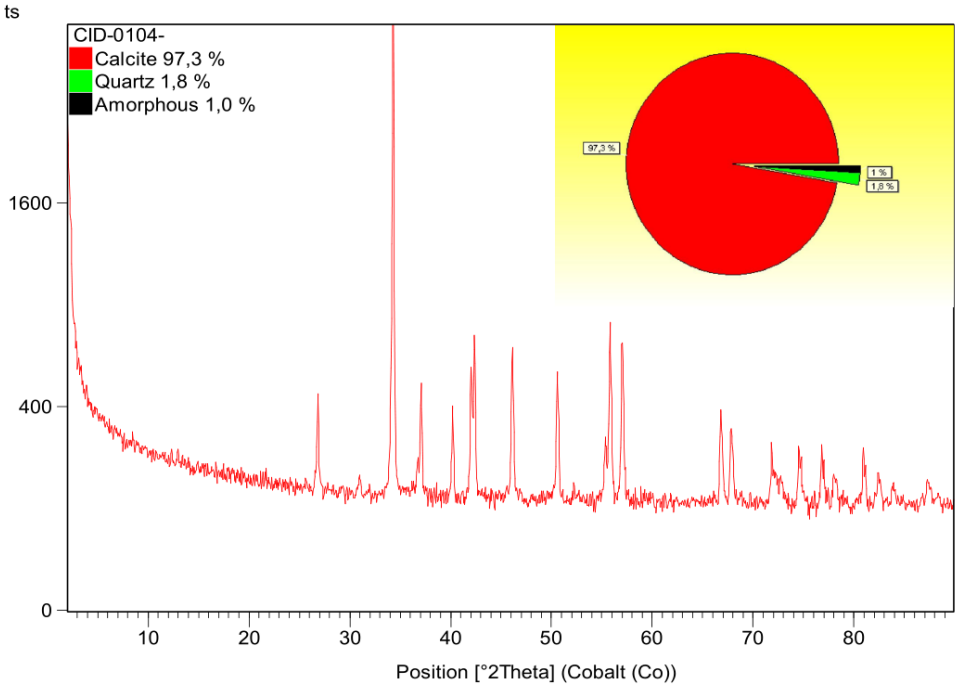


Figura 3. 6 Mineralogía de la caliza.

Tabla 3. 3 Principales parámetros químicos de la caliza.

Materias Primas	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO2	MgO	SO3	K2O	TiO2	LOI	Gran.	Hum.
Caliza	4,1	1,1	0,9	51,8	0,8	0,5	0,1	0,1	40,6	100 % pasado tamiz 100	≤ 5%

Yeso por utilizar: El yeso por utilizar en el proceso de producción del cemento LC3 y la adición mineral LC2 presenta un SO_3 en el entorno al 40% (86,09% de yeso). Los principales parámetros químicos de este se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Principales parámetros químicos mineralógicos del yeso.

Materias Primas	CaO	SiO2	Al2O3	SO3	Fe2O3	MgO	NaO2	K2O	TiO2	P. F	Gran.	Hum.
Yeso	35,6	2,51	0,67	40,03	0,35	0,25	0,46	0,1	0,01	20,02	100 % pasado tamiz 100	≤ 5%

Clínker: El Clinker a utilizar en el proceso de producción del cemento LC3 procede de la fábrica HOLCIM provincia de Guayas ubicada a aproximadamente a unos 100 km los principales parámetros mineralógicos se presentan en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5 Principales parámetros mineralógicos del clínker

Materias Primas	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Clínker:	62,04	14,34	7,07	8,48

3.2.3. Características de los productos intermedios

Arcilla Calcinada: la arcilla caolinítica se calcina en el horno rotatorio a temperaturas alrededor de 700–850 °C. La reactividad de las arcillas depende del contenido de caolinita, la temperatura de activación, el tiempo de residencia y la superficie específica. Se necesita un alto grado de interacción de partículas minerales, mezcla y transferencia de masa y calor para garantizar las condiciones óptimas en el proceso de calcinación de arcillas.

Proceso de calcinación de la arcilla caolinítica

La calcinación tiene lugar en el horno rotatorio, donde ocurre el proceso de total deshidroxilación de las arcillas, es decir que ocurre una reacción química en fase solida donde el agua intercristalina existente en las moléculas de arcilla se evapora a una temperatura de 800 a 850 ºC empezando a reaccionar a los 500 ºC. Este proceso ocurre a temperaturas entre 350-650 ºC, pero para efectos industriales es oportuno trabajar a temperaturas en el material entre 800-850 ºC, y en ningún caso alcanzar la temperatura de recristalización del material, aproximadamente 950 ºC.

La secuencia de operaciones es la siguiente: (i) el material original entra en el horno en su estado natural, con una humedad que oscila entre 8 – 12 %; (ii) en la primera fase en el horno el material pierde el agua por evaporación; (iii) el material deshidratado entra en la zona de calcinación, a una temperatura en la cámara de aproximadamente 850 ºC donde ocurre la deshidroxilación. Al final del proceso el material debe ser enfriado por

el ventilador a la salida del horno hasta una temperatura final de aproximadamente 40 – 60 ºC. En esta etapa del proceso el agua evaporada es expulsada del horno junto con los gases de combustión de la forma que muestran las siguientes ecuaciones:

$$Al4\,[(OH)8Si4\,O10] \rightarrow 2\,(Al2\,O3\,2SiO2) + 4\,H2O \quad (1)$$

$$Al2\,O3\,2SiO2\,(OH)4 \rightarrow Al2\,O3 + 2\,SiO2 + 2\,H2O \quad (2)$$

$E_{entrada}=E_{salida}$

$E_{entrada} = Q1= E_{salida} = Q2+Q3+Q4$

Donde: Q1, calor entregado al horno; Q2, calor necesario para el proceso de transformación de arcilla; Q3, Pérdidas de calor con los gases calientes a través de la chimenea; Q4: Pérdidas de calor por radiación.

$Q1= mF * LHV/\eta\ comb$

Donde: mF, masa de combustible en kg/h; LHV, poder calórico inferior, (MJ / kg);

η comb, eficiencia de combustión.

Q2= Kcap*Qe

Donde: Kcap, es la capacidad del horno en kg/h, en este caso la capacidad del horno es de 100kg/h; Qe es la energía específica necesaria para la transformación de arcilla en el proceso de sinterización, en este caso se adopta el valor de 0,81 MJ/kg

$Q3 = 0.001*mg*\overline{Cp}*\Delta t$

Donde: mg es la masa de gases de salida en kg/h; $\overline{Cp}$ calor específico promedio de los gases de salida en la temperatura de ventana dada en kJ/kgK; Δt es la diferencia de la temperatura de los gases de salida (T_{out}) y la temperatura ambiente (T_{env})

Q4 = 0.11*Q1

3.2.4. Caracterización de la inversión

La inversión se caracteriza por la construcción de una planta productora de la adición mineral LC2 y cemento LC3 que garantice incrementar los niveles de producción del

cemento en la provincia al ser utilizado en la producción de cementos mezclados. Esta planta tendrá una capacidad de producción de 4t/h, 90t/día, 30 000 t/año. La cual tendrá un impacto sobre la demanda de la provincia en un intervalo del 25- 28% de la demanda actual.

El proyecto que se analiza pretende la construcción de una planta de producción de cemento LC3 y la adición mineral LC2 que garantice un incremento de la oferta de cemento en la provincia a partir de un producto innovador que cumple los requisitos establecidos en las normativas para sustituir parte del cemento Portland en la producción de materiales de la construcción.

Descripción del flujo tecnológico

Para la producción de la adición mineral LC2 y el cemento LC3 es necesaria la recepción y almacenamiento de las materias primas: arcilla caolinítica, caliza, yeso y clínker, cuyas composiciones químicas mineralógicas deben ser analizadas con anterioridad. La arcilla caolinítica debe tener una humedad inferior al 20 % y la caliza debe tener una humedad ≤ 5 %, por lo que de ser necesario serán depositadas en las áreas para su secado antes de su almacenamiento. En el caso específico del yeso, de ser necesario, este será secado y triturado, hasta alcanzar una granulometría inferior a los 5 mm y una humedad ≤ 5 %. Las materias primas serán almacenadas en la nave de almacenamiento, la cual tiene cuatro áreas de almacenaje techadas, una primera de 50 x 50 m para la arcilla caolinítica y tres divisiones de 25 x 50 m cada una para la caliza, el yeso y el clínker.

La arcilla caolinítica, con una humedad máxima del 20%, es suministrada mecánicamente mediante un equipo móvil a la tolva receptora de 30 t para proceder a la actividad de trituración. Ubicado debajo de la tolva receptora se encuentra un alimentador que garantiza mediante vibración la extracción de la arcilla caolinítica de la tolva y proporcionar un flujo uniforme al molino triturador. El molino triturador tiene como función reducir el tamaño de la arcilla cruda en láminas de hasta 10 mm de espesor. Esta trituración se hará por el sistema de cuchillas, con una capacidad de 4 t/h.

La arcilla caolinítica con una humedad inferior al 20%, granulometría inferior a los 10 mm, densidad de 1,2 a 1,3 t/m^3 y a temperatura ambiente es transportada mediante un transportador de banda de 12 m hasta una lanzadera situada a la entrada del horno de calcinación.

La descarga de arcilla caolinítica introduce en la cámara de entrada, alimentando la arcilla en el interior del horno rotatorio (calcinador). El cuerpo del horno está formado por la carcasa de acero revestida interiormente en toda su superficie con ladrillos refractarios permitiendo la calcinación de arcilla caolinítica por vía seca. La arcilla es calcinada a una temperatura de 850 ºC, en ningún caso se debe alcanzar la temperatura de recristalización (950 ºC). Los principales parámetros operacionales del horno son: tiempo de residencia del material 20 – 25 minutos, logrando una capacidad de producción de 4.0 t arcilla calcinada/h. El control de las temperaturas en las distintas zonas del horno se debe realizar mediante termopares con un rango que oscile por los 900 ºC.

