

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Construcciones

Departamento de Ingeniería Civil



Trabajo de Diploma

Título:

***Eco-eficiencia en la cadena productiva de una vivienda Tipología III:
cemento tradicional versus cemento de bajo carbono. Estudio de caso en
Santo Domingo***

Diplomante: Dayan Bartumeu Rodríguez

Tutor: MSc. Yudiesky Cancio Díaz

Santa Clara, junio de 2015

*La veracidad de los materiales de la construcción: hormigón, ladrillos y piedra,
se mantendrán en todos los edificios construidos y en los que se construirán*

Le Corbusier

DEDICATORIA

A mi mamá: por ser el principal motivo de mi esfuerzo y dedicación.

*A mi papá: por estar siempre a mi lado y brindarme el aliento para
seguir adelante.*

A mi hermano: por su ayuda en el momento preciso.

A mi tutor, por su apoyo.

A mi familia, por todo su amor, entrega y empeño.

A mi novia, por su apoyo incondicional.

A todos mis amigos.

A Víctor y su Familia por ayudarme a realizar este trabajo.

*A todos aquellos que de una forma u otra han contribuido
y brindado su apoyo a la realización de este trabajo.*

A todos,

¡Gracias!

RESUMEN

La presente investigación aplica el procedimiento de Cancio (2014) para la evaluación de la eco-eficiencia en la cadena productiva de una solución constructiva de la ciudad de Santo Domingo, Villa Clara, donde se asumirá el criterio de sustituir los cementos tradicionales empleados en Cuba (P-35 y PP-25) por cemento de bajo carbono LC3. El reporte de investigación contiene los fundamentos conceptuales relacionados con la eco-eficiencia como herramienta de gestión económico-ambiental, los eco-materiales y la cadena productiva. Se analizan las características esenciales del sistema constructivo empleado en la obra objeto de estudio, esbozándose y caracterizándose la cadena productiva asociada a dicha obra. Se reportan los resultados fundamentales de la aplicación del procedimiento de eco-eficiencia, los cuales hicieron posible la constatación de que la introducción del cemento de bajo carbono en soluciones constructivas podría redundar en una reducción de emisiones de CO₂ en un 28,3% y de costos en un 8,3%, lo cual conjuntamente proporciona un incremento de la eco-eficiencia en, aproximadamente, un 53%, considerando el estudio realizado al nivel de la unidad funcional (sistema estructural de la vivienda sin incluir la cubierta).

Palabras Claves: Eco-eficiencia, cadenas productivas y cemento de bajo carbono.

ABSTRACT

The present research applies the Cancio's procedure (2014) for the evaluation of the eco-efficiency in the productive chain of a constructive solution at Santo Domingo's city, Villa Clara, where the approach will be assumed of substituting the cements traditionally employed in Cuba (P-35 and PP-25) for cement of low carbon LC3. The study report contains the conceptual foundations related with the eco-efficiency like tool of the economic-environmental administration, the eco-materials and the productive chain. The essential characteristics of the system constructive are analyzed in the work study object, being sketched and being characterized the productive chain associated to this work. The fundamental results of the application of the procedure of eco-efficiency are reported, which made possible the verification that the introduction of the cement of low carbon in constructive solutions could redound in a reduction of emissions of CO₂ in 28,3% and of costs in 8,3%, that which jointly provides an increment of the eco-efficiency in, approximately, 53%, considering the study carried out at the level of the functional unit (structural system of the housing without including the cover).

ÍNDICE

RESUMEN.....	IV
ABSTRACT	V
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: La eco-eficiencia, las cadenas productivas y las aplicaciones del cemento de bajo carbono: marco conceptual y metodológico.....	5
1.1. Generalidades del hormigón.....	5
1.2. Los eco-materiales y su importancia en los sistemas constructivos	7
1.2.1. Particularidades de algunos eco-materiales utilizados en Cuba	9
1.2.2. Desarrollo y uso del primer cemento ecológico elaborado en Cuba.....	11
1.2.3. Valoración económica y ambiental del LC3 en condiciones industriales	14
1.3. La eco-eficiencia como herramienta analítica para la gestión	16
1.3.1. Surgimiento del concepto. Definiciones generales y básicas	17
1.3.2. Objetivos generales de eco-eficiencia	19
1.3.3. Instrumentos de medición de eco-eficiencia	20
1.3.4. Elementos necesarios en los reportes de eco-eficiencia.....	24
1.3.5. La eco-eficiencia en el contexto cubano	25
1.4. Cadena productiva: nociones conceptuales.....	26
CAPÍTULO II: Descripción del procedimiento metodológico a implementar en la obra (Vivienda UAM en Santo Domingo) y caracterización de toda la cadena productiva	31
2.1. Procedimiento metodológico aplicado en la investigación	31
2.1.1. Fase I. Definición de objetivos y alcance	34
2.1.2. Fase II: Caracterización de la cadena productiva asociada al sistema-producto seleccionado.....	35
2.1.3. Fase III: Creación del inventario de datos: materiales, energía y valor.....	36
2.1.4. Fase IV: Determinación de los indicadores de eco-eficiencia.....	38
2.1.5. Fase V: Reporte del perfil de eco-eficiencia e interpretación.....	41
2.2. Características de los principales entes que intervienen en la cadena productiva de la obra.....	42
2.3. Caracterización del sistema constructivo empleado	46
2.4. Caracterización de la cadena productiva de la obra (Vivienda UAM en Santo Domingo)	48
CAPÍTULO III: Aplicación del procedimiento para la evaluación de la eco-eficiencia en la obra Vivienda UAM Santo Domingo.....	51
Fase I: Definición de objetivos y alcance	51

ÍNDICE

Etapa 1.1. Definir y tipificar la obra a analizar	51
Etapa 1.2. Definir el alcance del estudio o límites del sistema (sistema estructural, función y unidad funcional)	51
Etapa 1.3. Establecer las limitaciones derivadas de los límites del sistema declarados en 1.2, supuestos generales relevantes y definición de escenarios de evaluación.	51
Fase II: Caracterización de la cadena productiva asociada al sistema-producto seleccionado	52
Fase III: Creación del inventario de datos: materiales, energía y valor	53
Etapa 3.1. Determinación de dosificaciones (gravimétrica y/o volumétrica) por unidad funcional.	53
Etapa 3.2. Determinación del inventario y costeo de materiales para la unidad funcional	54
Etapa 3.3. Determinación del inventario de energía consumida en toda la cadena productiva en términos de la unidad funcional analizada	56
Etapa 3.4. Determinación del costo de mano de obra, costo de capital y costos indirectos de producción	59
Fase IV: Determinación de los indicadores de eco-eficiencia	59
Etapa 4.1. Definición de los indicadores de eco-eficiencia con que se operará	59
Etapa 4.2. Evaluación medioambiental del sistema productivo como totalidad	60
Etapa 4.3. Determinación de costos totales al nivel de la unidad funcional analizada.....	65
Etapa 4.4. Determinación de los indicadores de eco-eficiencia.....	65
Fase V: Reporte del perfil de eco-eficiencia e interpretación	66
Etapa 5.1. Establecer el perfil de eco-eficiencia con fines comunicacionales.....	66
Etapa 5.2. Establecer comparaciones con sistemas estructurales de semejantes prestaciones y características homogéneas	67
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA.....	70
ANEXOS.....	78

INTRODUCCIÓN

La vivienda, como espacio vital para el desarrollo humano, desempeña un rol trascendental en la potenciación de la calidad de vida, dentro del amplio entramado de relaciones que comprende el denominado hábitat humano.

El sistema constructivo cubano ha sufrido grandes transformaciones desde sus inicios hasta la situación actual, debido a la escasez de recursos y la falta de personal calificado para la construcción, por lo que los primeros años se caracterizaron principalmente por la creación de grupos encargados de la investigación y estudio de la vivienda en Cuba.

El hormigón constituye un material de crucial importancia ya que es el material hecho por el hombre más usado en el mundo, constituyendo el compuesto fundamental de cualquier sistema constructivo, donde el producto esencial para la fabricación del mismo es el cemento por eso se considera que la producción de cemento es un indicador clave en el desarrollo de un país.

Asociado a los procesos de manufactura del cemento, grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) son liberadas a la atmósfera. Se calcula que entre 0.65 – 0.90 toneladas de CO_2 son emitidas por cada tonelada de cemento fabricado, lo que hace responsable a esta industria de entre 5 – 8 % de las emisiones globales (Vizcaíno, 2014).

Asociado a los antes mencionado, se dice que la Industria del Cemento constituye en la actualidad una de las más contaminantes al medio ambiente, por su incesante emisión de gases a la atmósfera asociada a un alto consumo energético, principalmente en la forma de combustibles fósiles, así como las reacciones químicas de descarbonatación que se originan en el proceso, factores que influyen negativamente en sus costos y sostenibilidad ambiental (Martirena, 2010).

Este panorama impone a la comunidad científica mundial un elevado reto: desarrollar productos alternativos innovadores que conduzcan a la progresiva desaceleración de la contaminación ambiental y la degradación del Planeta. En este sentido, interesantes y promisorios resultados se han obtenido en los últimos años, por los investigadores Scrivener, Martirena y Bishnoi, quienes han desarrollado un producto consistente en un tipo de cemento mezclado a partir de la combinación de clínquer, caliza y arcilla calcinada (cemento de bajo carbono). Los resultados experimentales han ofrecido ventajas y bondades de tipo económico y ecológico a la innovación científica, contando en la

actualidad con aplicaciones prácticas en la India y Cuba, a partir de la producción de este cemento ecológico por primera vez en Cuba en el año 2013.

El cemento de bajo carbono (LC3)¹ es un tipo de cemento ternario producido específicamente en la planta de cemento Siguaney. Este nuevo tipo de cemento se considera más económico y más ecológico que el cemento Portland tradicional utilizado en aplicaciones constructivas en Cuba. De ello se deriva el concepto de eco-eficiencia. La industria del cemento y el hormigón resulta un proceso altamente intensivo en capital, materias primas y, sobre todo, energía; razones por las cuales resulta impostergable el tratamiento de la eco-eficiencia de este tipo de proceso productivo.

La eco-eficiencia es un concepto originado en el seno del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD), y hace referencia a la capacidad de las organizaciones empresariales de crear más valor en su negocio al tiempo que reduzcan los impactos negativos al medio ambiente. Es decir se obtiene por medio del suministro de bienes y servicios a precios competitivos, que satisfagan las necesidades humanas y proporcionen calidad de vida, mientras progresivamente reducen los impactos ecológicos y el consumo de recursos a lo largo de su ciclo de vida.

No existe un producto ecológico por sí mismo, sino en función de su comportamiento medioambiental durante toda su cadena productiva: desde el análisis de las materias primas que lo componen, sus procesos productivos en conjunto, su uso, los residuos generados por su distribución y transporte, hasta su consumo final, toda vez que es en ella donde ocurren los procesos generadores de emisiones y de valor económico

Se refiere como cadena productiva a todas las etapas realizadas para elaborar, distribuir y comercializar un producto o servicio hasta su consumo final. Además el ámbito de análisis de la cadena está definido por los espacios en los cuales existen interrelaciones sociales, técnicas, económicas, institucionales y culturales, que permiten el desarrollo de un producto, desde la producción hasta el consumo.

Desde la producción en Cuba por primera vez en el año 2013 del cemento de bajo carbono, varios trabajos aplicados han estado dirigidos a demostrar la superioridad económico-ambiental de este cemento ecológico en soluciones constructivas de diferentes tecnologías de producción, empleando las herramientas analíticas **eco-eficiencia** y **cadena productiva**. Ninguno de los trabajos empíricos ha abordado el

¹ Limestone Caolinitic Calcined Clay. Así se le conoce internacionalmente, porque este material es fruto de un proyecto internacional con financiamiento suizo y participación de científicos de varios países.

sistema estructural muro de bloques de hormigón y cubierta ligera, sin embargo, este constituye una solución constructiva de amplio espectro de fabricación en la ciudad de Santo Domingo. Este tipo de estudios de caso contribuye a fundamentar con criterio económico y ambiental la toma de decisiones en materia de política económica, en torno a la potencial fabricación a escala industrial del nuevo tipo de cemento y su ulterior uso constructivo. Lo anteriormente expuesto constituye la **situación problémica** de la presente investigación.

Problema científico:

¿Cómo contribuir, mediante la aplicación de un procedimiento, a la evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva de una vivienda tipología III de Santo Domingo, considerando la potencial sustitución del cemento tradicional por el cemento cubano de bajo carbono?

Objetivos:

General:

Evaluar la eco-eficiencia en la cadena productiva de una vivienda tipología III en Santo Domingo bajo el presupuesto de reemplazo del cemento tradicional por el cemento de bajo carbono.

Específicos:

1. Sistematizar los fundamentos teórico-conceptuales e instrumentales en torno a la eco-eficiencia, las cadenas productivas y los eco-materiales.
2. Caracterizar los encadenamientos productivos asociados a la construcción de una vivienda tipología III en Santo Domingo, la tecnología de producción y el procedimiento aplicado en la investigación.
3. Aplicar el procedimiento diseñado por Cancio (2015) a la evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva asociada al objeto de estudio práctico antes definido.

Hipótesis:

Si se aplica un procedimiento para la evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva de una vivienda tipología III de Santo Domingo, asumiendo el potencial reemplazo del cemento tradicional por el cemento cubano de bajo carbono, es posible contribuir a la determinación del impacto económico-ambiental del nuevo material en

aplicaciones constructivas, lo cual coadyuvaría a la toma de decisiones en materia de política económica.

Métodos científicos:

Del nivel teórico: análisis-síntesis, inducción-deducción, histórico-lógico, triangulación de fuentes.

Del nivel empírico: revisión documental, observación, entrevista, técnica estadística.

Estructura de la tesis:

El informe de investigación se reporta en tres capítulos. El primero establece el marco conceptual y metodológico relacionado con las unidades analíticas objeto de estudio. El segundo, expone la caracterización de las interrelaciones tecno-productivas entre los entes económicos vinculantes de la cadena de suministro asociada a la obra constructiva objeto de estudio; además de esclarecer las peculiaridades del sistema constructivo empleado. El tercer capítulo, y último, presenta la aplicación práctica de un procedimiento de evaluación de eco-eficiencia al caso específico de una vivienda Tipología III en Santo Domingo, Villa Clara.

El informe escrito de la tesis es contentivo de un cuerpo de conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos, que contribuyen a comprender los resultados ofrecidos del estudio realizado.

CAPÍTULO I: La eco-eficiencia, las cadenas productivas y las aplicaciones del cemento de bajo carbono: marco conceptual y metodológico

En el presente capítulo se exponen las bases analíticas e instrumentales que sirven de soporte a la eco-eficiencia como concepto asociado a la gestión empresarial. El análisis de eco-eficiencia transcurre por el previo estudio de los nexos tecno-productivos y económicos que se establecen en torno a la vivienda objeto de estudio práctico.

Para cumplimentar el objetivo general de la investigación, descrito en la introducción de la tesis, se precisa establecer las pautas conceptuales básicas relacionadas con el hormigón, los eco-materiales, en particular, el cemento de bajo carbono.

1.1. Generalidades del hormigón

El patrimonio construido por el hombre está constituido en un 90% de hormigón, cuyo componente principal es el cemento. Tanto la producción como el consumo del cemento y el hormigón, se asocian con el nivel de desarrollo de un país, sin embargo, ellos son también responsables de la degradación ambiental del planeta, debido fundamentalmente a la explotación intensiva de recursos no renovables, materias primas y combustibles, y la emisión de grandes volúmenes de gases de efecto invernadero (Pierre, 2008).

Los orígenes de la construcción en hormigón, al igual que tantas otras técnicas constructivas, datan de mucho antes del Imperio Romano pero en esta época son significativas las obras realizadas por los mismos hace alrededor de dos mil años.

Al igual que otros productos hechos por el hombre, la fabricación de hormigón lleva asociada una huella ecológica inherente a sus procesos de manufactura. Si lo comparamos con otros materiales de construcción como el acero y la madera, el impacto ambiental que genera es menor en términos de unidad de producción, pero los volúmenes masivos en que es fabricado, lo hacen responsable de cerca del 9% de las emisiones globales de CO₂ (Aylard & Hawson, 2002); citado por (Vizcaíno, 2014).

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

El hormigón hidráulico es un material constituido por la mezcla de cemento, árido grueso, árido fino y agua, con o sin la incorporación de aditivos o adiciones, que desarrolla sus propiedades al hidratarse el cemento, según la (NC 120, 2007 Hormigón Hidráulico. Especificaciones). El hormigón es el segundo material más usado por el hombre, después del agua. Se estima que por cada habitante del planeta se producen como promedio 3 toneladas de hormigón cada año (Aylard & Hawson, 2002). Debido a su relativo bajo costo de producción y versatilidad, no se visualiza en el futuro cercano el reemplazo del hormigón por ningún otro material.

Este es un material elástico-plástico que presenta características especiales, siendo capaz en una estructura de redistribuir los esfuerzos hacia un estado de equilibrio. Presenta propiedades ventajosas tanto en estado fresco como endurecido y, aunque muchas de ellas dependen del tiempo y las condiciones ambientales de exposición, es de vital importancia su conocimiento tanto para el proyectista como para el constructor.

Generalmente, la resistencia a compresión del hormigón se determina sobre probetas ensayadas en laboratorio a los 28 días de edad y condiciones de curado normalizadas.

Dentro de las principales propiedades que posee el hormigón hidráulico se deben mencionar las siguientes: a) resistencia a la compresión; b) resistencia a la tracción y a la flexión; c) resistencia a la abrasión; d) permeabilidad; e) adherencia; f) porosidad; g) consistencia; h) retracción; i) compactación; j) docilidad; k) homogeneidad y l) laborabilidad.

Características físicas del hormigón en valores aproximados, son:

- Densidad: en torno a 23 kN/m^3
- Resistencia a compresión: de 150 a 500 kg/cm^2 (15 a 50 MPa) para el hormigón ordinario. Existen hormigones especiales de alta resistencia que alcanzan hasta $2\,000 \text{ kg/cm}^2$ (200 MPa).
- Resistencia a tracción: proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.
- Tiempo de fraguado: dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- Tiempo de endurecimiento: progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros.

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

- De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana 3/4 partes, y en 4 semanas prácticamente la resistencia total de cálculo.
- Dado que el hormigón se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el hormigón protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

Considerando al hormigón como el material de construcción más utilizado, se vuelve inmediata la consideración del alto consumo de materiales que ello implica, por lo que la necesidad de estudiar eco-materiales resulta fundamental en el momento de lograr un incremento de la sustentabilidad en la tecnología del hormigón.

1.2. Los eco-materiales y su importancia en los sistemas constructivos

El término eco-materiales fue creado por Eco-Sur en 1991 para denominar los materiales viables económica y ecológicamente (Vicente, 2014). Los eco-materiales promueven el uso de tecnologías tradicionales utilizando materiales locales, pero también nuevas interpretaciones y desarrollos. Sin embargo, a veces es difícil encontrar métodos y costumbres tradicionales en los lugares, ya que la propaganda para productos industriales ha marginado muchas soluciones populares (Benítez & Iglesias, 2011).

Los eco-materiales son materiales amigables, pues desde su proceso de extracción, elaboración, procesamiento e implementación para un uso determinado (construcción, protección, blindaje, confort, comodidad) no dañan el ambiente ni contaminan la atmósfera.

La producción y uso de los eco-materiales es cada vez más frecuente en una gran cantidad de países, y en muchos se han convertido en soluciones puntuales, con un impacto en los mercados locales. Su utilización en contextos diferentes, como en proyectos post desastres, en el combate a la pobreza, o en la vivienda comercial, hace de los eco-materiales una solución muy versátil.

Se puede explicar que: eco-material es un producto cuyos procesos de producción, de transportación, de aplicación, de vida en la obra, de final de vida, presentan globalmente, en comparación a los materiales clásicos, desempeños ambientales superiores en términos de consumo de energía no renovable, de consumo de recursos naturales, de

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

emisiones de gases de efecto invernadero y que no ponen en peligro la salud de los ocupantes y de los profesionales que lo aplican.

Son materiales de construcción similares a los tradicionales, pero fabricados a pequeña escala, con tecnologías apropiadas, empleando recursos y materias primas locales, fundamentalmente desechos agroindustriales, pueden ser fabricados localmente en pequeños talleres de trabajo y son adecuados para áreas rurales y urbanas. Los productos comercializados poseen alta calidad, y por ende, una creciente competitividad en los mercados locales. Esto incluye losas de tejado micro hormigón (MCR); cemento puzolánico (CP-40); bloques de hormigón pre-fundidos, donde el cemento Portland ha sido parcialmente reemplazado por CP-40; Vigas SIPRET; ladrillos de barro quemado de baja energía usando bio-residuos como combustible; y el uso de bambú en la construcción y el más actual el cemento de bajo carbono (LC3). (Martirena, 2005).

El LC3 es un cemento ternario, Portland de alta pureza (P35) con una mezcla de caliza y arcilla de origen caolinítico calcinada a temperaturas hasta 900°C. La proporción es de 50% de cemento Portland, 30% de arcilla calcinada y 20% de caliza. Este aglomerante alcanza una resistencia similar a la de los cementos Portland con adiciones activas y es más ecológico.

Con la colaboración de Suiza en proyectos de investigación y desarrollo, el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales CIDEM instaló en el país 47 talleres de eco-materiales, fomentando el aprovechamiento de las capacidades locales en función del mejoramiento del hábitat en las municipalidades del país.

Para fabricar estos materiales más ecológicos con desechos agroindustriales, cuyas propiedades satisfagan las exigencias de las normas, primero hay que comprender cómo se diseñan dichos materiales, conocer las características y propiedades de algunos residuos y sus aptitudes como potenciales materiales cementantes o como rellenos o agregados.

1.2.1. Particularidades de algunos eco-materiales utilizados en Cuba

El presente subepígrafe aborda la temática relacionada con los eco-materiales más producidos y utilizados a nivel nacional, los cuales son los encargados de disminuir el impacto económico y ambiental en nuestro país.

Entre esos eco-materiales se pueden mencionar:

- **Cemento puzolánico CP-40:** Es un aglomerante hidráulico, producido a partir de mezclar íntimamente y moler hasta fino polvo una combinación de hidrato de cal y puzolana, con una proporción promedio de 80% de puzolanas y 20% de cal. Este aglomerante alcanza baja resistencia mecánica, y su fraguado es más lento que el del cemento Portland. Dadas sus características, puede ser considerado como un cemento para aplicaciones de albañilería (Martirena, et al., 2000). Es posible sustituir hasta un 30% ó 40% del cemento Portland por el CP-40, sin afectar las propiedades mecánicas ni la durabilidad (CIDEM, 2007).
- **Tejas de micro concreto (TMC):** Es una teja de tecnología suiza, con distribuidores en América Latina y Cuba. El micro-concreto se define como un “concreto de altas prestaciones” y esa es la razón por la que una teja de TMC de 10mm de grosor pasará pruebas similares a las de un concreto industrial común, siendo estas mucho más gruesas y pesadas. La mezcla exacta de cemento con arenas bien graduadas y la adecuada vibración especialmente concebida para este material, así como las condiciones de curado casi perfectas, constituyen la clave para este nivel de calidad (ECOSUR, 2008).

Podemos decir que la teja de micro hormigón es una forma nueva de solución de techo. En la actualidad se fabrican varios tipos de tejas (solo la forma varía), la romana, la de canalón y además la de caballete y laterales. Están fabricadas con arena, cemento y colorante. Este tipo de teja es un material de cubierta cuyas cualidades térmicas, hidráulicas, acústicas, la duración y la resistencia mecánica a los impactos están igual o por encima de otros materiales de cubiertas ligeras (Matos, 2007).

- **Vigas SIPRET:** Esta tecnología se enmarca en darle solución a los techos de las viviendas, la cual propone una solución alternativa y viable para la ejecución de

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

cubiertas con teja de micro-concreto utilizando el hormigón armado para la conformación de un entramado de vigas.

En el caso de la cubierta, la estructura de soporte de la teja de micro-concreto ha sido casi siempre la madera, la que se hace cada vez más difícil por su precio y menos atractiva por el daño ecológico que ocasiona, al analizar alternativas a la madera, el campo de posibilidades no es amplio y prácticamente se resume en estructuras de metal y de hormigón.

