Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Construcciones

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Diploma

Título:

Evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva de un edificio construido con tecnología FORSA, en el Reparto Van Troi II de Caibarién

Diplomante: Rubiel Fuentes Castellanos

Tutor: MSc. Yudiesky Cancio Díaz

Santa Clara, junio de 2014

RESUMEN

La presente investigación aplica el procedimiento de Cancio (2014) para la evaluación de la eco-eficiencia en la cadena productiva de un edificio FORSA, construido en el Reparto Van Troi II de Caibarién. Se someten a evaluación dos escenarios comparados: un primer escenario (el actual) que utiliza cemento P-35, y un segundo escenario (potencial) que presupone la sustitución del cemento tradicional por el cemento cubano de bajo carbono SIG-B45. El reporte de investigación contiene los fundamentos conceptuales relacionados con la eco-eficiencia como herramienta de gestión, los eco-materiales, la cadena productiva, así como las características generales de los sistemas constructivos de moldes deslizantes y del sistema FORSA. Se caracterizan las interrelaciones entre los entes tecno-económicos de la cadena productiva asociada a dicha solución constructiva, de manera tal que el relevamiento de información a lo largo de toda la cadena contribuya a la cuantificación de la eco-eficiencia. 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 un edificio FORSA 2H- 10 apartamentos, podría generar una reducción de emisiones de CO2 en un 38%, de costos en un 4% y de eco-eficiencia en un 63%.

ABSTRACT

This research applies the procedure of Cancio (2014) for the assessment of eco-efficiency throughout the supply chain in a building FORSA 2H, built in Van Troi II, Caibarién. Two scenarios are involved in the analysis: first (current scenario), using ordinary Portland cement; second, replacing cement P-35 by low carbon cement SIG-B45. The research report encompasses the conceptual foundations related to eco-efficiency as management tool, the eco-materials, the supply chain, as well as the main characteristics of *in situ* construction systems, especially FORSA technique. The links between all economic entities involved in the supply chain are characterized. Finally, the main results achieved from the empiric research work are reported, which can reveals the potential cost-decrease of 4%, emissions-decrease of 38%, as well as the resulting 63% increase in the eco-efficiency indicator, substituting P-35 by LCC.

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA ECO-EFICIENCIA, LOS ECO-MATERIALES Y LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS FORSA **6**

1.1. Fundamentos analítico-conceptuales de la Eco-eficiencia 6
1.1.1. Surgimiento del concepto. Definiciones generales y básicas *6*
1.1.2. Objetivos generales de la eco-eficiencia *9*
1.1.3. Acerca de la medición de la eco-eficiencia *10*
1.1.4. Cinco elementos de los reportes empresariales de eco-eficiencia *14*
1.1.5. Planes nacionales de acción para la eco-eficiencia *15*
1.1.6. La eco-eficiencia: consideraciones para Cuba. Particularidades en el sector de la construcción *17*
1.2. El concepto de cadena productiva: generalidades y nexo con la eco-eficiencia 18
1.3. Los eco-materiales y su importancia en los sistemas constructivos contemporáneos 21
1.3.1. Caracterización general de algunos eco-materiales muy usados *23*
1.3.2. El cemento cubano de bajo carbono: características, desarrollo y usos *25*
1.4. Sistemas constructivos practicados en Cuba con moldes deslizantes 29
1.4.1. Principales ventajas de la tecnología de moldes deslizantes *30*
1.4.2. Desventajas del método de moldes deslizantes *31*
1.5. Principales características constructivas de la tecnología FORSA 31
1.5.1. Ventajas del sistema FORSA *32*
1.5.2. Desventajas del sistema FORSA *33*

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE ECO-EFICIENCIA, CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA, DE LAS ENTIDADES VINCULANTES Y LA TECNOLOGÍA PRODUCTIVA. **34**

2.1. Procedimiento metodológico aplicado en la investigación 34
2.1.1. Fase I. Definición de objetivos y alcance *36*
2.1.2. Fase II: Caracterización de la cadena productiva asociada al sistema-producto seleccionado *37*
2.1.3. Fase III: Creación del inventario de datos: materiales, energía y valor *38*
2.1.4. Fase IV: Determinación de los indicadores de Eco-eficiencia *40*
2.1.5. Fase V: Reporte del perfil de Eco-eficiencia e interpretación *42*
2.2. Caracterización de la Empresa Constructora de Obras Para el Turismo (ECOT) -Cayo Santamaría, de la Unión de Construcciones Militares (UCM) 43
2.3. Breve caracterización de las entidades económicas que intervienen en la cadena productiva del edificio FORSA 49
2.3.1. Unidad Básica de Industria y Materiales (UBIM) *50*
2.3.2. Unidad Básica de Equipos y Talleres (UBET) *50*
2.3.3. Unidad Básica Constructora Caibarién (UBCC) *50*
2.3.4. UEB Armando Mestre, El Purio *51*
2.3.5. UEB Raúl Cepero Bonilla, Palenque *52*
2.3.6. Fábrica de Cementos "Carlos Marx", Cienguegos *52*
2.3.7. Fábrica de Cemento Siguaney *52*
2.4. Caracterización de la cadena productiva de un edificio tipología FORSA en Reparto Van Troi II, Caibarién 53
2.5. Características generales de la obra constructiva objeto de estudio 56

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE ECO-EFICIENCIA: CASO DE ESTUDIO EN EDIFICIO FORSA **60**

Fase I: Definición de objetivos y alcance 60
Etapa 1.1. Definir y tipificar la obra a analizar *60*
Etapa 1.2. Definir el alcance del estudio o límites del sistema (sistema estructural, función y unidad funcional) *60*

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. 60
FASE II: CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA ASOCIADA AL SISTEMA-PRODUCTO SELECCIONADO 61
FASE III: CREACIÓN DEL INVENTARIO DE DATOS: MATERIALES, ENERGÍA Y VALOR 62
Etapa 3.1. Determinación de dosificaciones (gravimétrica y/o volumétrica) por unidad funcional. 62
Etapa 3.2. Transformación de las dosificaciones a escala del sistema estructural definido en 1.2. 62
Etapa 3.3. Definición de las magnitudes que caracterizarán la evaluación económica y ambiental del sistema estructural objeto de estudio. 63
Etapa 3.4. Conversión de las dosificaciones y cantidades totales de 3.2 en función de las magnitudes de 3.3. 63
FASE IV: DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES DE ECO-EFICIENCIA 64
Etapa 4.1. Definición de los indicadores de Eco-eficiencia con que se operará 64
Etapa 4.2. Evaluación medioambiental del sistema productivo como totalidad 65
Etapa 4.3. Evaluación del sistema generador de valor a través de todo el ciclo productivo 68
Etapa 4.4. Determinación de los indicadores de Eco-eficiencia 70
FASE V: REPORTE DEL PERFIL DE ECO-EFICIENCIA E INTERPRETACIÓN 72
Etapa 5.1. Establecer el perfil de Eco-eficiencia con fines comunicacionales 72
CONCLUSIONES 73
RECOMENDACIONES 74
BIBLIOGRAFÍA 75

INTRODUCCIÓN

El mundo contemporáneo se desarrolla a una velocidad vertiginosa y, paralelamente, se produce un proceso espontáneo de urbanización que da al traste con un incremento del conjunto de toda la actividad económica, en especial, el sector de la construcción. El desarrollo económico y social de los países no se concibe sin el fomento de las condiciones infraestructurales que propendan al progreso. En este sentido, el crecimiento de la producción de edificaciones de diversa índole constituye una pauta característica de dicho proceso de avance. 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.

En el gran complejo productivo de las naciones, la industria de la construcción ocupa un lugar preponderante y un papel decisivo en los procesos transformativos a escala del sistema de relaciones socioeconómicas. En dicho sistema, el hormigón constituye un material de crucial importancia, por constituir el compuesto fundamental de cualquier sistema constructivo. De acuerdo con Flatt R., Roussel N. y Cheeseman C. (2012), el hormigón es el material de mayor volumen de uso en todo el mundo y actualmente es irremplazable para un gran número de aplicaciones infraestructurales. Desde el punto de vista de los recursos naturales, la ecología y la economía, es virtualmente imposible imaginar la sustitución del hormigón por cualquier otro material.

El hormigón se obtiene básicamente de una mezcla de cemento y materiales pétreos, que al reaccionar con el agua producen una mezcla homogénea que se endurece a través del proceso de fraguado, confiriéndole al material resultante las características mecánicas requeridas para su uso en soluciones constructivas. El cemento es el aglomerante responsable de la unión entre los materiales y, por ende, el ingrediente activo de la reacción química, la cual no logra producirse en ausencia de agua. El cemento Portland ordinario –el aglomerante más utilizado en todo el orbe- contiene aproximadamente un 88% de clínquer, material resultante de la calcinación de la piedra caliza y otras arcillas a no menos de 1450 ^{o}C. Este resulta un proceso intensivo en energía. Al decir de Patel (2013), cada tonelada de cemento producida emite aproximadamente 0.8 toneladas de CO2, y la producción de cemento es responsable del 8% de las emisiones globales de carbono.

Este panorama impone a la comunidad científica mundial en 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. 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.

Conocido por la comunidad científica mundial como cemento de bajo carbono (CBC), este cemento mezclado producido en el país en la Fábrica de Cemento Siguaney a escala de prueba industrial, posee la denominación oficial de SIG B-45. Esta tecnología es esencialmente el resultado de la sustitución de un 30% del clínquer del cemento Portland ordinario (CPO) por metacaolín, material resultante de la calcinación de la arcilla caolinítica en el entorno de los 750 ^{o}C.

Diversas aplicaciones ha tenido este nuevo tipo de cemento producido, desde la producción de bloques y baldosas, hasta su utilización en morteros de albañilería, pasando por la producción de elementos de prefabricado para la realización de pruebas de resistencia y durabilidad. Aún cuando en la actualidad no ha sido posible su utilización en soluciones de gran formato, se presume que a partir de los logros obtenidos en el desarrollo de esta tecnología innovadora, el cemento de bajo carbono pueda ser utilizado en el futuro en otras aplicaciones, tal como en edificios. De ahí que resulte trascendente desarrollar estudios que conduzcan a resultados conclusivos sobre el impacto económico y ecológico que podría producirse ante un escenario que conciba la sustitución del cemento Portland ordinario por el CBC. Lo anterior ofrece la pertinencia de desarrollar un estudio valorativo de la eco-eficiencia en la cadena productiva de un edificio donde actualmente se utilice cemento P-35, en función de proyectar las posibles desviaciones que con relación a este escenario podrían producirse bajo la consideración de la introducción del nuevo tipo de cemento. En el caso específico de la presente investigación, el sistema constructivo que se evalúa es el sistema FORSA.