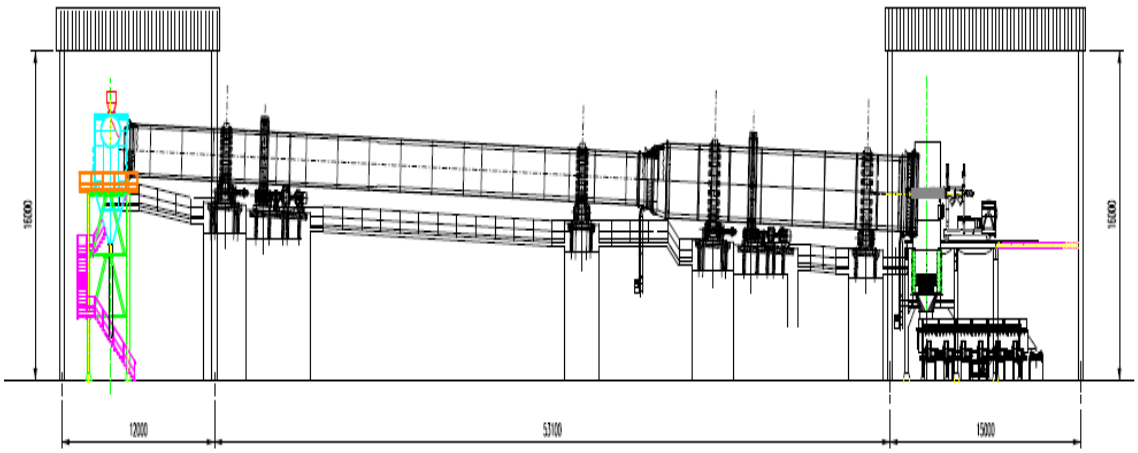


Figura 3. 7 Esquema de Calcinación en horno rotatorio doble (Putin, 2022)

Como el flujo de material a procesar en el horno rotatorio es de 0,42 kg/s, le corresponde un caudal de combustible hacia el quemador Bquem= 0,030 kg/s a 80 ºC. Para el almacenamiento de combustible se cuenta con un tanque almacén de 50 m^3 y tanque diario de 5 m^3, ambos se disponen al mismo nivel con una bomba de trasiego de fuel oíl: 1,7 kW, 580 rpm, 2,6 A. El sistema de precalentamiento ayuda al trasiego del

fuel-oíl desde el tanque principal, pasando por el tanque de uso diario y hasta llegar al quemador. Por ello en el tanque principal se colocan dos resistencias de 8 kW c/u, mientras que en el tanque de uso diario se ubica una de 8 kW, y en el quemador un sistema de precalentamiento de 12 kW. Todas estas resistencias son conectadas a 230 VAC.

Por su parte la arcilla térmicamente activada pasa a un enfriador de parrilla hasta lograr una temperatura final de aproximadamente 40 – 60 ºC. El enfriador de parrilla cuenta con un vibrador y un sistema de aire frío que incluye un ventilador de tiro forzado (VTF).

La arcilla calcinada es trasladada a través de un transportador, con una capacidad potencial de 1,2 t/h y una velocidad lineal de 1,31 m/s, hacia la tolva de almacenamiento. Mientras que la caliza y el yeso son depositados en las tolvas desde una rampa externa. La planta consta con cuatro tolvas dedicadas a almacenar las materias primas (caliza, yeso y clínker,) y producto intermedio (arcilla calcinada) con 30 toneladas de capacidad cada una. Las tolvas descargan en un transportador de banda mediante un conducto con un vibrador y un dosificador en forma de cuchilla a razón de 1,08 t arcilla calcinada /hora; 0,63 t caliza /hora y 0,09 t yeso /hora.

La actividad de molienda y mezclado se realiza en un molino de bolas. El material por moler para la adición mineral LC2 es una mezcla de 60,0 % de arcilla calcinada, 35,0 % de caliza y 5,0 % de yeso y para el cemento LC3 una mezcla de 45,0 % de clínker, 35,0 % de arcilla calcinada, 15,0 % de caliza y 5,0 % de yeso en las proporciones con una densidad de 1,2 – 1,3 t/m^3 y una granulometría inferior a los 5 mm, la cual es reducida a una granulometría de 50 micrómetros aproximadamente, por una combinación de impacto y abrasión. A la salida del molino se establece un punto de control de la calidad del producto terminado el cual debe cumplir con los requisitos químicos, físicos y mineralógicos de las normativas vigentes en el país.

El proceso de transportación al silo de almacenamiento de producto terminado se lleva a cabo mediante un transportador de 12 m, con una capacidad potencial de 1,2 t/h y una velocidad lineal de 1,31 m/s. El producto terminado es almacenado en un silo de entrega

con una capacidad de 30 t. El diagrama de flujo del proceso de producción cemento se muestra en el anexo II.

Tabla 3. 6 Parámetros productivos de la planta

Materias Primas	**U/M**	**Diario**	**Mensual**	**Anual**
		18h/día	**26dias/mes**	**11 meses /año**
Clinker	t	40	1040	11440
Arcilla	t	32	842.4	9266.4
Caliza	t	14	374.4	4118.4
Yeso	t	4	93.6	1029.6
LC3	**t**	**90**	**2350.4**	**25854.4**

Materias Primas	U/M	Diario	Mensual	Anual
		18h/día	26dias/mes	11 meses /año
Arcilla	t	79	2054	22594
Caliza	t	25	655.2	7207.2
Yeso	t	4	93.6	1029.6
LC2	**t**	**108**	**2802.8**	**30830.8**

Materias Primas	U/M	Diario	Mensual	Anual
		18h/día	26dias/mes	11 meses /año
Clinker	t	38	988	10868
Arcilla	t	27	692.64	7619.04
Caliza	t	10	252.72	2779.92
Yeso	t	4	93.6	1029.6
LC2 + GU	**t**	**78**	**2026.96**	**22296.56**

Programa de producción

El programa de producción proyectado para la producción de cemento LC3 se presenta en la tabla 3.7. Se asumen los supuestos explicados en la tabla 3.6 para la estimación de los ingresos.

Tabla 3. 7 Programación de la producción por variante para el periodo 2024-2038

Producto	**U/M**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**2035**	**2036**	**2037**	**2038**
LC3	t	24562	24562	25854	25854	25854	25854	25854	25854	25854	25854	25854	25854	25854	25854	25854
LC2	t	29289	29289	30831	30831	30831	30831	30831	30831	30831	30831	30831	30831	30831	30831	30831
LC2 + GU	t	21182	21182	22297	22297	22297	22297	22297	22297	22297	22297	22297	22297	22297	22297	22297

3.3. Evaluación de la rentabilidad de la implementación de una planta de producción de cemento LC3 a través del análisis de costos, retorno de inversión obteniendo la viabilidad económica del proyecto.

En esta evaluación se consideró cuatro aristas que son: i) Estudio de oportunidad a partir de la aplicación de indicadores financieros para cada una de las alternativas; ii) Costos de inversión; iii) Costos de operación; iv) Análisis económico y Financiero.

3.3.1. Estudio de oportunidad a partir de la aplicación de indicadores financieros para cada una de las alternativas

El estudio consiste en evaluar la factibilidad, a nivel de estudio de oportunidad, de instalar una planta de producción de cemento LC3. La planta consta de un calcinador de 4t/h, un sistema de 4 tolvas para almacenamiento y dosificación de materias primas, un sistema de molienda continua de 4t/h, y una ensacadora de producto final. En esta planta se pueden implementar tres tipos de producciones, que se traducen en los escenarios evaluados:

VARIANTE A: Producción de cemento de bajo carbono LC3 (45% clínker, 30% arcilla calcinada, 20% caliza, 5% de yeso). Este cemento se produce de forma directa al moler clínker, arcilla calcinada, caliza y yeso, y puede ser entregado para su uso de forma directa. La molienda en esta variante considera también el clínker, lo cual resultará el producto LC3:50 como salida final del proceso productivo.

VARIANTE B: Producción de la adición mineral LC2 arcilla calcinada (60%), caliza (35%), yeso (5%). Esta adición podría comercializarse de varias formas y con varias estrategias entre ellas: adición para fortalecer la resistencia del hormigón a la corrosión y hormigones usados en suelos salinos.

VARIANTE C: Producción de la adición mineral LC2 + Cemento tipo GU se puede comercializar de forma directa, y cuando se mezcla con similar peso de cemento Portland tipo GU el resultado final es el cemento LC3.

3.3.2. Costos de inversión

Según información proporcionada por suministradores internacionales, la planta posee un costo de € 2 380 903 equivalente según la tasa de cambio oficial vigente (1 EUR=1.10 USD) $ 2 618 993.30. Se incluyen tanto el capital fijo como otros gastos previos asociados a la construcción y montaje de la planta, así como los gastos de capital de trabajo inicial de la planta (ver tabla 3.8).

Tabla 3. 8 Gastos por concepto de financiamiento de Inversión

Rubro	**Valor (USD)**
Inversión fija	
Planta de producción	$ 2,618,993.30
Terreno (700 m^2)	$ 50,000.00
Construcción y Montaje de la obra	$ 250,000.00
Camión	$ 25,000.00
Cargador	$ 40,000.00
Imprevistos (3 % de la inv. fija)	$ 82,077.09
subtotal	**$ 3,066,070.39**
Capital de trabajo inicial (tres meses)	
Materias Primas y Materiales Fundamentales	$ 224,651.23
Gastos de Fuerza de Trabajo	$ 199,166.67
Gastos Indirectos de Producción	$ 84,763.58
subtotal	$ 508,581.48
Inversión TOTAL	**$ 3,574,651.87**
Capital propio (10.21%)	$ 365,000.00
Financiamiento (89.79%)	**$ 3,209,651.87**

3.3.3. Costos de operación

La tabla 3.9 muestran un resumen de los ahorros en costos de producción del LC3 y el LC2 frente al cemento GU como referencia.