La tecnología SIPRET se fundamenta en un entramado de vigas y correas de hormigón, en sus dos variantes, hormigón armado y hormigón pretensado, para recibir las tejas de micro-concreto, cuya distribución de los elementos en la cubierta se conforma en vigas espaciadas a 1,5m encima de los muros y correas espaciadas a 0,4m encima de las vigas para recibir las tejas de micro-concreto (Dopico, 2003).

Los elementos se fabrican con hormigón de granito de 30MPa, en hormigonera a pie de obra, con la utilización de aditivos, acero ordinario $\Phi 10\text{mm}$ ó $\Phi 12\text{mm}$ en carga y $\Phi 6\text{mm}$ en cercos en la variante de hormigón armado.

- Bloques huecos de hormigón con cemento puzolánico:

Al emplear mezclas combinadas de cemento Portland ordinario y cementos Cal-Puzolana CP-40 en la dosificación de un hormigón, manteniendo constante el peso total de aglomerante, trae como consecuencia un empobrecimiento de la calidad del aglomerante pero los bloques huecos de hormigón requieren bajas resistencias brutas (2,5 ~ 7MPa), por lo que el empleo de aglomerantes Cal – Puzolana como extensores del CPO resulta una buena práctica desde el punto de vista económico. Como índice de consumo para los bloques de 150x200x400mm que oscila sobre los 0,0040m³ de arena, 0,0057m³ de granito, 0,40-0,45kg de cemento CP-40 y 1,1kg de cemento P-35; mientras para los bloques de 100x200x400mm se emplean 0,0033m³ de arena, 0,0048m³ de granito, 0,35-0,40kg de cemento CP-40 y de 0,90-0,95kg de cemento P-35.(NC-247, 2005).

Con el desarrollo del Cemento de Bajo Carbono (LC3), la filosofía de los eco-materiales ha ido paulatinamente transcurriendo desde el ámbito local hasta la gran industria. Se pretende que en un futuro no muy lejano el país decida producir a gran escala este tipo de cemento, toda vez que se haya demostrado su superioridad técnica, económica y

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

ambiental. Con la aparición de este nuevo producto en el sector constructivo cubano, el espectro de los eco-materiales se amplía, así como el debate en torno a sus características se abre paso.

1.2.2. Desarrollo y uso del primer cemento ecológico elaborado en Cuba

A nivel mundial, en el sector de la construcción el principal material cementante es el cemento Portland, sin embargo su producción requiere altas temperaturas reflejándose en un elevado requerimiento energético, así como en la necesidad del uso de combustibles fósiles y elevado consumo de recursos naturales lo que afecta la sostenibilidad ambiental, por lo que este proceso es considerado altamente contaminante.

Esta situación ha llevado a la comunidad científica y las empresas productoras a considerar el uso de otras fuentes energéticas menos contaminantes y a incorporar materiales de adición mineral para la sustitución parcial del cemento (Carrasco, et al., 2005). Nuestro país no es la excepción, con el desarrollo vinculado de un conjunto de especialistas e investigadores del CIDEM, circunscrito en el proyecto internacional Cemento de Bajo Carbono (LC3), ha dado lugar al desarrollo de un nuevo tipo de cemento mezclado en Cuba, material ecológico y presumiblemente más económico. La ventaja evidente del cemento (LC3) con respecto a los cementos mezclados tradicionales radica en la posibilidad de elevar el nivel de sustitución de clínquer sin comprometer las propiedades finales del cemento.

El cemento ecológico resulta de gran utilidad en aplicaciones que no lleven refuerzo, es decir, en la producción de bloques de hormigón, tejas de techo, y en general en todos los trabajos de terminación, además de ser muy útil a la industria petrolera por sus propiedades refractarias (Martirena, 2013).

El LC3 es un tipo de cemento mezclado capaz de sustituir hasta un 40% del clínquer del cemento Portland ordinario (CPO) por un material cementicio suplementario (MCS) denominado metacaolín. El metacaolín es el producto obtenido de la calcinación de la arcilla caolinítica a una temperatura de entre 650-800°C. Este material en proporción del 30%, combinado en la molienda con un 48% de clínquer, 7% de yeso y un 15% de carbonato de calcio, Ver figura 1.1

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

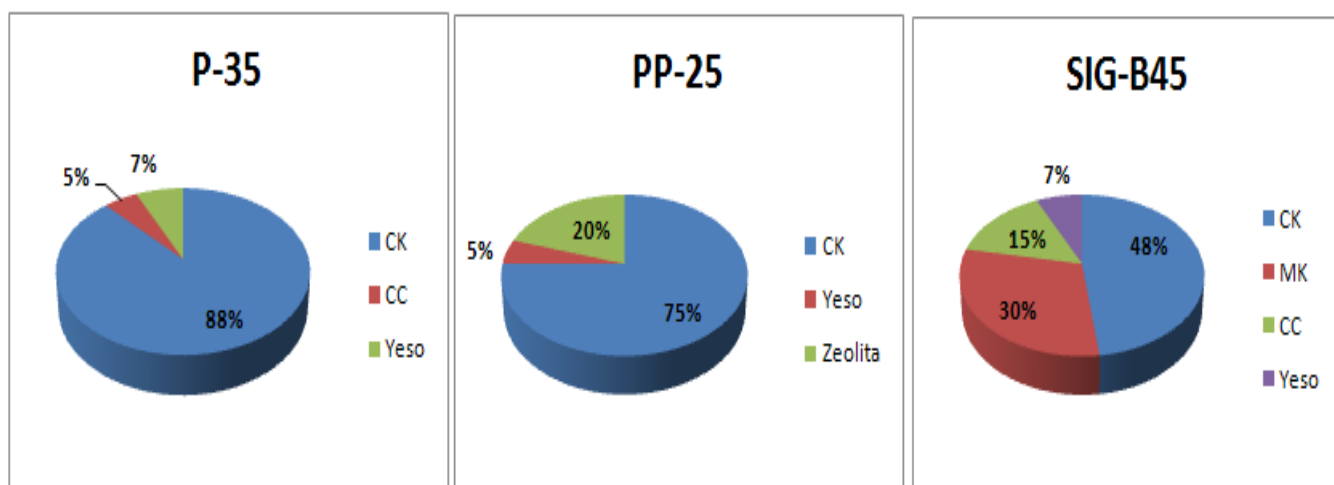


Figura 1.1. Composición de los principales tipos de cemento fabricados en Cuba
Fuente: Adaptado de Martirena (2013), Sánchez (2013) y Cancio (2014)

La utilización de metacaolín (MK) como aditivo en la producción de cementos constituye una de las medidas de sustentabilidad económica y ambiental de la industria cementera. El MK tiene un alto potencial puzolánico por su composición química, su alto grado de desorden estructural y su finura que le permite tener una gran superficie de reacción, favoreciéndose la capacidad aglomerante (Castillo, 2012).

El inconveniente del uso del MK se centra en la necesidad de disponer de arcillas puras en mineral caolín como materia prima para su producción, además de los altos costos de energía que exige su proceso de producción durante la calcinación. Formas viables de disminuir estas desventajas serían el empleo de arcillas de más bajo grado de pureza, unido a un eficiente proceso energético de producción durante su calcinación (Castillo, 2010).

La utilización de materiales locales, en este caso un suelo arcilloso con mineral caolinita de bajo grado de pureza, como fuente natural para la producción de puzolanas muy reactivas a partir de un tratamiento térmico por calcinación, es muy favorable para Cuba siendo este suelo arcilloso muy abundante en el país (Delgado, 2003), lo cual garantiza la disponibilidad de materia prima para posibles producciones de esta puzolana.

El cemento ecológico (LC3) se produjo por primera vez en nuestro país en la Fábrica de cemento Siguaney en la provincia de Sancti Spíritus bajo la denominación oficial de SIG-B45, en el año 2013; se produjeron en total 130 toneladas del material incipientemente a escala de prueba industrial, posteriormente utilizados en diversos usos, tanto para pruebas de ensayo como en aplicaciones prácticas.

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

Dentro de los usos dados al cemento producido, se realizaron aproximadamente 11 mil bloques huecos de hormigón, además de paneles, losas de cubierta, cimientos, postes de cerca, obras de fábrica, entre otros elementos para túneles. La producción fue muestreada y ensayada acorde a las regulaciones vigentes siendo dirigidas 22 toneladas a la Empresa de Producción Industrial UEB Remedios para fabricar elementos necesarios para las pruebas de laboratorio.

La resistencia a la compresión es un parámetro empleado habitualmente como criterio de control de la calidad para todas las producciones de hormigón, además, en este control se tiene en cuenta el % de absorción de agua para los bloques huecos de hormigón. Todos los hormigones y elementos fabricados alcanzaron resistencias mayores a la de diseño a los 28 días, y los bloques cumplieron los requerimientos en cuanto a la absorción. Los bloques huecos de hormigón presentaron dificultades a la edad de 7 días, lo cual es consistente con la caracterización realizada a la producción industrial del LC3.

También se produjeron baldosas que fueron utilizadas en la ampliación del parque ubicado frente al comedor central de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

En la obra Pasaje San Pedro, situado en Santa Clara, se emplearon 20 toneladas de LC3 para la elaboración de morteros en las actividades constructivas. Hoy se reconoce como la primera obra constructiva que utiliza LC3 en Cuba.

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

Tabla 1.1. Resumen de usos y destinos del cemento de bajo carbono producido en el 2013

Institución	Organismo	Uso	Cant. t
ENIA VC	MICONS	Certificación de dosificaciones	1,5
ECOT	MINFAR	Certificación de dosificaciones	1,3
CEINPET	CUPET	Evaluación cimentación pozos	0,5
Industria de Materiales de Construcción VC	MICONS	• 11000 bloques hormigón 15 MPa • 15000 baldosas de terrazo integral	44*
Empresa de prefabricados EPIVC	MICONS	Hormigón 20 y 25 Mpa prefabricados varios	22*
Empresa Constructora Militar # 3	MINFAR	Aplicaciones varias (cimientos, losas, bloques Phi, etc)	20
Empresa de Mtto. Constructivo VC	Gobierno VC	8000 bloques, talleres Manicaragua y Sagua La Grande	10
ECOAI-1 VC	MICONS	Construcción de objeto de obra	17
Constructores por esfuerzo propio	Constructor	Morteros de albañilería, hormigón 20 PMA en losa de cubierta	6
UCLV	MES	Mantenimiento	7
Total			130

Fuente: Reporte del repositorio documental del Proyecto “Cemento de Bajo Carbono”. Martirena (2014).

1.2.3. Valoración económica y ambiental del LC3 en condiciones industriales

El análisis económico preliminar de la introducción del cemento de bajo carbono por parte de la industria del cemento fue realizado a través de la comparación de los costos de producción de los principales cementos fabricados en la planta Siguaney: el P-35, con 88% de clínquer, el PP-25, con 75% de clínquer y la potencial manufactura del LC3 con 48% de clínquer (Vizcaíno, 2014).

El consumo de combustible representa el 42% de los costos de producción del clínquer de Siguaney, lo que lo convierte en un parámetro clave en los precios del cemento y la arcilla calcinada (Vizcaíno, 2014).

La reducción del costo total de producción del LC3 con respecto a los cementos P-35 y PP-25 es mostrada en la Figura 1.2. Bajo el esquema de costos descrito, el LC3 puede

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

ser producido con un 15% de reducción de los costos totales respecto al P-35 y un 5% respecto al PP-25.

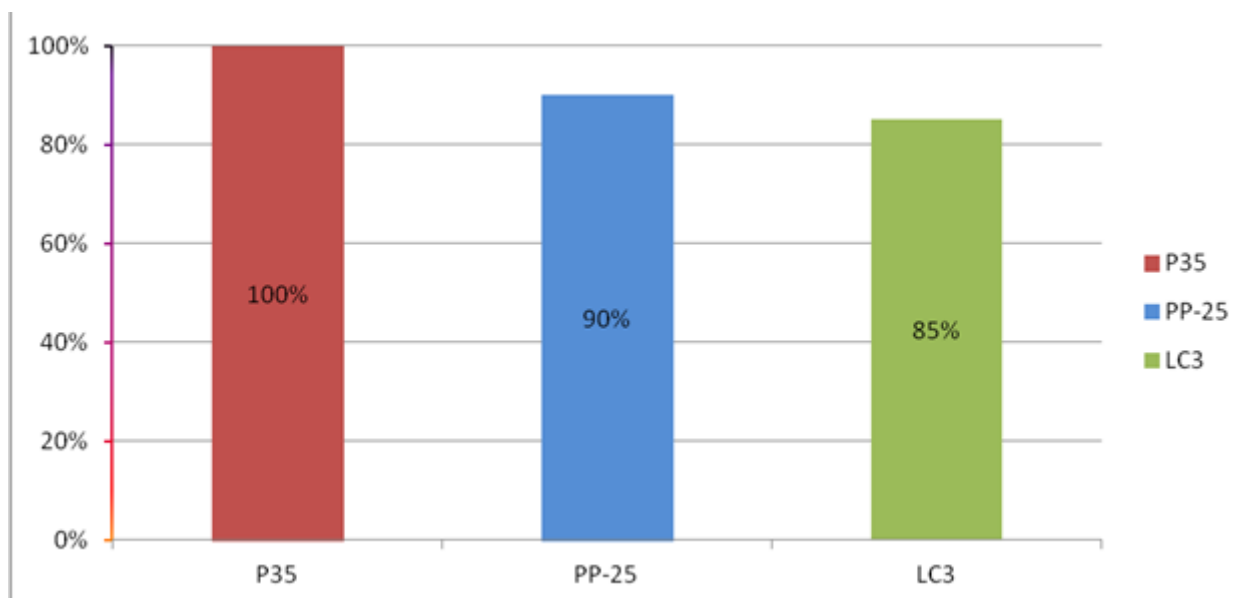


Figura 1.2 Reducción de los costos Totales con respecto al costo del cemento Portland P-35

Fuente: Adaptado de (Vizcaíno, 2014)

Con la producción industrial de este cemento con un factor de clínquer de 0.5 las emisiones de CO₂ estimadas muestran reducciones superiores a los 300 kg CO₂/t de cemento con respecto al P-35 y 200 kg CO₂/t de cemento respecto al PP-25, lo que significa que pueden ser reducidas entre un 25 – 35 % con respecto a la práctica diaria sin grandes cambios tecnológicos y con la posible reducción de los costos. En la figura 1.3 se muestran los resultados finales del cálculo de las emisiones de CO₂, donde LC3 fue producido en condiciones no optimizadas durante la prueba industrial. Reduce aproximadamente por cada tonelada de cemento obtenido 270 kg CO₂ en relación al P-35 y 150 kg CO₂ con relación al cemento mezclado tradicional (PP-25), ambos regularmente producidos en Siguaney (Vizcaíno, 2014).

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

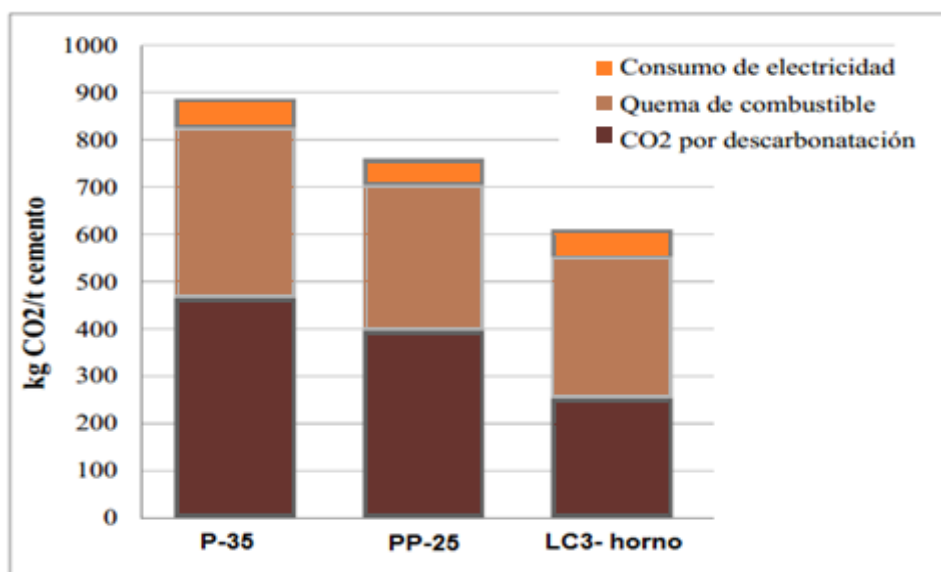


Figura 1.3 Emisiones de CO₂ asociadas a la producción del LC3 con 45% de adición, comparadas con la referencia P-35 y PP-25

Fuente: Adaptado de (Vizcaíno, 2014)

Para poder producir un cemento ajustado a los conceptos económicos y ambientales a los que se aspira, se emplea una de las estrategias más conocidas para la gestión ambiental como es la eco-eficiencia, que es una síntesis de la eficiencia económica y ecológica en paralelo. Estos dos aspectos son esenciales en el mundo de hoy, especialmente para países en desarrollo por lo que en el siguiente epígrafe se analiza algunos aspectos teóricos básicos sobre eco-eficiencia.

1.3. La eco-eficiencia como herramienta analítica para la gestión

Tal como se explica desde el propio diseño metodológico de la investigación, la unidad analítica fundamental con la cual se opera en la presente tesis es la eco-eficiencia. Este concepto devenido en filosofía empresarial para numerosos practicantes del mundo de los negocios a nivel mundial, constituye una herramienta de gestión económico-ambiental en el sentido estricto, y su aplicación en el sector de la construcción resulta sumamente valioso para el caso cubano. El presente epígrafe expone los fundamentos conceptuales de la eco-eficiencia y su relación con el propósito de este trabajo científico.

1.3.1. Surgimiento del concepto. Definiciones generales y básicas

El concepto de eco-eficiencia nace en 1991, cuando el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD², por sus siglas en Inglés) buscaba un término que armonizara los objetivos empresariales con el desarrollo sostenible. Entonces se inicia un plan guía con compañías pertenecientes al Consejo. Diez años más tarde la categoría de eco-eficiencia se encuentra utilizada en todo lugar, no sólo en países desarrollados y compañías transnacionales, sino también en programas políticos y gubernamentales, tal como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD, por sus siglas en Inglés³) (WBCSD & PNUMA, 1997).

De acuerdo con (Michelsen, et al., 2005); (Côté, et al., 2006); (Montes, 2008) y (Díaz, 2009), la eco-eficiencia fue acuñada formalmente y ampliamente difundida después de que Stephan Schmidheiny auspiciado por el WBCSD, presentara el libro *Cambiando el rumbo*, en la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas realizada en Río de Janeiro en 1992, más conocida como segunda Cumbre de Río o segunda Cumbre de la Tierra.

Es así como surge el término, que más tarde se convierte en concepto y de ahí en filosofía empresarial. Se trata de adoptar, desde el ámbito empresarial, un enfoque de mejora continua de los procesos de forma tal que se persigan simultáneamente los objetivos de reducir el impacto negativo al medio ambiente y el incremento del valor agregado de los productos de cara al cliente o al consumidor final.

La definición original de eco-eficiencia se encuentra en los diversos reportes del WBCSD, y plantea lo siguiente: La eco-eficiencia se obtiene por medio del suministro de bienes y servicios con precios competitivos, que satisfacen las necesidades humanas y dan calidad de vida, al tiempo que reducen progresivamente los impactos ecológicos y la intensidad de uso de los recursos a lo largo de su ciclo de vida, a un nivel por lo menos acorde con la capacidad de carga estimada de la Tierra (WBCSD & PNUMA, 1997). En pocas palabras, se relaciona con crear más valor con menos impacto.

De acuerdo con (OECD, 1998), la eco-eficiencia es la eficiencia con la cual los recursos ecológicos son utilizados para llenar las necesidades humanas y la define como una razón (ratio) de salida (el de productos y servicios producidos por una empresa, sector o

² World Business Council for Sustainable Development

³ Organization for Economic Cooperation and Development

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

economía completa) dividida por las entradas (la suma de las presiones ambientales generadas por la empresa, el sector o la economía). (Valor servicio o producto / Influencia del Valor ambiental).

Para (Kicherer, et al., 2007) la eco-eficiencia es una eficiencia ecológica y económica que mide el impacto medioambiental causado por unidad monetaria ganada. (De Simone & Popoff, 1997) Consideran la eco-eficiencia como la respuesta de las empresas al desafío del desarrollo sostenible. Para (Huppel & Ishikawa, 2005) la eco-eficiencia es un instrumento para el análisis de la sostenibilidad, indicando una relación empírica entre valor económico e impacto ambiental. (Kuosmanen & Kortelainen, 2005) Consideran útil el concepto de eco-eficiencia por dos razones: es el modo más efectivo de reducir los impactos ambientales, y además, las políticas derivadas son más fáciles de adoptar que las políticas que restringen el nivel de actividad económica.

La Agencia Ambiental Europea (EEA⁴), la cual intenta usar los indicadores de eco-eficiencia para cuantificar el avance hacia la sostenibilidad a nivel macro, define eco-eficiencia como “más bienestar por menos naturaleza” y apunta que se logra separando el uso de los recursos naturales de la contaminación producida en el desarrollo económico.

Siguiendo los criterios que dan los autores anteriores se puede definir por eco-eficiencia la síntesis de la eficiencia económica y ecológica en paralelo, donde el prefijo eco representa ambas, economía y ecología, además el concepto está asociado al concepto de sostenibilidad que incluye los tres pilares básicos del desarrollo sustentable: desarrollo económico, ambiental y social.

Además, en el presente estudio se asume que la eco-eficiencia implica llevar a un nivel micro la definición de desarrollo sostenible y un cambio de pensamiento dentro de las organizaciones, ya que significa tener metas comunes, tanto financieras como ambientales y sociales. Hay que aclarar que tiene sentido para las organizaciones empresariales, pero funciona también a nivel de la gestión pública, de forma que hoy día se habla de agendas políticas de los gobiernos en función de planes de eco-eficiencia.

Por otro lado la eco-eficiencia es una estrategia de negocio, una iniciativa empresarial, orientada a impulsar la mejora continua en el desarrollo ambiental industrial como en su desempeño económico (Santillán & Paola, 2014).

⁴ European Environmental Agency

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

Sin embargo, eco-eficiencia no se limita a incrementar la eficiencia en prácticas y hábitos existentes. Por el contrario, la eco-eficiencia debe estimular la creatividad y la innovación en la búsqueda de nuevas maneras de hacer las cosas.

La categoría de eco-eficiencia es, como toda categoría científica, interpretada según la ideología del que la utilice. Por ejemplo, algunos reportes del WBCSD consideran que la eco-eficiencia por sí misma no es suficiente, porque comprende solo dos de los tres aspectos de la sostenibilidad, la economía y la ecología, quedando fuera el progreso social, el cual constituye un pilar importante del desarrollo sustentable. En este sentido, en este trabajo se asume que la gobernación pública debe adoptar un rol trascendente con el fin de armonizar los objetivos de eco-eficiencia de las agendas de los empresarios, con los propósitos a escala de la sociedad.

Instrumentar la eco-eficiencia es un enorme reto para los especialistas de todas las áreas de la empresa, porque en cualquiera de ellas se puede encontrar o identificar oportunidades eco-eficientes. Más aún, estas oportunidades no se reducen exclusivamente a los límites internos de la organización, en ellas se involucran las actividades y funciones de otras entidades vinculantes a lo largo de la cadena productiva, por lo que se encuentra involucrada toda la cadena de valor del producto. Las oportunidades de eco-eficiencia pueden emerger en cualquier punto de la cadena de suministro. Es por ello que el tema de los encadenamientos o enlaces productivos adquiere relevancia en este contexto.