La eco-eficiencia es un concepto originado en el seno del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD)[1], 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. Lo anterior puede fomentarse a partir de desarrollar productos innovadores, la reingeniería de los procesos a nivel empresarial en torno al producto o servicio que se provea, así como incrementando la eficiencia energética y técnica en general para todo el sistema productivo.

Desde su lanzamiento en 1992 en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, el concepto de eco-eficiencia ha sido introducido progresivamente en los sistemas de gestión de productos y procesos en el mundo de los negocios a escala internacional, con independencia de si es un país desarrollado, en vías de desarrollo o periférico. Esta filosofía de abordar el negocio de cara al cliente pero con responsabilidad social empresarial y ecológica, ha desatado la creatividad de múltiples organizaciones a nivel mundial en pos de producir más valor para el cliente con menos impacto ambiental.

En el caso particular de Cuba, donde este concepto es demasiado incipiente y poco conocido, el desarrollo del CBC constituye una de las más relevantes soluciones eco-eficientes en los últimos años. La potencial introducción en el mercado de este producto deviene para el país en la posibilidad de generar un material de alta demanda en la economía nacional –insatisfecha por demás– a un precio presumiblemente más bajo y con una contribución ecológica de ancho margen con respecto al uso de cementos tradicionales.

En el contexto de análisis de la eco-eficiencia, la cadena productiva constituye un concepto de estrecha articulación conceptual, toda vez que es en ella donde ocurren los procesos generadores de emisiones y de valor económico, esto es, a través de la cadena ocurre el entramado de flujos de energía, materias primas y materiales, información, valor, entre otros. De ahí que en lo adelante se definirán estas dos unidades de análisis para la investigación: la eco-eficiencia y la cadena productiva. De ello se desprende el calificativo de eco-material para el CBC, un concepto creado e introducido por EcoSur en el año 1991 para denominar los materiales viables económica y ecológicamente.

[1] Por sus siglas en Inglés

Lo anteriormente expuesto constituye la **situación problémica** que valida la formulación del siguiente **problema científico:**

¿Cómo contribuir a la evaluación de la eco-eficiencia en la cadena productiva de un edificio producido con el sistema constructivo FORSA, considerando un escenario comparado con cemento de bajo carbono, a partir de la aplicación práctica de un procedimiento mediante el estudio de caso en una obra del Reparto Van Troi II, Caibarién?

Para dar respuesta al problema científico, se formularon los siguientes objetivos investigativos:

Objetivo General:

Evaluar la eco-eficiencia en la cadena productiva de un edificio construido con el sistema FORSA en el Reparto Van Troi II de Caibarién.

Objetivos Específicos:

1. Sistematizar los fundamentos teórico-conceptuales y metodológicos relacionados con la eco-eficiencia, los eco-materiales, las cadenas productivas y, en particular, el cemento cubano de bajo carbono.

2. Caracterizar las relaciones tecno-productivas asociadas a la cadena productiva de la obra constructiva objeto de estudio, así como el sistema constructivo utilizado en el proceso de ejecución de la obra.

3. Aplicar un procedimiento para la evaluación de la eco-eficiencia asociada a la cadena productiva del edificio tipo FORSA objeto de estudio.

La **hipótesis investigativa** que preside la tesis es la que sigue:

Si se aplica un procedimiento con bases analíticas científicas al estudio de caso práctico de un edificio FORSA en el Reparto Van Troi II de Caibarién, considerando un escenario de comparación en el cual se utilice cemento de bajo carbono, es posible contribuir a la evaluación de la eco-eficiencia de este eco-material innovador, alternativo y sostenible.

En el proceso investigativo se emplearon diversos métodos científicos. Del nivel teórico, el histórico-lógico, el análisis-síntesis, el inductivo-deductivo. Del nivel empírico, la observación, la revisión documental, técnicas de procesamiento de datos. Aunque con un

carácter meramente informal, se realizaron entrevistas no estructuradas con anticipación, las cuales contribuyeron sobremanera a la consecución de los objetivos investigativos.

El informe de investigación se reporta en tres capítulos. El primero establece los fundamentos conceptuales relacionados con las unidades analíticas objeto de estudio. El segundo, expone la caracterización de las interrelaciones tecno-productivas ente los entes económicos vinculantes de la cadena de suministro asociada a la obra constructiva objeto de estudio; además de esclarecer las peculiaridades constructivas de la obra analizada. El tercer capítulo, y último, presenta la aplicación práctica de un procedimiento de evaluación de eco-eficiencia al caso específico de un edificio tipo FORSA construido en el Reparto Van Troi II de Caibarién.

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: FUNDAMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA ECO-EFICIENCIA, LOS ECO-MATERIALES Y LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS FORSA

Todo estudio de eco-eficiencia conlleva la fundamentación conceptual y metodológica de las categorías relacionadas con el concepto mismo. Dicha sistematización se expone en el presente capítulo, articulando el mismo con el concepto de eco-materiales. También se presentan las características tecnológicas fundamentales de los sistemas constructivos de moldes deslizantes, particularizando en el sistema FORSA.

1.1. Fundamentos analítico-conceptuales de la Eco-eficiencia

En el siguiente apartado se examinan los fundamentos conceptuales del concepto de eco-eficiencia, enfatizando en las características del mismo que le proporcionan valor para las organizaciones económicas, así como en sus formas de medición e interpretación.

1.1.1. Surgimiento del concepto. Definiciones generales y básicas

El concepto de eco-eficiencia, aunque resulta altamente novedoso para el sector empresarial cubano, surge en el año 1992 en la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, Brasil. Aunque su génesis se remonta a conceptos previos relacionados con la protección ambiental, no es hasta el año 1991 en que se comienza a discutir, en el seno del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable[2], la búsqueda de un término que sintetizara el emprendimiento empresarial hacia dos objetivos trascendentales del desarrollo sustentable: el desarrollo económico y el desarrollo ambiental. Se pretendía encontrar "…un concepto único, tal vez una sola palabra, en la cual se involucrara todo el objetivo empresarial para el desarrollo sustentable" (WBCSD, 2000)[3].

Fue 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.

[2] WBCSD, por sus siglas en Inglés. El WBCSD es una organización conformada por más de 130 compañías internacionales devenidas en líderes por el desarrollo sustentable a nivel mundial. El WBCSD posee representaciones en numerosos países.

[3] Schmideinhy: Prólogo del libro-reporte *Eco-eficiencia: creando más valor con menos impacto.*

La eco-eficiencia 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.

La definición originaria 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: 2000). En pocas palabras, se relaciona con crear más valor con menos impacto.

El concepto está a tono con los tres pilares básicos del desarrollo sustentable: desarrollo económico, ambiental y social.

Cientos de empresarios a nivel internacional han implementado en sus organizaciones el concepto de eco-eficiencia, logrando armonizar los objetivos de sustentabilidad de sus procesos productivos. En palabras sencillas, puede decirse que eco-eficiencia significa “crear más valor con menos impacto” o “hacer más con menos”. De lo anterior puede inferirse que el concepto se encuentra estrechamente vinculado con la eficiencia empresarial, por lo que su instrumentación en la práctica conllevará indudablemente el uso racional de los recursos. Sin embargo, ello no sería suficiente, la empresa debe repensar su sistema productivo de tal manera que se identifiquen las vías oportunas para generar más valor añadido al cliente y reducir el costo ambiental generado por sus procesos.

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la eco-eficiencia es “la eficiencia con la cual se usan los recursos ecológicos para satisfacer las necesidades humanas”, y la define como el cociente de una salida (el valor de los productos y servicios producidos por una firma, sector o economía como un todo), dividido entre las entradas (la suma de las presiones ambientales generadas por la firma, el sector o la economía).

La Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA[4]) define la eco-eficiencia como “más bienestar de menos naturaleza” y afirma que proviene de desligar, el uso de recursos y la contaminación, del crecimiento económico.

Es importante comprender que la eco-eficiencia no está limitada solamente a realizar mejoras crecientes en el uso de los recursos y mejorar los hábitos empresariales existentes, pues esta debe rebasar ese concepto toda vez que para alcanzarla se requiere de la creatividad y la innovación de los procesos asociados a la creación de un producto o servicio, o una gama de productos y/o servicios.

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.

Los 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, 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 o a nivel macro.

El papel de las organizaciones es satisfacer las necesidades humanas, por el cual esperan ser retribuidas por medio de las utilidades. Pero las empresas responsables también se enfocan al mejoramiento de la calidad de vida, y eso es una gran parte de lo que significa llegar a ser más sostenible; el reto es lograrlo sin aumentar el consumo total de recursos, ni tener efectos adversos sobre el medio ambiente.

[4] Environmental European Agency

1.1.2. Objetivos generales de la eco-eficiencia

La eco-eficiencia persigue tres objetivos generales:

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 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.

La implementación de la eco-eficiencia dentro de los procesos de una organización, se trata ante todo de buscar las oportunidades. Dichas oportunidades para la eco-eficiencia pueden ser encontradas en cuatro áreas:

Primero, las organizaciones pueden efectuar la **reingeniería de sus procesos,** para reducir el consumo de recursos, reducir la contaminación y evitar riesgos, al tiempo que ahorran costos. Segundo, por medio de la cooperación con otras empresas, muchas organizaciones han encontrado maneras creativas de **revalorizar sus coproductos**. Esforzándose por lograr cero desperdicios u objetivos de producción del 100%, han encontrado que los llamados desperdicios de sus procesos pueden tener valor para otras empresas. Tercero, las organizaciones pueden ser más eco-eficientes por medio del **rediseño de sus productos**. Cuarto, algunas empresas innovadoras no solo rediseñan sus productos sino que encuentran nuevas maneras de satisfacer las necesidades de sus consumidores. Estas empresas trabajan con sus clientes y con otros grupos de partes interesadas para **pensar nuevamente sus mercados**, y rehacer la demanda y a sus proveedores completamente.

La eco-eficiencia funciona no solamente en las grandes empresas transnacionales, como son la mayoría de los afiliados al WBCSD, sino también en las pequeñas y medianas empresas (PYMES). De la misma manera, es tan aplicable en los países en desarrollo y economías

emergentes como en las naciones industrializadas (ver ejemplos aplicados de eco-eficiencia en WBCSD, 2000). En ellos se muestra el efecto de los sistemas de gestión que apoyan las mejoras en eco-eficiencia.

¿Qué pueden hacer las compañías para mejorar?