Tabla 3. 9 Ahorros en costos LC3 y LC2 frente cemento Tipo GU

Concepto de Gastos	LC3	LC2	LC2 + CP GU	cemento GU
	Precio	Precio	Precio	Precio
Materias Primas y Materiales	**USD/ton**	**USD/ton**	**USD/ton**	**USD/ton**
Materias Primas y Materiales Fundamentales	43.30	24.10	39.37	
Combustibles y Lubricantes	26.10	20.30	23.20	
Energía Eléctrica	5.13	4.50	6.48	
-Agua	0.32	0.32	0.32	
Subtotal	74.85	49.22	69.37	
Gastos de Fuerza de Trabajo				
-Salarios	39.83	39.83	39.83	
Gastos de Elaboración (Costo directo)	114.69	89.06	109.20	
Gastos Indirectos de Producción (20%)	22.94	17.81	21.84	
Costo de Producción	137.6	106.9	131.0	**155.1***
Margen de Utilidad 30%	41.29	32.06	39.31	
PRECIO	178.9	138.9	170.4	
PRECIO por kg	0.179	0.139	0.170	
Ahorro de costos con respecto al cemento tipo GU (%)	**11.28%**	**31.08%**	**15.54%**	

***Costo estimado a partir del precio actual del cemento tipo GU**

La Variante de producir cemento LC3 muestra un ahorro del 11.28 % con relación al cemento tipo GU. La utilización de la variante de producción de la adición mineral LC2 + Cemento tipo GU también muestra un ahorro aún más significativo del 15.54% en relación con el cemento GU (ver figura 3.8). Dicha reducción se relaciona directamente con la reducción del contenido de clínker que a su vez se traduce en un ahorro de portadores energéticos (ver figura 3.9).

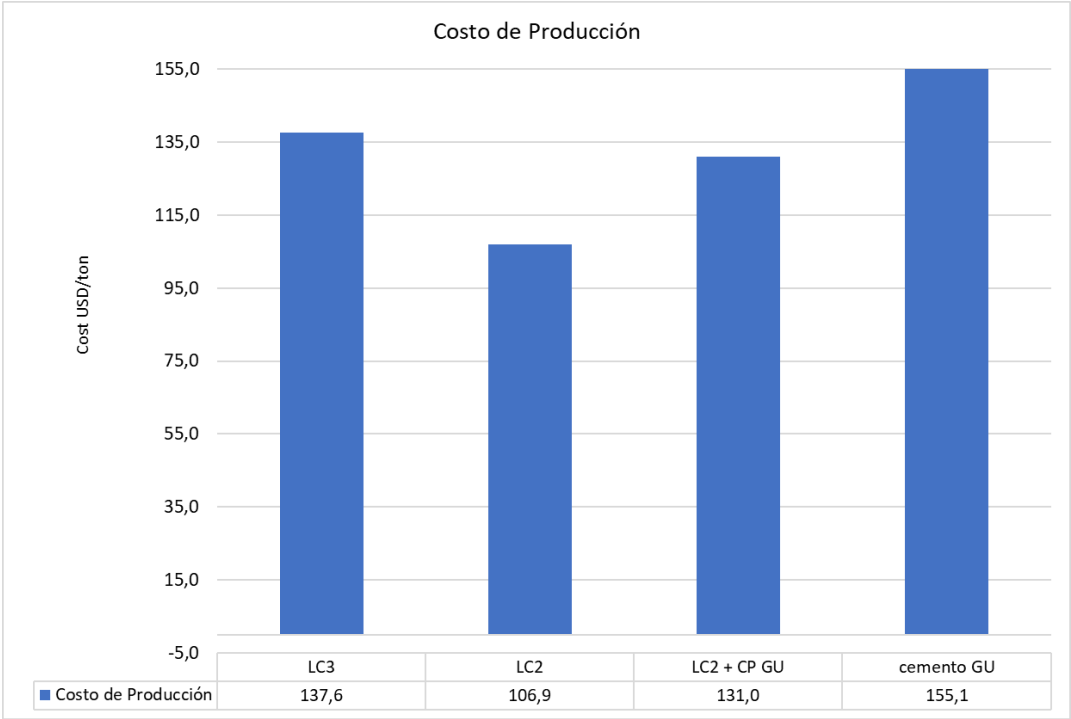


Figura 3. 8 Costo de producción cemento LC3 y LC2 frente al cemento GU

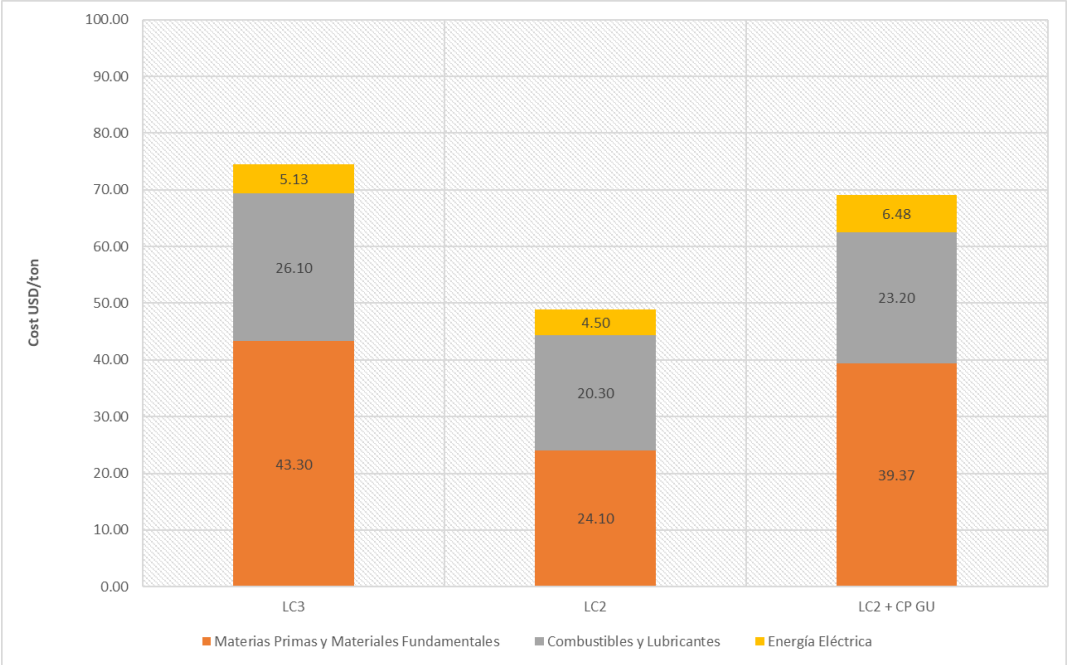


Figura 3. 9 Costo de materias primas y portadores energéticos LC3 y LC2

La tabla 3.10 muestra un análisis detallado de los portadores energéticos por variante productiva. La adición puzolánica LC2 al no contener clínker reporta un ahorro considerable (72%) respecto al cemento tipo GU, mientras que al combinarse con este cemento permite mantener el ahorro de energía en un 36% respecto a la misma referencia.

Tabla 3. 10 Análisis de portadores energéticos por variante

Producto	Combustible (kg/t)	Electricidad (KWh/t)	Energía total (MJ/t)	Ahorro respecto al GU en MJ (%)
Cemento GU*	100,98	120,63	4289,39	Referencia
LC2	39,16	35,20	1181,32	3108,07 (72%)
LC3	72,48	56,79	2971,69	1317,70 (31%)
LC2+ Cemento GU (1:1)	70,07	127,91	2735,29	1554,10 (36%)

*** consumo estimado a partir de valores de la literatura**

3.3.4. Análisis económico-financiero

En el proceso de actualización de los flujos de efectivo se utiliza una tasa de descuento del 12% y un horizonte temporal de 15 años. El crédito que financia la inversión será asumido en un **10.21% por un capital propio** y en un **89.79% por un crédito bancario.**

A partir de los flujos de caja que se muestran en el anexo III se determinaron los criterios decisionales para la evaluación económico-financiera de la inversión (tabla 3.11).

Como se puede apreciar, con la evaluación económica del proyecto, la implementación de la planta piloto para la producción de cemento LC3 y la adición mineral LC2, obtenido a partir de la utilización de arcillas calcinadas, constituye un emprendimiento rentable.

Tabla 3. 11 Resumen de los resultados del estudio económico-financiero

Criterios decisionales	Variante LC3	Variante LC2	Variante LC2 +GU	Criterio de decisión
VAN (USD)	$1.672.819,17	$1.322.076,43	$825.245,17	VAN> 0; máx. (VAN)
TIR (%)	21%	19%	17%	TIR > K= 12%
PR (años)	7 años	8 años	10 años	Min (PR)

Los resultados evidencian que la producción del cemento LC3 en la planta justifica la inversión propuesta al mostrar una rentabilidad significativa, la TIR supera el costo de oportunidad del capital y la inversión se recupera en un periodo breve (ver figura 3.10).

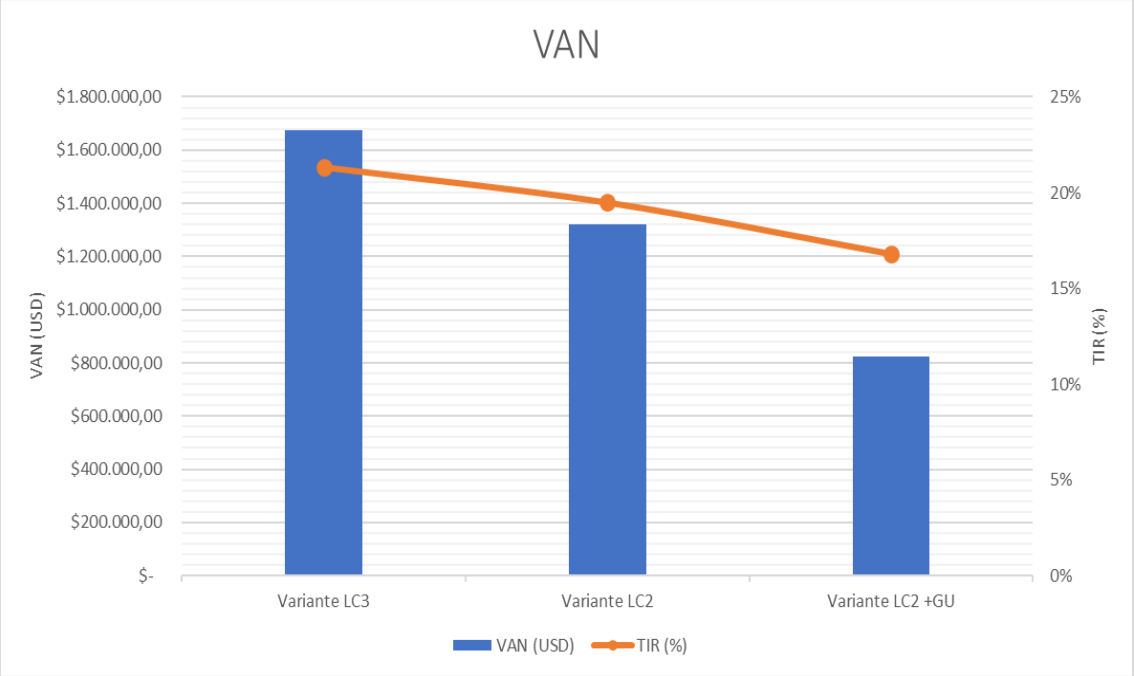


Figura 3. 10 Evaluación estudio económico-financiero

La variante de producir la adición mineral LC2 ha resultado factible desde el punto de vista económico-financiero, aunque los niveles de producción no resultan suficientes

para recuperar la inversión de capital fijo en corto tiempo y con una rentabilidad apropiada en comparación con la producción del cemento LC3.