1.3.2. Objetivos generales de eco-eficiencia

El concepto de eco-eficiencia es clave para ayudar a las empresas, gobiernos y otras organizaciones a alcanzar la sostenibilidad (Lehni, 2000). La eco-eficiencia se propone tres objetivos principales:

1. Reducir el consumo de recursos: esto incluye minimizar el consumo de energía, materiales, agua y terreno, aumentar la reciclabilidad y la durabilidad del producto, y cerrar el ciclo de los materiales.
2. Reducir el impacto en la naturaleza: incluye minimizar las emisiones, vertimientos, disposición de residuos y la dispersión de sustancias tóxicas. También incluye el apoyo al uso sostenible de los recursos naturales.
3. Suministrar más valor con el producto o servicio: Significa dar más beneficios a los

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

usuarios, por medio de la funcionalidad, la flexibilidad y la modularidad del producto, entregando servicios adicionales y enfocándose a vender la solución a las necesidades de los clientes. Esto abre la posibilidad para que el usuario dé satisfacción a sus necesidades, con un menor consumo de materiales y recursos.

¿Cómo lograr que se cumplan los objetivos?

La eco-eficiencia busca que las empresas (entiéndase empresa por cualquier tipo de actividad productiva, ya sea industrial, mediana, pequeña y microempresa) logren más valor con menos gasto de materiales y energía, además de reducir las emisiones. La estrategia aplica a través de todo el proceso, desde la manufactura y distribución, hasta el mercadeo y desarrollo del producto. El WBCSD ha identificado siete elementos que las empresas pueden usar para mejorar su eco-eficiencia: 1) reducir el uso del material; 2) reducir la dispersión de sustancias tóxicas; 3) ampliar el reciclaje; 4) maximizar el uso de recursos renovables; 5) extender la durabilidad del producto, 6) incrementar el alcance del servicio.

Estos elementos conllevan al beneficio de los tres objetivos generales que plantea la eco-eficiencia.

1.3.3. Instrumentos de medición de eco-eficiencia

La instrumentación práctica de eco-eficiencia de acuerdo con los reportes que se tienen de empresas que han adoptado el concepto, tiene sus bases en los documentos-reportes emitidos por el WBCSD desde el 1992 a la fecha. El WBCSD ha explorado maneras de medir y reportar el desempeño total eco-eficiente de una empresa, con indicadores relativos de eco-eficiencia. La medición es de gran importancia pues soportará posteriormente las interpretaciones que de ella se deriven, las comparaciones, por tanto, debe contener suficiente coherencia interpretativa.

En un reporte elaborado por el WBCSD, *Midiendo la Eco-eficiencia—Una guía para reportar el desempeño empresarial*—, se muestran las formas de medir la eco-eficiencia.

En dicho reporte, el WBCSD presenta un marco que puede ser usado para medir el progreso hacia la sostenibilidad económica y ambiental, el marco es suficientemente flexible para ser usado ampliamente, e interpretado con facilidad a través de toda la gama de negocios, al tiempo que suministra un conjunto común de definiciones, principios e

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

indicadores.

El concepto define dos tipos de indicadores para ayudar a las compañías a mantener flexible su sistema de reportes; esto permite una toma de decisiones internas más eficiente y satisface los requerimientos de las partes interesadas.

- Los primeros son válidos para virtualmente todos los negocios. Se les denomina indicadores de “aplicación general” o “genéricos” y están considerados por la mayoría de los modelos.
- Los segundos se ajustan al contexto particular de compañías individuales y no necesariamente son aplicables para las demás compañías; son llamados indicadores “específicos del negocio”.

(Verfaillie & Bidwell, 2000), (CEBDS, 2003), (Michelsen, et al., 2005), (Montes, 2008), (Sinkin, et al., 2008) se ajustan también a estos indicadores de eco-eficiencia.

Según (Oss & Padovani, 2003), la industria de cemento requiere una importante atención en lo que se refiere a la preservación ambiental, ya que los procesos para la producción de sus productos presentan elevados índices de consumo de energía y materias primas y emisiones atmosféricas, principalmente dióxido de carbono, además de importantes emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y elementos en partículas.

La eco-eficiencia une las dos eco-dimensiones de la ecología y la economía, al relacionar el valor del producto o servicio con su influencia ambiental. La eco-eficiencia puede ser representada por el siguiente indicador relativo:

$$\frac{\text{Desempeño Económico}}{\text{Desempeño Ambiental}}, \text{ o alternatively, } \frac{\text{Desempeño Ambiental}}{\text{Desempeño Económico}}$$

Los autores (Verfaillie & Bidwell, 2000); (Lehni, 2000); (Magerholm Fet & Michelsen, 2002) y (Erkko, et al., 2005), coinciden que la eco-eficiencia se mide por las fórmulas anteriores.

(Schaltegger, 1996) aporta una evolución a esta definición. Subraya que la eco-eficiencia puede dividirse en 2 subconjuntos: la eco-eficiencia “producto” y la eco-eficiencia “función”.

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

$$\text{Ecoeficiencia del Producto} = \frac{\text{Producto deseado}}{\text{Suma de los impactos medioambientales}}$$

$$\text{Ecoeficiencia del Producto} = \frac{\text{Función deseado}}{\text{Suma de los impactos medioambientales}}$$

Esta distinción es importante puesto que incluye un punto de vista más amplio al centrarse en la función que desempeña los productos.

El WBCSD recomienda a las compañías integrar la información de eco-eficiencia dentro de su proceso de toma de decisiones y de comunicaciones. Internamente, debería formar parte del día a día de los sistemas de gestión. Externamente, los indicadores de eco-eficiencia se podrían dar a conocer en los reportes corporativos, ambientales o de sostenibilidad, como uno de los elementos integradores entre los tres pilares de la sostenibilidad. También se podría incluir en los reportes financieros existentes como una adición al reporte de estados financieros.

Adicionalmente a los reportes del WBCSD acerca de cómo medir e instrumentar en la práctica empresarial el concepto de eco-eficiencia, se cuenta con la norma ISO-14045-2012: Gestión medioambiental. Evaluación de eco-eficiencia de sistemas productivos. Principios, requerimientos y directrices. Esta norma establece un marco internacional de referencia mediante un procedimiento para la evaluación de eco-eficiencia en cualquier sistema-producto. La misma es de carácter general y carece de herramientas particulares que puedan ser aplicadas a sectores económico-productivos específicos, como por ejemplo, el sector de la construcción. Es por ello que se hace patente la necesidad de adaptar el procedimiento que contiene la norma ISO-14045 al caso cubano, contextualizado en la evaluación de soluciones constructivas, que es finalmente el objetivo de la presente investigación. El procedimiento de la ISO es contentivo de las siguientes fases:

- a) Definición de objetivo y alcance (incluye límites del sistema, interpretación y limitaciones)
Identificación del sistema o sistemas y caracterización de los escenarios a evaluar. En los procesos constructivos, el sistema de producción determina las prácticas constructivas a realizar, pudiéndose considerar por tanto distintos escenarios de producción. En efecto,

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

se realizará una descripción exhaustiva y cuantitativa de los escenarios a contemplar en el estudio.

Definición de la unidad funcional. La unidad funcional es la unidad de referencia a utilizar en el estudio y refleja la función principal producida por el sistema productivo. Se le asignará un valor numérico concreto para la ejecución de los cálculos. Por tanto, todos los resultados del estudio vendrán referidos a la unidad funcional. Al usar la misma unidad de referencia para los distintos escenarios se consigue que sean comparables entre sí de forma inmediata.

Definición de los límites del sistema. Es la definición clara de qué es lo que se incluye en el mismo y qué es lo que queda fuera. De acuerdo con los objetivos del estudio se puede decidir incluir sólo el proceso productivo en sí (prácticas constructivas) o también otras etapas como la producción o extracción de materias primas.

b) Evaluación medioambiental

En la fase de evaluación ambiental, se explicita que dicha evaluación se debería realizar utilizando la herramienta Análisis de Ciclo de Vida (ACV), cuyo marco de referencia se refrenda en la norma ISO-14040.

El ACV constituye una herramienta reconocida y aceptada que tiene por objeto analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica el impacto ambiental ocasionado por los productos desde su origen, como la extracción de las materias primas necesarias para su fabricación, hasta que dichos productos se consumen y se convierten en residuos, pasando por el procesado del producto. Es por tanto una herramienta de gestión que sirve para evaluar el comportamiento ambiental de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida. Los pasos a seguir para la realización de un ACV se recogen en la serie de normas ISO 14040. Un ACV se inicia con la definición de los objetivos y alcance del sistema, que incluye la definición de la unidad funcional y una descripción del sistema o sistemas a estudiar.

Las categorías de impacto ambiental usualmente consideradas en un ACV son: efecto invernadero, disminución del ozono estratosférico, lluvia ácida, eutrofización, toxicidad y agotamiento de recursos no renovables. El resultado para cada categoría de impacto se determina multiplicando los recursos agregados utilizados y las emisiones agregadas de cada sustancia por un factor de caracterización para cada categoría de impacto a la que potencialmente puede contribuir. Estos factores de caracterización son específicos de

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

cada sustancia y cuantifican la presión ambiental adicional por unidad de emisión de cada sustancia (Basset-Mens & Van de Werf, 2005).

c) Evaluación del sistema de valor asociado al producto

La evaluación económica de una actividad productiva implica llegar a una medida absoluta o relativa de la rentabilidad de la misma. La medición del valor y la agregación de costes están claramente definidas, para ello se emplean técnicas de acumulación de costes a lo largo del proceso de producción o bien de medición de resultados como el análisis costo beneficio.

d) Cuantificación de la eco-eficiencia

e) Interpretación (incluye valoración sobre la calidad de los resultados)

(Montes, 2008) Aplicó la eco-eficiencia en la producción de mezcal en la ciudad de Oaxaca, México. Se analizaron 17 lotes de producción de mezcal artesanal elaborados entre los años 2005-2007 por la empresa Destilería los Danzantes. Para la cuantificación de la eco-eficiencia el autor utilizó la fórmula básica de la eco-eficiencia, calculando el desempeño económico y ambiental por cada indicador según el proceso de producción, para luego estimar la eco-eficiencia. Se pudo observar que cuando aumentaba el desempeño económico también lo hace el desempeño ambiental pero a una tasa de crecimiento menor, lo cual se ve reflejado en el nivel de eco-eficiencia de cada lote donde se logró aumentar significativamente la eco-eficiencia entre los años 2005-2007.

1.3.4. Elementos necesarios en los reportes de eco-eficiencia

El WBCSD propone que los siguientes cinco elementos sean incluidos en todos los reportes de eco-eficiencia de una empresa:

- Perfil de organización: Suministra un contexto para la información de eco-eficiencia; debería incluir: el número de empleados, los segmentos del negocio involucrados, productos primarios y los principales cambios en la estructura de la empresa.
- Perfil de valor: Indicadores de la parte “valorable” del marco del WBCSD; incluyen: información financiera, cantidad de productos o indicadores de funcionalidad de productos específicos.
- Perfil Ambiental: Incluye los indicadores de aplicación general y los indicadores

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

específicos del negocio, relacionados con la creación y uso del producto.

- Indicadores relativos de eco-eficiencia: Adicionalmente a suministrar los datos del numerador y el denominador para estimar la eco-eficiencia, las empresas también pueden querer mostrar los cálculos de los indicadores de eco-eficiencia que consideren de mayor relevancia y significado para su negocio.
- Información metodológica: Describe el método utilizado para seleccionar los indicadores, la metodología de recolección de información y cualquier limitación en el uso de los datos.

1.3.5. La eco-eficiencia en el contexto cubano

En Cuba, hasta el año 2014, no existían reportes bibliográficos de aplicación del concepto de eco-eficiencia. Sin embargo, constaba una extensa agenda de trabajo encaminada a la gestión medioambiental impulsado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, así como sus instituciones adscritas, como pueden citarse las Unidades de Gestión Ambiental existentes en todas las provincias del país, los Centros de Estudios y Servicios Ambientales, entre otras. Las empresas cubanas son supervisadas directamente por las Unidades de Medio Ambiente del CITMA de sus respectivos territorios, y se realiza asesoría en temas relacionados con la gestión ambiental de sus procesos productivos y de servicios.

Una de las estrategias más conocidas para la gestión ambiental es la eco-eficiencia, que implica llevar a un nivel micro la definición de desarrollo sostenible y un cambio de pensamiento dentro de las organizaciones, ya que significa tener metas comunes, tanto financieras como ambientales y sociales. Sin embargo, no existen evidencias en nuestro país de implementación de un sistema de gestión ambiental que involucre los conceptos de desarrollo ambiental al mismo tiempo que el desarrollo económico. Por lo que se debe estimular un cambio en el manejo de los sistemas de gestión, que incorporen las oportunidades de eco-eficiencia en el centro de las agendas políticas y empresariales en los distintos territorios del país y a lo largo de todo el entramado empresarial.

Existen reportes bibliográficos recientes que utilizan la herramienta de eco-eficiencia para demostrar la superioridad económica y ambiental del cemento cubano de bajo carbono. (Vicente, 2014) analiza, por medio de 3 escenarios combinados de utilización de

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

diferentes tipos de cemento (P-35, PP-25 y LC3), el efecto eco-eficiente de un metro cuadrado de muro. En dicha investigación se utiliza información factual relacionada con la obra constructiva Pasaje de San Pedro, de la ciudad de Santa Clara, la cual constituye la primera aplicación del LC3 en construcciones reales en Cuba. El autor demuestra la posibilidad de obtener un incremento de eco-eficiencia en torno al 45% mediante el uso de soluciones constructivas del cemento LC3.

(García, 2014) Estudia la factibilidad de sustituir potencialmente cemento P-35 por LC3 en una aplicación de edificación tipo Gran Panel IV Modificado, reparto Van Troi II de la ciudad de Caibarién. (Fuentes, 2014) Estudia la eco-eficiencia de un edificio construido con tecnología FORSA en el mismo reparto de Caibarién. Ambos trabajos demuestran la posibilidad de obtener incrementos de eco-eficiencia en torno al 50% como resultado de la sustitución absoluta del cemento tradicional por el cemento ecológico.

La cadena productiva y sus procesos intrínsecos no constituyen objeto de estudio directo de la presente investigación. Sin embargo, su tratamiento resulta inobjetable para el análisis de eco-eficiencia de un sistema-producto, debido a que justamente es en la cadena productiva donde cobra sentido dicho concepto por lo mencionado anteriormente. En el caso concreto que ocupa el presente trabajo, eco-eficiencia de un elemento producido con aplicaciones de cemento de bajo carbono podría ser determinada y evaluada a partir de las interacciones que se producen entre las entidades productivas en el entramado de la red de suministro. El mapeo de la cadena permite identificar los flujos de entrada y salida en cada punto crítico del sistema productivo objeto de estudio, lo cual resulta determinante en el cálculo de costos, consumo de combustible, electricidad y otros flujos que son por naturaleza fuentes de emisiones ambientales.

1.4. Cadena productiva: nociones conceptuales

El concepto de cadena productiva ha sido utilizado para mejorar la competitividad de los sistemas de diferentes unidades empresariales de cara al proceso de generación de valor y el papel que cumple cada una de las empresas que intervienen en el mismo.

La literatura internacional da cuenta de algunos aportes que contribuyeron a la conformación del concepto actual de cadena productiva. Los primeros trabajos de (Hirschman, 1958) sobre el desarrollo económico fueron pioneros en proponer que la existencia de “encadenamientos” de cooperación entre firmas explicaba los mejores

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

niveles de generación de riqueza en las economías industrializadas del primer mundo.

(Posadas, 2005) define a las cadenas productivas como los itinerarios por los cuales transcurre un producto o un servicio determinado dentro del sistema de producción-transformación-distribución, así como de sus diferentes encadenamientos.

Las cadenas productivas tienen su origen conceptual en la escuela de planeación estratégica, criterios manejados por la CEPAL. Según esta escuela, la competitividad de una empresa se explica no solo a partir de sus características internas a nivel organizacional o micro, sino que también está determinada por factores externos asociados a su entorno.

(Porter, 2000) Planteó el concepto de “cadena productiva” para describir el conjunto de actividades que se llevan a cabo al competir en un sector y que se pueden agrupar en dos categorías: en primer lugar están aquellas relacionadas con la producción, comercialización, entrega y servicio de posventa; en segundo lugar se ubicarían las actividades que proporcionan recursos humanos y tecnológicos, insumos e infraestructura. Según este autor, cada actividad (de la empresa) emplea insumos comprados, recursos humanos, alguna combinación de tecnología y se aprovecha de la infraestructura de la empresa con la dirección general y financiera.

El concepto de enlaces utilizado por Porter para definir la cadena de valor de la firma y el sistema de valor para el conjunto de firmas coincide con el concepto de encadenamientos propuesto por Hirschman (Isaza, 2006). Sin embargo para estos dos autores el contexto teórico resulta bastante distinto donde Porter se basa en la planeación estratégica, mientras Hirschman en la teoría del desarrollo económico, pero ambos coinciden en que el progreso económico reside en el nivel de cooperación que se establece entre las empresas para elevar la eficiencia en el proceso productivo a lo largo de toda la cadena productiva.

En cuanto a los enlaces o eslabones de cadena, Porter plantea lo siguiente:

La cadena de valor de una empresa es un sistema interdependiente o red de actividades, conectado mediante enlaces. Los enlaces se producen cuando la forma de llevar a cabo una actividad afecta el coste o la eficacia de otras actividades. Frecuentemente, los enlaces crean situaciones en las que si se opta por algo tiene que ser a cambio de renunciar a otra cosa, sobre todo en lo que se refiere a la realización de diferentes actividades que deben optimizarse.

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

Hasta aquí, lo señalado por Porter hace referencia a la cadena de valor al interior de la empresa, lo cual no es equivalente a una cadena productiva. Sin embargo, tal autor señala que la cadena de valor a nivel de una firma hace parte de un sistema que él denomina “sistema de valor”. El sistema de valor incorpora las cadenas de valor de los proveedores, los minoristas y los compradores. De allí es factible plantear que “cadena productiva” y “sistema de valor” a la Porter son conceptos equivalentes. En la figura 1.4 se muestra el esquema básico de una cadena productiva, en su forma más simplificada.

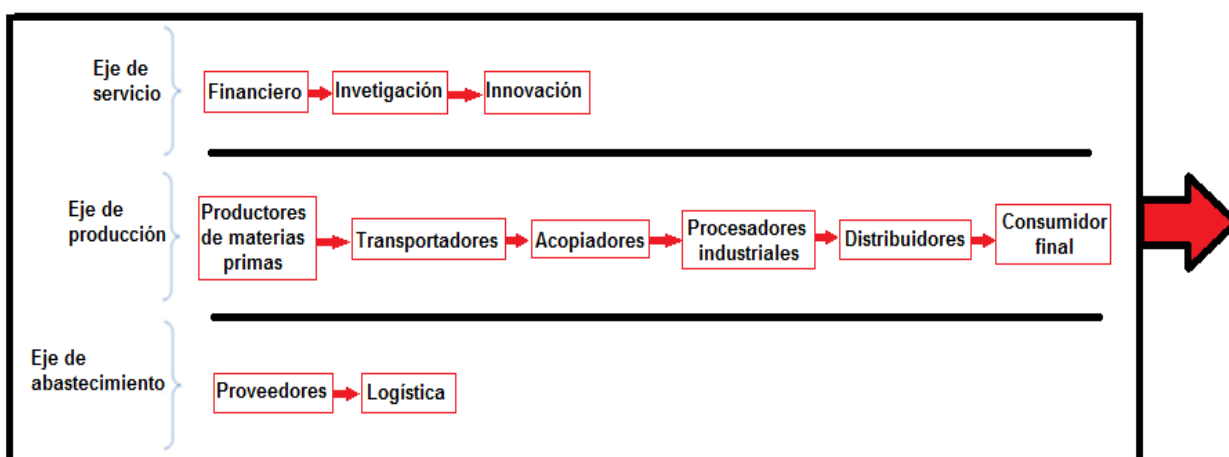


Figura 1.4 Esquema de una cadena productiva

Fuente: Elaboración propia

Se considera que la cadena productiva es un sistema de actividades económicas (primarias, manufactureras, logísticas, de distribución y comercialización, servicios, etc.) que establecen entre sí relaciones derivadas de la pertenencia a un mismo proceso productivo (en cualquiera de sus fases, desde las primarias, pasando por las de transformación, hasta la comercialización y postventa).

La cadena productiva puede definirse como “un conjunto estructurado de procesos de producción que tiene en común un mismo mercado y en el que las características tecno-productivas de cada eslabón afectan la eficiencia y productividad de la producción en su conjunto” (ONUDI, 2004). De esta manera, la cadena productiva podría caracterizarse como el conjunto de empresas integradas alrededor de la producción de un bien o servicio y que van desde los productores de materias primas hasta el consumidor final.

Cadena productiva es un sistema conformado por actores con características y roles específicos, que desarrollan actividades interrelacionadas e interdependientes alrededor de la evolución de un producto, desde la producción hasta su consumo, con el fin de generar competitividad para el desarrollo local (Salazar & Van der Heyden, 2004).

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

Cadena productiva es el conjunto de operaciones planificadas de transformación de unos determinados factores o insumos en bienes o servicios mediante la aplicación de un procedimiento tecnológico. Una cadena productiva consta de etapas consecutivas a lo largo de las que diversos insumos sufren algún tipo de transformación, hasta la constitución de un producto final y su colocación en el mercado. Se trata, por tanto de una sucesión de operaciones de diseño, producción y de distribución integradas, realizadas por diversas unidades interconectadas como una corriente, involucrando una serie de recursos físicos, tecnológicos y humanos (Cárdenas, 2014).

Según lo visto por los autores anteriores el autor define cadena productiva como todas las etapas realizadas para elaborar, distribuir y comercializar un producto o servicio hasta su consumo final. Además, el ámbito de análisis de la cadena está definido por los espacios en los cuales existen interrelaciones sociales, técnicas, económicas, institucionales y culturales, que permiten el desarrollo de un producto, desde la producción hasta el consumo.

Se puede decir también que las cadenas productivas se subdividen en eslabones, los cuales comprenden conjuntos de empresas con funciones específicas dentro del proceso productivo. Es factible que cada uno de los eslabones de la cadena se pueda subdividir, a su turno, en otros grupos de empresas. Pero hay que aclarar que las actividades que las empresas desarrollan dentro de la cadena no son aisladas, sino que contribuyen unas al desarrollo de otras. Las intervenciones en un eslabón tienen efectos en el resto de la cadena, por esta razón, la lógica de eficiencia de la cadena orienta a buscar una sinergia entre los actores y el desarrollo del sistema en su conjunto.

Es de gran importancia el estudio de las cadenas productivas para el análisis de eco-eficiencia ya que para realizar este último correctamente, es preciso recorrer todos los nodos productivos que se involucran en la obtención de un producto terminado. De acuerdo con el concepto anteriormente manejado, la eficiencia de las actividades y/o procesos predecesores comprometen la eficiencia de los procesos ulteriores, por lo que el estudio detallado de cada punto crítico de encadenamiento resulta esencial en el estudio. Se analiza, por ejemplo, un determinado material de construcción o edificación, desde las materias primas que lo componen, sus procesos productivos en conjunto, su uso, los residuos generados por su distribución y transporte, hasta el consumo final.

Las emisiones ambientales de un sistema constructivo no son el resultado de su disposición final, más bien son la agregación de flujos ambientales generados desde la

CAPÍTULO I: LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS Y LAS APLICACIONES DEL CEMENTO DE BAJO CARBONO: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

extracción de las materias primas en los depósitos o canteras, pasando por la fabricación de materiales intermedios hasta su imbricación en el producto final. Similar mecanismo ocurre en el manejo de los costos de producción. Altos costos iniciales de producción generan ineficiencia en las actividades subsiguientes porque los costos son acumulativos a lo largo de toda la cadena o ciclo de vida del producto. Por todo lo anteriormente expuesto se puede afirmar que el enfoque de cadenas resulta pertinente e insoslayable en un estudio de eco-eficiencia.

CAPÍTULO II: Descripción del procedimiento metodológico a implementar en la obra (Vivienda UAM en Santo Domingo) y caracterización de toda la cadena productiva

En el presente capítulo se describe el procedimiento metodológico aplicado en la investigación, se explican brevemente las funciones de las entidades económicas que intervienen en el proceso constructivo de la obra en estudio. Además, se detallan las características del sistema constructivo y la tecnología utilizada en la ejecución de la obra. Resulta importante aclarar que en construcción de la obra objeto de estudio no se utilizó (LC3), pero para el desarrollo de esta investigación se asumirá el criterio de sustituir los cementos tradicionales empleados en Cuba (P-35 y PP-25) por cemento de bajo carbono LC3.