La eco-eficiencia pide a las empresas que obtengan más valor de menos entradas de materiales y energía, y con una reducción de las emisiones. El WBCSD ha identificado siete elementos que las empresas pueden utilizar para mejorar su eco-eficiencia:

1. Reducir el consumo de materiales.
2. Reducir el consumo de energía
3. Reducir la dispersión de sustancias tóxicas
4. Mejorar la reciclabilidad
5. Maximizar el uso de recursos renovables
6. Extender la durabilidad de los productos
7. Aumentar los servicios suministrados

Estos siete elementos pueden considerarse relacionados con los tres objetivos generales antes referidos.

1.1.3. Acerca de la medición de la eco-eficiencia

La instrumentación práctica de la 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 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. Primero, se identificó un pequeño número de indicadores que son válidos para todo tipo de empresa, estos se llaman indicadores de "aplicación general", son de importancia general y considerados por las iniciativas más comunes de medición, sin embargo, no necesariamente son de igual importancia para todas las empresas.

Primero, se identificó un pequeño número de indicadores que son válidos, para, virtualmente todos los negocios, estos se llamaron indicadores de **"aplicación general";** son de importancia general y considerados por las iniciativas más comunes de medición, sin embargo no necesariamente son de igual importancia para todas las empresas. Para cada uno debe haber acuerdo internacional sobre: la relación del indicador con la preocupación ambiental global, o con un valor empresarial, la relevancia y significancia en general para todos los negocios, la existencia de métodos establecidos de medición y de definiciones aceptadas globalmente. Muchos indicadores no son aplicables para todas las empresas, poe ello se consideró un segundo grupo de indicadores, para ser usado por las empresas individuales y que se ajusten a su contexto particular. Estos son llamados indicadores **"específicos de negocio"**. Cada empresa debe evaluar su propio negocio, para determinar cuáles son los indicadores específicos que le aplican y que son útiles para la administración, y las partes interesadas externas, además, poer supuesto, de los indicadores de aplicación general.

Se están realizando esfuerzos para armonizar los indicadores sectoriales. La European Chemicals Manufacturers Association (CEFIC) ha tomado el liderazgo, pidiendo a sus afiliados reportes armonizados, usando indicadores sobre los cuales han llegado a acuerdos en otros sectores, tales como la banca, firmas suizas y alemanas están trabajando en la definición de

indicadores para medir el desempeño eco-eficiente de los servicios bancarios. Otros sectores están siguiendo el ejemplo.

El WBCSD ha comenzado proyectos sectoriales para minería, cemento e industrias de transporte, y desea que en estos proyectos se trabaje hacia la definición de indicadores de eco-eficiencia que sean relevantes para cada sector.

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. L a eco-eficiencia puede ser representada por el siguiente indicador relativo:

$$\frac{Desempeño\ Económico}{Desempeño\ Ambiental}$$, o alternativamente, $$\frac{Desempeño\ Ambiental}{Desempeño\ Económico}$$

Existen diversas formas para calcular la eco-eficiencia utilizando algunos de estos dos tipos de ratios. Tanto el valor del producto o servicio como su influencia ambiental, incluyen diversos indicadores que después de ser homogeneizados pueden ser condensados en una medida única que fuere sintetizadora. Una discusión más pormenorizada acerca de las medidas o indicadores de eco-eficiencia y su interpretación, se reportan más adelante en la descripción del procedimiento aplicado en la investigación (capítulo II).

Las compañías necesitan escoger los indicadores de eco-eficiencia que mayor se ajusten a sus procesos de comunicación y de toma de decisiones, los cálculos específicos dependerán de las necesidades individuales de quien toma las decisiones. El valor y la influencia ambiental también pueden ser medidos por distintas entidades como: líneas de producción, instalaciones de manufactura o corporaciones completas; también para productos, segmentos de mercado o economías completas. De la misma manera, los indicadores relativos de eco-eficiencia pueden ser calculados y utilizados por muchas de las entidades, aunque el mismo indicador puede que no sea adecuado para todas.

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 la eco-eficiencia de sistemas productivos. Principios, requerimientos y directrices. Esta norma establece un marco internacional de referencia mediante un procedimiento para la evaluación de la eco-eficiencia en cualquier sistema-producto. Su limitación radica en el carácter general que el mismo posee, es decir, su gran aplicabilidad –que es una ventaja –hace que el mismo adolezca 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)
b) Evaluación medioambiental
c) Evaluación del sistema de valor asociado al producto
d) Cuantificación de la eco-eficiencia
e) Interpretación (incluye valoración sobre la calidad de los resultados)

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 Análisis del ciclo de vida se define como la herramienta adecuada para la recopilación y

valoración de las entradas (materia y energía), salidas (productos, emisiones y residuos) e impactos potenciales de un sistema de producción o servicio a lo largo de su ciclo de vida. Conceptualmente este método se mantiene en natural y constante desarrollo, pues a medida que son divulgados nuevos trabajos prácticos con su aplicación se intercambian informaciones entre usuarios de esta metodología. Todo ello implica un constante proceso de retroalimentación evaluativa en el método, como ha ocurrido anteriormente con otras metodologías de gestión (ISO 14040: 1997).

La figura 1.1 muestra el marco del ACV propuesto por la ISO 14040:1997 compuesto por cuatro elementos básicos:

Definición del objetivo y alcance
Análisis del inventario
Evaluación del impacto
Interpretación de los resultados

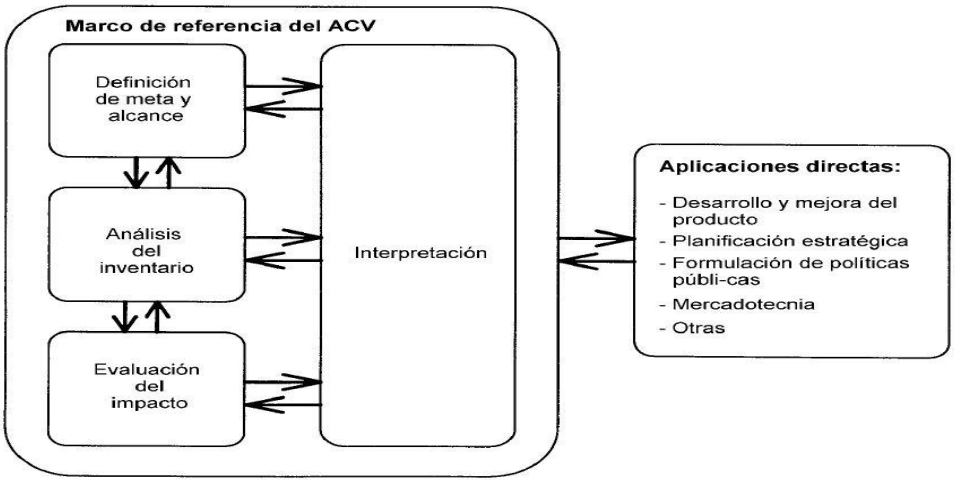

Figura 1.1 Fases del ACV
Fuente: (ISO, 1997)

1.1.4. Cinco elementos de los reportes empresariales 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, loe segmentos del negocio involucrado, 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 específicos del negocio, relacionados con la creación y uso del producto o servicio.

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.

1.1.5. Planes nacionales de acción para la eco-eficiencia

Muchos países y regiones ya han desarrollado planes de acción nacionales y regionales, y han logrado como resultado grandes progresos. A continuación se citan algunos ejemplos, sabiendo que muchos más países han comenzado a pensar en la eco-eficiencia.

El presidente del Consejo para el Desarrollo Sostenible en el reporte del año 1996, *América Sostenible: Un Nuevo Consenso*, hace varia recomendaciones para construir un nuevo marco de referencia, entre ellas se encuentra: los sistemas de gestión basados en el desempeño, las políticas extendidas de producto, un cambio en las políticas de impuestos, reformas a los subsidios y el uso de los incentivos de mercado.

También en 1996, los ministros de ambiente de la OCDE[5], observaron que una estrategia para mejorar la eco-eficiencia, puede dar la capacidad a la industria, a los gobiernos y a los hogares, para desligar la emisión de contaminantes y el uso de recursos de la actividad económica. La OCDE investigó el potencial del concepto de la eco-eficiencia, a la luz de estudios que sugerían que junto con mejoras en la eficiencia de acuerdo al factor diez, los dos

[5] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

eran necesarios y posibles en los próximos 30 años.

Los resultados fueron publicados en el reporte de la OCDE de 1998 sobre la eco-eficiencia, el cual recomendaba el desarrollo y uso de los indicadores relativos de eco-eficiencia como indicadores a nivel macro. La OCDE identificó la innovación como el principal impulsor para mejorar la eco-eficiencia, y dijo que lo que más la estimulaba era la competencia fuerte, altos beneficios, incentivos regulatorios, un proceso efectivo de propagación, buenas prácticas y la presencia de un buen clima para la innovación.

La eco-eficiencia se ha convertido en un elemento estratégico importante de las políticas de la Unión Europea hacia el desarrollo económico sostenible. El Consejo de la Unión Europea ha hecho un llamado para la integración de los aspectos ambientales (y sociales), dentro de las políticas económicas e industriales de la Unión. La Agencia Europea del Medio Ambiente está usando la eco-eficiencia como el concepto guía, para la definición de los indicadores de desempeño nacionales, y para el establecimiento de los objetivos correspondientes.

Varios países europeos, particularmente en la zona nórdica, ya han creado un marco dentro de sus políticas industriales y económicas para dar apoyo adicional, a la mayor productividad de los recursos y las mejoras ambientales y sociales. Los países miembros de la UE al igual que las otras partes del globo, han comenzado a explotar las maneras de usar la eco-eficiencia como un concepto para las políticas.

El WBCSD, en cooperación con diferentes organizaciones de partes interesadas y entidades gubernamentales, está implementando varios proyectos para desarrollar más la eco-eficiencia como un concepto de política: Bajo el liderazgo de Canadian National Round Tableo on the Environment and the Economy (NRTEE) junto con el WBCSD, se han realizado los primeros intentos para el desarrollar indicadores empresariales de eso-eficiencia en diferentes sectores.

Con la European Partners for the Environment (EPE), con el apoyo del Directorio General Empresarial de la Comisión Europea (antiguamente DG III), el WBCSD lanzó la iniciativa Europea de eco-eficiencia (EEEI) en 1998. En los primeros dos años, la iniciativa ha logrado los objetivos de: promover la comprensión y el uso de la eco-eficiencia a través de toda Europa, apoyar y facilitar las iniciativas nacionales, y crear planes de acción de eco-eficiencia.