En resumen, la inversión para instalar una planta de producción de arcilla calcinada y sus productos derivados en la provincia de Santa Elena es rentable. Se recomienda producir LC3 y organizar canales de distribución a lo largo de la provincia para la utilización de la variante LC2 que permitan su combinación con el cemento tipo GU disponible, favoreciendo encadenamientos productivos locales que dinamicen la construcción de obras.

CONCLUSIONES

1. El desarrollo del cemento LC3, así como la potencial introducción en el mercado de Ecuador y en el mundo da la posibilidad de generar un producto de alta demanda en la economía a un precio previsiblemente más bajo y con una contribución ecológica significativa con respecto al uso de cementos tradicionales. Además, la implementación de una planta de producción de cemento LC3 no solo tiene el potencial de reducir las emisiones de CO_2, sino también de generar empleo local y fomentar el desarrollo económico en la región.
2. Actualmente en la provincia Santa Elena según datos obtenidos mediante encuestas a 12 suministradores, el consumo de cemento fluctúa a 9050 t/mes.
3. La planta de producción de cemento LC3 tendrá una capacidad de producción de 4t/h, 90t/día, 30000 t/año. La cual tendrá un impacto sobre la demanda de la provincia en un 25% de la demanda actual.
4. Con base en el análisis técnico-económico, se determinó que la TIR del estudio de oportunidad del proyecto para cada una de las variantes están en un rango entre el 17% y 21% y el VAN, resultó mayor a 0 (con 1.672.819,17 USD para la variante LC3 y 1.322.076,43 USD para la variante LC2); por lo que el proyecto de la implementación de la planta piloto para la producción de cemento LC3, obtenido a partir de la utilización de arcillas calcinadas, constituye un emprendimiento rentable y viable.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable evaluar los porcentajes de minerales arcillosos del grupo del caolín de los posibles yacimientos propuestos (Grupo Ancón y Formación Tosagua) los cuales deben de estar en valores superiores al 40%.
- Se recomienda producir LC3 y organizar canales de distribución a lo largo de la provincia para la utilización de la variante LC2 que permitan su combinación con el cemento tipo GU.
- Se recomienda realizar el análisis económico de la implementación de una planta de solo producción de adición mineral LC2 en la provincia de Santa Elena.

REFERENCIAS

Absi Guido, J. M., Calle Llactahuamani, D. B., Chalcha Salazar, J. F., & Vásquez Mogrovejo, D. (2013). “Plan De Negocio Para La Implementación De Una Planta De Cemento En La Región Cusco”. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689-1699.

Aitcin, P.-C. (2000). Cements of yesterday and today Concrete of tomorrow. *Cement and Concrete Research*, *30*, 1349-1359.

Almenares, R. S., Vizcaíno, L. M., Damas, S., Mathieu, A., Alujas, A., & Martirena, F. (2017a). Case Studies in Construction Materials Industrial calcination of kaolinitic clays to make reactive pozzolans. *Case Studies in Construction Materials*, *6*(March), 225-232. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.03.005

Almenares, R. S., Vizcaíno, L. M., Damas, S., Mathieu, A., Alujas, A., & Martirena, F. (2017b). Industrial calcination of kaolinitic clays to make reactive pozzolans. *Case Studies in Construction Materials*, *6*, 225-232. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.03.005

Almenares, R. S., Vizcaíno, L. M., Damas, S., Mathieu, A., Alujas, A., & Martirena, F. (2017c). Industrial calcination of kaolinitic clays to make reactive pozzolans. *Case Studies in Construction Materials*, *6*(January), 225-232. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.03.005

Andrew, R. M. (2018). Global \chem{CO_2} emissions from cement production. *Earth System Science Data*, *10*(1), 195-217. https://doi.org/10.5194/essd-10-195-2018

Antoni, M., Henocq, P., & Scrivener, K. (2013). *Transport properties of blends including high amount of calcined clays and limestone*.

Antoni, M., Rossen, J., Martirena, F., & Scrivener, K. (2012). Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. *Cement and Concrete Research*, *42*(12), 1579-1589. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.09.006

Appuhamilage, I. B., Arachchige, U., Alahakoon, A., & Balasuriya, C. M. (2023).

Minimizing Environmental Pollution in the Cement Industry through Minimizing Environmental Pollution in the Cement Industry through Optimizations. *July*.

Aristizabal-Alzate, C. E., & González-Manosalva, J. (2021). Revisión de las medidas en pro de la eficiencia energética y la sostenibilidad de la industria del cemento a nivel mundial. *Revista UIS Ingenierías*, *20*(3), 91-110. https://doi.org/10.18273/revuin.v20n3-2021006

Badogiannis, E., & Tsivilis, S. (2009). Exploitation of poor Greek kaolins: Durability of metakaolin concrete. *Cement and Concrete Composites*, *31*(2), 128-133. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.11.001

Baghban, M. H., & Mahjoub, R. (2020). *applied sciences Natural Kenaf Fiber and LC 3 Binder for Sustainable Fiber-Reinforced Cementitious Composite : A Review*.

Beguedou, E., Narra, S., Afrakoma Armoo, E., Agboka, K., & Damgou, M. K. (2023). Alternative Fuels Substitution in Cement Industries for Improved Energy Efficiency and Sustainability. *Energies*, *16*(8), 1-29. https://doi.org/10.3390/en16083533

Bishnoi, S., Maity, S., & Kumar, M. (2018). Pilot Scale Production of Limestone Calcined Clay Cement. *RILEM Bookseries*, *3*, 1-6.

Blanco, C. (2011). Técnica De Encuesta: El Cuestionario Y Su Aplicación. En *Encuesta y estadística métodos de investigación cuantitativa en las ciencias sociales y comunicación*.

Cancio Díaz, Y., Sánchez Berriel, S., Heierli, U., Favier, A. R., Sánchez Machado, I. R., Scrivener, K. L., Martirena Hernández, J. F., & Habert, G. (2017a). Limestone calcined clay cement as a low-carbon solution to meet expanding cement demand in emerging economies. *Development Engineering*, *2*, 82-91. https://doi.org/10.1016/j.deveng.2017.06.001

Cancio Díaz, Y., Sánchez Berriel, S., Heierli, U., Favier, A. R., Sánchez Machado, I. R., Scrivener, K. L., Martirena Hernández, J. F., & Habert, G. (2017b). Limestone calcined clay cement as a low-carbon solution to meet expanding cement demand

in emerging economies. *Development Engineering*, *2*(June), 82-91. https://doi.org/10.1016/j.deveng.2017.06.001

Carrera, A. M. M., Varajão, A. F. D. C., & Gonçalves, M. A. (2008). Geociências Caracterização Mineralógica das Argilas da. *Geociências*, *61*(1), 97-105.

Cemento, M. G. De, Por, A., Mezcla, T., Uso, P., Residencial, F., Región, P., Pacífico, A., & Latina, A. (2023). *Mercado Global de Cemento, Crecimiento, Informe, Análisis – Por Tipo (Mezcla, Portland, Otros); Por Uso Final (Residencial, Comercial, Otros); Por Región (América del Norte, Europa, Asia Pacífico, América Latina y Medio Oriente y África); Dinámica del Mer*. 1-11.

Cerdá, D. J. A., Yudiesky Cancio Díaz, López, I. M., & Consultante: (2017). *Evaluación económica y ambiental de plantas prototipo de pequeño y mediano tamaño para la producción de cemento LC3*.

Chatziaras, N., Psomopoulos, C. S., & Themelis, N. J. (2016). Use of waste derived fuels in cement industry: a review. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, *27*(2), 178-193. https://doi.org/10.1108/MEQ-01-2015-0012

David, F. R. (2003). *Administraci*  *n Estrat**gica*.

Esperanza, G., Machado-Lopez, I., & Martirena-Hernandez, J. F. (2020). *Experimental Pilot Plant for Low Carbon Cements Development: The Cuban Innovative Project* (pp. 141-147). https://doi.org/10.1007/978-3-030-22034-1_16

Espinosa, A. B. S., Martínez., A. P., & Fernández, A. R. (2022). Estructura de mercado del cemento en ecuador de 2010 a 2020. *Southern Economic Journal*, *60*(2), 454. https://doi.org/10.2307/1060091

Fabiani, L. F., Borges, R., Calseverino, C., & Abreu, P. A. de. (2018). A smaller NOx footprint. *INTERNATIONAL CEMENT REVIEW*, *X*, 1-4.

Faster Capital. (2023). *La importancia de la evaluacion del retorno de la inversion La importancia de la evaluación del retorno de la inversión*. 1-18.

Fatih Birol. (2020). Energy Technology Perspectives 2020. *Energy Technology*

Perspectives 2020. https://doi.org/10.1787/ab43a9a5-en

Favier, A., Zunino, F., Katrantzis, I., & Scrivener, K. (2018). The effect of limestone on the performance of ternary blended cement LC3: limestone, calcined clays and cement. *RILEM Bookseries*, *16*, 170-175. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1207-9_27

Fernandez, R., Martirena, F., & Scrivener, K. L. (2011). The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*, *41*(1), 113-122. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.013

FICEM. (2018). Informe estadistico 2018. *CEMENTO & CONCRETO*.

FICEM. (2021a). Cifras de la insdustria cementera mundial. *Federación Interamericana de Cemento*, 2-3.

FICEM. (2021b). Hoja de Ruta CO2. *FICEM*.

Financiera, E. (2021). *Evaluación de proyectos de inversión : métodos e importancia*. 1-6.

Garcés Vargas, J. F. (2022). *USO DE ADICIONES MINERALES ARCILLA CALCINADA-CALIZA USO DE ADICIONES MINERALES ARCILLA CALCINADA-CALIZA*.