2.1. Procedimiento metodológico aplicado en la investigación

En el presente epígrafe se expone detalladamente el procedimiento que se aplica en la investigación para la evaluación de eco-eficiencia. Su síntesis queda contenida en el diagrama de la figura 2.1. El procedimiento fue desarrollado por Cancio (2014), y es contentivo de las mejores experiencias en el ámbito internacional, tomando como referencias la Norma ISO-14 045: 2012. Gestión medioambiental: Evaluación de eco-eficiencia de un sistema productivo. Principios, requerimientos y directrices; así como toda la serie de Normas ISO-14 040:1997 hasta la 14 049, relacionadas con el Análisis de Ciclo de Vida de productos-sistema.

El procedimiento consta de 5 fases y 16 etapas, integradas orgánicamente. A saber, Fase I: Definición de objeto y alcance; Fase II: Caracterización de la cadena productiva asociada al sistema-producto seleccionado; Fase III: Creación del inventario de datos: materiales, energía y valor; Fase IV: Determinación de los indicadores de eco-eficiencia; y Fase V: Reporte del Perfil de eco-eficiencia e interpretación. Seguidamente se ofrece la explicación pormenorizada del contenido de las etapas del procedimiento.

La Norma ISO-14 045 ha servido de plataforma metodológica para aplicaciones más particulares, sin embargo, tiene un carácter general, esto es, puede ser aplicada a

cualquier producto o servicio y a cualquier sector productivo de bienes y/o servicios. Ello origina la necesidad de desarrollar instrumentos más contextualizados tanto a sistemas productivos enmarcados en sectores económicos específicos, como a espacios geográficos determinados. Hoy en día la eco-eficiencia se instrumenta en cientos de empresas y países, sin embargo, las condiciones propias del sistema socioeconómico cubano determinan nuevos requerimientos para la evaluación de eco-eficiencia, de manera que se puedan ofrecer coherentes y utilitarias interpretaciones.

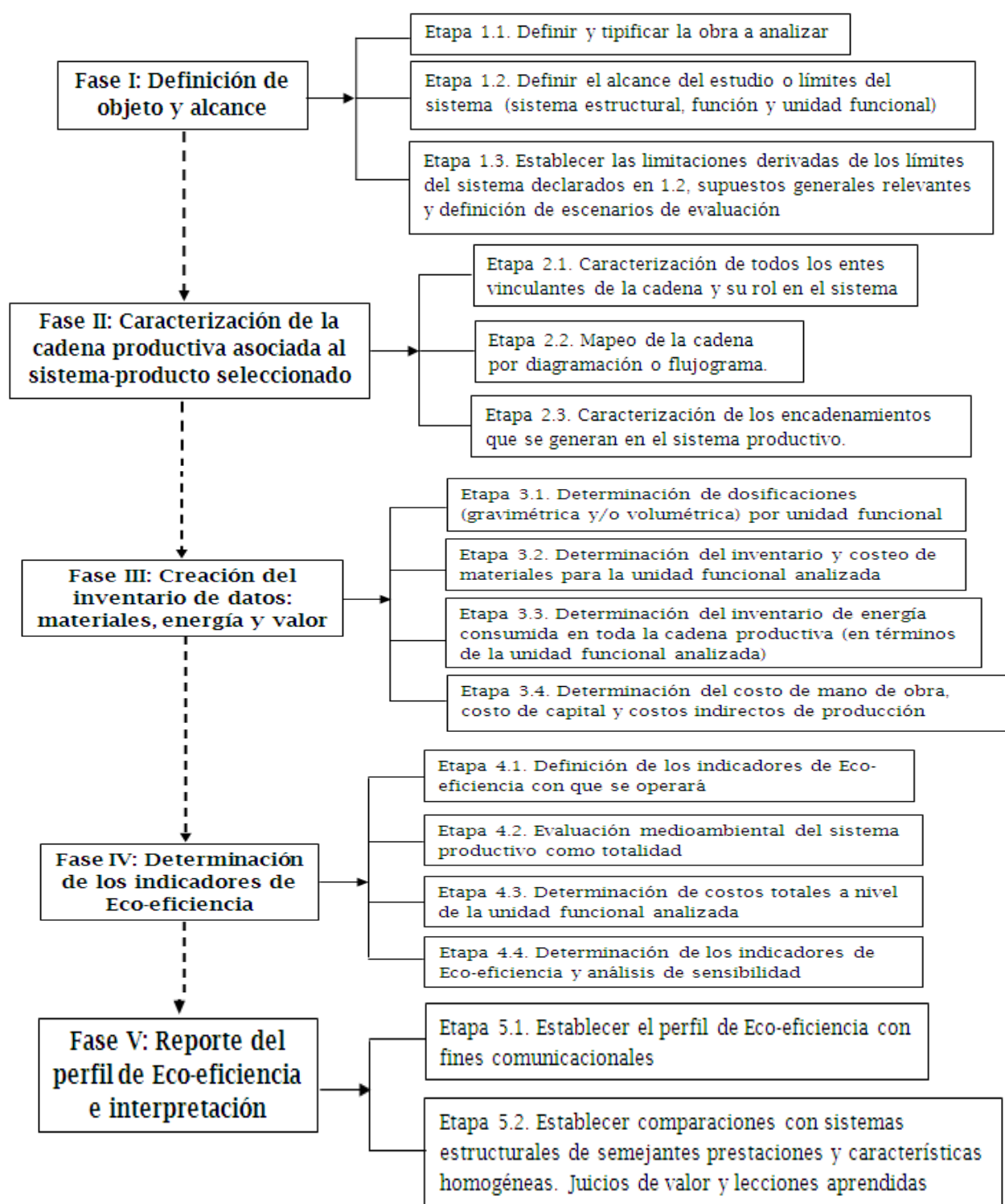


Figura 2.1. Procedimiento para la evaluación de eco-eficiencia en sistemas estructurales
 Fuente: Cancio (2014)

Objetivo del procedimiento: Diseñar un instrumento metodológico para realizar evaluaciones de eco-eficiencia en edificaciones cubanas.

2.1.1. Fase I. Definición de objetivos y alcance

La Fase I establece los límites de sistema con que se operará en el estudio de eco-eficiencia, declarando la(s) unidad(es) de análisis y el alcance.

Etapla 1.1. Definir y tipificar la obra a analizar. En esta etapa se declara la obra objeto de estudio, especificando si es un edificio multifamiliar, apartamento, vivienda independiente. Se enuncian todos los aspectos identificativos de la obra, su clasificación como sistema constructivo, tecnología constructiva empleada y sus características esenciales.

Etapla 1.2. Definir el alcance del estudio o límites del sistema (sistema estructural, función y unidad funcional). En esta etapa debe quedar declarado el ámbito del estudio de eco-eficiencia. Como se trata de obras constructivas, el límite del sistema a analizar dependerá del sistema estructural que comprenderá el estudio. Se puede alcanzar, en el más abarcador escenario, una edificación en su totalidad, o en su defecto, dependiendo de las condiciones concretas, se podría analizar un sistema estructural compuesto por paneles y losas, una unidad habitacional, un metro cuadrado de muro, un metro cuadrado de superficie de suelo, entre otras especificaciones posibles. Esta etapa es crucial porque de ella dependerá la definición de aquellos datos de entrada requeridos para el cálculo de los indicadores de eco-eficiencia. La función dependerá del desempeño para el cual se produce el resultado. En soluciones constructivas ello equivale, por ejemplo, a prestaciones como la resistencia mecánica del hormigón, la durabilidad de la estructura, siendo estas dos las propiedades más focalizadas por los ingenieros y otros especialistas que analizan los sistemas constructivos.

Etapla 1.3. Establecer las limitaciones derivadas de los límites del sistema declarados en 1.2, supuestos generales relevantes y definición de escenarios de evaluación. Esta etapa realiza especificaciones relativas al alcance anteriormente declarado, dejando constancia de todos los presupuestos con los cuales se operará en la evaluación de eco-eficiencia. Por ejemplo, si el estudio comprendiera un metro cuadrado de muro como unidad funcional, podrían tomarse definiciones tales como: qué tipo de bloque se utiliza, características de los materiales empleados y su relevancia para el análisis perseguido. En función de las alternativas susceptibles de análisis, podrían prefijarse ciertos escenarios de evaluación, los cuales deberían quedar declarados en este apartado, toda vez que ello define el alcance del estudio.

2.1.2. Fase II: Caracterización de la cadena productiva asociada al sistema-producto seleccionado

Esta fase posee relevancia en la evaluación perseguida, puesto que es justamente en la cadena productiva donde se producen los flujos de materiales, energía y valor, los cuales resultan esenciales en el balance del flujo de materiales requerido en función de la determinación de emisiones ambientales y del valor agregado que se produce en el entramado de la red física del sistema productivo.

Etapas 2.1. Caracterización de todos los entes vinculantes de la cadena y su rol en el sistema. En esta etapa se declaran todas las entidades económicas que se involucran en la cadena de suministro, desde los proveedores de materias primas hasta la empresa constructora, pasando por la intermediación y las actividades de apoyo a la cadena central. Se definen los roles asociados a cada ente en el proceso de agregación de valor en la cadena. En este proceso la técnica de entrevista debe ser utilizada de manera inobjetable en aras de recabar información acerca de la identificación de funciones específicas en cada nodo del sistema-producto. Generalmente un gran número de actores se vinculan en el proceso constructivo de una edificación, con independencia de su tipología, debido a la propia naturaleza y complejidad del producto final y al sector productivo en el cual se circunscribe. Del correcto levantamiento realizado en esta etapa, dependerá en gran medida la calidad de las etapas subsiguientes.

Etapas 2.2. Mapeo de la cadena por diagramación o flujograma. En esta etapa se diseña el mapa orgánico de la cadena productiva asociada a la edificación objeto de estudio, de manera que se establezcan en forma de diagrama de flujo los vínculos entre los entes económico-productivos. De las precisiones acerca de los orígenes y destinos de los materiales y sus procesos transformativos dependerá en gran medida la correcta asignación de los flujos de entrada y salida durante todo el recorrido del sistema-producto. Se recomienda utilizar una iconografía en el diagrama de forma tal que se distingan con facilidad los nodos donde ocurren los procesos transformativos, esto es, las materias primas se transforman en productos intermedios a lo largo de la red física de la cadena hasta la conformación definitiva del producto final. Clasifican en esta categoría, por ejemplo, las plantas de prefabricado de hormigón y las plantas productoras de hormigón de premezclado. Sin embargo, se puede ser tan preciso en el mapeo de la cadena como el alcance que se pretenda lograr. Una obra utiliza el árido como materia prima o insumo productivo, que dependiendo del análisis concreto puede ser tomado como una simple entrada del proceso, sin embargo, en rigor, los áridos artificiales requieren de un proceso transformativo para convertirse en los materiales que

posteriormente son utilizados en las soluciones constructivas. Similar punto de vista se aplica al bloque hueco de hormigón así como a otros muchos elementos que bien pueden ser considerados como una simple entrada, o mejor podrían ser analizados en toda su trayectoria. Es importante apuntar que el recorrido del producto de la construcción es el principio más riguroso que podría coadyuvar a los más precisos cálculos de emisiones ambientales y de valor agregado, toda vez que el proceso se origina en las canteras o yacimientos de los materiales primarios.

Etapa 2.3. Caracterización de los encadenamientos que se generan en el sistema productivo. Toda la red diseñada en la etapa previa se describe en la etapa 2.3, estableciendo las regularidades que caracterizan los nexos productivos entre los nodos de operación. Este análisis es fundamental en la determinación de alternativas que pueden surgir en el entramado del sistema-producto, con objeto de hacer potencialmente más eficiente el proceso de agregación de valor hacia el producto final. De las interrelaciones técnico-productivas podrían emerger potenciales fuentes de reservas de eficiencia en el uso y manejo de los recursos, lo cual tributaría favorablemente a la evaluación de eco-eficiencia. El mecanismo económico por el cual se rigen los procesos productivos en toda la red logística, más allá del aprovisionamiento y la distribución en sí mismos, constituye un elemento de obligado análisis en el sentido de optimizar el proceso. La existencia de varios proveedores, la determinación de capacidades productivas y puntos críticos (o cuellos de botella), la efectividad en el ciclo transportación/almacenamiento/transportación (inherente a la distribución), la efectividad de la comercialización de las materias primas, la gestión de pedidos, entre otros, constituyen referentes analíticos en esta etapa de la evaluación.

2.1.3. Fase III: Creación del inventario de datos: materiales, energía y valor

En esta fase se realiza la obtención y actualización de toda la información generadora de datos para la cuantificación de la eco-eficiencia. De una parte, las magnitudes asociadas a la caracterización/evaluación medioambiental, y de otra, las variables que caracterizan el desempeño económico. Este proceso transcurre a lo largo de toda la cadena productiva.

Etapa 3.1. Determinación de dosificaciones (gravimétrica y/o volumétrica) por unidad funcional. En esta etapa se determinan las especificaciones relativas al consumo de materiales al nivel de la unidad funcional con que se opera. Aun cuando el alcance del estudio sea la edificación en su totalidad, se requiere establecer las dosificaciones al nivel

de unidades funcionales más básicas y genéricas, como por ejemplo, el metro cuadrado de muro. Ello posibilitaría establecer comparaciones con otros estudios de referencia, aun cuando en estos últimos no se hubiese reportado el mismo alcance. Dependiendo además de la tipología de solución constructiva objeto de estudio, podría resultar apropiado otro tipo de unidad funcional, como por ejemplo, en el caso de un edificio Gran Panel o Forsa, podría ser metro cuadrado de superficie total edificada. Si se analiza un objeto de obra en el que intervienen bloques, por ejemplo, se deben especificar las dosificaciones asociadas a la producción de este elemento, así como para el resto de los materiales intermedios producidos antes de la colocación final en la obra objeto de estudio.

Etapas 3.2. Determinación del inventario y costeo de materiales para la unidad funcional analizada. Esta etapa consiste en determinar el volumen total de materiales a partir de las dosificaciones antes declaradas y considerando el sistema estructural declarado como alcance del estudio de eco-eficiencia. Si se ha elegido un sistema estructural compuesto por vigas y losas, se determinarán las cantidades de material requeridos por la totalidad de los elementos prefabricados a escala de la edificación. En este punto el investigador se auxilia en gran medida del material factológico de los entes productivos que forman parte de la cadena productiva, analizando sus procesos subyacentes en función del relevamiento de los datos. Es preciso recorrer toda la cadena productiva en función de armonizar el producto final (la obra constructiva) con todos los materiales directos e indirectos que forman parte de su ciclo de vida. En esta etapa las fichas de costo de las entidades y el balance de materiales resultan de gran utilidad para el analista. El propósito final de esta etapa es calcular el costo total de producción asociado a la unidad funcional objeto de estudio.

Etapas 3.3. Determinación del inventario de energía consumida en toda la cadena productiva en términos de la unidad funcional analizada. En esta etapa se procede a determinar la energía total consumida a nivel de la unidad funcional objeto de estudio, lo cual comprende el combustible y electricidad empleados en la obtención de todos los materiales insumidos en la cadena productiva de la vivienda, la unidad habitacional, la viga, la columna, el metro cuadrado de muro, dependiendo del alcance del estudio. Se deben tener en cuenta los materiales intermedios, como por ejemplo, los bloques, los cuales consumen energía en sus procesos de elaboración. Por el uso frecuente de numerosos productos intermedios, el estudio ambiental de un sistema constructivo resulta complejo toda vez que involucra numerosos agentes económico-productivos del ciclo de vida del producto final. Esta etapa requiere de numerosas consultas a tecnólogos y otros

expertos del entramado empresarial que comprende el objeto de obra analizado. En este acápite se determina el consumo de combustible asociado a la transportación, lo cual es un proceso sumamente complejo porque casi siempre involucra algún método de prorrateo para determinar qué parte del consumo total de combustible se carga a la unidad del material que se transporta. Por ejemplo, se transportan 15 metros cúbicos de arena de la cantera a la obra, pero es necesario conocer qué parte del consumo de combustible por kilómetro transportado le corresponde a cada m^3 del referido árido.

Etapas 3.4. Determinación del costo de mano de obra, costo de capital y costos indirectos de producción. En esta etapa se involucran los costos de fuerza de trabajo, costos de depreciación de equipos y otros costos asociados al uso del capital, así como todos los costos indirectos que pudieran resultar relevantes en la construcción de un objeto de obra. Generalmente las fichas de costo y los presupuestos de los proyectos de obra constructiva constituyen material factológico de obligada consulta en este acápite.

2.1.4. Fase IV: Determinación de los indicadores de eco-eficiencia

En esta fase se produce la cuantificación de la eco-eficiencia, a partir de las evaluaciones económica y ambiental correspondientes.

Etapas 4.1. Definición de los indicadores de eco-eficiencia con que se operará. En esta etapa se deben precisar los indicadores de eco-eficiencia que han de determinarse e interpretarse. Como lo postula la literatura especializada en eco-eficiencia, un indicador de esta naturaleza es un ratio contentivo de una magnitud económica en el numerador, y una magnitud ambiental en el denominador, esto es, $\frac{\text{DesempeñoEconómico}}{\text{DesempeñoAmbiental}}$.

Numerosas variables económicas pueden ser consideradas, tal como las referidas anteriormente, sin embargo, al tratarse de una obra constructiva, no tendría mucho sentido referirse a volumen de producción y ventas o beneficios económicos. El costo de producción podría ser una magnitud altamente valiosa, sin embargo, un problema metodológico de medición se presenta cuando se considera el costo como variable sintetizadora del numerador. Supóngase que se tienen dos estudios de caso: A y B, con los siguientes resultados de costos y emisiones por unidad funcional: Costo de A: 4 pesos, emisiones de A: 2 kg de CO_2 -e; costo de B: 6 pesos, emisiones de B: 3 kg de CO_2 -e. El ratio $4/2$ es equivalente a $6/3$, lo cual conduciría a concluir que A y B son igualmente eco-eficientes. Sin embargo, es trivial que B es menos eco-eficiente que A porque genera más costos y más emisiones que A, por unidad funcional. La razón es que

el cociente entre dos magnitudes de naturaleza decreciente (en el sentido eco-eficiente), no determinan un indicador consistente y coherente, con capacidad interpretativa. Es por ello que el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable recomienda utilizar el método del valor agregado, por ejemplo, $\frac{\text{Valor Agregado}}{\text{Emisiones de CO}_2}$. El valor

agregado de un producto en un punto X de su ciclo de vida se determina como el precio final del producto, deducidos todos los costos hasta el punto o nodo X. Supóngase los casos A y B nuevamente. Para un precio del producto de 12 pesos, el valor agregado y la eco-eficiencia de ambas soluciones se determinaría como sigue: valor agregado de A: $12 - 4 = 8$ pesos, eco-eficiencia de A: $8/2 = 4$; valor agregado de B: $12 - 6 = 6$ pesos, eco-eficiencia de B: $6/3 = 2$. Luego, la alternativa A es doblemente más eco-eficiente que B. En efecto, el incremento en eco-eficiencia se debe al porcentaje de reducción de costos más el porcentaje de reducción de emisiones de la mejor alternativa *versus* la de referencia. La eco-eficiencia es un indicador relativo y como tal posee poder interpretativo mediante comparaciones de referencia.

El método del valor agregado, sin embargo, presenta limitaciones en el caso del sistema económico cubano, producto de las distorsiones de precio existentes al interior del sistema de la vivienda y el amplio complejo empresarial que constituye el sector de la construcción. Existen diferentes políticas de precio en este sector, dependiendo del tipo de empresa constructiva y del destino final de las edificaciones producidas, entre otros factores. Resulta frecuente operar con una dinámica de precios muy fluctuante y heterogénea en el sector constructivo. La política económica ha desempeñado un rol decisivo en esta distorsión de precios, lo cual constituye un reto en la actualización del modelo económico cubano.

Por lo anteriormente planteado, se propone como medida sintetizadora de la evaluación económica en el ciclo de vida del producto, el costo de producción. Sin embargo, por lo explicado anteriormente en esta misma etapa, no resulta coherente su incorporación en la construcción de un indicador de eco-eficiencia. Es común en la literatura económica encontrarse este tipo de problema metodológico cuando se realizan análisis multifactoriales. Una medida remedial puede ser el uso del inverso del costo como variable del desempeño económico. De manera que un indicador coherente podría ser el

siguiente: $\frac{1/\text{Costo}}{\text{Desempeño Ambiental}}$. Dependiendo del alcance de la evaluación

ambiental, el denominador podría incorporar diversas categorías, siendo la más

generalmente aceptada el volumen de emisiones de dióxido de carbono equivalente, considerada una medida sintetizadora del impacto ambiental de un producto, servicio o sistema productivo. Sin embargo, lo anterior constituye solo una propuesta. Múltiples magnitudes quedan por explorarse y podrían emplearse diversas categorías de impacto ambiental, en dependencia de los límites del sistema estudiado. De igual forma, el ámbito económico no debe verse sesgado al costo como variable únicamente relevante, pues múltiples aristas del desempeño económico pueden ser sometidas a análisis.

Etapas 4.2. Evaluación medioambiental del sistema productivo como totalidad. En esta etapa se realiza una ordenación orgánica de todos los flujos generadores de emisiones en cada punto relevante de la cadena productiva. Estos flujos se deben relacionar de acuerdo a las actividades y procesos que tienen lugar en todo el proceso de agregación de valor (o conformación del producto final). Se deben utilizar los factores de impacto establecidos para el combustible específico que haya sido utilizado en los procesos así como el factor de emisión de la electricidad, de acuerdo con las cifras oficiales del Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Estos factores de impacto constituyen los homogeneizadores de las emisiones a escala del sistema-producto. Para un estudio riguroso de ACV se deben aplicar los protocolos de cálculo de emisiones postulados por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

En caso de aplicar el análisis de ciclo de vida (ACV) tal y como lo estipula la Norma ISO 14 040, y dependiendo del alcance del estudio, se deberían especificar las categorías de impacto ambiental que serán caracterizadas y aplicadas (calentamiento global, acidificación, eutrofización, agotamiento de la capa de ozono, uso del suelo, uso del agua, pérdida de la biodiversidad, contaminación del aire por partículas, entre otras). Es importante apuntar que un ACV podría constituir *per se* una investigación científica independiente, por cuanto no es una condición *sine quanon* para la evaluación de eco-eficiencia la desagregación de todas las categorías de impacto. Existe consenso en que la más influyente resulta la categoría calentamiento global.

Etapas 4.3. Determinación de costos totales al nivel de la unidad funcional analizada. Los costos calculados en 3.2 y 3.4 determinan de conjunto el conglomerado de costos que se resume en esta etapa. El investigador debe percatarse de no ignorar ningún costo relevante a lo largo de la cadena productiva, para lo cual debe repasar varias veces las interconexiones productivas que se generan en la misma.

Etapas 4.4. Determinación de los indicadores de eco-eficiencia. En esta etapa se realizan los cálculos de eco-eficiencia de acuerdo con los indicadores antes declarados. Se

realizan, adicionalmente, análisis de sensibilidad para robustecer los resultados en torno a la incertidumbre y el riesgo que le son consustanciales a todo análisis económico.

2.1.5. Fase V: Reporte del perfil de eco-eficiencia e interpretación

La fase V y última del procedimiento está referida al reporte de los resultados de eco-eficiencia derivados de la evaluación concreta realizada. Es la fase interpretativa del estudio de eco-eficiencia.

Etapla 5.1. Establecer el perfil de eco-eficiencia con fines comunicacionales

En función de quienes sean los usuarios de la evaluación, se presenta un resumen sintetizador de los aspectos relevantes de la eco-eficiencia asociada al sistema-producto analizado. Debe contener lo siguiente:

Inversionista de la obra constructiva:

Proyectista de la obra constructiva:

Empresa constructora:

Destino final de la edificación:

Descripción de la solución potencialmente eco-eficiente que origina el estudio:

Precio de la obra: puede realizarse una valuación a precio de Estado y a precio de mercado

Costo total de la obra:

Valor agregado: Este puede desagregarse por nodos relevantes, en dependencia de los usuarios de la información (en caso de utilizar este indicador, que no se recomienda en el caso de sistemas constructivos cubanos).