El trabajo sobre la eco-eficiencia en Europea del WBCSD, se ha enfocado en los países del

centro y del este (CEEC), muchos de los cuales se encuentran en proceso de incorporarse a la Unión Europea. Bajo los auspicios de Aarhus Business and Environment Initiative (ABEI), y en conjunto con el Regional Environmental Center (REC) en Budapest, el WBCSD está trabajando para hacer que la eco-eficiencia sea más ampliamente comprendida e implementada en las empresas, y en los gobiernos de los países del centro y del este de Europa (CEEC).

El WBCSD también tiene una larga tradición de cooperación con las organizaciones empresariales de los países en desarrollo y las economía emergentes, en particular a través de su Red Nacional de 30 Consejos Empresariales para el Desarrollo Sostenible (BCSDS) y sus empresas afiliadas, con una membrecía total de más de 800 compañías en Latinoamérica, África del Sur, Ásia del Este y del Sedeste y Europa del Este.

1.1.6. La eco-eficiencia: consideraciones para Cuba. Particularidades en el sector de la construcción

En Cuba no se encuentran reportes bibliográficos de aplicación del concepto de eco-eficiencia, sin embargo, existe una extensa agenda de trabajo encaminado 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 de sus respectivos territorios, y se realiza asesoría en temas relacionados con la gestión ambiental de sus procesos productivos y de servicios.

Sin embargo, no existen evidencias de implementación de un sistema de gestión ambiental que involucre los conceptos de desarrollo ambiental al mismo tiempo que el desarrollo económico. No existe una filosofía empresarial con enfoque de eco-eficiencia, que produzcan mejoras en la actividad productiva a lo largo de toda la cadena productiva, desde el suministro, la manufactura hasta los clientes y el consumidor final. Se requiere de un nuevo enfoque de 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 cubano.

1.2. El concepto de cadena productiva: generalidades y nexo con la eco-eficiencia

El concepto de la cadena productiva ofrece un marco conceptual útil para comprender la articulación 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. Igualmente, la cadena productiva, como un concepto innovador, provee elementos importantes en el diseño de políticas de apoyo empresarial que favorecen la generación de riquezas a través de la consolidación de ventajas competitivas.

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 niveles de generación de riqueza en las economías industrializadas del primer mundo. Más adelante,(Porter, 1990) formula que la generación de ventajas competitivas al interior de la empresa obedece, entre otros, a la articulación eficiente de la misma alrededor de una "cadena de valor" que va desde los proveedores de materias primas e insumos y termina con los servicios encargados de garantizar la satisfacción del consumidor final. Hacia la década de los años noventa dichos elementos se articularon al diseño de políticas sectoriales y de apoyo empresarial en Latinoamérica bajo el esquema de cadena productiva.

La cadena productiva es un concepto que proviene de la escuela de la planeación estratégica. 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. En tal sentido, las relaciones con proveedores, el Estado, los clientes y los distribuidores, entre otros, generan estímulos y permiten sinergias que facilitan la creación de ventajas competitivas. Así, 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.

Las cadenas productivas se subdividen en eslabones, los cuales comprenden conjuntos de empresas con funciones específicas dentro del proceso productivo. A manera de ejemplo, el primer eslabón dentro de la cadena productiva de textiles y confecciones lo constituyen los cultivadores de algodón; el segundo, los transportadores; el tercero, los centros de acopio; el cuarto, los procesadores de fibra de hilados y tejidos; el quinto, los productores de confecciones; el sexto, los distribuidores y comercializadores y el séptimo y último los consumidores de prendas de vestir.

Es factible que cada uno de los eslabones de la cadena de pueda subdividir, a su turno, en otros grupos de empresas.

El tema de los eslabones –o enlaces- fue planteado por primera vez en los trabajos de Hirschman en 1958, quién formuló la idea de los “encadenamientos hacia delante y hacia atrás. Para Hirschman los encadenamientos constituyen una secuencia de decisiones de inversión que tienen lugar durante los procesos de industrialización que caracterizan el desarrollo económico. Tales decisiones tienen la capacidad de movilizar recursos subutilizados que redundan en efectos incrementales sobre la eficiencia y la acumulación de riqueza de los países. La clave de tales encadenamientos, que hacen posible el proceso de industrialización y desarrollo económico, reside fundamentalmente en la capacidad empresarial para articular acuerdos contractuales o contratos de cooperación que facilitan y hacen más eficientes los procesos productivos.

Según Hirschman, los encadenamientos hacia atrás están representados por las decisiones de inversión y cooperación orientadas a fortalecer la producción de materias primas y bienes de capital necesarios para la elaboración de productos terminados. Entretanto, los encadenamientos hacia delante surgen de la necesidad de los empresarios por promover la creación y diversificación de nuevos mercados para la comercialización de los productos existentes.

Como se menciona anteriormente, las cadenas productivas tienen su origen conceptual en la escuela de planeación estratégica. Concretamente,(Porter, 1990) 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”

En cuanto a los enlaces o eslabones, 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 un actividad afecta el coste o la eficacia de otras actividades. Frecuentemente, los enlaces crean situaciones es 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.

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 1.2 se muestra el esquema básico de una cadena productiva, en su forma más simplificada.

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 la eco-eficiencia de un sistema-producto, debido a que justamente es en la cadena productiva donde cobra sentido dicho concepto. En el caso concreto que ocupa el presente trabajo, la eco-eficiencia de una vivienda producida con 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, valor agregado, consumo de combustible, electricidad y otros flujos que son por naturaleza fuentes de emisiones ambientales.

Figura 1.2. Estructura básica de una cadena productiva
Fuente: (Ministerio de la produccion, 2007)

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

Aunque en la presente investigación se tiene como objeto de estudio práctico un edificio Gran Panel, es preciso abordar el tema de los eco-materiales debido a que el cemento de bajo carbono es un tipo de eco-material, y justamente en este trabajo se realiza una comparación de escenarios en el cual se involucra este tipo de cemento.

El término eco-materiales fue creado por EcoSur en 1991 para denominar los materiales viables económica y ecológicamente. 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 and Iglesias, 2013).

A finales del 2001, cerca de 25 millones de m^2 estaban techados con tejas de microconcreto, y la producción anual de los 650 productores latinoamericanos en 14 países se acerca a los 3 millones de m^2. Eso significa alrededor de 50 000 techos por año. Algunos de los países productores son: Cuba, Ecuador, Colombia, México, entre otros (Benítez and Iglesias, 2013).

Los eco-materiales trabajan intensamente con tecnologías tradicionales, como son mampostería de piedra, adobe y ladrillo, quema eficiente de ladrillos de barro, quema de cal en hornos pequeños y también en la construcción de techos de bóvedas, pues se considera importante la investigación y desarrollo de nuevos productos basándose en conocimientos antiguos. Uno de los mayores éxitos en eco-materiales es la Teja de Micro Concreto, además del cemento puzolánico tipo CP-40, y los bloques huecos de hormigón.

Los eco-materiales (materiales de construcción económicos y ecológicos), surgen como una alternativa productiva para países en vías de desarrollo. 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. Esta alternativa es también una importante fuente de generación de empleos. Los productos comercializados poseen alta calidad, y por ende, una creciente competitividad en los mercados locales. Entre ellos, el cemento puzolánico CP-40, tejas de micro-hormigón, prefabricados de hormigón, adobe, combustibles alternativos, cal y ladrillos de bajo consumo energético (Martirena, 2005).

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 (Colombia, 2007).

Estos eco-materiales pueden ser fabricados localmente en pequeños talleres de trabajo y son adecuados para áreas rurales y urbanas. En Cuba existe una vasta experiencia en el desarrollo y aplicación de estas soluciones, bajo la dirección científico-técnica del Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM), cuyo proyecto “Eco-materiales en proyectos de vivienda social, Cuba” fue merecedor del Premio Mundial del Hábitat 2007.

Con la participación de la colaboración suiza en proyectos de investigación y desarrollo, el CIDEM instaló en el país 43 talleres de eco-materiales, fomentando el aprovechamiento de las capacidades locales en función del mejoramiento del hábitat en las municipalidades del país (Ver anexo 1). Más de 5000 viviendas han sido construidas o renovadas a nivel nacional, creando más de 200 nuevas oportunidades de trabajo directa e indirectamente.

Desde hace años se han desarrollado estudios e investigaciones alrededor de los temas de los materiales con propiedades cementicias para elaborar diferentes productos de construcción tales como adiciones para el cemento y el concreto, estucos, ladrillos, bloques, etc.

Los residuos más frecuentes utilizados para la elaboración de estos eco-materiales son:

- Cenizas de carbón o de la incineración controlada de materiales vegetales tales como: cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar, cáscara de café.
- Escorias de acerías o de siderúrgica de alto horno. Escorias de Ferro Níquel (Cerromatoso)
- Residuos de ladrillos cerámicos rojos, de cerámica blanca y de porcelana eléctrica.
- Escombros de construcción compuestos por: ladrillos rojos, panelería de yeso, morteros y hormigones, estucos y acabados.
- Escorias de las fundiciones de cobre y aluminio.
- Lodos de plantas de aguas residuales urbanas, lodos de industrias químicas.

Para fabricar productos a partir de residuos, cuyas propiedades satisfagan las exigencias de las normas, primero hay que comprender cómo se diseñan materiales, conocer las características y propiedades de algunos residuos y sus aptitudes como potenciales materiales cementantes o como rellenos o agregados.

1.3.1. Caracterización general de algunos eco-materiales muy usados

Cemento puzolánico CP-40: es un aglomerante hidráulico, producido por la mezcla íntima de un material conocido como puzolana y cal hidratada, finamente molidos. Su fraguado es algo más lento que el del cemento Portland, pero tiene la ventaja de que va fijando lentamente la cal liberada en la hidratación del clínquer, en un proceso que se prolonga durante mucho tiempo, por lo que el cemento va ganando, con la edad, en resistencia, tanto mecánica como química, superando, en ambas, al Portland. Los aglomerantes cal-puzolana tienen su origen reconocido en las construcciones hechas por los romanos. Es posible sustituir hasta un 30% ó 40% del cemento 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. Es una teja diseñada para que sirva adecuadamente a la población por su fácil elaboración, manipulación y montaje. Los materiales, por su fabricación, son locales y fácilmente accesibles. Es una variante de un techo antiguo muy querido y utilizado. Se cambió el componente de arcilla ya que su explotación es depredadora del ambiente, por el del microconcreto, que proviene del cemento y mezclas de arenas de diferentes granulometrías. La TMC es un material de cubierta, cuyas cualidades térmicas, hidráulicas, acústicas, de duración y resistencia mecánica a los impactos son iguales o superan las de otros similares. Posee tamaño más funcional para que la instalación fuese más fácil y sin pegamento, agregándole la riqueza en variedad de color. Son usadas en viviendas populares como de lujo.