Garces Vargas, J. F., Díaz Cardenas, Y., Zunino, F., Ribalta Quesada, J., Scrivener, K., & Martirena, F. (2022). The Challenge of Grinding Ternary Blends Containing Calcined Clays and Limestone. *Minerals*, *12*(9). https://doi.org/10.3390/min12091170

Garcés Vargas, J. F., Espinosa, M., Diaz Cárdenas, Y., Diaz Hereira, A., & Martirena-Hernandez, J. F. (2020). Use of Grinding Aids for Grinding Ternary Blends Portland Cement-Calcined Clay-Limestone. En *RILEM Bookseries* (Vol. 22). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22034-1_2

Garcés Vargas, J. F., Guamán, F. M., Diaz Cárdenas, Y., Diaz, A. H., & Martirena-Hernandez, J. F. (2020). *Production of Durable Concrete with a Mineral Addition*

Blend of Calcined Clay-Limestone-Gypsum (LC2) and Portland Cement (pp. 183-193). https://doi.org/10.1007/978-3-030-22034-1_21

Habert, G., Billard, C., Rossi, P., Chen, C., & Roussel, N. (2020). Cement and Concrete Research Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives. *Cement and Concrete Research*, *40*(5), 820-826. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.09.031

Habert, G., & Roussel, N. (2020). Cement & Concrete Composites Study of two concrete mix-design strategies to reach carbon mitigation objectives. *Cement and Concrete Composites*, *31*(6), 397-402. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.04.001

Helwig, N. E., Hong, S., & Hsiao-wecksler, E. T. (2009). *HANDBOOK FOR DESIGNING CEMENT PLANTS*.

Hernández-Sampieri, R. (2018). Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. En *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.

Hernández, A. P. (2019). *Influencia de los procedimientos de molienda del cemento de bajo carbono sobre la distribución de tamaño de partículas y su impacto en las propiedades del cemento y del hormigón en estado fresco y endurecido*. UNIVERSIDAD CENTRAL MARTA ABREU DE LAS VILLAS.

Hollanders, S., Adriaens, R., Skibsted, J., Cizer, Ö., & Elsen, J. (2016). Pozzolanic reactivity of pure calcined clays. *Applied Clay Science*, *132-133*(August), 552-560. https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.08.003

Huntzinger, D. N., & Eatmon, T. D. (2009). A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. *Journal of Cleaner Production*, *17*(7), 668-675. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.007

Ilić, B., Radonjanin, V., Malešev, M., Zdujić, M., & Mitrović, A. (2016). Effects of mechanical and thermal activation on pozzolanic activity of kaolin containing mica. *Applied Clay Science*, *123*, 173-181.

https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.01.029

Notas técnicas, Primera Ed Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto - 14 (2009).

INTE INEN 152:2012. (2012). *Cemento portland. Requisitos. (NTE INEN 152:2012)*. 1. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/152-5.pdf

José Antonio Chumacero. (2021). TÉCNICAS PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN. En *Documento de Trabajo Omega Beta Gamma*.

Karen L. Scrivener; Vanderley M. John; Ellis M. Gartne. (2016). Eco-efficient cements: Potential, economically viable solutions for a low-CO2, cement- based materials industry Karen. *UNEP Report 2016 Eco-e!cient cements: Potential, economically viable solutions for a low-CO 2, cementbased materials industry*.

Kirk, L. H. (2008). *Safe Design of Portland Cement Plants*.

León-Velez, A., & Guillén-Mena, V. (2020). *Energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador*. 611-625.

Leyton, O. V. (s. f.). *CIENCIAS*.

Liu, J., Zhang, W., Li, Z., Jin, H., Liu, W., & Tang, L. (2021). Investigation of using limestone calcined clay cement (LC3) in engineered cementitious composites: The effect of propylene fibers and the curing system. *Journal of Materials Research and Technology*, *15*, 2117-2144. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.023

López, D. P. (2016). *Evaluación de la rentabilidad de la producción de Cemento d e Bajo Carbono a partir de la comparación de las metodolog ías tradicionales, y el Return on Capital Employed: ROCE*. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Machado-Lopez, I., Bacallao, F., Moya, I. H., & Martirena-Hernandez, J. F. (2020). *Considerations for the Energy Balance and Preliminary Design of an Experimental LC3 Cement Pilot Plant* (pp. 3-10). https://doi.org/10.1007/978-3-030-22034-1_1

Maraghechi, H., Avet, F., Wong, H., Kamyab, H., & Scrivener, K. (2018). Performance of Limestone Calcined Clay Cement (LC3) with various kaolinite contents with respect to chloride transport. *Materials and Structures*, *51*(5), 125. https://doi.org/10.1617/s11527-018-1255-3

Marmier, A. (2023). Decarbonisation options for the Cement Industry. En *Publications Office of the European Union* (Número EUR 31378 EN). https://doi.org/10.2760/174037

Martirena-Hernandez, J. F., Alujas-Díaz, A., & Amador-Hernandez, M. (2020). Proceedings of the International Conference of Sustainable Production and Use of Cement and Concrete. En *Springer* (Vol. 22, Número January). http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-22034-1

Martirena, F., Favier, A., & Scrivener, K. (2018). Calcined Clays for Sustainable Concrete. En *RILEM Bookseries*. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1207-9

Martirena Hernández, J. F. (2013a). *Desarrollo y producción industrial de un cemento de bajo carbono en Cuba*. *January*.

Martirena Hernández, J. F. (2013b). *Desarrollo y producción industrial de un cemento de bajo carbono en Cuba*.

Mccaffrey, R. (2022). *Global Cement Directory 2022*. *February*.

Mishra, S., & Anwar Siddiqui, N. (2014). A Review On Environmental and Health Impacts Of Cement Manufacturing Emissions. *International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences*, *2*(3), 26-31. www.woarjournals.org/IJGAES

Moesgaard, M., Herfort, D., Steenberg, M., Frank, L., & Yue, Y. (2011). Cement and Concrete Research Physical performances of blended cements containing calcium aluminosilicate glass powder and limestone. *Cement and Concrete Research*, *41*(3), 359-364. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.12.005

Mohamad, N., Muthusamy, K., Embong, R., Kusbiantoro, A., & Hashim, M. H. (2021). Environmental impact of cement production and Solutions: A review. *Materials*

Today: Proceedings, *48*(xxxx), 741-746. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.212

Mokrzycki, E., Uliasz-Bocheńczyk, A., & Sarna, M. (2003). Use of alternative fuels in the Polish cement industry. *Applied Energy*, *74*(1-2), 101-111. https://doi.org/10.1016/S0306-2619(02)00136-8

Muñoz Alfonso, Y., Pérez López, L., & Capos Pérez, Y. (2019). *Mecanismos Legales de Portección Jurídica al Producto Cemento LC3, que Resulten Incentivos a Inventores y Productores*. 335-340.

Muther, R. (1965). *Distribución en planta*. Hispano Europea. https://books.google.com.cu/books?id=4HkjngEACAAJ

Nicolas Müller & Jochen Harnisch. (2023). How to Turn Around the Trend of Cement Related Emissions in the Developing World. *A blueprint for a climate friendly cement industry*.

Nilimaa, J. (2023). Smart materials and technologies for sustainable concrete construction. *Developments in the Built Environment*, *15*(May), 100177. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100177

Pérez, A., & Martirena-Hernandez, J. F. (2020). *Influence of Limestone Content and PSD of Components on Properties of Clinker-Calcined Clay-Limestone Cements Produced by Intergrinding* (pp. 31-37). https://doi.org/10.1007/978-3-030-22034-1_4

Pimienta, J., & De la Orden, A. (2012). Metodología de la investigación. *Syria Studies*, 200.

Putin, A. (2022). Real industrial field applications in diferente regions. *Workshop on Limestone Calcined Clay Cements*.

Ramalle-Gómara, E. (2022). La importancia de evaluar las alternativas de inversion. *Atención Primaria*, *44*(12), 701-702. https://doi.org/10.1016/j.aprim.2012.09.010

Reyes, R. S. A. (2017). *POTENCIALIDADES DE ARCILLAS CAOLINÍTICAS CUBANAS PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIALES CEMENTICIOS*

SUPLEMENTARIOS. UNIVERSIDAD CENTRAL MARTA ABREU DE LAS VILLAS.

Risco, A. A. (2020). Clasificación de las investigaciones. *Universidad de Lima*, 4.

Ruiz, F. J. . (2019). PCA Roadmap to carbon neutrality. *PCA*.

Sánchez Berriel, S., Favier, A., Rosa Domínguez, E., Sánchez MacHado, I. R., Heierli, U., Scrivener, K., Martirena Hernández, F., & Habert, G. (2016). Assessing the environmental and economic potential of Limestone Calcined Clay Cement in Cuba. *Journal of Cleaner Production*, *124*, 361-369. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.125

Schneider, M, Romer, M., Tschudin, M., & Bolio, H. (2011). Cement and Concrete Research Sustainable cement production — present and future. *Cement and Concrete Research*, *41*(7), 642-650. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.019

Schneider, Martin. (2019). Cement and Concrete Research The cement industry on the way to a low-carbon future. *Cement and Concrete Research*, *124*(June), 105792. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105792

Scrivener, K., Dekeukelaere, A., Avet, F., & Grimmeissen, L. (2019). Financial Attractiveness of LC3. En *LC3-Project*. École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Scrivener, K. L. (2014). Options for the future of cement. *The Indian Concrete Journal*, *July*, 11-21.

Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018a). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, *114*(March), 2-26. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015

Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018b). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, *114*(February), 2-26.

https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015

SCRIVENER, K. L., & Vanderley M, J. (2019). Cementos ecoeficientes: Posibles soluciones económicamente viables para una baja emisión de CO2 industria de materiales a base de cemento bajas emisiones de CO2. *environment*.

Scrivener, Karen. (2019). Impacting factors and properties of limestone calcined clay cements (LC3). *Green Materials*, *7*, 3-14.

Scrivener, Karen, & Favier, A. (2015). Calcined Clays for Sustainable Concrete. *RILEM Bookseries*, 283-289. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9939-3

Scrivener, Karen, Martirena, F., Bishnoi, S., & Maity, S. (2018). Calcined clay limestone cements (LC3). *Cement and Concrete Research*, *114*(August), 49-56. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.017

Selim, T., & Salem, A. (2010). Global Cement Industry: Competitive and Institutional Dimensions. *MPRA*, *24464*.