Emisiones totales asociadas a la obra:

Indicador de eco-eficiencia: las últimas cuatro categorías se deben reportar en forma comparada tomando en consideración los escenarios alternativos que se someten a evaluación.

Etapla 5.2. Establecer comparaciones con sistemas estructurales de semejantes prestaciones y características homogéneas. Juicios de valor y lecciones aprendidas. En esta etapa se deberían realizar comparaciones con respecto a otros estudios de caso de características estructurales homogéneas, casos genéricos de referencia, a lo cual se le debe incorporar la experiencia y resultados logrados en el ámbito internacional.

Finalmente, se reportan las lecciones aprendidas de la evaluación realizada, con visión perspectiva para futuras evaluaciones de eco-eficiencia en nuevos estudios de caso.

2.2. Características de los principales entes que intervienen en la cadena productiva de la obra

Los entes económico-productivos que intervienen en la cadena productiva de la obra Vivienda UAM⁵ Santo Domingo para construir el sistema estructural de la vivienda sin incluir la cubierta son los que se detallan a continuación.

1. Fábrica de Cemento Siguaney
2. UEB Combinado de Hormigón y Áridos “Raúl Cepero Bonilla”, Palenque, municipio Camajuaní (en lo adelante, UEB-Palenque)
3. UEB El Purio
4. UEB Rolando Morales Sanabria (Cifuentes)
5. UEB “Sergio Soto”, El Hoyo, municipio Manicaragua (en lo adelante, UEB-El Hoyo)
6. Unidad Básica de Abastecimiento (UBA)
7. Empresa Constructora Militar (ECM3)
8. Empresa Materiales de la Construcción de Villa Clara (EMCVC)
9. Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara (EIPH VC)
10. Comercializadora del cemento
11. MAPEI-HABANA

- 1 La Fábrica de Cemento Siguaney es una de las más antiguas de Cuba y posee una tecnología de producción por proceso húmedo con un marcado atraso tecnológico. La fábrica tiene una capacidad de producción instalada de 182 500 toneladas al año de cemento gris y de 22 300 toneladas de cemento blanco. Actualmente está aprovechando esta capacidad en un 87.20% (cemento gris) y en un 71.75% (cemento blanco). En esta fábrica se produjo por primera vez el cemento cubano de bajo carbono (2013), con una totalidad de 130 toneladas (120 en silo y 10 en saco). En la actualidad se acometen estudios de factibilidad técnico-económica para la adaptación

⁵ Unidad Agrícola Militar

de un horno de la fábrica (para la calcinación de la arcilla caolinítica) a partir de un horno de níquel procedente de Nicaro, Holguín. Se evalúan escenarios que consideran a esta fábrica como la principal productora del LC3 en Cuba. Las empresas del cemento en Cuba se subordinan al Grupo Empresarial del Cemento (GECEM).

- 2 La UEB Combinado de Hormigón y Áridos “Raúl Cepero Bonilla”: su función es producir, comercializar y brindar servicios de almacenamiento a elementos de hormigón, productos de cantera, recubrimientos e impermeabilizantes, cal y sus derivados, cemento cola, morteros de albañilería, alquiler de equipos de construcción, complementarios, de transporte especializado, alquiler de almacenes, de parqueo, de locales, brindar servicios de transportación de carga por vía automotor, brindar servicios de diagnóstico, reparación y mantenimiento a equipos de transporte automotor, construcción y complementarios, así como sus agregados, brindar servicios de maquinado, de pailería, soldadura, de asistencia técnica, post-venta, colocación y consultoría especializada en la actividad de producción de materiales de construcción que satisfagan las exigencias de nuestros clientes.
- 3 Cantera El Purio: su función es producir, comercializar y brindar servicios de almacenamiento a productos de cantera, alquiler de equipos de construcción, complementarios, de transporte especializado, alquiler de almacenes, de parqueo, de locales, brindar servicios de transportación de carga por vía automotor, brindar servicios de diagnóstico, reparación y mantenimiento a equipos de transporte automotor, construcción y complementarios, así como sus agregados, brindar servicios de maquinado, de pailería, soldadura, de asistencia técnica, post-venta, colocación y consultoría especializada en la actividad de producción de materiales de construcción que satisfagan las exigencias de nuestros clientes.
- 4 UEB “Rolando Morales”: está ubicada en Prolongación Avenida Rolando Morales no.1, Consejo Popular Cifuentes, poblado de Cifuentes, municipio de Cifuentes, Provincia Villa Clara. En sus producciones se emplea: cemento, piedra triturada, marmolina, granito bruto, aditivos, pigmentos, aceros y madera.

Los productos que se fabrican son:

- Bloques de hormigón.
- Baldosas hidráulicas de terrazo.
- Productos prefabricados de terrazo.

- Balaustradas.
- Baldosas mallorquinas.
- Adoquines.
- Pasamanos.
- Base de pasamanos.
- Rodapiés.
- Pinturas
- Marcos, puertas, ventanas y otras producciones de madera.
- Cemento cola
- Morteros de albañilería

5 La UEB “Sergio Soto”, del Hoyo, Manicaragua: su función es producir, comercializar y brindar servicios de almacenaje a productos de arcilla, barro, arena calcárea, pintura a base de cal, cerámica artística y adornos de cerámica roja, y otros productos de cantera; alquiler de equipos de construcción, complementarios, de transporte especializado; alquiler de almacenes, de parqueo, de locales; brindar servicios de transportación de carga por vía automotriz; brindar servicios de diagnóstico, reparación y mantenimiento a equipos de transporte automotor, construcción y complementarios, así como sus agregados, brindar servicios de maquinado, de pailería, soldadura, de asistencia técnica, post-venta, colocación y consultoría especializada en la actividad de producción de materiales de construcción que satisfagan las exigencias de nuestros clientes.

Proporciona el árido fino necesario para la ejecución de la obra en análisis. Es la única suministradora de árido natural en la provincia Villa Clara. Con el propósito de incrementar la capacidad productiva, en el 2008 se ejecutaron inversiones en esta cantera donde se instaló una segunda planta para el lavado de arena, lo cual elevó las entregas hasta ocho mil 500 metros cúbicos mensuales.

6 Unidad Básica de Abastecimiento (UBA): su función es satisfacer las exigencias de los clientes para prestar los servicios de maquinado, montaje, reparación y mantenimiento de instalaciones industriales de producción de materiales de construcción y otros; de diagnóstico, reparación y mantenimiento de equipos y agregados; de transportación de carga por vía automotor, brindar servicios de transportación de carga por vía automotriz, alquiler de almacenes; alquiler de equipos

de construcción, complementarios, transporte especializado y comercialización de áridos, alquiler de parqueo, locales; brindar servicios de ejecución, reparación y mantenimiento constructivo en cualquier tipo de obra, prestar servicios de pailería, maquinado, soldadura y enrollado de motores servicios de asistencia técnica, post-venta, colocación y consultoría especializada en la actividad de producción de materiales de construcción. Producir y comercializar excedentes de productos agropecuarios procedentes del autoconsumo. Prestar servicio de comedor y cafetería.

- 7 Empresa Constructora Militar No 3 de Villa Clara, perteneciente a la Unión de Construcciones Militares, subordinada al MINFAR. Carretera a Sagua entre Callejón de Guamajal y Circunvalación. Santa Clara Villa Clara. Esta empresa tiene el siguiente objeto empresarial: construcción civil y montaje de nuevas edificaciones; demolición, reparación, remodelación, desmontaje y mantenimiento constructivo de edificaciones; dirección y contratación de obras, trabajos de acabado, montaje eléctrico, hidráulico, sanitario e industrial y producción de accesorios de construcción; trabajos de movimiento de tierra, voladura y aplicación de técnicas de bulonado y gunitaje; alquiler de equipos y medios de la construcción; trabajos de impermeabilización y tratamientos químicos a elementos constructivos; producción de hormigón premezclado y elementos prefabricados de hormigón y su transportación; mantenimiento y reconstrucción vial; trabajos de urbanización y otros servicios de apoyo a la construcción; estudios de factibilidad económica para la construcción de obras y su control en la etapa de ejecución; producción, comercialización y prestación del servicio de montaje e instalación de elementos de carpintería de madera, aluminio y otros materiales.

Todos los servicios descritos anteriormente se realizan a obras de arquitectura y de ingeniería, turísticas, científicas, agropecuarias, industriales, sociales, militares y de la defensa y se prestan a entidades nacionales y extranjeras. Además la actividad productiva que requieren las acciones constructivas y de servicios para la conservación y rehabilitación de las viviendas vinculadas y medios básicos de las FAR, así como la actividad comercial dirigida a la venta de fondos mercantiles y recursos materiales para las mismas. Comercializa sus producciones y servicios en moneda nacional y en moneda libremente convertible según lo establecido al respecto. Cumple los servicios de investigación y desarrollo solicitados por sus clientes en el marco de las actividades que realiza.

- 8 Empresa Materiales de la Construcción de Villa Clara (EMCVC) es una empresa con una estructura organizacional en constante cambio, con resultados en la implantación del proceso de Perfeccionamiento Empresarial. Los niveles de eficiencia sostenidos en el tiempo les permite ofertar productos que responden a las exigencias del cliente en cuanto a precios, calidad y garantía de los suministros en tiempo y forma, así como revitalizar su equipamiento.
- 9 Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara (EIPH VC) La EIPH VC fue aprobada por la Resolución No. 17 del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de fecha 30 de septiembre de 1989, sin que en ese momento se le hubiera definido su objeto social, cuya oficialización le fue solicitada al Ministerio de Economía y Planificación a través del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, y aprobada mediante la Resolución 92/2001, para surtir efecto a partir del 1 de enero del propio año, siendo el siguiente:
- Brindar servicios de ingeniería y diseño que cubran la ingeniería especializada civil, hidráulica, mecánica y eléctrica y realizar los controles de los proyectos de inversión.
 - Brindar servicios de asesoría y consultoría vinculados a las actividades que realiza.
 - Realizar investigaciones básicas aplicadas a la ingeniería civil e hidráulica.
 - Realizar estudios medio ambientales y de líneas base.
 - Elaboración y comercialización, de forma mayorista, de software aplicado.

El cemento, que es el material primordial en todo proceso constructivo, lo comercializa la (Empresa Comercializadora del Cemento) desde la misma fábrica.

2.3. Caracterización del sistema constructivo empleado

La obra consiste en la ejecución de una vivienda unifamiliar de dos dormitorios, tipología III, tipo 1 (ver anexo 1). Vivienda UAM en Santo Domingo, Villa Clara. Esta tipología está acorde con las especificaciones contenidas en la Norma Cubana 50-03/1984.

La edificación se realizó sobre la base de las ideas aprobadas por la inversión, resultando que la tipología de la vivienda consiste en una solución constructiva de cubierta ligera y paredes compuestas por bloques de hormigón. La cubierta se construyó a dos aguas y

estuvo conformada por planchas de zinc galvanizado fijadas a elementos metálicos (purling). Las paredes perimetrales y divisorias de la vivienda se construyeron con bloques de hormigón de 150 mm de espesor. Los muros se revistieron con repello fino aplicado sobre salpicado y resano, excepto cuando la terminación exigió los enchapes de azulejos, los que se colocaron sobre salpicado y resano.

La cimentación de la vivienda fue corrida. Se conformó una zanja de 600 mm de ancho y 400 mm de profundidad como mínimo, es necesario aclarar que siempre se llegó al estrato resistente. En la misma se vertió hormigón ciclópeo con el 30% de rajón y resistencia de 17.5 MPa. Sobre este último se construyó una zapata corrida de 250x300 mm de sección, reforzada con 4 barras de 12 mm y cercos de 10 mm de diámetro espaciados según documentación gráfica. La resistencia del hormigón en la viga de zapata fue 20 MPa. Se ejecutaron, además, tacones de hormigón ciclópeo, debajo de las columnas construidas con bloques rellenos de hormigón con resistencia igual a 20 MPa y reforzados con barras de 12 mm de diámetro que se construyeron en los portales.

El hormigón se confeccionó utilizando aditivos que permiten una mejor laborabilidad y sean reductores de agua o reductores de agua de alto rango (superplastificantes), disminuyendo así la relación agua-cemento.

El piso es de losetas hidráulicas, y se utilizó para ello piezas de 250 x 250 mm. A todas las intersecciones de paredes interiores con el piso se les colocaron rodapiés del mismo material y color del piso y se les aplicó un derretido, el cual se realizó con una mezcla de agua y cemento blanco en una proporción de 0.5 kg de cemento por metro cuadrado de piso y agua suficiente para lograr una fluidez que garantizó el llenado de las juntas. Para la limpieza del derretido se utilizó aserrín seco y limpio de madera blanda, preferiblemente pino.

Para los enchapes de las paredes del baño y la meseta se emplearon azulejos de 200 x 200 mm de color blanco. Los bordes se remataron con mata juntas plásticos del mismo color del enchape. El zócalo del baño tomará diversas alturas, en poceta $h=1600$ mm, tras lavamanos e inodoro $h=1200$ mm, y las paredes húmedas alrededor de la batea y el vertedero así como las paredes interiores del vertedero se revestieron con estuco aplicado sobre resano a una altura de 1200 mm.

La cubierta de la vivienda se solucionó con un sistema de cubiertas metálicas. La cubierta está compuesta por tejas galvanizadas onduladas, purlins de 80x40x1.5x2, tornillos teja-purlins, tornillo teja-teja y teja-caballote y caballetes fabricados de planchas galvanizadas de 0.5 mm de espesor. Como la cubierta de la vivienda es a dos aguas, los purlins

extremos (en la parte baja de la pendiente) se fijaron al cerramiento longitudinal, espaciados a 2.0 m, el resto de los purlins se fijaron a todos los cerramientos transversales y a su vez quedaron embebidos en los mojinetes.

La estructura de los muros es de bloques de hormigón de 150 mm sobre los cuales se construyó un cerramiento con sección rectangular de 150 x 200 mm, el que estuvo reforzado con 3 barras de 12 mm de diámetro y cercos 6 mm de diámetro. La resistencia para el hormigón en este elemento fue de 20 MPa.

Medidas contra la corrosión:

Los elementos estructurales que forman la obra están ubicados en un ambiente que presenta un nivel de agresividad medio, por lo que las especificaciones técnicas para el hormigón se muestran a continuación:

- Resistencia mínima del hormigón: $f'_c=20$ MPa
- Máxima relación agua/cemento: 0.55
- Contenido mínimo de cemento: 275 kg/m³.

2.4. Caracterización de la cadena productiva de la obra (Vivienda UAM en Santo Domingo)

El origen de la cadena productiva de cualquier producto generalmente se encuentra asociado a los suministros o proveedores de materias primas. El caso de un sistema constructivo no es la excepción. A continuación se describen las particularidades del suministro de las principales materias primas que se requieren para la construcción de la obra Vivienda UAM en Santo Domingo.

La ECM3 consta de una Unidad Básica de Aseguramiento (UBA), que es la encargada de negociar sus productos con Recursos Hidráulicos, con la Comercializadora del Cemento y con la Empresa de Materiales de Construcción de Villa Clara; además, brinda servicios de transportación especializada para cada uno de los materiales a transportar o almacenar, aunque en esta obra los materiales van directo a la obra (tiro directo), es decir no pasan por almacenes.

Se aclara que ante algún imprevisto ocasionado en alguna de las canteras que tengan que vender la materia prima de construcción por afrontar problemas, la ECM3 transporta y almacena.

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

La Constructora militar es la encargada de construir la obra, además garantiza todo el proceso constructivo ya que tiene un aseguramiento logístico completo.

El cemento utilizado en la construcción de la vivienda proviene de dos destinos fundamentales: Cienfuegos y Siguaney. Aunque para el estudio que realizaremos en el Capítulo III solamente utilizaremos la Fábrica de Siguaney, tanto para proporcionar el cemento P-35 y PP-25, como para suministrar la totalidad del cemento de bajo carbono.

En el mecanismo de asignación del cemento interviene una función de intermediación a cargo de la Empresa Comercializadora del Cemento, la cual es la entidad económica especializada en la comercialización y distribución del cemento en Cuba. Por tanto, existe una mediación entre el productor y el cliente/consumidor del cemento.

En el aprovisionamiento de los otros materiales de construcción, la gravilla y el rajón de voladura provienen de la UEB – El Purio, el hidrato de cal provienen de la UEB-Palenque, los bloques de la UEB-Rolando Morales y la arena de la UEB-El Hoyo.

El aditivo para reducir la relación agua/cemento es importado de MAPEI-HABANA.

En el caso del cemento de bajo carbono y los bloques producidos con el mismo, esta investigación asume como supuesto en las comparaciones realizadas en el Capítulo III, que provienen de los mismos lugares para así poder hacer un análisis de eco-eficiencia más exacto con respecto al cemento, y así las distancias no tomen un carácter representativo en el estudio.

La figura 2.2 muestra el diagrama de la cadena productiva de la obra Vivienda UAM Santo Domingo.

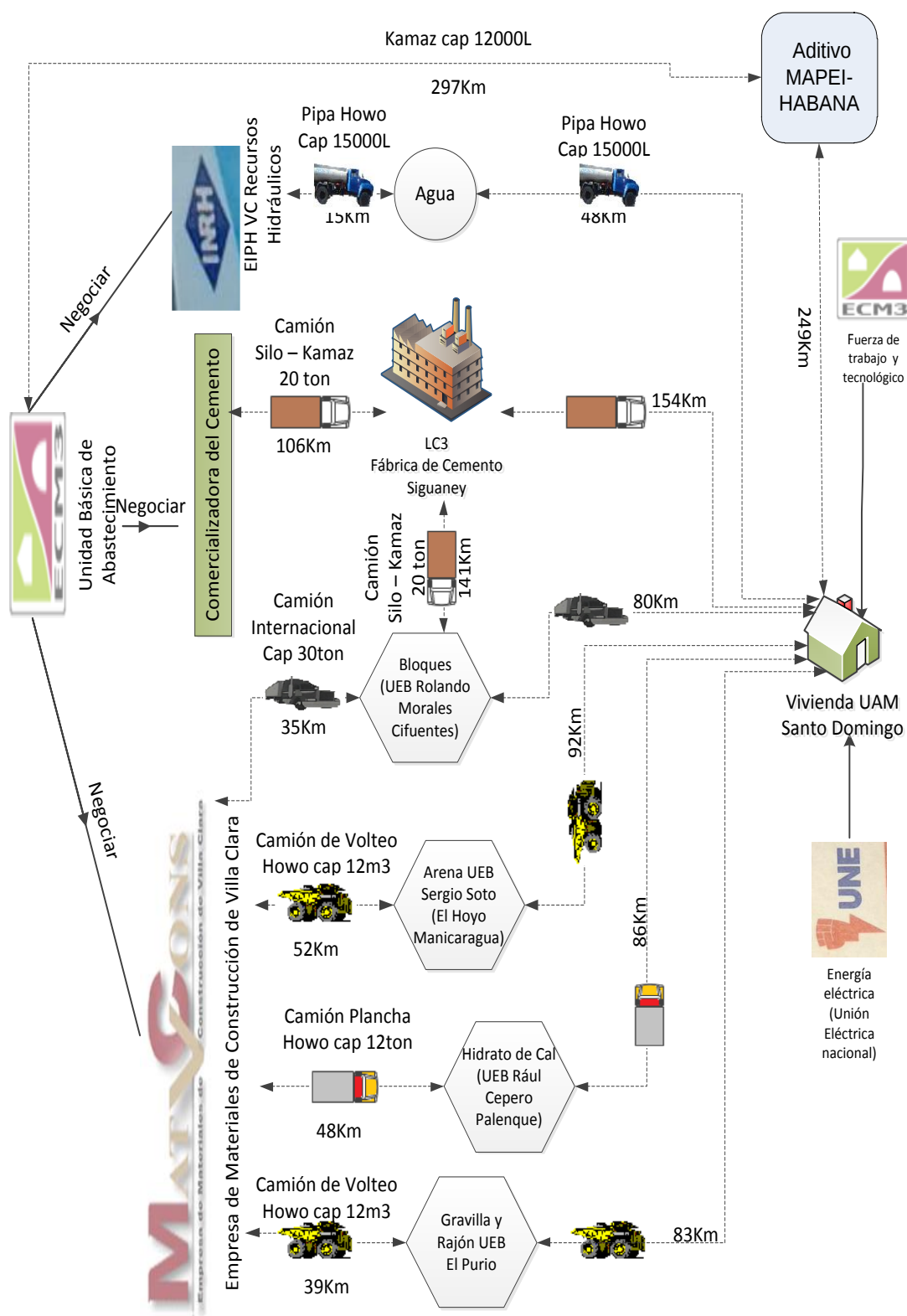


Figura 2.2 Diagrama de la cadena productiva de la obra
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: Aplicación del procedimiento para la evaluación de la eco-eficiencia en la obra Vivienda UAM Santo Domingo

En el presente capítulo se realiza la aplicación práctica del procedimiento de Cancio (2014), descrito en el apartado anterior, para la evaluación de la eco-eficiencia producida por el uso del cemento de bajo carbono en sustituciones del cemento tradicionalmente empleado en Cuba (P-35 y PP-25). Los epígrafes subsiguientes se corresponden con las fases y etapas contentivas del mismo.

Fase I: Definición de objetivos y alcance

Etapa 1.1. Definir y tipificar la obra a analizar

La obra objeto de evaluación de eco-eficiencia es una vivienda unifamiliar de dos dormitorios, Vivienda UAM Santo Domingo, Villa Clara, tipología III, tipo 1 de acuerdo con las especificaciones obtenidas de la Norma Cubana 50-03/1984. Este tipo de sistema constructivo está basado en una solución de cubierta ligera y paredes compuestas por bloques de hormigón. Fue construido por la Empresa Constructora Militar 3 (ECM3).

Etapa 1.2. Definir el alcance del estudio o límites del sistema (sistema estructural, función y unidad funcional)

Se seleccionó una vivienda prototipo de tipología III para el análisis. Sin embargo, el ámbito o alcance del estudio no comprende la vivienda en su totalidad. Para el estudio de eco-eficiencia se analizan todos los elementos que componen el Hormigón de la misma exceptuando el acero, principalmente el sistema estructural de la vivienda, paredes compuestas por bloques de hormigón, la cimentación y no se tiene en cuenta la cubierta porque es de zinc galvanizado.

Etapa 1.3. Establecer las limitaciones derivadas de los límites del sistema declarados en 1.2, supuestos generales relevantes y definición de escenarios de evaluación.

Los materiales involucrados en el cálculo de las emisiones y la generación de valor en esta tipología de bloques y cubierta de zinc galvanizado, son el cemento, la gravilla, la

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

arena, la cal, el aditivo, el rajón de voladura y el agua. Se evalúan dos escenarios: el primero usando cemento P-35 y PP-25 que son los cementos que tradicionalmente se utiliza en estas construcciones, y un segundo escenario donde se supone la sustitución de estos cementos por el cemento de bajo carbono LC3, considerando que aun este tipo de cemento ecológico se encuentra en fase de prueba, tabla 3.1. Los resultados de resistencia mecánica obtenidos por algunos estudios de ensayo realizados por especialistas del CIDEM y otros investigadores, han arrojado resultados muy similares a la resistencia del cemento P-35. Esta alternativa continúa siendo promisoría para el futuro de las soluciones constructivas cubanas.

Tabla 3.1. Descripción-resumen de los escenarios evaluados

Escenarios	Cemento Para Mortero y Hormigón	Cemento Para Bloques
Escenario1	Sin LC3	Sin LC3
Escenario2	Con LC3	Con LC3

Fuente: Elaboración propia⁶

1. Los bloques, las vigas cerramiento y las cimentaciones del escenario 1 son elaborados con cemento P-35 y los morteros son elaborados con cemento PP-25 según el proyecto de la obra. Los áridos son pertenecientes a la Empresa de Materiales de la Construcción.
2. Se sustituyen los cementos tradicionales por el LC3 con respecto al escenario 1.