Paneles ligeros de ferrocemento: Es un sistema basado en elementos verticales fabricados de microconcreto, y vigas tensoras de concreto horizontal. Todos los componentes pueden ser levantados y armados por tres personas, sin necesidad de recurso mecánico. El sistema brinda alta resistencia ante los terremotos; según cálculos basados en normas internacionales, un terremoto de 6.5 grados en la escala de Richter no causaría ningún daño estructural a una casa de tres pisos. Además, el sistema tiene un enorme potencial para acciones rápidas después de desastres, como terremotos, inundaciones, huracanes u otros eventos que hacen necesario construir con rapidez. Los elementos pueden ser producidos por fábricas locales, gracias a que la tecnología se domina fácilmente y no exige inversiones costosas en herramientas y maquinaria.

Bloques huecos de hormigón con cemento puzolánico: En la producción de estos bloques se utilizó la máquina “Vibracom” con un índice de consumo para los bloques de 150x200x400mm que oscila sobre los 0,0040m^3 de arena, 0,0057m^3 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 0,0033m^3 de arena, 0,0048m^3 de granito, 0,35-0,40kg de cemento CP-40 y de 0,90-0,95kg de cemento P-35. Las materias primas y el hormigón pueden ser analizados con variantes de sustitución en base a las materias primas locales, lo que conduce a variaciones de los índices de consumo.

1.3.2. El cemento cubano de bajo carbono: características, desarrollo y usos

El desarrollo mancomunado de un conjunto de especialistas e investigadores del CIDEM, circunscrito en el proyecto internacional Cemento de Bajo Carbono, ha dado lugar al desarrollo de un nuevo tipo de cemento mezclado en Cuba, material ecológico y presumiblemente más económico. Estos resultados tienen como antecedentes varios proyectos internacionales como por ejemplo: “Desarrollo de eco-materiales para viviendas de bajo costo”, 2006-2009 y “Producción de arcillas activadas para materiales de construcción de bajo costo en países en vías de desarrollo”, 2009-2012.

Bajo la denominación oficial de SIG-B45, en el año 2013 se produjo por primera vez este tipo de cemento ecológico en el país, específicamente en la Fábrica de Cemento Siguaney. Aunque incipientemente a escala de prueba industrial, se produjeron en total 130 toneladas del material, posteriormente utilizados en diversos usos, tanto para pruebas de ensayo como en aplicaciones prácticas.

El CBC 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 como filler, produce el nuevo tipo de cemento ecológico. La figura 1.3 muestra la composición de los principales tipos de cementos fabricados en Cuba.

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)

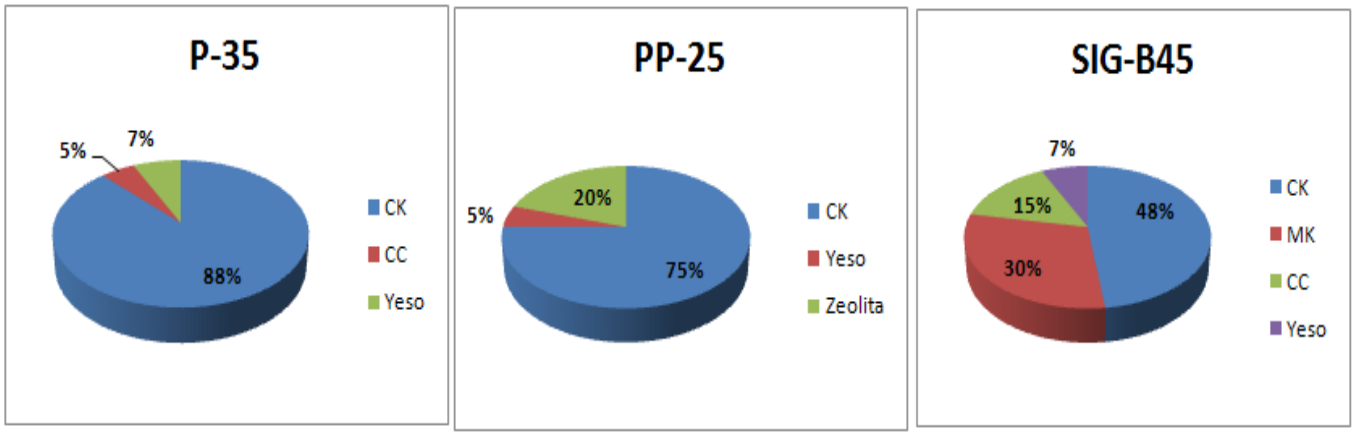

Figura 1.3. Composición de los principales tipos de cemento fabricados en Cuba
Fuente: Adaptado de Martirena (2013), Sánchez (2013) y Cancio (2014)

El MK es uno de los MCS más estudiados por las ventajas en el ahorro de recursos energéticos y la disminución de las emisiones de CO_2 que provoca su utilización como sustituto de una porción de clínquer. El MK es un aluminosilicato activado térmicamente, que se produce al calcinar el caolín a las temperaturas antes referidas; con esta temperatura se hace una transformación de su estructura cristalina que al perder el agua combinada por la acción térmica destruye la estructura cristalina del caolín(Alujas, 2010)

La actividad puzolánica del MK se evidencia cuando al adicionarlo al CPO se obtiene un material con una serie de ventajas sobre el CPO sin adiciones, tales como (Restrepo, 2006).

- Incremento de las propiedades mecánicas, especialmente, a edades tempranas.
- Incremento de la resistencia al ataque de sulfatos.
- Incremento de la resistencia a la reacción álcali-sílice.
- Incremento del refinamiento de poros.
- Decrecimiento de la permeabilidad.
- Decrecimiento de la corrosión del refuerzo.
- Disminución en la evolución del calor de hidratación.

Al realizar reemplazos de cemento por MK con porcentajes cercanos al 30% se logra, desde edades tempranas, valores de resistencia a compresión muy superiores que los del CPO,

incluso superiores a otros cementos con fines específicos que se producen en el mundo(Martirena, 2010a). Las máximas resistencias relativas se dan a los 14 días, lo que permite establecer que la actividad puzolánica del MK alcanza su punto máximo de reacción en este período de tiempo. Para profundizar en la comparación de las resistencias entre el cemento con adición de MK en un 30% (denominado SIG B45) y otros cementos como el CPO, véase (Martirena, 2010a).

También se prueba que los hormigones adicionados con MK tienen mejor laborabilidad pues se acorta el tiempo de fraguado inicial y ayuda a controlar la reacción álcali agregado que reduce el riesgo de corrosión del refuerzo, la hidratación del cemento y mejora la durabilidad del concreto por la disminución significativa de la permeabilidad a los agentes agresivos a través de la matriz (Restrepo, 2006). Otros autores como Courrard et al. (2004) citado por Restrepo et al. (2006) encontraron que la adición de MK reduce la degradación por sulfatos en los morteros. La incorporación de porcentajes mayores del 20%, muestra una importante reducción del volumen y tamaño de los poros en las pastas, disminuyéndolos hasta un 15% (Restrepo et al, 2006), evitando la penetración de los agentes agresivos.

La sustitución de una porción de clínquer con materiales cementicios suplementarios está reconocida como la manera más efectiva de reducir las emisiones de CO_2 y disminuir los gastos energéticos asociados a la producción del cemento, al mismo tiempo que puede mejorarse o mantenerse la resistencia mecánica y la durabilidad del hormigón. En estudios de prefactibilidad desarrollados por Martínez y Sánchez (2012), se demuestra de forma preliminar que puede alcanzarse una reducción del 10% de los costos de producción y del 35% de las emisiones de CO_2 por tonelada de cemento producida (Martirena, 2010b).

1.3.2.1. Usos del cemento de bajo carbono

Aproximadamente cinco toneladas de este cemento se destinaron a la fabricación de bloques en el Taller de eco-materiales de Manicaragua. Se produjeron aproximadamente 250 bloques de 10cm, quedando disponibles 4 toneladas que se encuentran en la actualidad almacenadas para producir el resto de los bloques requeridos para aplicaciones prácticas en viviendas prototipo. Posteriores evaluaciones de eco-eficiencia se pretenden realizar a escala de este tipo de edificación por el equipo de investigadores del CIDEM.

Se produjeron baldosas que fueron utilizadas en la ampliación del parque ubicado frente al comedor central de la Universidad Central de Las Villas. Hoy se acometen investigaciones para estudiar las prestaciones de este elemento en este tipo de solución constructiva.

En la obra PSP, objeto de estudio práctico de esta investigación, se emplearon 20 toneladas de CBC para la elaboración de morteros en las actividades constructivas, tal como se explicará más detalladamente en los capítulos II y III.

Veintidós toneladas de CBC fueron dirigidas a la Empresa de Producción Industrial UEB Remedios para fabricar elementos necesarios en las pruebas de laboratorio realizadas, así como para ubicar en los sitios de exposición de la Cayería Norte con fines investigativos sobre la durabilidad de las estructuras con CBC.

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

Institución	Organismo	Cant. (Ton.)	Cant. (Sacos)	Hormigón (m3)	Comentarios sobre su uso
Empresa "Eladio Rodriguez" Manuelita	MICONS	22	-	73,33	Producción de bloques huecos de hormigón
Ind. Materiales Cifuentes	MICONS	22	-	73,33	Producción de elementos de piso (baldosa prefabricada automática)
EPIVC MICONS VC	MICONS	22	-	73,50	Aplicación en obras de prefabricado MICONS (prefabricado T-26, losa alcantarilla, postes prefabricados, hormigón 20 Mpa y 25 Mpa)
ECM #3 VC	MINFAR	16	356	53,33	Producción de hormigón de varios elementos (prefabricado T-26, paneles, cimientos, bloques, elementos menores, prefabricado menor)
ECM #3 VC	MINFAR	4	89	13,33	Producción de hormigón para bloques Phi (14) con destino al sitio de exposición
EMC	Gobierno VC	5	111	16,67	Taller producción materiales Sagua la Grande
EMC	Gobierno VC	5	111	16,67	Taller producción materiales Manicaragua
ECOAI-1	MICONS	17	17	56,67	Construcción de objeto de obra MICONS
UCLV	MES	7	0	23,33	UCLV (Mantenimiento)
Siguaney	Constructor	3	67	10	Constructor por esfuerzo propio #1
Siguaney	Constructor	3	67	10	Constructor por esfuerzo propio #2
		126	**817**	**420**	

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

1.4. Sistemas constructivos practicados en Cuba con moldes deslizantes

A pesar de que el incremento de la producción en las plantas de prefabricación permitió la progresiva disminución de las construcciones semiprefabricadas en el país, el sistema constructivo con moldes deslizantes desempeñó un importante rol en el proceso de urbanización en Cuba. El desarrollo de las variantes tecnológicas con moldes deslizantes actualmente se utiliza con resultados satisfactorios en el deslizamiento de núcleos de elevadores y escaleras constituyéndose el resto de las estructuras con elementos prefabricados. La tecnología de encofrados deslizantes es aplicable conjuntamente con otros elementos constructivos.