Sharma, M., Bishnoi, S., Martirena, F., & Scrivener, K. (2021a). Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review. *Cement and Concrete Research*, *149*(August), 106564. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106564

Sharma, M., Bishnoi, S., Martirena, F., & Scrivener, K. (2021b). Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review. *Cement and Concrete Research*, *149*(March), 106564. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106564

Sucasaire, J. (2022). Orientaciones para la selección y el cálculo del tamaño de la muestra en investigación. En *Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - CONCYTEC.*

The Pembina Institute and Environmental Defence. (2014). Alternative Fuel Use in Cement Manufacturing. *Workshop on Alternative Fuels in Cement Kilns*, 1-38. https://environmentaldefence.ca/wp-content/uploads/2016/01/White-Paper-on-Alternative-Fuels-in-Cement-rC.pdf

Torres, S., García, E., Velásquez, L., Díaz, R., & Martirena-Hernandez, J. F. (2020). *Production of Limestone-Calcined Clay Cement in Guatemala* (pp. 85-91).

https://doi.org/10.1007/978-3-030-22034-1_10

Uzcátegui Sánchez, C., Pozo Sulbaran, B., Espinoza Sotomayor, M. F., & Beltrán Vega, A. (2018). Main methods of evaluation of investment projects for future entrepreneurs in Ecuador. *Espacios*, *39*(24).

Venkatanarayanan, H. K., & Rangaraju, P. R. (2014). EFFECT OF GRINDING OF LOW-CARBON RICE HUSK ASH ON THE MICROSTRUCTURE AND PERFORMANCE PROPERTIES OF 220 Lowry Hall , Glenn Department of Civil Engineering. *CEMENT AND CONCRETE COMPOSITES*. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.09.021

Vierreira Avila, M. M. (2020). Evaluación financiera de proyectos de inversión métodos y aplicaciones. *Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952.*, 176. https://www.upsa.edu.bo/images/libro_evaluacion-financiera-de-proyectos-de-inversion.pdf

Villacís, J. (2020). *El mercado de valores como fuente de financiamiento de la industria cementera de Ecuador*.

Vizcaíno, L., Sánchez, S., Damas, S., Pérez, A., Scrivener, K., & Martirena, F. (2015). Industrial trial to produce a low clinker, low carbon cement. *Materiales de construcción.*, *65*(317). https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3989/mc.2015.00614

Wang, L., Ur, N., Curosu, I., Zhu, Z., Abdul, M., Beigh, B., Liebscher, M., Chen, L., Tsang, D. C. W., Hempel, S., & Mechtcherine, V. (2021). On the use of limestone calcined clay cement (LC 3) in high-strength strain-hardening cement-based composites (HS-SHCC). *Cement and Concrete Research journal*, *144*(January).

Zunino, F. (2020). *Limestone calcined clay cements (LC3): raw material processing, sulfate balance and hydration kinetics*. 212.

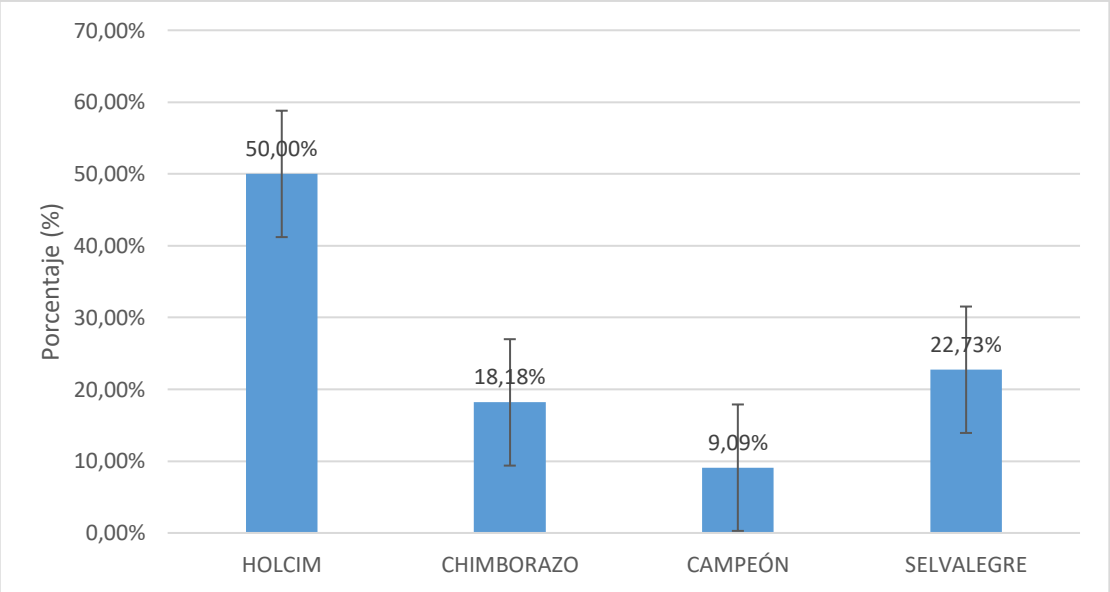
ANEXOS

Anexo 1: Resultados de encuesta a distribuidores.

1. ¿Distribuye más de una marca de cemento? Detallar

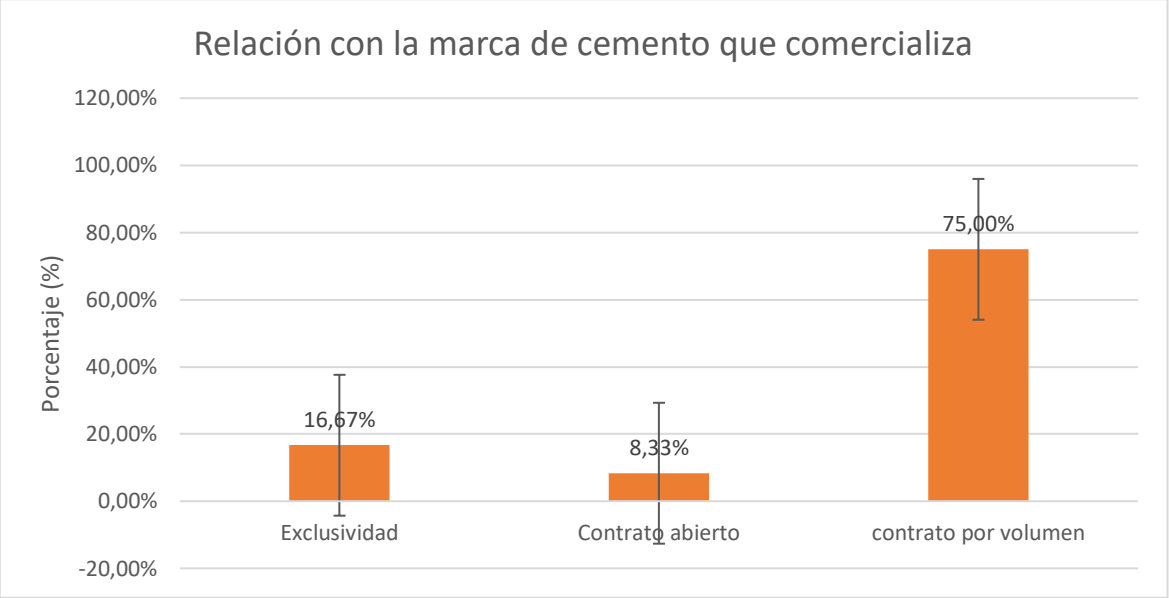
Categoría	Valor	Porcentaje
SI	8	66.67%
NO	4	33.33%
Total	12	100%

Marca	Valor	Porcentaje
HOLCIM	11	50.00%
CHIMBORAZO	4	18.18%
CAMPEÓN	2	9.09%
SELVALEGRE	5	22.73%
Total	22	100%



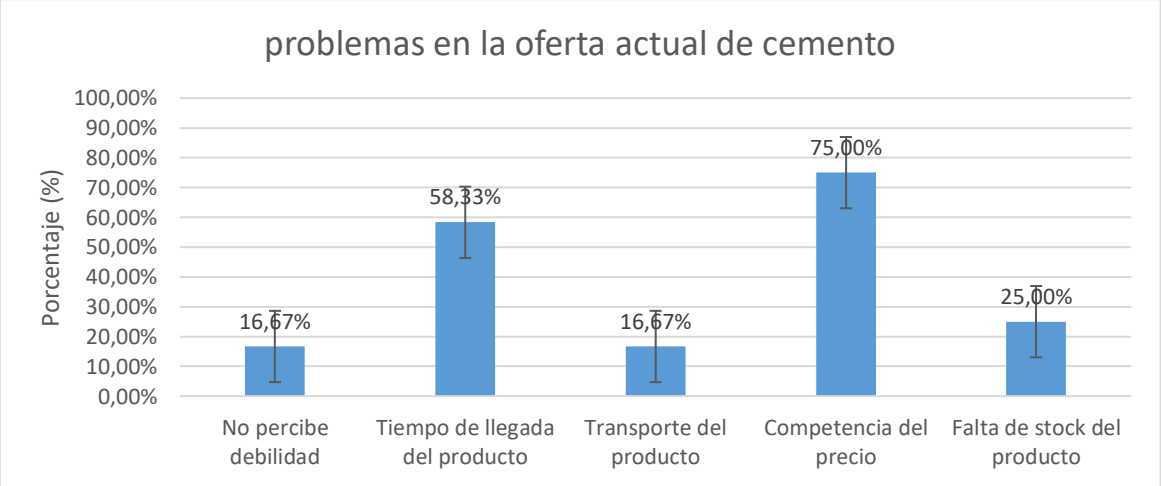
2. ¿Cuál es su relación con la marca de cemento que comercializa?