Fase II: Caracterización de la cadena productiva asociada al sistema-producto seleccionado

La fase II del procedimiento, que está relacionada con la descripción y mapeo de la cadena productiva asociada a la edificación, fue desarrollada en el Capítulo II de la presente tesis. Del análisis realizado se resumen los siguientes particulares que se consideran relevantes:

1. El cemento de los escenarios que se van a evaluar provienen de la Fábrica Siguaney por ser la única que produce todos los cementos que se utilizan en el estudio y así hacer más coherente el análisis aislando el efecto distancia.

⁶ Todas las tablas reportadas en este capítulo son de elaboración propia.

2. La gravilla y el rajón utilizado para las fundiciones *in-situ* provienen de la cantera El Purio.
3. Los bloques provienen de la UEB “Rolando Morales Sanabria” (Cifuentes)
4. La arena de ríos y minas beneficiada que se utiliza proviene del Hoyo.
5. La cal proviene de Palenque.
6. La Constructora Militar es la encargada de construir y además asegura todo el proceso constructivo, ya que tiene un aseguramiento logístico completo.

Fase III: Creación del inventario de datos: materiales, energía y valor

Eta 3.1. Determinación de dosificaciones (gravimétrica y/o volumétrica) por unidad funcional.

En la tabla 3.2 se muestra la dosificación para la colocación de bloques y su terminación según el proyecto de la vivienda.

Para la elaboración de morteros se recomienda la utilización de Cemento gris PP-250, arena de minas beneficiada y cernida grado A, recebo o polvo de piedra caliza o hidrato de cal. Según la RC-3084 Muros y Tabiques de Bloques de hormigón, RC- 3128 Terminaciones. Salpicado y resano de paredes y la RC-3130 Terminaciones. Fino sobre resano.

Basándonos en estas RC se determina la cantidad de materiales a utilizar para 1m^2 y se multiplica por el área de muros de albañilería que tiene la obra (166,32) (ver anexo 2), y se obtiene la cantidad de materiales a utilizar para la colocación y terminación de bloques.

Tabla 3.2. Dosificación para construir los muros

ACTIVIDAD	DOSIFICACIÓN
Muro de bloques de hormigón 150 mm	1:3 (cimento: arena)
Salpicado	1:3 (cimento: arena)
Resano	1:4:1 (cimento: arena: cal)
Fino	1:4:1 (cimento: arena: cal)

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

Debido a que en el relevamiento del inventario de datos para el cálculo de costos y emisiones se requiere seguir la trayectoria del producto hasta las fuentes originarias de las materias primas y productos intermedios, se requiere en este punto abordar las normas de consumo utilizadas en la fabricación de bloques según la EMCVC, tal como se reporta en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Dosificación asociada a los bloques

Dosificación para un bloque			
Tipo de bloque	Cemento (kg)	Gravilla (m ³)	Polvo (m ³)
15 cm espesor	1,3	0,0057	0,0053

En el caso de los hormigones fundidos *in-situ* se obtiene la cantidad de materiales a través de la memoria descriptiva del proyecto (ver anexo 3).

Etapas 3.2. Determinación del inventario y costeo de materiales para la unidad funcional

Esta etapa consiste en determinar el volumen total de materiales a partir de las dosificaciones antes declaradas y considerando el sistema estructural declarado como alcance del estudio de eco-eficiencia.

La tabla 3.4 muestra las dosificaciones para la construcción de toda el área de muro de la vivienda y en la tabla 3.5 se ofrece el inventario de materiales que componen el hormigón para construir el sistema estructural de la misma donde se utiliza la memoria descriptiva del proyecto para obtener muchos de esos datos.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

Tabla 3.4. Dosificación para la colocación de bloques en 166,32 m² de muro

Para 166,32 m² de muro		Consumo de materiales	
Actividades	Cemento (kg)	Arena (m³)	Cal (kg)
Colocación de bloques	1 038	3,2616	
Terminación del muro	1 744	1,6308	1 073

Tabla 3.5. Consumo total de materiales

Materiales	Cantidad
Cemento P-35	4,5 t
Cemento PP-25	2,782 t
Cemento LC3	7,282 t
Arena	13,42 m ³
Cal	1 073 kg
Bloque 400 X150 X 200 MM	2 200 U
Gravilla	4,5 m ³
Rajón	2,95 m ³
Aditivo	60,6 L

En esta etapa las fichas de costo de las entidades y el balance de materiales resultan de gran utilidad para el analista. El propósito final de esta etapa es calcular el costo total de producción asociado a la unidad funcional objeto de estudio. Para el cálculo de los costos se utilizaron los precios que ofrece la Empresa Materiales de la Construcción de Villa Clara (EMCVC) para los áridos (ver anexo 4). Para el cemento los precios fueron tomados de (Sánchez, 2015) según las pruebas industriales, tomándose la variante de clínquer de Siguaney, arcilla de Pontezuela, transportada en un camión y producida en el horno de Siguaney (ver anexo 5). En el caso del precio de los bloques se utiliza la ficha de costo y desagregación de los insumos fundamentales de la EMCVC, pero en el precio del cemento se utiliza el antes mencionado (ver anexo 6).

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

En la tabla 3.6 se reportan los costos asociados a los principales materiales que intervienen en la composición del hormigón, los cuales se han calculado tomando como base las cantidades totales de materiales a escala de la vivienda. Como se explicó anteriormente, en esta investigación se opera con el supuesto o la limitación de no involucrar el acero en el análisis de eco-eficiencia.

Tabla 3.6. Resumen de costos de los materiales constituyentes del hormigón

Materiales	Cantidad	Precio (\$)	Costo (\$)	
			Escenario 1	Escenario 2
Cemento P-35	4,5 t	193,85	872,33	
Cemento PP-25	2,782 t	170,95	475,58	
Cemento LC3	7,282 t	157,66		1 148,08
Arena	13,42 m ³	18,64	250,15	250,15
Cal	1 073 kg	315,77	338,8	338,8
Bloque P-35 - 400 X150 X 200 MM	2 200 U	1,3	2 860	
Bloque LC3 - 400 X150 X 200 MM	2 200 U	1,2		2 640
Gravilla	4,5 m ³	25,4	114,3	114,3
Rajón	2,95 m ³	8,25	24,34	24,34
Aditivo	60,6 L	2,5	151,5	151,5
Total			5 087	4 667

Etapas 3.3. Determinación del inventario de energía consumida en toda la cadena productiva en términos de la unidad funcional analizada

En esta etapa se determina la cantidad de combustible utilizado por la transportación de los materiales y el combustible y electricidad utilizada en la obtención de áridos y bloques utilizados a nivel de la vivienda.

La tabla 3.7 ofrece el proceso de cálculo que se siguió para cargar o distribuir los consumos de combustibles de la transportación de los materiales, al nivel de la unidad física de los mismos, pues en esta misma medida posteriormente son incorporados al análisis de las emisiones ambientales. Se consideran las distancias que anteriormente fueron especificadas en la cadena productiva en el capítulo anterior.

La capacidad del medio de transporte se ha utilizado como línea base para el prorrateo del consumo de combustible, el cual posteriormente se carga al consumo final del material en la obra; sin embargo, se especifica que estas emisiones son debidas exclusivamente a la transportación de los materiales. Se emplean las distancias de ciclo

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

completo, que significa el viaje de la UBA a la cantera, de la cantera a la obra y de la obra a la UBA en el aprovisionamiento logístico, específicamente, en la transportación.

Tabla 3.7. Determinación del prorrateo asociado al consumo de combustible originado por la transportación

Material	Origen	Dest	Ciclo (Km)	MT	Índice Cons. L/Km	Cons. Total (L)	Base de prorrateo	Cons. unitario de combustible
Cemento	Siguaney	Obra	308	Carro Silo Kamaz	0,426	131,21	20 000 kg	0,006561 L/kg
Cemento	Siguaney	Cifuentes	141	Carro Silo Kamaz	0,426	60	20 000 kg	0,003 L/kg
Arena	Hoyo	Obra	192	CV Howo	0,42	80,64	12 m ³	6,72 L/m ³
Cal	Palenque	Obra	182	CP Howo	0,32	58,24	12 000 kg	0,004853 L/kg
Bloque 400 X150 X 200 MM	Cifuentes	Obra	163	Interna cional	0,43	70,09	1 875 U	0,03738 L/U
Gravilla	Purio	Obra	170	CV Howo	0,42	71,4	12 m ³	5,95 L/m ³
Rajón	Purio	Obra	170	CV Howo	0,42	71,4	12 m ³	5,95 L/m ³
Aditivo	MAPEI HABANA	Obra	594	Kamaz	0,4	237,6	12 000 L	0,0198 L/L
Agua	Santa Clara	Obra	111	CPipa Howo	0,32	35,52	15 000 L	0,00237 L/L

Una vez calculada la norma de consumo por unidad de insumo transportado, se deriva la determinación del consumo total de combustible (diesel) para la unidad funcional considerada, reflejada en la tabla 3.8. Para calcular el consumo total de combustible en

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

litros por tipo de materiales y hacer su resultado más coherente se convirtieron las cantidades de cemento de toneladas a kg.

Tabla 3.8: Total de combustible utilizado en la transportación de materiales

Materiales	Cantidad de materiales	Cons. Unitario Combust.	Cons. Total de combustible (L)
Cemento Siguaney	7 282 kg	0,006560 L/kg	47,77
Cemento Siguaney	2 860 kg	0,003 L/kg	6,6
Arena	13,5 m ³	6,72 L/m ³	90,72
Cal	1 073 kg	0,004853 L/kg	5,207
Bloque 400 X150 X 200 MM	2 200 U	0,037381L/U	82,2389326
Gravilla	4,5 m ³	5,95 L/m ³	26,775
Rajón	2,95 m ³	5,95 L/m ³	17,55
Aditivo	60,60 L	0,0198 L/L	1,2
Agua	8 000 L	0,002368 L/L	18,944

En la tabla 3.9 se refleja el consumo total de combustible y electricidad en los procesos transformativos de materiales para luego calcular las emisiones asociadas a estos procesos.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

Tabla 3.9. Consumo total de combustible y electricidad en los procesos transformativos de materiales

Fuente de emisión	Cantidad de material	Cons. Unitario	Cons. Total
Electricidad para fabricar bloques	2200 U	0,038 Kwh/U	83,6 Kwh
Combustible para fabricar bloques	2200 U	0,025 kg/U	55 kg
Electricidad para obtención de áridos	20,87 m ³	4,68 Kwh/m ³	97,67 Kwh
Combustible para obtención de áridos	20,87 m ³	1,3 Kg/m ³	27,13 kg
Electricidad para fabricación de cal	1073 kg	0,007 Kwh/kg	7,511Kwh
Combustible para fabricación de cal	1073 kg	0,0068L/Kg	8,77 kg
Combustible para bombear el agua	8 m ³	0,076L/m ³	0,51 kg

Etapas 3.4. Determinación del costo de mano de obra, costo de capital y costos indirectos de producción

Esta etapa no procede en la presente investigación, porque aquí solo se toman en cuenta los costos de los materiales constitutivos del hormigón: el cemento, los áridos y el agua.

Fase IV: Determinación de los indicadores de eco-eficiencia

Etapas 4.1. Definición de los indicadores de eco-eficiencia con que se operará

Para el cálculo del indicador de eco-eficiencia se utiliza el método del Inverso del Costo en el ámbito económico, tal como se explicó anteriormente, así como las emisiones totales de CO₂ por concepto de producción de cemento, obtención del resto de las materias primas constitutivas del mortero y el bloque, más la transportación. El indicador

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

de eco-eficiencia que se determina es: $\frac{\text{DesempeñoEconómico}}{\text{DesempeñoAmbiental}}$, que se determina como se especifica a continuación:

$$= \frac{1/\text{Costo}}{\text{Emisiones}} = \frac{1/\text{Costos acumulados por concepto de gasto material}}{\text{Emisiones asociadas a los materiales involucrados en la edificación}}$$

Etapas 4.2. Evaluación medioambiental del sistema productivo como totalidad

En función de la tabla 3.8 se elabora la tabla 3.10, que constituye un resumen del proceso de cálculo que se ha seguido para determinar las emisiones ambientales debido a la transportación. Debido a que los datos relativos al factor de emisión de combustibles se reportan usualmente en término de kilogramos de combustible, fue necesario realizar la conversión de litros a kilogramos, para lo cual se utilizó la densidad del combustible diesel que se reporta con más frecuencia en los catálogos de especificación técnica de combustibles, documento que emite regularmente la empresa CUPET. Este se especifica en la parte inferior de la tabla 3.10, conjuntamente con el factor de emisión del diesel, que es el tipo de combustible que utilizan los medios de transporte con los cuales se opera para en el proceso logístico.

En la tabla 3.10 se reportan las emisiones de CO₂ debido al combustible utilizado en la transportación. Los datos relativos a emisiones del cemento P-35, PP-25 y del LC3 se tomaron como insumo de los trabajos parciales reportados por (Sánchez, 2015), quien investiga por varios años la factibilidad técnica, económica y ambiental de la introducción del cemento de bajo carbono en Cuba.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

Tabla 3.10. Emisiones totales por concepto de transportación de materiales

Materiales	Consumo Total combustible total (L)	Combustible total (kg)*	Emisiones Totales (kg CO₂)**
Cemento Siguaney	54,37	45,5	146
Arena	90,72	76,01	244,01
Cal	5,207	4,36	14,01
Bloque 400 X150 X 200 MM	82,238	68,91	221,19
Gravilla	26,775	22,43	72,02
Rajón	17,55	14,07	47,2
Aditivo	1,2	1	3,21
Agua	18,944	15,87	50,95
Emisiones totales debido a la transportación			798
*Densidad del diesel:0,8379kg/L		**Factor de emisión:3,21 Kg CO₂/kg	

Se investigaron todos los consumos de combustible y electricidad (emisiones directas e indirectas) debidos a la obtención de los áridos, los bloques de hormigón. Con dicha información se consolidó la información que se dispone en la tabla 3.11, donde se puede apreciar el volumen de emisiones debidas a las distintas fuentes emisoras en diferentes nodos de la cadena productiva. Tal como se hizo en los análisis de la transportación, se convirtieron los consumos de combustible, de litros a kilogramos, en función de encontrar la medida base para el cálculo de la emisión.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

Tabla 3.11. Emisiones debidas al proceso transformativo de los materiales, por fuentes emisoras

Fuente de emisión	Cantidad de material	Cons. unitario	Cons. Total	Emisiones (kg CO ₂)
Electricidad para fabricar bloques	2200 U	0,038 Kwh/U	83,6 Kwh	0,623
Combustible para fabricar bloques	2200 U	0,025 kg/U	55 kg	176,55
Electricidad para obtención de áridos	20,87 m ³	4,68 Kwh/m ³	97,67 Kwh	0,73
Combustible para obtención de áridos	20,87 m ³	1,3 kg/m ³	27,13 kg	87,1
Electricidad para fabricación de cal	1073 kg	0,007 Kwh/kg	7,511 Kwh	0,056
Combustible para fabricación de cal	1073 kg	0,0068 L/kg	8,77 kg	28,15
Combustible para bombear el agua	8 m ³	0,076 L/m ³	0,51 kg	1,64
Emisiones totales debido a procesos transformativos (por concepto de combustible y electricidad)				294,8
Factor emisión de electricidad: 0,00744Kg CO ₂ /Kwh			Densidad del Diesel:0,8379kg/L	
Factor de emisión del combustible diesel:3,21kg CO ₂ / kg				

Para el cálculo de las emisiones debido a la electricidad se ha utilizado el factor de impacto siguiente: 0,000744 Kg CO₂/KWh, de acuerdo al factor de emisión que reporta la Unión Eléctrica Nacional a partir de la matriz energética del Sistema Electroenergético Nacional. Puede observarse que el grueso de las emisiones se debe al consumo de combustible fósil, altamente generador de emisiones de CO₂.

La tabla 3.12 refleja las emisiones totales para la producción de los diferentes tipos de cemento a emplear en el objeto de estudio y la 3.13 las emisiones de (kg CO₂) por kg de

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

cemento para producir el mismo debido a la cantidad de cemento que se necesita para elaborar los bloques.

Tabla 3.12. Emisiones totales para la producción de los diferentes tipos de cemento

Cemento	Cantidad	Emisiones (kg CO ₂) por kg de cemento	Emisiones (kg CO ₂) Totales
P-35	4 500 Kg	1,017	4 576,5
PP-25	2 782 Kg	0,879	2 445,4
LC3	7 282 Kg	0,672	4 893,5

Tabla 3.13. Emisiones debidas al cemento empleado en la producción de bloques

Bloques	Cantidad de bloques	Cantidad de cemento (Por bloque)	Emisiones (kg CO ₂) por kg de cemento	Emisiones (kg CO ₂) Totales
Producido con LC3	2 200	1,3 kg	0,672	1921
Producido con P-35	2 200	1,3 kg	1,017	2908

La tabla 3.14 ofrece el consolidado de emisiones atendiendo a las fuentes emisoras. Puede notarse que en lo fundamental es el cemento el causante de las emisiones totales que se producen a escala de la vivienda.

Tabla 3.14. Resumen de emisiones por fuentes emisoras

Fuente de emisión (kg CO ₂)	Escenario1	Escenario2
Producción de cemento para la obra	7 022	4 893,5
Producción de cemento para bloques	2 908	1 921
Obtención de áridos y bloques	294,8	294,8
Transportación de materiales	798	798
Total de emisiones	11 023	7 907

La figura 3.1 refleja la reducción de las emisiones en un 28,3% del escenario 2 que considera la utilización del LC3 en todas las aplicaciones de los elementos que componen el hormigón con relación al escenario1.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

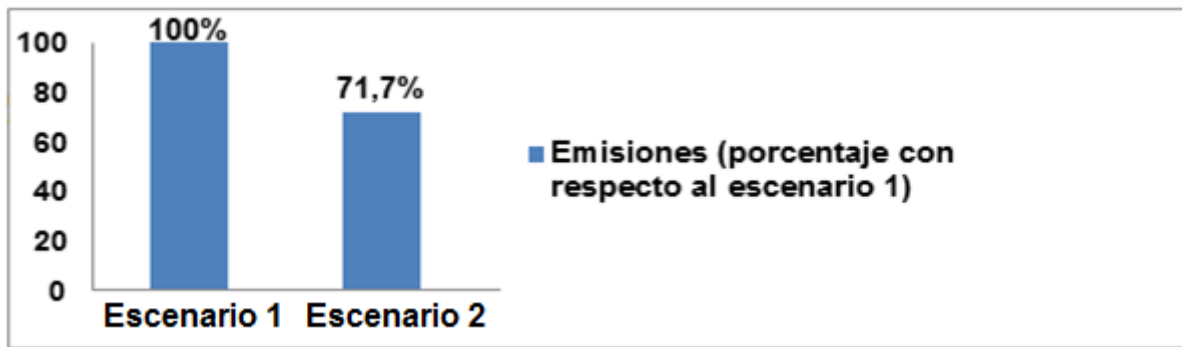


Figura 3.1 Reducción de las emisiones del escenario 2 con respecto al escenario 1

Fuente: Elaboración propia⁷

En la figura 3.2 se puede apreciar la estructura de las emisiones, donde se percibe claramente que el porcentaje más significativo se debe a la producción del cemento tanto en el escenario 1 como en el 2.

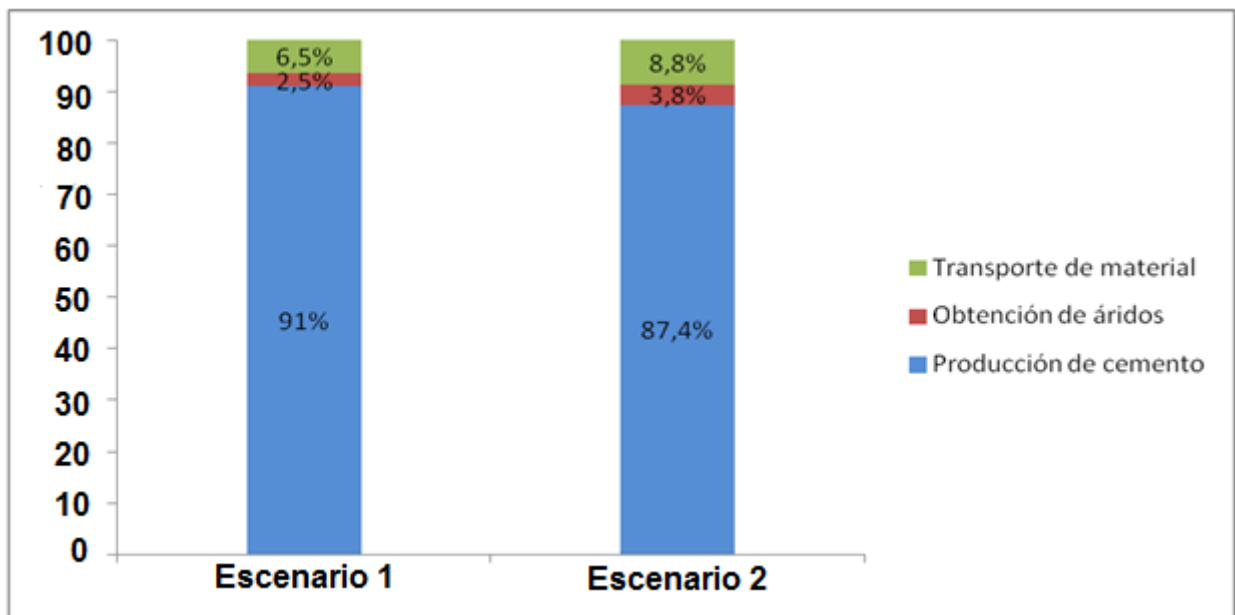


Figura 3.2. Estructura de las emisiones por fuentes emisoras

⁷ Todas las figuras reportadas en este capítulo son de elaboración propia.

Etapa 4.3. Determinación de costos totales al nivel de la unidad funcional analizada

La tabla 3.6 presentada en la etapa 3.2 de la Fase III resume el costo de la vivienda por unidad funcional en ambos escenarios, por lo que ello constituye la primera parte de la evaluación económica. La segunda parte, que se corresponde con el inverso del costo, se presenta conjuntamente con la etapa 4.4 relacionada con la determinación del indicador de eco-eficiencia.

La figura 3.3 refleja la reducción de los costos en un 8,3% del escenario 2 que considera la utilización del LC3 en todas las aplicaciones de los elementos que componen el hormigón con relación al escenario 1.

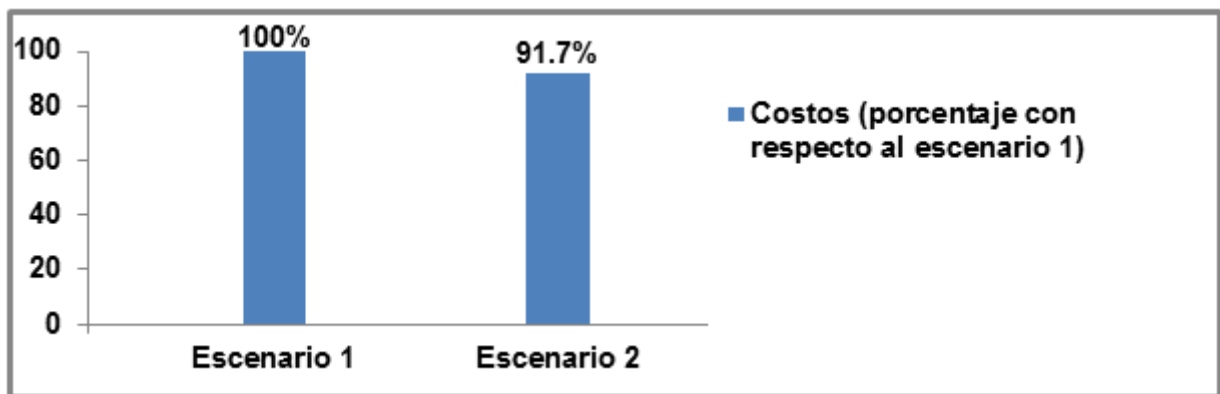


Figura 3.3 Reducción de los costos del escenario 2 con respecto al escenario 1

Etapa 4.4. Determinación de los indicadores de eco-eficiencia

En la tabla 3.15 se ofrece un resumen del proceso de cálculo del indicador de eco-eficiencia con que se ha operado en la investigación, reflejando los costos de los materiales analizados, las emisiones asociadas a la vivienda atendiendo las fuentes emisoras que antes fueron declaradas, el inverso de costo y finalmente el indicador de eco-eficiencia con la consiguiente variación porcentual atendiendo a ambos escenarios comparados que se han sometido a evaluación.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

Tabla 3.15. Resumen del cálculo de la eco-eficiencia

Concepto	U/M	Escenario 1	Escenario 2
Costos	\$	5 087	4 667
Emisiones	kg CO ₂	11 023	7 907
Inverso del Costo		$1,97 \times 10^{-4}$	$2,14 \times 10^{-4}$
Eco-eficiencia		$1,77 \times 10^{-8}$	$2,71 \times 10^{-8}$
Variación en eco-eficiencia	%	53	

En la figura 3.4 se puede apreciar un resumen de los resultados más relevantes derivados del análisis de la eco-eficiencia, ofreciendo una reducción del 8,3% en los costos del escenario 1 con respecto al 2 y una reducción del 28,3% en las emisiones de CO₂, lo cual conjuntamente proporciona un incremento de la eco-eficiencia en, aproximadamente, un 53%.