Este sistema consiste en un encofrado de poca altura (1.0m a 1.20m) que se ensambla a pie de obra en la misma posición y forma que las paredes que se van a construir, el cual se rigidiza por medio de marcos de acero que portan a los dispositivos de elevación (gatos hidráulicos) los que proporcionan que el molde se eleve verticalmente mediante un mecanismo electrohidráulico que sostiene, por fricción a unas barras metálicas de trepado que quedan embebidas dentro del hormigón recién vertido (fundición *in situ*). El equipo de ascensión hace que el molde se desplace continuamente a velocidades que pueden variar desde 5 hasta 30 cm por hora, según las características de vertimiento del hormigón.

Sobre los moldes se coloca la plataforma principal o de trabajo y debajo de esta una plataforma colgante. Esta plataforma cumple distintas funciones durante el deslizamiento, cuya función específica es la de permitir a los obreros vigilar y controlar la calidad de hormigonado, así como retira las reservaciones de puertas y ventanas, efectuar el curado del hormigón y reparar los posibles defectos que puedan surgir durante el deslizamiento. Toda esta instalación forma un complejo que es capaz de dar respuesta a la cadena tecnológica que debe desarrollarse para llevar a efecto al deslizamiento de una edificación esbelta.

Cabe resaltar que con el método constructivo de moldes deslizantes, una vez que el edificio tiene la altura suficiente, en su construcción se estarán produciendo simultáneamente el hormigonado de las paredes (deslizamiento del molde), hormigonado de los entrepisos y el montaje de los paneles de fachada.

Esta técnica en sus inicios se utilizó para dar solución a obras de carácter industrial, hoteles y

edificios de viviendas, lográndose variadas formas en su expresión arquitectónica como paraboloides hiperbólicos, formas cónicas y demás. Dicha tecnología tiene posibilidad de construir edificaciones con alturas casi ilimitadas, condicionadas en parte por la dependencia de equipos como grúas torres, montacargas y bombas para tirar hormigón.

Los proyectos arquitectónicos confeccionados en Cuba para ejecutar viviendas con esta tecnología han sido muy pocos, destacándose los primeros ejemplos en la década de 1960 con el edificio de apartamentos situado en Malecón y F, de 17 plantas en el Vedado, así como otro edificio multifamiliar de 20 plantas, emplazado en el barrio de Cayo Hueso, Centro Habana.

1.4.1. Principales ventajas de la tecnología de moldes deslizantes

1- Permite la ejecución simultánea de numerosas operaciones que en otros métodos de construcción se realizan sucesivamente (reducción del tiempo de ejecución).

2- Se eliminan los tiempos improductivos al fijar el ritmo de la cadena tecnológica y garantiza la continuidad del trabajo.

3- Notable velocidad de ejecución.

4- Gran monolitismo estructural que posibilita el ahorro de acero de refuerzo.

5- Gran aprovechamiento y reutilización de un mismo cofre (Aproximadamente de 170-240 m cuando el molde es de madera y de 1000-1500 m cuando es metálico).

6- Posibilidad de producir como piezas típicas lográndose notables economías de materiales, tiempo y dinero.

7- Se pueden producir cofres llamados universales posibilitando una gran variedad en cuanto a la solución espacial de los inmuebles.

8- Asegura la construcción de obras de gran altura sin andamiajes convencionales.

9- Se evita toda construcción ulterior de andamios al servir las paredes de auxiliares para el montaje de cofres o elementos prefabricados para pisos.

10- Se logra una economía en la mano de obra, por la mecanización de las operaciones.

11- Se logran mejores terminaciones en las superficies de los muro

1.4.2. Desventajas del método de moldes deslizantes

1- Requiere un estudio y adecuado conocimiento de dicha técnica constructiva.

2- Tener siempre presente la organización de la cadena tecnológica.

3- Inculcar una correcta formación, conciencia y disciplina laboral en el personal obrero.

4- Requiere de costosos equipos.

5- Mano de obra calificada para ejercer esta técnica.

1.5. Principales características constructivas de la tecnología FORSA

FORSA es un sistema constructivo compuesto por losas y muros de hormigón armado como elementos estructurales. Este sistema tiene como peculiaridad que todos los elementos de la estructura son hormigonados *in situ* y al mismo tiempo, logrando así un completo monolitismo y empotramiento de los mismos. Se utiliza como encofrado paneles de aluminio llamados formaletas de diferentes tamaños y anchos.

Los moldes con la tecnología de formaletas FORSA permiten construir monolíticamente los muros interiores, exteriores y la losa de cada unidad habitacional simultáneamente, con la consiguiente ventaja estructural y sismo-resistente. Los paneles o formaletas FORSA suministrados modularmente en medidas versátiles abarcan todas las exigencias arquitectónicas y forman un conjunto de soluciones concretas.

Con el sistema mano portable de paneles modulares, la formaleta se puede acoplar fácilmente a cualquier tipo de proyecto o diseño arquitectónico, ya sea para edificios o casas. Permite la construcción de todo tipo de espacios, muros diagonales, remates con tipo cornisa integrada monolíticamente con la estructura.

Con los moldes se pueden variar los espesores de muro de acuerdo a la determinación de los cálculos estructurales. Es posible el uso de elementos curvos en fachadas. El nivel de acabado sobre la superficie de concreto es excelente, el tipo de acabado para muros puede ser liso o con textura.

Las características de las formaletas FORSA permiten ser manipuladas por una persona, sin requerir equipo adicional. Un juego de formaletas FORSA se adapta a cualquier tipo de

proyecto (viviendas, edificios, bodegas, penitenciarías, etc.). Permiten construir una unidad de vivienda por día, bajando considerablemente los costos directos e indirectos de la obra. Ofrecen más de 1500 reúsos dependiendo de su mantenimiento, protegiéndose el medio ambiente al no usar madera.

La mayor eficiencia en el diseño sólo se logra cuando la formaleta es empleada como elemento modular para definir el tamaño y forma de los espacios.

1.5.1. Ventajas del sistema FORSA

1. Mayor velocidad, 1 vivienda /día, juego a porticado 5 pisos, 10 edificios en 10 meses.

2. Menor consumo de concreto:

   Edificio 20 pisos a porticado 0.30 m3/m2

   Edificio 20 pisos muro en concreto 0.275 m3/m2**:**

3. Vaciado en concreto monolítico muro-losa (muros interiores y de fachada).

4. Mejor comportamiento sismo resistente (menores derivas).

5. Se eliminan revoque de muros y cielos, por superficie muy lisa del encofrado. Por igual motivo tampoco se generan cielo raso.

6. Instalaciones hidrosanitarias, gas y eléctricas en el vaciado.

7. El muro en concreto atiende simultáneamente la función estructural y la función de cierre de los espacios. Esto implica menor consumo de materiales.

8. Menos escombros: ni pedazos de ladrillo o bloque, ni mezcla de revoque, ni escombro de canchas o regatas para tubería. Esto implica también mayor limpieza en obra.

9. Menos errores humanos (sólo 2 procesos por controlar: Acero y Concreto), por lo tanto menor control en obra.

10. No requiere mano de obra calificada. Con 15 vaciados máximo, el personal nuevo queda capacitado.

11. Diseño y construcción de estructuras de gran altura.

12. Como el muro en concreto cumple más fácilmente las exigencias del Código (NSR-98), se

pueden hacer edificios de mayor altura que en la mampostería estructural.

13. Al ser vaciado monolítico hay aseguramiento de “Elementos no estructurales” como sillares, dinteles, áticos, cornisas y remates de cubierta.

14. El sistema permite el desarrollo progresivo lateral y vertical, si se ha previamente diseñado y se consideran los elementos de anclaje.

15. Una vez obtenido el encofrado, es más fácil aplicar el sistema en cualquier lugar sólo con asegurar la disponibilidad del concreto.

16. Se reducen considerablemente o no existen, las juntas y empates con otros materiales, lo que exigiría juntas de dilatación.

17. Menor peso de la estructura, por menor espesor de muros y losas y por ende menor peso sobre fundiciones y terreno portante.

18. Menor altura del edificio, lo que implica menores costos en fachada, refuerzo, hidrosanitarias, eléctricos, transporte vertical, etc.

19. Menores gastos generales y costos financieros, por disminución de tiempo de construcción.

20. Mayor durabilidad de fachada (por ser concreto), por tanto, bajos costos en mantenimiento.

21. Se requiere menos espacio para almacenamiento de materiales

1.5.2. Desventajas del sistema FORSA

1. Costo de la formaleta: Se requiere un número suficiente de usos.

2. Manejo de antepechos: Se puede generar fisuras por cambio de rigidez lo que implica inducir ranuras en sitios adecuados o aumentar refuerzo en esquinas.

3. Barrera de calor en última losa.

4. Deben recubrirse con mallas las tuberías embebidas superficiales para evitar fisuración de muros y cielos.

5. No se pueden retirar los muros porque todos tienen función de carga o sísmica.

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE ECO-EFICIENCIA, CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA, DE LAS ENTIDADES VINCULANTES Y LA TECNOLOGÍA PRODUCTIVA.

En el presente capítulo se describe el procedimiento metodológico aplicado en la investigación, se caracterizan sucintamente las entidades económicas vinculantes que intervienen en el proceso constructivo de la obra en estudio, así como se describen las características del sistema constructivo y la tecnología utilizada en la ejecución de la obra.

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 18 etapas, integradas orgánicamente. A saber, Fase I: Definición de objetivos 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.