Categoría	Valor	Porcentaje
Exclusividad	2	16.67%
Contrato abierto	1	8.33%
contrato por volumen	9	75.00%
Total	12	100%



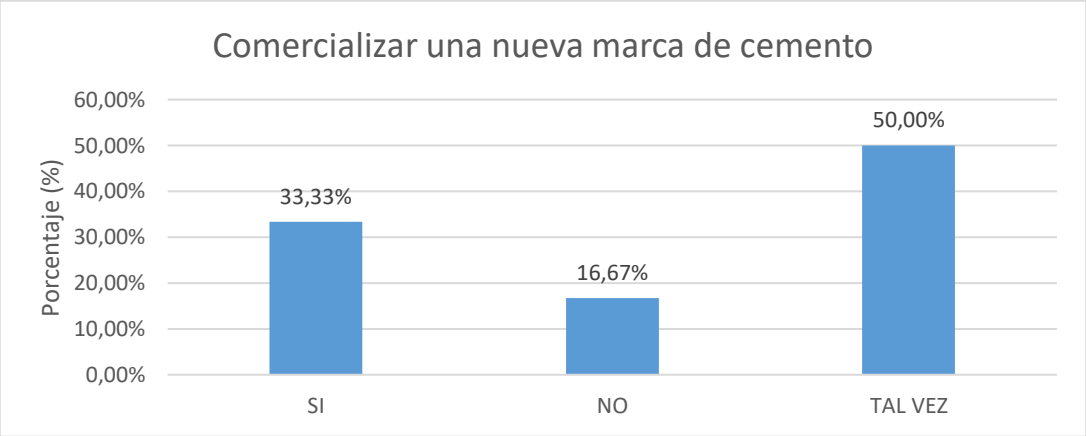
3. ¿Qué problemas o debilidades percibe Ud. en la oferta actual de cemento?

Categoría	Valor	Porcentaje
No percibe debilidad	2	16.67%
Tiempo de llegada del producto	7	58.33%
Transporte del producto	2	16.67%
Competencia del precio	9	75.00%
Falta de stock del producto	3	25.00%
Total	23	100%



4. ¿Estaría dispuesto a comercializar una nueva marca de cemento? Si___ No___

Categoría	Valor	Porcentaje
SI	4	33.33%
NO	2	16.67%
TAL VEZ	6	50.00%
Total	12	100%

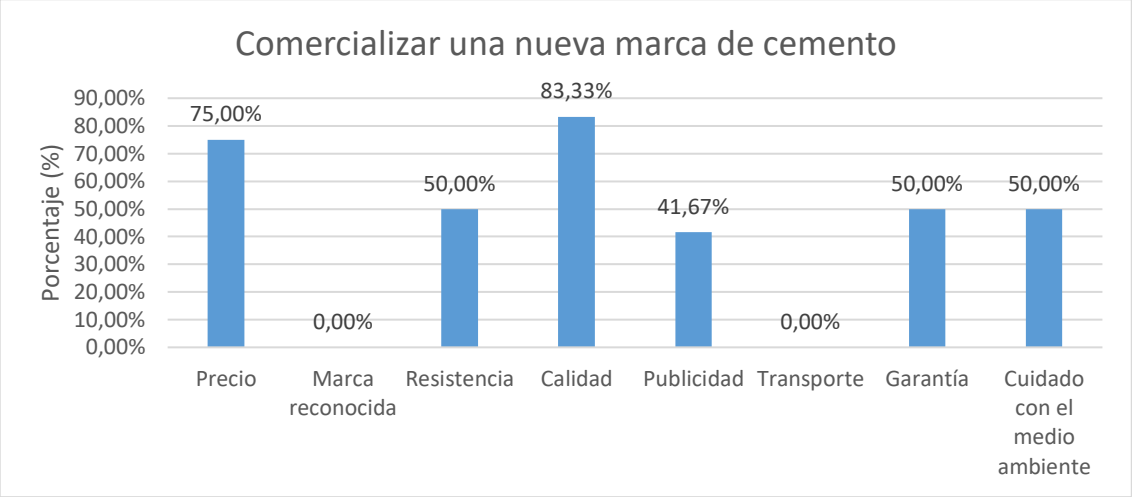


De ser el positiva ¿Qué atributos técnicos necesitaría que la nueva marca de cemento cumpla?

- Buena concentración igual a Holcim
- Cumplimiento de normas
- Buena calidad
- Mejor composición
- Mejores propiedades que el tradicional

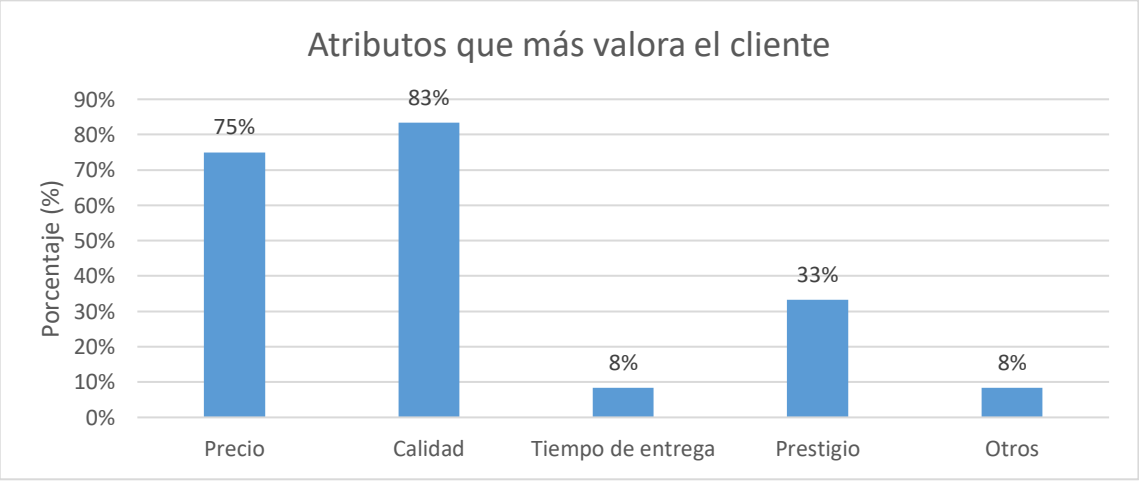
5. ¿Qué otros atributos o condiciones serían necesarios para comercializar una nueva marca de cemento?

Categoría	Valor	Porcentaje
Precio	9	75.00%
Marca reconocida	0	0.00%
Resistencia	6	50.00%
Calidad	10	83.33%
Publicidad	5	41.67%
Transporte	0	0.00%
Garantía	6	50.00%
Cuidado con el medio ambiente	6	50.00%
Total	42	100%



6. ¿Cuáles son los atributos que más valora el cliente al momento de adquirir cemento?

Categoría	Valor	Porcentaje
Precio	9	75%
Calidad	10	83%
Tiempo de entrega	1	8%
Prestigio	4	33%
Otros	1	8%
Total	25	100%



7. ¿Considera Ud. que el cliente final estaría dispuesto a cambiar de marca de cemento?

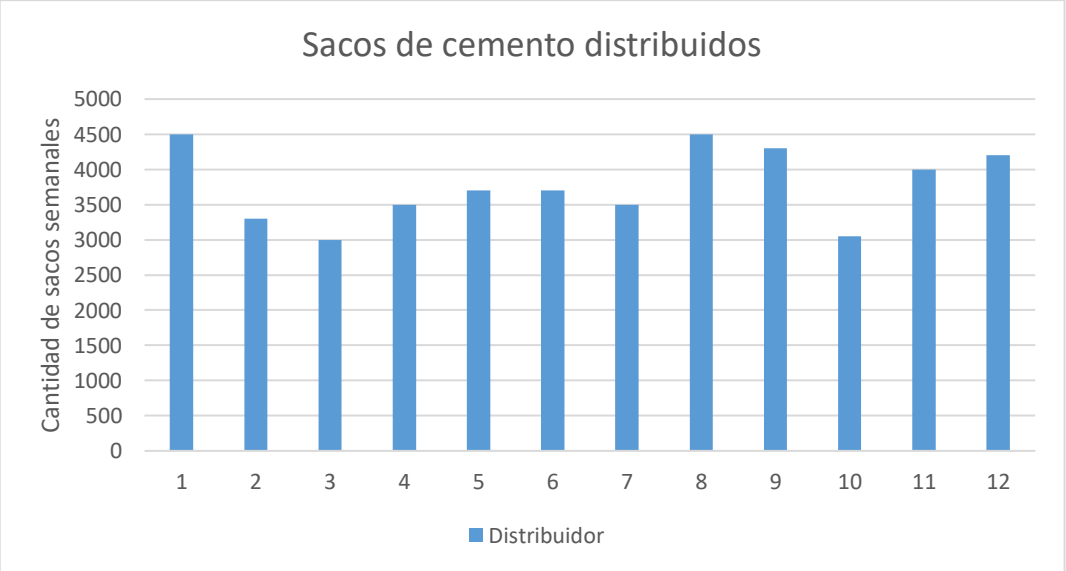
Categoría	Valor	Porcentaje
SI	4	33.33%
NO	2	16.67%
TAL VEZ	6	50.00%
Total	12	100%

¿Qué factores son los que llevarían al cliente a cambiar de marca de cemento?

- Resistencia igual o mayor al tradicional
- Menor precio
- Garantía
- Publicidad
- Rendidor
- Buena calidad
- Durabilidad