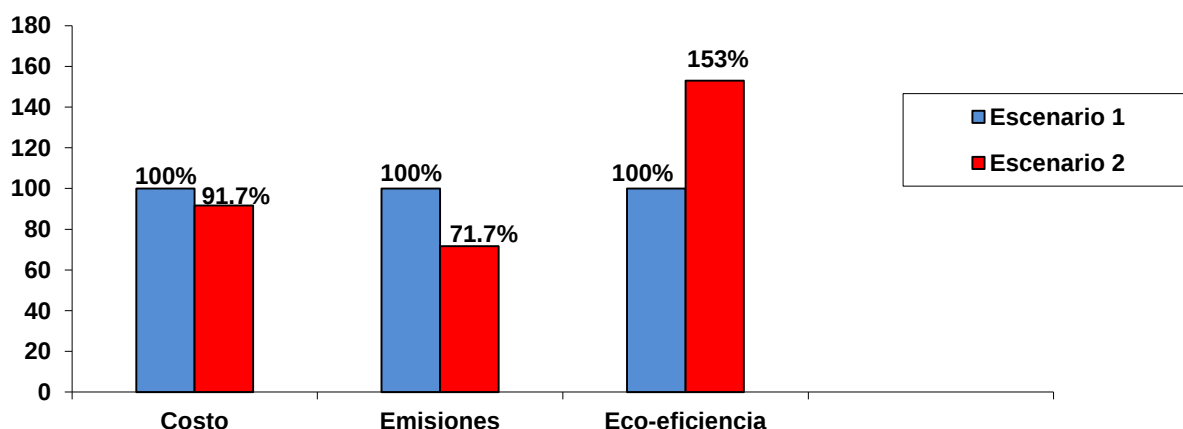


Figura 3.4. Costos, emisiones y eco-eficiencia: comparación de escenarios

Fase V: Reporte del perfil de eco-eficiencia e interpretación

Etape 5.1. Establecer el perfil de eco-eficiencia con fines comunicacionales

Inversionista de la obra constructiva: ECM3

Proyectista de la obra constructiva: Empresa Militar de Proyectos e Investigaciones (EMPI)

Empresa constructora: Empresa Constructora Militar # 3 (ECM3)

Destino final de la edificación: Trabajadores asociados al sistema de la FAR

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA EN LA OBRA VIVIENDA UAM SANTO DOMINGO

Descripción de la solución potencialmente eco-eficiente que origina el estudio: Introducción del cemento cubano de bajo carbono LC3 en una vivienda tipología III (análisis teórico comparativo).

Costo de los materiales involucrados: \$5 087 (Escenario 1) y \$4 667 (Escenario 2).

Emisiones totales asociadas a la vivienda: 11 023 kg de CO₂ (Escenario 1) y 7 907 kg CO₂ (Escenario 2).

Inverso del costo: $1,97 \times 10^{-4}$ (Escenario 1) y $2,14 \times 10^{-4}$ (Escenario 2)

Indicador de eco-eficiencia: $1,77 \times 10^{-8}$ (Escenario 1) y $2,71 \times 10^{-8}$ (Escenario 2) (comparado con la solución más eco-eficiente se generan incrementos de eco-eficiencia del 53%).

Etapla 5.2. Establecer comparaciones con sistemas estructurales de semejantes prestaciones y características homogéneas

El estudio con el cual se compara los resultados obtenidos en la investigación es un análisis de eco-eficiencia en la cadena productiva de una vivienda tipología I: cemento tradicional versus cemento de bajo carbono. Estudio de caso en Sancti Spíritus.

El ámbito de estudio del análisis antes mencionado comprende la vivienda en su totalidad donde se analizan todos los materiales que componen el hormigón dentro de la estructura de la vivienda (exceptuando el acero).

Para realizar la comparación se muestra la tabla 3.16 donde se aprecia que la utilización del cemento de bajo carbono en aplicaciones concretas sustituyendo a los cementos tradicionales (P-35, PP-25) para los diferentes estudios tiene una eficiencia económica de (8% - 8,5%), una eficiencia ambiental de (27% - 29%) lo cual produce un incremento de eco-eficiencia de (50% - 55%).

Tabla 3.16. Comparación de la eco-eficiencia en los diferentes casos

Utilizando LC3	Tipología I	Tipología III
Diferencia de costos %	8,25	8,3
Diferencia de emisiones %	27,32	28,3
Variación de eco-eficiencia %	50	53

CONCLUSIONES

1. Pese a su relativa novedad en la comunidad científica, el concepto de eco-eficiencia se ha convertido en una robusta herramienta para la gestión ambiental de los procesos y operaciones asociados al terreno empresarial. Su dualidad conceptual y funcional, esto es, el carácter económico y ecológico de sus principios, la sitúan en el umbral del cambio hacia el desarrollo sostenible.
2. Los eco-materiales constituyen fuentes innegables de reservas de eficiencia en el sentido económico y ecológico. De ello se deriva que su desarrollo reciente trascienda los ámbitos del nivel local para situarse en escalas de producción tecnológicamente más masivas. El cemento de bajo carbono es un caso particular en este sentido.
3. La productividad y eficiencia de la producción de cemento, bloques, áridos y otros materiales intermedios determinan conjuntamente la eficiencia económica del producto final (la vivienda): en ello radica justamente el concepto de encadenamiento productivo. Dicho enfoque resulta la base analítica para demostrar la eco-eficiencia a lo largo de todo el circuito económico.
4. El procedimiento de evaluación de eco-eficiencia contenido en la Norma ISO-14045/2012 posee un carácter general para cualquier sistema productivo, carece de herramientas particulares que puedan ser aplicadas a sectores económico-productivos específicos, como por ejemplo, el sector de la construcción. Lo anterior determina la necesidad de desarrollar procedimientos alternativos que se adapten a las condiciones económico-productivas de cada contexto de análisis.
5. En un análisis comparado entre los escenarios sometidos a evaluación en la presente investigación, se evidencia la superioridad técnica, económica y ambiental de la introducción del cemento de bajo carbono con relación a los cementos tradicionales, reflejado en una reducción de emisiones de CO₂ en un 28,3%, de costos en un 8,3% lo cual conjuntamente proporciona un incremento de la eco-eficiencia en, aproximadamente, un 53%., considerando el estudio realizado al nivel de la unidad funcional analizada.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar nuevos estudios de caso de evaluación de eco-eficiencia, especialmente cuando se construyan edificaciones utilizando LC3 en sustitución de los cementos tradicionales, para así saber en realidad la cantidad de materiales que se necesita para cada actividad cuando se utiliza este cemento.
2. Investigar acerca de evaluaciones de eco-eficiencia en aplicaciones del cemento de bajo carbono en otros países que forman parte del proyecto internacional “Cemento de Bajo Carbono”, como por ejemplo, la India y Suiza, con el objetivo de ofrecer comparaciones entre resultados de similares unidades funcionales.

BIBLIOGRAFÍA

Antoni, M., 2012. *Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone*. *Cement and Concrete Research*. Disponible en: [http://www.researchgate.net/publication/256678882Cement substitution by a combinati on of metakaolin and limestone](http://www.researchgate.net/publication/256678882Cement_substitution_by_a_combinati_on_of_metakaolin_and_limestone)

Aylard, R. & Hawson, L., 2002. *Our agenda for action*. World Business Council for Sustainable Development and Cement Sustainability Initiative (WBCSD-CSI). Disponible en: www.wbcscd.org.

Basset-Mens, C. & Van de Werf, H. M., 2005. "Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France". *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Disponible en: www.prairieswine.com/pdf/3436.pdf

Benítez, A. & Iglesias, S. M., 2011. *El uso de los eco-materiales y residuos para la producción de materiales de la construcción*. Disponible en: <http://www.ecosur.org/index.php/publicaciones/category/2-ecomateriales?download=89:el-uso-de-ecomateriales-y-residuos-para-la-produccion-de-materiales-de-la-construccion>

Betancourt, S., 2013. *Tecnología del Hormigón*. Santa Clara: Departamento de Ingeniería Civil, UCLV.

Brasil. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), 2003. *Guia da produção mais limpa faça você mesmo*. Disponible en: <http://www.pmaisl.com.br/publicacoes/guia-da-pmaisl.pdf>

Campos, J. A. R., 2009. *El concreto como solución sustentable*. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Docs/Seminarios/2011/EEE/3%20JOSE%20RODRIGUEZ%20CAMPOS.pdf>

Cancio, Y., 2015. *Propuesta de procedimiento para la evaluación de eco-eficiencia en aplicaciones a sistemas constructivos cubanos*. Conferencia Internacional de Ciencias Empresariales (CICE-2014). Santa Clara: Departamento de Economía, UCLV.

Cárdenas, P. D. R., 2014. *Cadenas de Viviendas Bio-productivas*. Disponible en: <http://repository.ucatolica.edu.co:8080/jspui/bitstream/10983/1731/1/CADENA%20DE%20VIVIENDAS%20BIO-PRODUCTIVAS.pdf>

BIBLIOGRAFÍA

Carrasco, M. F., Menéndez, G., Bonavetti, V. e Irassar, E. F., 2005. *Strength optimization of "tailor - made cement" with limestone filler and blast furnace slag*. *Cement and Concrete Research*. Disponible en: www.redalyc.org/pdf/1276/127619365004.pdf

Castillo, I., 2012. *Estudio de factibilidad económico-financiera de la producción de matakaolín y su utilización en la producción de cemento en la fábrica de cemento de Siguaney, Sancti Spíritus*. Santa Clara: Facultad de Ingeniería Civil, UCLV.

Castillo, R., 2010. *Puzolanas de alta reactividad a partir de la activación térmica y mecánica de una arcilla caolinítica de baja pureza*. Tesis doctoral, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara: Departamento de Ingeniería Civil, UCLV.

Colombia. Fundación Hábitat Colombia, 2007. *Eco-vivienda en Latinoamérica*. Disponible en: <http://www.fundacionhabitatcolombia.org/galeria/encuentro-internacional-habitat-colombia/2007.-encuentro--neiva/index.html>

Côté, R., Booth, A. & Louis, B., 2006. *Eco-efficiency and SMEs in Nova Scotia, Canada*. Disponible en: <https://books.google.com.cu/books?id=hsqeBQAAQBAJ&pg=PA428&lpg=PA428&dq=Eco+efficiency+and+SMEs+in+Nova+Scotia,+Canada+2006&source=bl&ots=8uGNm50v8r&sig=8axhkBnREgbpiHI723HMS0hy7bq&hl=es-419&sa=X&ei=QG4TVeKRGYK6ogSuloLoDQ&ved=>

Cuba. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2007. *Eco-materiales en Proyectos de Vivienda Social, Cuba.*, Santa Clara: CIDEM.

Cuba. Ministerio de Industrias, 2014. *Catálogo de especificaciones de productos. Rama Combustible. Manual de gestión de calidad*. Documento digital en PDF. , La Habana: CUPET.

Cuba. Ministerio de la Construcción, 1981. RC 3084, *Muros y Tabiques de bloques de hormigón*. Material consultado en la Empresa Militar de Proyectos e investigaciones de las FAR.

Cuba. Ministerio de la Construcción, 1981. RC 3128, *Terminaciones – Salpicado y resano de paredes*. Material consultado en la Empresa Militar de Proyectos e investigaciones de las FAR.

Cuba. Ministerio de la Construcción, 1981. RC 3130, *Terminaciones – Fino sobre resano*. Material consultado en la Empresa Militar de Proyectos e investigaciones de las FAR.

BIBLIOGRAFÍA

De Simone, L.D. & Popoff, F., 1997. *Eco-efficiency: The Business Link to Sustainable Development*. Cambridge, MA: MIT Press.

De Weerd, K. & H. Justnes. , 2008. *Microstructure of binder from the pozzolanic reaction between. in First International Conference on Microstructure Related Durability of Cementitious Composites*. Disponible en: http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=65&id_papier=2639

De Weerd, K., et al, 2011. *Hydration mechanisms of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash. Cement and Concrete Research*. Disponible en: http://scholar.google.com/cu/scholar_url?url=http://www.c-s-h.ir/wp-content/uploads/2014/04/Hydration-mechanisms-of-ternary

Delgado, D., 2003. *Estudio del comportamiento de los suelos cohesivos con problemas especiales de inestabilidad volumétrica y sus soluciones ingenieriles*. Santa Clara: UCLV.

Díaz, V. G. J., 2009. *Factores determinantes de la gestión eco-eficiente de los residuos urbanos (GERU) en cataluña: una aproximación institucional*. Disponible en: http://www.tdx.cat:http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1491/GDV_TESIS.pdf;jsessionid=94EB0976F3086FCDAAC034C52EF1FBD6.tdx1?sequence=1

Dopico, J.J., 2003. *Ficha técnica sistema Sipret. Para los trabajos en los talleres de ecomateriales*. Santa Clara: CIDEM (UCLV).

ECOSUR, 2008. *Tejas TEVI*. Disponible en: <http://www.ecosur.org/./././index.php?option=content&task=view&id=38&Itemid=41>.

ECOSUR, 2015. *Maquinarias TEVI*. Disponible en: <http://www.ecosur.org/index.php/ecomateriales/adobe/16-equipos-y-maquinarias/maquinaria-para-tejas>

Erkko, S., Melanem, M. y Mickwitz, P., 2005. *Eco-efficiency in the finnish EMAS reports a buzz word?* Disponible en: http://www.academia.edu/8204142/Ecoefficiency_in_the_Finnish_EMAS_reports_a_buzz_word

Fuentes, R., 2014. *Evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva de un edificio construido con tecnología FORSA, en el Reparto Van Troi II de Caibarién*. Santa Clara: Departamento de Ingeniería Civil (UCLV).

García, C. W., 2014. *Evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva de un edificio Gran Panel IV Modificado, en el Reparto Van Troi II de Caibarién*. Santa Clara: Departamento de Ingeniería Civil (UCLV).

Gartner, E., 2004. *Industrially interesting approaches to "low-CO₂" cements*. *Cement and Concrete Research*.

Hirschman, A., 1958. *The Strategy of economic Development*. Disponible en: <http://www.rrojasdatabank.info/pioneers4.pdf>

Huppel, G. & Ishikawa, M., 2005. "A framework for quantified eco-efficiency analysis". *Journal of Industrial Ecology*. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1162/108819805775247882/abstract>

Isaza, C. J. G., 2006. *Cadenas productivas enfoques y precisiones conceptuales*. Disponible en: http://portal.uexternado.edu.co/pdf/5_revistaSotavento/pdfSotavento/Sotavento%252011/JairoIsaza.pdf

Karimi, K. G., 2011. *Ecomateriales y construcción sostenible*. Disponible en: api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi.../componente78213.pdf

Kicherer, A., Schaltegger, S., Tschochohei, H. & Ferreira, B., 2007. "Eco-efficiency. Combining life cycle assessment and life cycle cost via normalization". *International Journal of Life Cycle Assessment*.

Kortelainen, M. & Kuosmanen, T., 2007. "Eco-efficiency analysis of consumer durables using absolute shadow prices". *Journal of Production Analysis*. Disponible en: <http://econwpa.repec.org/eps/pe/papers/0511/0511022.pdf>

Kumar, M. P., 2001. *La reducción del impacto ambiental del hormigón El hormigón puede ser durable y ambientalmente amistoso*. Disponible en: <http://www.icpa.org.ar/publico/files/mehtahor.pdf>

Kuosmanen, T. & Kortelainen, M., 2005. "Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis". *Journal of Industrial Ecology*.

Lehni, M., 2000. *Ecoeficiencia: Creando más valor con menos impacto*. Disponible en: http://www.wbcsd.org/web/publications/eco_efficiency_creating_more_value-spanish.pdf

Magerholm Fet, A. & Michelsen, O., 2002. "Industrial ecology and eco-efficiency: an introduction to the concepts". Disponible en: <http://www.iot.ntnu.no/users/fet/Publi-Forfatterskap/publikasjoner/Paper-Vilnius-2002.pdf>

BIBLIOGRAFÍA

- Martirena, H. F., et al. (2000). *CP-40 manual de calidad*. Santa Clara: CIDEM (UCLV).
- Martirena, H. F. (2005). *La producción de eco-materiales para la construcción de viviendas de interés social como una vía para la descentralización. La experiencia cubana*. Disponible en: <http://www.ecosur.org/index.php/publicaciones/category/5-reportes-de-proyectos?download=38:la-produccion-de-ecomateriales-para-la-construccion-de-vivienda-de-interes-social-como-una-via-para-la-descentralizacion-la-experiencia-cuban>
- Martirena, F., 2010. *Potencialidades de mejoramiento de la eficiencia en la producción de Cemento Pórtland en Cuba*. Santa Clara: CIDEM (UCLV).
- Martirena, H. F. (2013). *Cemento ternario en base a arcilla calcinada, carbonato y clínquer*. Santa Clara: CIDEM (UCLV).
- Matos, W., 2007. *Dosificaciones típicas para la producción de ecomateriales de alta calidad. ingeniería civil*. Santa Clara: CIDEM (UCLV).
- México. ONUDI, 2004. *Manual de minicadenas productivas*. Disponible en: http://economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/cadena_productiva_arena.pdf
- Michelsen, O., Magerholm, . F. A. y Dahlsrud, A., 2005. *Ecoef- Ecoef-ficiency in extended supply chains: A case study of furniture production, J. Environ. Manag.* Disponible en: http://www.researchgate.net/http://www.researchgate.net/publication/7514295_Ecoefficiency_in_extended_supply_chains_a_case_study_of_furniture_production
- Montes, Vásquez, J., 2008. *Ecoeficiencia: una propuesta de responsabilidad ambiental empresarial para el sector empresarial para el sector financiero colombiano. Tesis de grado en Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín*. Disponible en: http://intranet.minas.medellin.unal.edu.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=505&Itemid=285
- Müller, N. & Harnisch, J., 2008. *A blueprint for a climate fricement industry. WWF. Lafarge Conservation Partnership*. Disponible en: www.panda.org/climatesavers.
- Nistal, Cordero , A. F., Renata, Maqueda, M. J. y Abrio, T. R., 2012. "El hormigón: historia, antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia". *Revista de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.*, 10.Abril. Disponible en:

BIBLIOGRAFÍA

<http://www.uax.es/publicacion/el-hormigon-historia-antecedentes-en-obras-y-factores-identificativos.pdf>

Oficina Nacional de Normalización, 1984. NC. 50-03: 1984 *Distribución de la vivienda por tipo de asentamientos humanos.*, La Habana: Cuba.

Oficina Nacional de Normalización, 2005. NC. 247: 2005 *Bloques huecos de hormigón. Especificaciones.* La Habana: Cuba.

Oficina Nacional de Normalización, 2007. NC. 120: 2007 *Hormigón hidráulico. Especificaciones.* Cuba. La Habana: Cuba.

Organización Internacional para la Estandarización (ISO). ISO 14040, 1997. *Gestión Ambiental-Análisis de Ciclo de Vida-Principios y Marco de referencia.* Material en soporte digital. Santa Clara: Departamento de Economía.

Organización Internacional para la Estandarización (ISO). ISO 14042, 2001. *Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida.* Material en soporte digital. Santa Clara: Departamento de Economía.

Organización Internacional para la Estandarización (ISO). ISO14045, 2012. *Environmental management-Eco-efficiency assessment of product systems-Principles, requirements and guidelines.* Material en soporte digital. Santa Clara: Departamento de Economía.

Organization for economic co-operation and development (OECD). (1998). "Eco-efficiency". Disponible en: <http://browse.oecdbookshop.org/oecd/pdfs/free/9798071e.pdf>

Oss, H. G. & Padovani, A. C., 2003. *Cement manufacture and the environment Part II: Environmental challenges and opportunities.* Disponible en: <http://www.wbcsdcement.org/pdf/tf4/JIE-article-winter-2003-part-2.pdf>

Pérez, C. ,. Y., 2014. *Evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva de una vivienda producida con cemento cubano de bajo carbono.* Trabajo de diploma. Santa Clara: Departamento de Economía (UCLV).