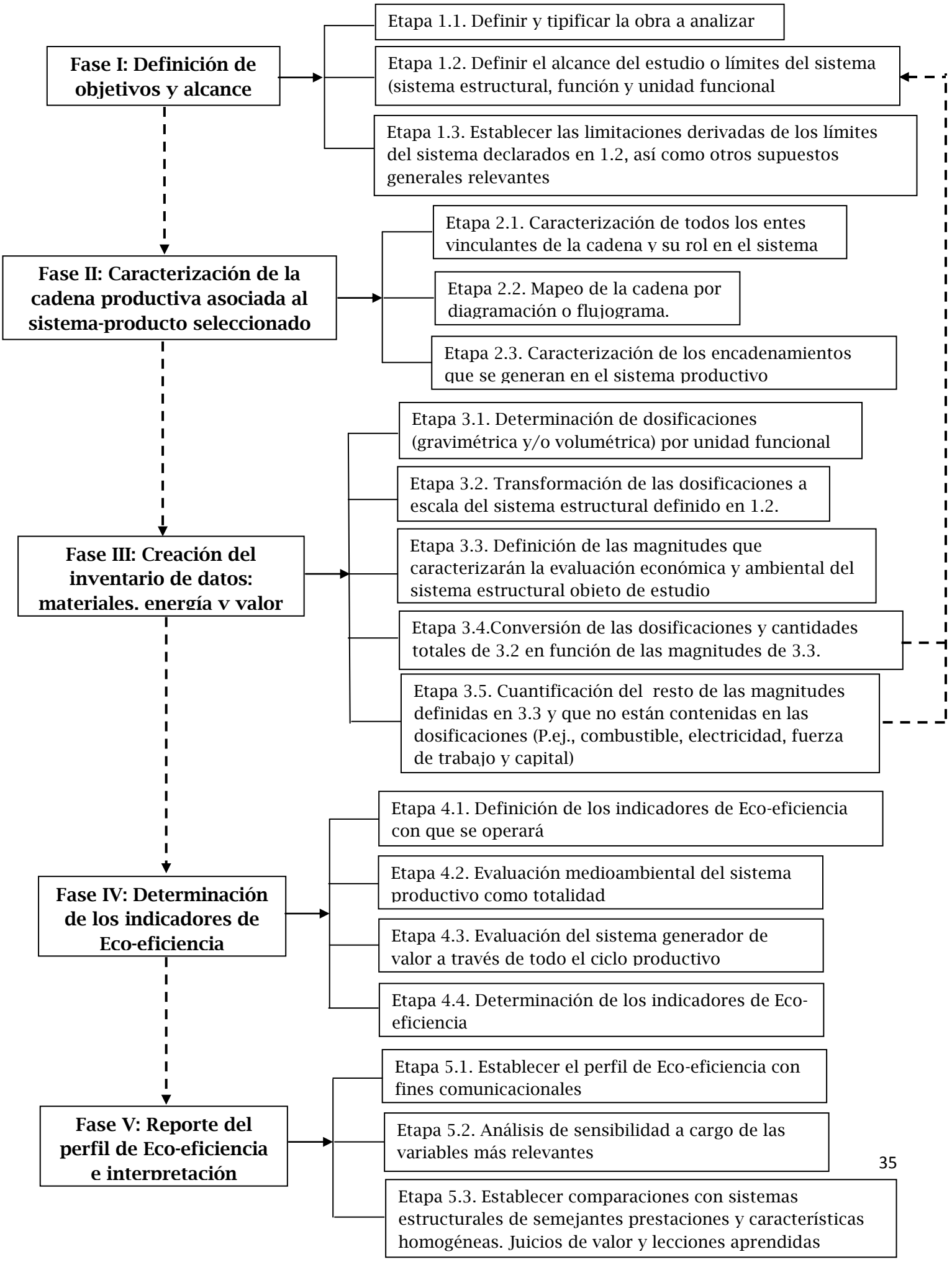

Figura 2.1. Procedimiento para la evaluación de Eco-eficiencia en sistemas estructurales. Fuente: Cancio (2014)

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.

Etapa 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.

Etapa 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.

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. 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 comprenderá 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.

Etapa 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.

Etapa 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 la trazabilidad 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 optimizador. 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 el relevamiento 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.

Etapa 3.2. Transformación de las dosificaciones a escala del sistema estructural definido en 1.2.

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.

Etapa 3.3. Definición de las magnitudes que caracterizarán la evaluación económica y ambiental del sistema estructural objeto de estudio.

En esta etapa se precisarán las variables clave del sistema de evaluación económica y ambiental. Algunas invariantes generalmente aceptadas y aplicadas suelen ser: costo de producción (directo e indirecto) asociados a materias primas y materiales, fuerza de trabajo y capital; valor agregado, volumen de producción, ventas, utilidades, emisiones de dióxido de carbono equivalente, coeficiente de explotación de los recursos naturales, entre otros. 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.

Etapa 3.4. Conversión de las dosificaciones y cantidades totales de 3.2 en función de las magnitudes de 3.3. En esta etapa se realiza el inventario de todas las variables económicas y ambientales antes determinadas, para lo cual es preciso recorrer toda la cadena productiva y sus procesos subyacentes en función del relevamiento de los datos. En este punto el investigador se auxilia en gran medida del material factológico de los entes productivos que forman parte de la cadena productiva.

Etapa 3.5. Cuantificación del resto de las magnitudes definidas en 3.3 y que no están contenidas en las dosificaciones (P.ej., combustible, electricidad, fuerza de trabajo y capital). En esta etapa se procede a determinar los datos relativos a las fuentes de emisiones que no están contenidas en las especificaciones del material directo, por ejemplo, consumo de combustible asociado a la extracción/transformación/ transportación de los áridos, el cemento, los bloques, los elementos de prefabricado, el hormigón premezclado y otros materiales; consumo de electricidad en todos los nodos que así lo requieran, así como el prorrateo de los costos indirectos de manera que puedan ser cargados a la unidad funcional con que se opera.

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.

Etapa 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, $\frac{DesempeñoEconómico}{DesempeñoAmbiental}$. 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 CO2-e; costo de B: 6 pesos, emisiones de B: 3 Kg de CO2-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, $\frac{Valor\,Agregado}{EmisionesdeCO2}$. 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 porciento de reducción de costos más el porciento 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. Indicadores adicionales podrían construirse, sin embargo, en un análisis preliminar podría considerarse el anterior indicador propuesto. En la presente aplicación empírica se operará con el cociente: $\frac{Valor\,Agregado}{EmisionesdeCO2}$.

Etapa 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).

Etapa 4.3. Evaluación del sistema generador de valor a través de todo el ciclo productivo. En esta etapa se determinan los componentes del costo que dan fundamento al proceso generador de valor a lo largo de la cadena, calculándose el valor agregado en los nodos relevantes de la cadena hasta llegar al producto final (la edificación). Para el caso de los costos indirectos, se deben utilizar métodos apropiados de prorrateo de acuerdo al caso concreto objeto de análisis.

Etapa 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.

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.

Etapa 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.

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.

Etapa 5.2. Análisis de sensibilidad a cargo de las variables más relevantes. En esta etapa se analizaría la influencia que ejercen algunas variables influyentes sobre la eco-eficiencia, a saber, distancia de transportación, precio de las materias primas, cambio de proveedores, cambio en las dosificaciones, entre otras.

Etapa 5.3. 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. Caracterización de la Empresa Constructora de Obras Para el Turismo (ECOT) - Cayo Santamaría, de la Unión de Construcciones Militares (UCM)

La Empresa Constructora de Obras para el Turismo (ECOT) “Cayo Santa María” con domicilio legal en Km 2 carretera Caibarién-Remedios, Zona Industrial Caibarién, fue creada el 12 de marzo del 2001 por la Resolución 94 del Ministro de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (MINFAR), con el objetivo fundamental de ejecutar los proyectos hoteleros en la cayería norte de Villa Clara en el tiempo pactado y con la calidad requerida. Por Resolución 88/02 del

Ministro de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (FAR) la empresa tiene la categoría I y su objeto social se encuentra aprobado por la Resolución 5/11 abarcando entre sus principales servicios los que se comentan a continuación.

La construcción civil y montaje de nuevas edificaciones: demolición, reparación, remodelación, desmontaje y mantenimiento constructivo de edificaciones, dirección, contratación de obras y servicios de contratista general, realizar trabajos de acabado, montaje eléctrico, hidráulico, sanitario e industrial, producir accesorios de la construcción, hormigón premezclado y elementos prefabricados de hormigón y su transportación, alquiler de equipos y medios de construcción, prestar el servicio de suministro de fuerza de trabajo, como entidad empleadora, a las asociaciones económicas internacionales que operan en la rama de la construcción en el territorio nacional y el arrendamiento de espacios e instalaciones para la construcción a otras entidades o asociaciones económicas en obras de interés para la Unión de Construcciones Militares (UCM), prestar el servicio de protección con agentes, prestar servicios de comedor, cafetería, transportación y albergamiento a sus trabajadores, entre otros servicios.

La empresa desde su fundación aplica el perfeccionamiento empresarial y hoy se rige por el Decreto Ley 252/07 y su Decreto 281/07 logrando resultados productivos y económicos en ascenso desde su propia creación.

Cuenta con un sistema de gestión de la calidad (SGC) avalado por las empresas autorizadas al respecto como CTEC (Centro de Tecnología y Calidad), el RCB (Registro Cubano de Buques) y GECYT (Gestión del Conocimiento, la Innovación y la Tecnología) desde el año 2006 el que abarca todos los procesos que realiza la empresa.

Su estrategia está encaminada al logro de una empresa competente, y en controles y auditorías ha obtenido resultados satisfactorios. Cuenta con una estructura organizativa compuesta por 11 Unidades Básicas (UB) distribuidas en cinco constructoras, tres aseguradoras, una empleadora, una agencia de seguridad y protección y una unidad básica de formación y desarrollo. Además para la ejecución de las obras hoteleras labora con una Asociación Económica Internacional U.C.M. – Bouygues Bâtiment Internacional.

La entidad posee un alto nivel de equipamiento tecnológico para asumir las construcciones con personal técnico altamente calificado y obreros especializados en todas las actividades de

la construcción. Tiene además una sede universitaria para la capacitación de técnicos y especialistas y así facilitar la vinculación de los estudiantes con la práctica social.

Han ejecutado con plena satisfacción del cliente obras hoteleras tales como: los Hoteles Dunas II, III, IV y V, Ensenachos, Piedra Movida, Madruguilla, Estrella I y II; las obras de infraestructura, Planta de Tratamiento Residual, Servicentro Cayo Las Brujas, La Casa Criolla, AT Comercial, Soterrados Eléctricos Geysel Cayo Coco y Cayo Santa María, Base Transgaviota, Taller SASA, Lavandería Caibarién, Remodelación de Periquillo, la Clínica Internacional, Delfinario,Pan Congelado, entre otras. También se han ejecutado obras de viviendas para el inversionista ALMEST y para el MINFAR y, en Habana, obras de campamentos.