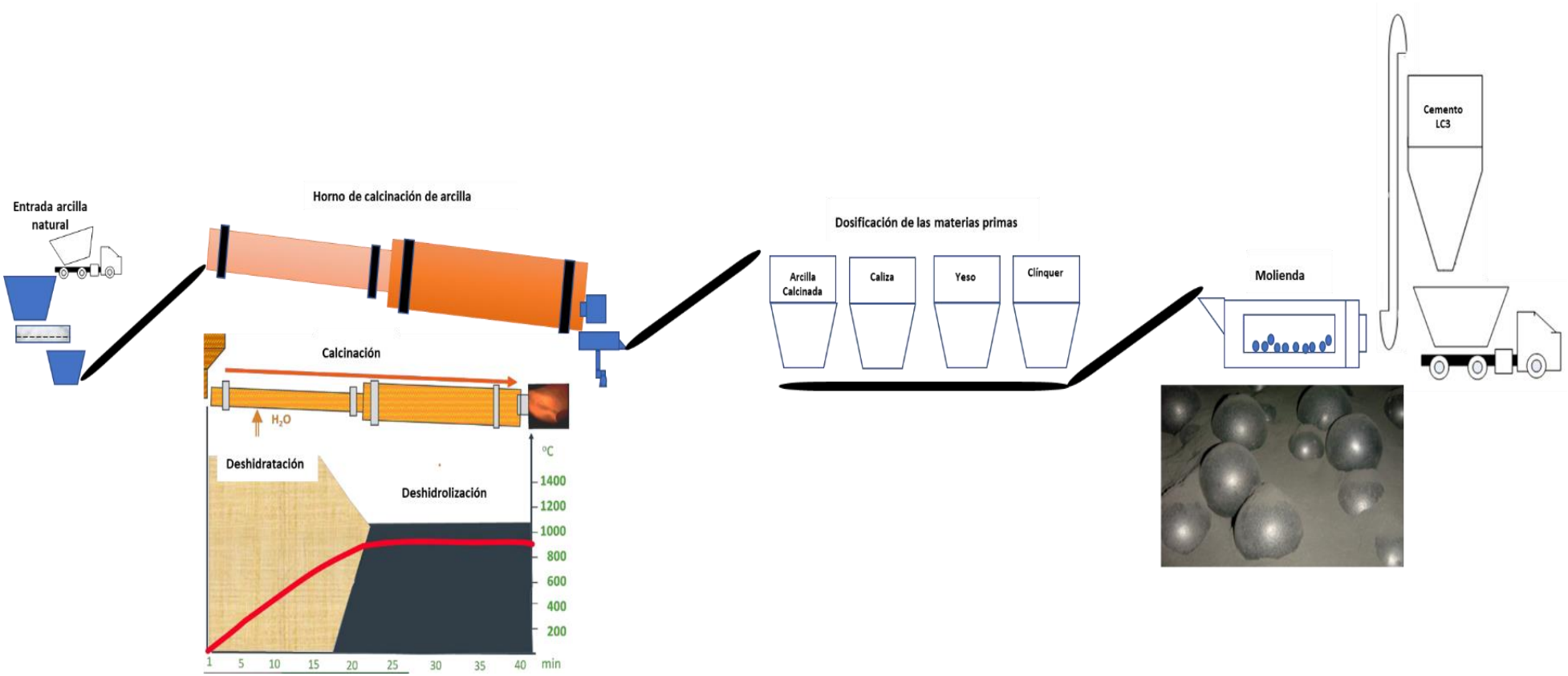
8. ¿Qué cantidad de sacos de cemento distribuye semanalmente dentro de la provincia de Santa Elena?

Distribuidor	**Cantidad de sacos (Unid.)**
distribuidor 1	4500
distribuidor 2	3300
distribuidor 3	3000
distribuidor 4	3500
distribuidor 5	3700
distribuidor 6	3700
distribuidor 7	3500
distribuidor 8	4500
distribuidor 9	4300
distribuidor 10	3050
distribuidor 11	4000
distribuidor 12	4200
Total, de sacos	**45250**
t/semana	**2262.5**
t/mes	**9050**



Anexo 2: Esquema de flujo productivo

Producción de la planta: 4 Ton/h - 90 Ton/día - 30 000 Ton/año



Anexo 3: Análisis de flujo de caja del proyecto de inversión

Flujo de caja Alternativa LC3

Alternativa 1 (LC3)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	F.Actualizados	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Inversión inicial	**3.066.070,39**															
Flujo de Efectivo Inicial	**-3.066.070,39**															
Ingresos		4.394.385,2	4.394.385,2	4.625.668,6	4.625.668,6	4.625.668,6	4.625.668,6	4.625.668,6	4.625.668,6	4.625.668,6	4.625.668,6	4.625.668,6	4.625.668,6	4.625.668,6	4.625.668,6	4.625.668,6
Costos		3.380.296,3	3.380.296,3	3.558.206,6	3.558.206,6	3.558.206,6	3.558.206,6	3.558.206,6	3.558.206,6	3.558.206,6	3.558.206,6	3.558.206,6	3.558.206,6	3.558.206,6	3.558.206,6	3.558.206,6
U. Bruta		**1.014.088,9**	**1.014.088,9**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**	**1.067.462,0**
Impuestos (25%)		253.522,2	253.522,2	266.865,5	266.865,5	266.865,5	266.865,5	266.865,5	266.865,5	266.865,5	266.865,5	266.865,5	266.865,5	266.865,5	266.865,5	266.865,5
interes anual (9%)		91.268,0	91.268,0	96.071,6	96.071,6	96.071,6	96.071,6	96.071,6	96.071,6	96.071,6	96.071,6	96.071,6	96.071,6	96.071,6	96.071,6	96.071,6
U. Neta Anual		**669.298,7**	**669.298,7**	**704.524,9**	**704.524,9**	**704.524,9**	**704.524,9**	**704.524,9**	**704.524,9**	**704.524,9**	**704.524,9**	**704.524,9**	**704.524,9**	**704.524,9**	**704.524,9**	**704.524,9**
Flujos de Efectivo Operativos y Terminales	-3.066.070,39	669.298,7	669.298,7	704.524,9	704.524,9	704.524,9	704.524,9	704.524,9	704.524,9	704.524,9	704.524,9	704.524,9	704.524,9	704.524,9	704.524,9	704.524,9
Flujos Anualizados		597.588,1	533.560,8	501.466,9	447.738,3	399.766,4	356.934,2	318.691,3	284.545,8	254.058,7	226.838,2	202.534,1	180.834,0	161.458,9	144.159,8	128.714,1
Flujos acumulados		-2.468.482,3	-1.934.921,5	-1.433.454,6	-985.716,3	-585.949,9	-229.015,7	89.675,6	374.221,4	628.280,2	855.118,3	1.057.652,4	1.238.486,4	1.399.945,3	1.544.105,1	1.672.819,2
k	**12%**															
VAN	**$ 1.672.819,17**															
TIR	**21%**															
PRD	**7 años**															

Flujo de caja Alternativa LC2

Alternativa 2 (LC2)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	F.Actualizados	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Inversión inicial	**3.066.070,4**															
Flujo de Efectivo Inicial	**-3.066.070,4**															
Ingresos		4.069.140,5	4.069.140,5	4.283.305,8	4.283.305,8	4.283.305,8	4.283.305,8	4.283.305,8	4.283.305,8	4.283.305,8	4.283.305,8	4.283.305,8	4.283.305,8	4.283.305,8	4.283.305,8	4.283.305,8
Costos		3.130.108,1	3.130.108,1	3.294.850,6	3.294.850,6	3.294.850,6	3.294.850,6	3.294.850,6	3.294.850,6	3.294.850,6	3.294.850,6	3.294.850,6	3.294.850,6	3.294.850,6	3.294.850,6	3.294.850,6
U. Bruta		939.032,4	939.032,4	988.455,2	988.455,2	988.455,2	988.455,2	988.455,2	988.455,2	988.455,2	988.455,2	988.455,2	988.455,2	988.455,2	988.455,2	988.455,2
Impuestos (25%)		234.758,1	234.758,1	247.113,8	247.113,8	247.113,8	247.113,8	247.113,8	247.113,8	247.113,8	247.113,8	247.113,8	247.113,8	247.113,8	247.113,8	247.113,8
interes anual (9%)		84.512,9	84.512,9	88.961,0	88.961,0	88.961,0	88.961,0	88.961,0	88.961,0	88.961,0	88.961,0	88.961,0	88.961,0	88.961,0	88.961,0	88.961,0
U. Neta Anual		619.761,4	619.761,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4
Flujos de Efectivo Operativos y Terminales	**-3.066.070,4**	619.761,4	619.761,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4	652.380,4
Flujos Anualizados		553.358,4	494.070,0	464.351,5	414.599,6	370.178,2	330.516,2	295.103,8	263.485,5	235.254,9	210.049,0	187.543,8	167.449,8	149.508,8	133.490,0	119.187,5
Flujos acumulados		-2.512.712,0	-2.018.642,0	-1.554.290,5	-1.139.691,0	-769.512,8	-438.996,6	-143.892,8	119.592,7	354.847,6	564.896,7	752.440,4	919.890,3	1.069.399,0	1.202.889,0	1.322.076,4
k	**12%**															
VAN	**$ 1.322.076,43**															
TIR	**19%**															
PRD	**8 años**															

Flujo de caja Alternativa LC2 + GU

Alternativa 3 (LC2+GU)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	F.Actualizados	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Inversión inicial	**3.066.070,39**															
Flujo de Efectivo Inicial	**-3.066.070,39**															
Ingresos		3.608.427,5	3.608.427,5	3.798.344,7	3.798.344,7	3.798.344,7	3.798.344,7	3.798.344,7	3.798.344,7	3.798.344,7	3.798.344,7	3.798.344,7	3.798.344,7	3.798.344,7	3.798.344,7	3.798.344,7
Costos		2.775.713,5	2.775.713,5	2.921.803,7	2.921.803,7	2.921.803,7	2.921.803,7	2.921.803,7	2.921.803,7	2.921.803,7	2.921.803,7	2.921.803,7	2.921.803,7	2.921.803,7	2.921.803,7	2.921.803,7
U. Bruta		832.714,0	832.714,0	876.541,1	876.541,1	876.541,1	876.541,1	876.541,1	876.541,1	876.541,1	876.541,1	876.541,1	876.541,1	876.541,1	876.541,1	876.541,1
Impuestos (25%)		208.178,5	208.178,5	219.135,3	219.135,3	219.135,3	219.135,3	219.135,3	219.135,3	219.135,3	219.135,3	219.135,3	219.135,3	219.135,3	219.135,3	219.135,3
interes anual (9%)		74.944,3	74.944,3	78.888,7	78.888,7	78.888,7	78.888,7	78.888,7	78.888,7	78.888,7	78.888,7	78.888,7	78.888,7	78.888,7	78.888,7	78.888,7
U. Neta Anual		549.591,3	549.591,3	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1
Flujos de Efectivo Operativos y Terminales	**-3.066.070,39**	549.591,3	549.591,3	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1	578.517,1
Flujos Anualizados		490.706,5	438.130,8	411.777,1	367.658,1	328.266,2	293.094,8	261.691,8	233.653,4	208.619,1	186.267,0	166.309,8	148.490,9	132.581,2	118.376,1	105.692,9
Flujos acumulados		-2.575.363,9	-2.137.233,1	-1.725.456,0	-1.357.798,0	-1.029.531,8	-736.437,0	-474.745,3	-241.091,9	-32.472,8	153.794,2	320.104,1	468.595,0	601.176,2	719.552,3	825.245,2
k	**12%**															
VAN	**$ 825.245,17**															
TIR	**17%**															
PRD	**10 años**															