Pierre, A., 2008. El futuro del hormigón y el hormigón del futuro. Innovación y percepción social en las infraestructuras: el futuro del hormigón. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/265723002/Concreto-Del-Futuro#scribd>

Porter, M. E., 1985. *Competitive Advantage.* Obtenido de. Disponible en: <http://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx%3Fnum%3D193>

BIBLIOGRAFÍA

- Porter, M. E., 2000. *Ventaja Competitiva*. Disponible en: <http://www.itson.mx/micrositios/pimpiie/Documents/ventaja%2520competitiva.pdf>
- Posadas, L. Á., 2005. *Cadenas Productivas en Pequeñas y Grandes Empresas*. La Plata: Universidad de la Plata.
- Purnell, P., 2013. *The carbon footprint of reinforced concrete. Advances in Cement Research*. Disponible en: eprints.whiterose.ac.uk/78456/1/adcr25-0362.pdf
- Rincón, E. & Wellens, A., 2011. *Cálculo de indicadores de ecoeficiencia para dos empresas ladrilleras mexicanas*. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n4/v27n4a6.pdf>
- Salazar A. & Van der Heyden, 2004. *Metodología de Análisis de Cadenas Productivas con Equidad para la Promoción del Desarrollo Local*. Disponible en: <http://www.bvcooperacion.pe>
- Sánchez, S., 2015. *Economic and environmental impacts of LC3. Specific case of Cuba. PPT Presentation on LC3 International Meeting. Zurich, Switzerland*. Santa Clara: Facultad de Ciencias Económicas, UCLV.
- Santillán, S. & Paola, A. (2014). *Determinación de la huella de carbono bajo las consideraciones de la norma ISO 14064 en el área de acería de la empresa metalúrgica ecuatoriana*. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3674>
- Schaltegger, S., 1996. *Corporate Environmental Accounting*. Disponible en: http://books.google.co.uk/books/about/Contemporary_Environmental_Accounting.html
- Sinkin, C., Wright, J. & Burnett, R., 2008. *Ecoefficiency and firm value*. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278425408000161>
- Sturm, A., Müller, K. & Upasena, S., 2004. *A Manual for the Preparers and Users of Eco-efficiency Indicators*. Disponible en: http://unctad.org: http://unctad.org/en/docs/iteipc20037_en.pdf
- Suiza. Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) y [Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo](#) (PNUMA), 1997. *Eco-Efficiency and Cleaner Production*. Disponible en: <http://www.wbcsd.org/Pages/Adm/Download.aspx?ID=5848&ObjectType=7>
- Unión Europea, 2015. "History and definitions of eco-efficiency". *TRUST IN - European Training Partnership on Sustainable Innovation*. Disponible en: http://prepare-net.com/sites/default/files/history_and_definition_of_eco-efficiency.pdf

BIBLIOGRAFÍA

Verfaillie, H. A. y Bidwell, R., 2000. *Measuring ecoefficiency: a guide to reporting company performance*. Disponible en: <http://www.gdrc.org/sustbiz/measuring.pdf>

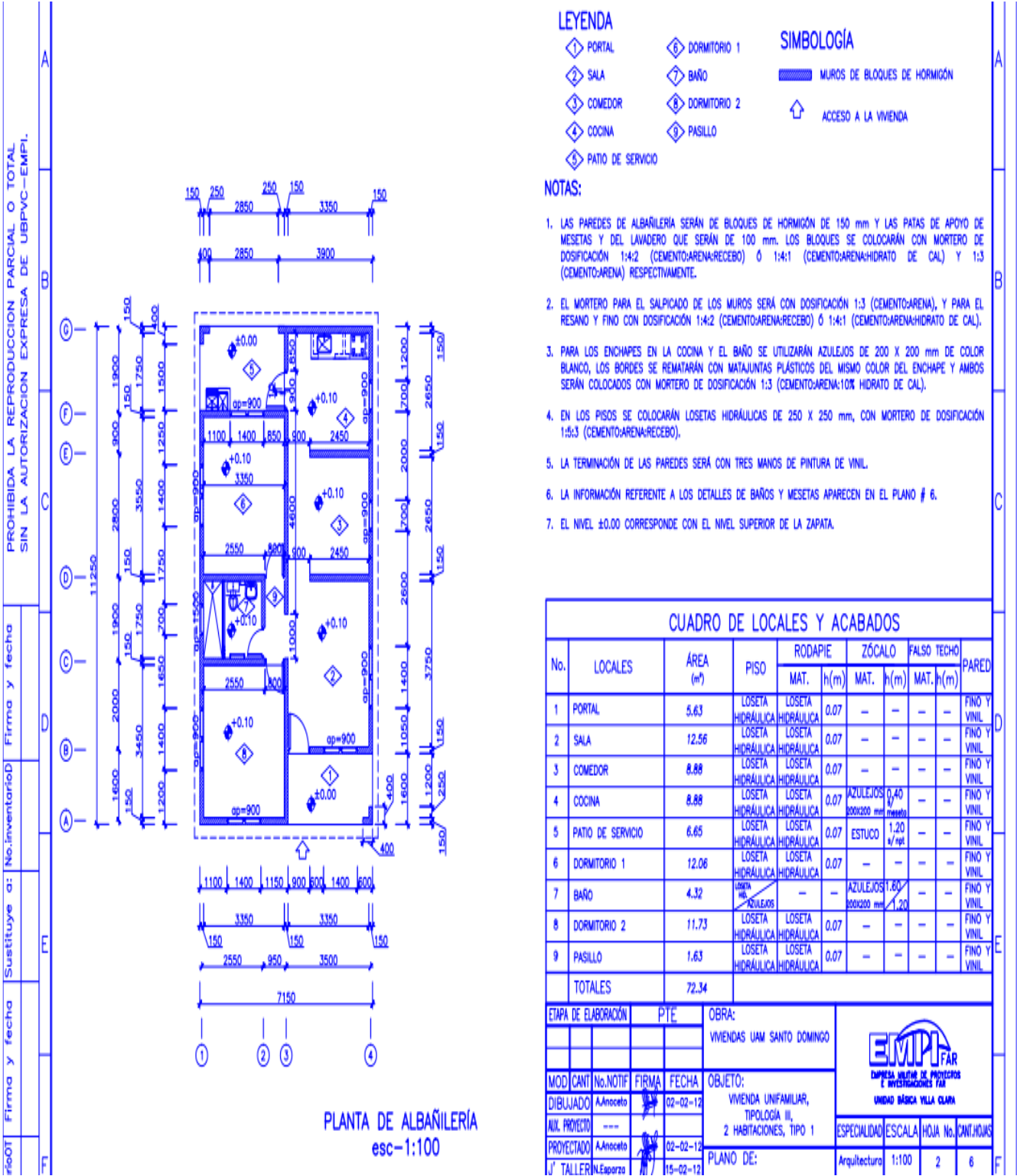
Vicente, C. Y., 2014. *Evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva de una vivienda producida con cemento de bajo carbono*. Santa Clara: Facultad de Construcciones.

Vizcaíno, A. L. M, S. Sánchez - Berriel, F. Martirena, et al., 2014. *Impacto del uso de un cemento de bajo carbono en la mejora de la sostenibilidad de la producción de cemento*. Disponible en: http://www.researchgate.net/profile/Jose_Fernando_Martirena_Hernandez/publications

Vizcaíno, A. L. M., 2014. *Cemento de Bajo Carbono a partir del sistema cementicio ternario del clínquer – arcilla calcinada - caliza*. Tesis Doctoral, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Facultad de Construcciones. Santa Clara: UCLV.

ANEXOS

Anexo 1: Plano de la vivienda



ANEXOS

Anexo 2: Índices técnico- económicos

INDICE TÉCNICOS ECÓNICOS (m ²)		
1	Superficie edificada	83.43
2	Superficie total del edificio	83.43
3	Superficie útil	72.34
4	Área de carpintería	21.38
5	Área de muros de albañilería	166.32

Anexo 3: Cantidad de materiales para el sistema estructural de la vivienda

Listado de materiales.				
No.	Denominación	u/m	Cantidad	Observacio.
Especialidad estructuras				
1.	Cemento gris P-350	t	4.50	
2.	Arena de minas beneficiada	m ³	7.50	
3.	Piedra de hormigón 19-38 mm	m ³	7.25	
4.	Gravilla TM 19 mm	m ³	4.50	
5.	Madera para encofrado	m ³	3.50	
6.	puntillas de hierro con cabeza calibre 12 mm	kg	33.55	
7.	Barra de acero corrugado grado G-30 Ø 6 mm	t	0.1256	
8.	Barra de acero corrugado grado G-40 Ø 10 mm	t	0.0178	
9.	Barra de acero corrugado grado G-40 Ø 12 mm	t	0.6970	
10.	Viga de AC "U" 80x40x1.5x2 mm	M	94.80	
11.	Alambre liso de acero galvanizado No.18	kg	4.90	
12.	Aditivo	l	60.60	
13.	Electrodos para soldar acero dulce 6011 de 3 mm.	u	1.35	
14.	Rajon de voladuras grado A	m ³	2.95	

Anexo 4: Listado de precios oficiales (EMCVC)

EMPRESA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE VILLA CLARA

RESOLUCIÓN NO. 599/2014.

POR CUANTO: El Decreto Ley no. 252, de 7 de Agosto de 2007, "Sobre la Continuidad y el Fortalecimiento del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Cubano" tal como quedo modificado por el Decreto Ley número 295 de 15 de Julio de 2012 y el Decreto Ley no. 320 de 30 de Enero de 2014 y la legislación complementaria estableció el régimen Jurídico de las empresas que aplican el Perfeccionamiento Empresarial.

POR CUANTO: El Decreto no. 281 de fecha 16 de agosto de 2007 Reglamento para la implantación y consolidación del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Estatal, tal y como fue modificado por el Decreto no. 303 de fecha 12 de Octubre de 2012, y el Decreto no. 323 de 1 de Marzo de 2014, establece en el artículo 77 inciso 11 dictar resoluciones, reglamentos, procedimientos y manuales que garanticen la implantación del Sistema de Dirección y Gestión y el cumplimiento de las leyes y documentos jurídicos.

POR CUANTO: El Decreto No. 300 "Facultades para la aprobación de precios y Tarifas", de fecha 11 de octubre de 2012, del consejo de Ministro, dispone en su disposición Especial Segunda, que los precios y tarifas de los productos y servicios que no están relacionados en el anexo Único del propio Decreto, se aprueban por el Ministerio de Finanzas y Precios o quien este delegue.

POR CUANTO: Mediante la Resolución Conjunta No. 1 del Ministerio de Economía y Planificación y el Ministerio de Finanzas y Precios, se definió las relaciones monetarias mercantiles entre entidades estatales cubanas y las sociedades mercantiles de capital totalmente cubano.

POR CUANTO: Mediante la Instrucción No. 16-2000 de fecha 10 de mayo de 2000 del Ministerio de Finanzas y Precios se pone en vigor las guías para la confección de los modelos que servirán de base para la formación y aprobación de los precios mayoristas.

POR CUANTO: La Resolución No. 21/99 de fecha 11 de Agosto de 1999 del Ministerio de Finanzas y Precios, pone en vigor la "Metodología General para la Formación y Aprobación de precios y Tarifas en Moneda Nacional".

POR CUANTO: La Resolución No. 38/2013 de fecha 31 de Enero de 2013, dictada por la Ministra del Ministerio de Finanzas y Precios se aprobaron los productos y servicios, cuyos precios y tarifas corresponde fijar centralmente por dicho Ministerio y en su Apartado Cuarto, que la facultad de aprobación de precios y tarifas debe centrarse en los jefes máximos de las empresas, excepto en aquellos casos en que económica y socialmente interese regular a niveles superiores de dirección.

POR CUANTO: La Resolución No. 310/13 del Ministerio de Finanzas y Precios faculta a los jefes máximos de las empresas y otras entidades con personalidad jurídica propia, subordinadas al Ministerio de la Construcción, que producen y/o prestan servicios técnicos-productivos especializados, para aprobar sus precios mayoristas y tarifas en pesos cubanos y su componente en pesos convertibles. Y la propia norma en sus fundamento señalaba la necesidad de actualizar las facultades otorgadas a los jefes de los órganos, organismos, organizaciones superiores de Dirección y empresas para fijar y modificar precios mayoristas y tarifas técnico-productivas en pesos cubanos (CUP) y en pesos convertibles (CUC), para lograr una mayor flexibilidad en estos sin perder el carácter centralizado de sus decisiones, obteniendo así una mayor agilidad en los procesos de aprobación y modificación de los precios.

MAIZONS
Empresa de Materiales de Construcción de Villa Clara
ASESORÍA JURÍDICA

ANEXOS

EMPRESA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE VILLA CLARA



Resolución No. 599/2014.

Anexo Único que consta de 3 Páginas

LISTADO DE PRECIOS OFICIALES

PRECIOS MAYORISTAS MÁXIMOS Y SUS COMPONENTES EN PESOS CONVERTIBLES, DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (CANTERA, HORMIGÓN, MORTEROS y CERÁMICA) ELABORADOS EN LA EMPRESA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE VILLA CLARA.

CÓDIGOS	PRODUCTOS	UM	P R E C I O S	
			MONEDA TOTAL	DE ELLO EN CUC
4-12.104.0101	ARENA ARTIFICIAL A	m ³	27.05	7.46
4-12.103.0012	ARENA DE RÍO Y MINAS BENEFICIADA	m ³	19.20	4.31
4-12.102.0001	ARENA DE RÍOS Y MINAS SIN BENEFICIAR	m ³	5.75	0.95
4-11.499.0002	BASE PIETREA	m ³	19.95	4.81
4-11.402.0301	PIEDRA TRITURADA A HORMIGÓN	m ³	23.25	6.09
4-11.404.0351	PIEDRA TRITURADA A GRANITO	m ³	25.60	6.72
4-11.403.0501	PIEDRA TRITURADA A GRAVILLA	m ³	25.40	6.68
4-11.401.0301	PIEDRA TRITURADA A MACADAM	m ³	22.55	5.52
4-11.405.0351	PIEDRA TRITURADA A POLVO	m ³	26.65	6.85
4-11.405.0351A	PIEDRA TRITURADA A POLVO II	m ³	26.60	6.85
4-11.405.0351B	PIEDRA TRITURADA A POLVO III	m ³	26.55	6.85
4-11.401.0601	RAJÓN DE VOLADURA	m ³	8.25	1.63
4-11.401.0201	RAJONCILLO	m ³	18.14	4.29
4-11.499.0004	RECEBO	m ³	1.60	
4-11.499.0003	RELLENO	m ³	2.98	1.40
2-10.101.9999	CARBONATO DE CALCIO	t	26.10	5.81
4-11.101.0001	CAL VIVA EN PIEDRA	t	315.77	207.72
4-17.201.0012	BLOQUE DE 15X50X20 CM TECNOLOGÍA ESPAÑOLA	u	1.20	0.51
4-17.201.0013	BLOQUE DE 10X50X20 CM TECNOLOGÍA ESPAÑOLA	u	1.04	0.45
4-17.201.0001	BLOQUE DE 10X20X40 CM TECNOLOGÍA CUBANA	u	1.05	0.32
4-17.201.0002	BLOQUE DE 15X20X40 CM TECNOLOGÍA CUBANA	u	1.38	0.38
4-17.201.0003	BLOQUE DE 20X20X40 CM TECNOLOGÍA CUBANA	u	1.76	0.47
4-18.106.0013	BALDOSA MONOCAPA BLANCA	m ²	26.10	13.17
4-18.106.0012	BALDOSA MONOCAPA GRIS	m ²	24.74	12.17
4-18.301.0001	MORTEIRO COLA BLANCO	t	358.25	159.35
4-18.301.0002	MORTEIRO COLA GRIS	t	334.96	144.65
4-18.301.0005	MORTEIRO DE ALBAÑILERÍA FINO	t	197.45	47.03
4-18.201.0006	MOSAICO LISO BLANCO	m ²	24.19	5.92
4-18.201.0001	MOSAICO LISO GRIS	m ²	23.92	5.75
4-18.201.0017	MOSAICO JASPE CON PIGMENTO 3 PASTAS	m ²	29.42	5.91

ASESORÍA JURÍDICA

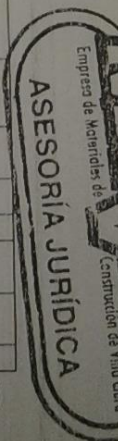
ee

ANEXOS

EMPRESA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE VILLA CLARA

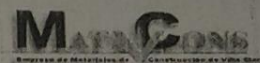


448.201.0018	MOSAICO JASPE CON PIGMENTO 2 PASTAS	m ²	26.85	5.91
448.202.0001	RODAPÉ MOSAICO LISO GRIS	m ²	24.71	6.08
448.202.0002	RODAPÉ MOSAICO LISO BLANCO	m ²	25.08	6.26
448.202.0005	RODAPÉ MOSAICO JASPE CON PIGMENTO 2 PASTAS	m ²	27.44	6.24
448.202.0006	RODAPÉ MOSAICO JASPE CON PIGMENTO 3 PASTAS	m ²	29.72	6.24
448.104.0029	LOSA DE TERRAZO BLANCA 30X30 CM	m ²	47.27	11.44
448.104.0030	LOSA DE TERRAZO GRIS 30X30 CM	m ²	45.97	10.51
448.104.0031	LOSA DE TERRAZO BLANCA 50X50 CM	m ²	52.60	16.38
448.104.0032	LOSA DE TERRAZO GRIS 50X50 CM	m ²	50.79	15.27
448.104.0033	LOSA DE TERRAZO BLANCA	m ²	47.27	11.44
448.104.0034	LOSA DE TERRAZO GRIS	m ²	45.97	10.51
4481040029B	LOSA DE TERRAZO BLANCA RÚSTICA 30X30 CM	m ²	40.72	11.44
4481040030B	LOSA DE TERRAZO GRIS RÚSTICA 30X30 CM	m ²	39.42	10.51
4481040031B	LOSA DE TERRAZO BLANCA RÚSTICA 50X50 CM	m ²	43.20	15.19
4481040032B	LOSA DE TERRAZO GRIS RÚSTICA 50X50 CM	m ²	41.95	14.30
4481040033B	LOSA DE TERRAZO BLANCA RÚSTICA	m ²	40.72	11.44
4481040034B	LOSA DE TERRAZO GRIS RÚSTICA	m ²	39.42	10.51
4484040020	RODAPÉ DE BALDOSA MONOCAPA GRIS	m ²	25.10	12.25
4484040021	RODAPÉ DE BALDOSA MONOCAPA BLANCA	m ²	26.92	13.28
448.404.0024	RODAPÉ DE TERRAZO GRIS DE 0.50X0.073 M	m ²	52.19	15.42
448.404.0025	RODAPÉ DE TERRAZO BLANCO DE 0.50X0.073 M	m ²	54.01	16.54
448.404.0026	RODAPÉ DE TERRAZO GRIS 0.30X0.073 M	m ²	48.68	10.81
448.404.0027	RODAPÉ DE TERRAZO BLANCO 0.30X0.073 M	m ²	49.98	11.74
448.404.0028	RODAPÉ DE TERRAZO GRIS	m ²	48.68	10.81
448.404.0029	RODAPÉ DE TERRAZO BLANCO	m ²	49.98	11.74
447.601.0101	TUBO HORMIGÓN ALCANTARILLADO 400 SR	u	149.63	68.95
447.601.0102	TUBO HORMIGÓN ALCANTARILLADO 500 SR	u	161.98	71.76
447.601.0103	TUBO HORMIGÓN	u	183.42	84.47



ANEXOS

EMPRESA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE VILLA CLARA



447.601.0104	ALCANTARILLADO 600 SR TUBO HORMIGÓN	u	226.17	116.69
447.601.0105	ALCANTARILLADO 800 SR TUBO HORMIGÓN	u	302.36	136.47
447.602.0105	ALCANTARILLADO 1000 SR TUBO HORMIGÓN	u	384.44	170.52
447.602.0106	ALCANTARILLADO 1000 CR TUBO HORMIGÓN	u	579.85	197.99
447.602.0107	ALCANTARILLADO 1200 CR TUBO HORMIGÓN	u	699.67	251.69
447.602.0108	ALCANTARILLADO 1400 CR TUBO HORMIGÓN	u	826.28	305.65
446.190.9192	ALCANTARILLADO 1600 CR VIGUETAS T-12-3	m	7.62	3.16
446.222.7202	VIGUETAS T-12-4	m	7.86	3.43
446.222.7204	VIGUETAS T-12-6	m	8.36	3.90
446.190.9193	VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO	m	12.27	2.66
446.190.9194	LOSA DE 0.95X0.45X0.03	u	8.14	1.38
448.501.0001	BALDOSA MALLORQUINA GRIS	u	8.04	1.69
448.501.0002	BALDOSA MALLORQUINA BLANCA	u	8.86	2.21
448.601.0001	BALAUSTRADAS C/G 702MM	u	5.02	0.69
448.601.0002	BALAUSTRADAS C/B 702MM	u	5.24	0.84
448.601.0003	BALAUSTRADAS C/G	u	4.60	0.58
448.601.0004	BALAUSTRADAS C/B	u	4.80	0.71
4481040035	TERRAZO GRIS DE 4 CM	m ²	92.79	14.85
4481040036	TERRAZO BLANCO DE 4 CM	m ²	94.47	15.45
4481040038	TABICAS Y MACHONES DE TERRAZO BLANCO	m ²	155.51	19.97
4481040037	TABICAS Y MACHONES DE TERRAZO GRIS	m ²	153.34	18.57
4481040044	PASO ESCALERA ESTRUCTURAL PULIDO Y BRILLADO BLANCO	m ²	162.19	21.88
4481040043	PASO ESCALERA ESTRUCTURAL PULIDO Y BRILLADO GRIS	m ²	161.79	19.92
4481040041	PASO ESCALERA ESTRUCTURAL RÚSTICO GRIS	m ²	86.95	15.92
4481040042	PASO ESCALERA ESTRUCTURAL RÚSTICA BLANCO	m ²	92.82	19.33
454.202.0001	LADRILLO DE BARRO 280X100X70	u	0.95	0.55
454.202.0010	PASTILLA DE BARRO	u	0.42	0.14
441.101.0002	PINTURA COLA	L	2.72	0.22



ANEXOS

Anexo 5: Costos totales de los cementos producidos en Siguaney

Escenarios	Costos Totales	Reducción % Base P- 35	Reducción % Base PP- 25
Portland P-35 de planta de cementos Siguaney con clínker de Siguaney y arcilla de Pontetetzuela	193,85	-	-
Portland PP-25 de planta de cementos Siguaney con clínker de Siguaney y arcilla de Pontetetzuela	170,95	11,8	-
LC3 en planta de cementos Siguaney con clínker de Siguaney y arcilla Pontetetzuela.	157,66	18,7	7,8

Fuente: Adaptado de (Sofia, 2015).

ANEXOS

Anexo 6:

Desagregación de los insumos fundamentales para los bloques de 15 cm (utilizando cemento LC3) Costo total: (\$)

Desagregación de los insumos fundamentales							
Producto. Bloque de Hormigon de 15x20x40		U/M: MU (1000)		Código: 4472010002			
DESCRIPCIÓN	U/M	Código	NC	Precio	COMP CUC	Costo Total	Costo CUC
Hormigón							
Gomas, camaras y Batería	Pesos	10700	1,91	1	1	1,91	1,91
Piezas no tecnológicas	Pesos	1400000000	5,2	1	1	5,2	5,2
Cemento LC3	T	4401020007	1,3	157,66	101,94	204,958	132,522
Eqpo Protec e Higiene	Pesos	5250000000	8,5	1	1	8,5	8,5
Tabla de Bloque	U	103000	3	29,54	0	88,62	0
Piezas Tecnológicas	Pesos	1390000000	52	1	1	52	52
Cadena de transmisión	ML	2300023900	0,0025	15,24	13,25	0,0381	0,033125
Bandas Transportadoras	M	106000	0,004	150	0	0,6	0
Aceros Estructurales	T	1680030760	0,00013	1174,09	1020,95	0,1526317	0,1327235
Granito	M3	10000	5,7	24,66	6,4	140,562	36,48
Agua	M3	2270000001	0,04	0,4	0	0,016	0
Electricidad	MKW/H	2260000001	0,038	272,39	0	10,35082	0
Diesel	T	2250000001	0,025	1174,54	1174,54	29,3635	29,3635
Polvo de piedra	M3	102000	5,3	25,681	6,454	136,1093	34,2062
Grasas lubricantes	T	2330000001	0,024	1479,13	1286,2	35,49912	30,8688
Correas Transmisión	U	1280202500	0,068	10,06	8,75	0,68408	0,595
Aceites lubricantes	T	2330000000	0,0005	1232	1100	0,616	0,55
Rodillos	U	2502502500	0,033	2,33	2,03	0,07689	0,06699
			Total Insumos Fundamentales			715,25644	332,42834
			Gastos de Transportación			178,94	0
			Total general			894,19644	
					Costo Total	1200	

ANEXOS

Desagregación de los insumos fundamentales para los bloques de 15 cm (utilizando cemento P-35) Costo total: (\$)

Desagregación de los insumos fundamentales							
Producto. Bloque de Hormigon de 15x20x40		U/M: MU (1000)		Código: 4472010002			
DESCRIPCIÓN	U/M	Código	NC	Precio	COMP CUC	Costo Total	Costo CUC
Hormigón							
Gomas, camaras y Batería	Pesos	10700	1,91	1	1	1,91	1,91
Piezas no tecnológicas	Pesos	1400000000	5,2	1	1	5,2	5,2
Cemento Gris P-350	T	4401020007	1,3	193,85	101,94	252,005	132,522
Eqpo Protec e Higiene	Pesos	5250000000	8,5	1	1	8,5	8,5
Tabla de Bloque	U	103000	3	29,54	0	88,62	0
Piezas Tecnológicas	Pesos	1390000000	52	1	1	52	52
Cadena de transmisión	ML	2300023900	0,0025	15,24	13,25	0,0381	0,033125
Bandas Transportadoras	M	106000	0,004	150	0	0,6	0
Aceros Estructurales	T	1680030760	0,00013	1174,09	1020,95	0,1526317	0,1327235
Granito	M3	10000	5,7	24,66	6,4	140,562	36,48
Agua	M3	2270000001	0,04	0,4	0	0,016	0
Electricidad	MKW/H	2260000001	0,038	272,39	0	10,35082	0
Diesel	T	2250000001	0,025	1174,54	1174,54	29,3635	29,3635
Polvo de piedra	M3	102000	5,3	25,681	6,454	136,1093	34,2062
Grasas lubricantes	T	2330000001	0,024	1479,13	1286,2	35,49912	30,8688
Correas Transmisión	U	1280202500	0,068	10,06	8,75	0,68408	0,595
Aceites lubricantes	T	2330000000	0,0005	1232	1100	0,616	0,55
Rodillos	U	2502502500	0,033	2,33	2,03	0,07689	0,06699
			Total Insumos Fundamentales			762,30344	332,42834
			Gastos de Transportación			178,94	0
			Total general			941,24344	
					Costo Total	1300	