La empresa ha sido objeto de reconocimientos en visitas realizadas por el organismo superior y el MINFAR, recibió la bandera de proeza laboral en la ejecución de la obra eléctrica Geysel Cayo Coco y un reconocimiento especial de la Unión de Construcciones Militares, por la terminación de la obra “Cangamba”. Es vanguardia nacional y reiteradamente mejor empresa de la UCM, condición ratificada en el 2007 cuando por sus resultados fue felicitada por el viceministro primero de las FAR a través de su Orden No. 1 de febrero del 2008.

La misión y visión de la organización es la siguiente:

Misión

La empresa constructora de obras para el turismo, ECOT “Cayo Santamaría” ejecuta la construcción civil y montaje de edificaciones, producción y venta de hormigón, suministro de fuerza de trabajo, arrendamiento de equipos, producción y ventas industriales, servicios de seguridad y protección y otros de apoyo a la construcción para entidades nacionales y extranjeras.

La ECOT: “Cayo Santa María” juega un papel importante y estratégico en el desarrollo del país y el territorio villaclareño, al convertirse en la principal empresa constructora que interviene en la creación de toda la infraestructura hotelera y extrahotelera en la cayería norte de Villa Clara. Por tanto, esta empresa tiene la misión de contribuir al incremento paulatino del número de habitaciones en este polo turístico, que debe rebasar para el 2016 las 11600 habitaciones (Ver figura 2.2).

Esta empresa durante más de 10 años de fundada ha estudiado y utilizado las tecnologías apropiadas para lograr un desarrollo sostenible en la cayería noreste de Villa Clara, logrando la protección del medio ambiente, respetando los diferentes ecosistemas y protegiendo la reserva de la biosfera Buenavista ubicada en cayo Santa María. La empresa posee una Licencia Ambiental otorgada por el CITMA donde se autoriza a la entidad al manejo de desechos peligrosos, los cuales están condicionados al cumplimiento de una serie de medidas para disminuir los impactos ambientales producidos por las tecnologías constructivas. Las acciones de movimientos de tierra, equipos pesados de la construcción, vertido de sustancias y aguas albañales, diseños arquitectónicos y urbanos inadecuados, así como, la generación de polvo atmosférico en las obras; impactan directamente en la erosión, destrucción directa de la capa vegetal, la flora y la vegetación, generan pérdidas del paisaje natural y de la vida silvestre, contaminación de las aguas superficiales, modificación del microclima y la contaminación del aire proporcionado por el polvo. Dentro de los proyectos de obras se tiene en cuenta mantener la vegetación natural en diferentes áreas de la instalación, se construyen Plantas de Tratamiento Residual para el monitoreo de las aguas albañales, se escogió un área en Cayo Español de Adentro (fuera del área turística) destinado para concentrar los desechos sólidos y se trabaja en la implementación de filtros para la disminución de la emisión de polvo contaminante generados por el uso del cemento en las plantas procesadoras de hormigón.

Hasta la fecha esta entidad ha concluido obras hoteleras con esquema Asociación Económica Internacional (AEI)[6] aportando a este polo turístico 5358 habitaciones de un potencial previsto, a partir de las restricciones financieras que tiene el país, de 9246 habitaciones. En la actualidad se encuentran en ejecución 3466 habitaciones y se estudian proyectos para la construcción de 2749 habitaciones en la parcela de Cayo Las Brujas. Además, en fase de construcción y terminación, los proyectos hoteleros “Lagunas del Este”.

[6] La Asociación Económica Internacional (AEI) es una empresa mixta entre la Unión de Construcciones Militares y la Empresa francesa BOUYGUES Bâtiment SA. Constituida el 16 de noviembre del año 2000, según Resolución AEI No. 422 del CECM, e inscrita en el Registro de Inversiones Extranjeras, adscrito a la Cámara de Comercio de la República de Cuba, con fecha 22 de noviembre de 2000 al Tomo I Folio 285 del Libro de Asociaciones Económicas Internacionales del mencionado Registro.

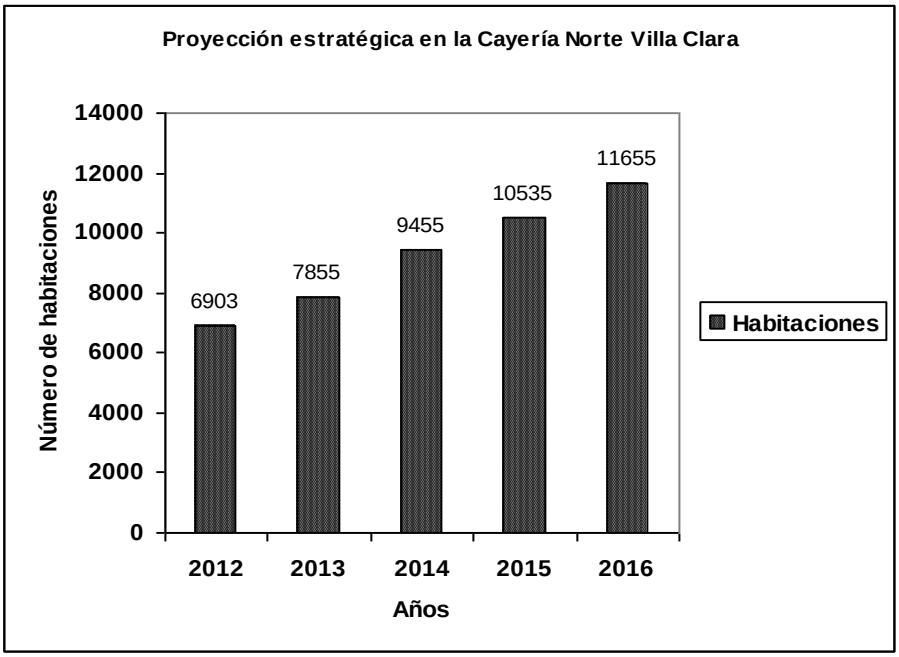

Figura 2.2: Proyección estratégica de habitaciones hoteleras en la cayería norte Villa Clara
Fuente: Plan de ordenamiento territorial ALMEST 2012

La empresa posee un promedio de 4500 trabajadores distribuidos en cuatro unidades básicas especializadas (estructura, acabados, instalaciones y empleadora) que se dedican a prestar servicios de fuerza de trabajos contratados utilizando esquema de Asociación Económica Internacional en las obras hoteleras, posee dos unidades básicas constructoras en Caibarién y la Habana cuya función es la construcción de obras de infraestructura y de apoyo hotelero, la Unidad Básica de Caibarién tiene la misión de la construcción de un proyecto de 5000 viviendas para los trabajadores del sector del turismos con más de 200 viviendas anuales entregadas y un total de 1200 hasta la fecha. Las Unidades Básicas Aseguradoras (equipos y talleres, Atención al Hombre e industria de materiales) juegan un papel fundamental de apoyo a la construcción, poniendo a disposición la tecnología en la esfera constructiva más avanzada (equipos de construcción y transporte), la atención al principal recurso que tenemos, el hombre, con servicios de alojamiento, alimentación y recreación para mejorar la atención a los trabajadores, los cuales son oriundos de diferentes provincias con un número considerable de más de 1200 de la región oriental; y la Unidad de industria de materiales que su función fundamental es la producción de hormigón para las obras con tres plantas dosificadoras con capacidad de 240 m^3 de hormigón diarios.

Si en el año 2003 la empresa cerraba sus ventas con valores aproximados a los 12 millones de pesos, en el año 2011 alcanza más de 65 millones de pesos en ventas por lo que se puede afirmar (ver figura 2.3), atendiendo al comportamiento dinámico de las ventas, que los niveles productivos se han superado 5 veces en los últimos 6 años. Esta situación consolida a la ECOT como empresa líder en la construcción de obras turísticas y de infraestructura de apoyo hotelero.

La empresa, a pesar de no tener un incremento sostenido de las utilidades sí ha mantenido una situación económica favorable. En la figura 2.4 se muestra el comportamiento de este indicador en los últimos años.

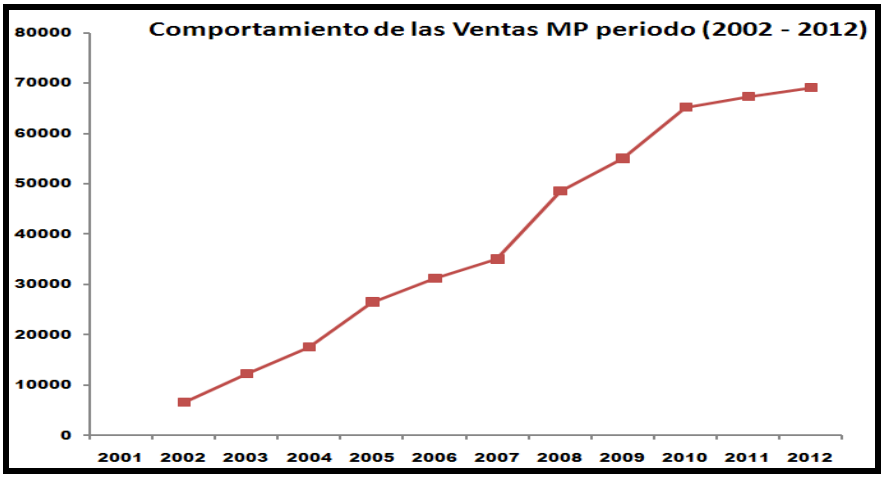

Figura 2.3: Comportamiento de las ventas en la ECOT Cayo Santa María
Fuente: Elaboración propia

El comportamiento de las utilidades desde la creación de la empresa ha mostrado un resultado variable, en algunos periodos por encima de un millón de pesos (2003–2004 y 2009–2010) y otros como es el caso del 2005–2008 cuyos resultados han estado por debajo del medio millón, como se muestra en la figura 2.4. Esto se debe fundamentalmente a la alta asignación de recursos financieros para inversiones propias en los primeros años de fundada la empresa. A partir del año 2005 se produce un incremento salarial, sin embargo las tarifas para el cobro por el concepto de servicio de fuerza de trabajo a la inversión se mantuvieron invariables lo que provocó que los ingresos por la venta de fuerza de trabajo estuvieran por debajo de los gastos reales asociados a esta actividad; la diferencia fue asumida por la empresa a partir de las utilidades obtenidas. Otro factor que influyó, en ese periodo, en la disminución de las utilidades

fueron los gastos ocasionados por la adquisición de un número considerable de equipos de la construcción con tecnologías de punta. En la actualidad existe un incremento considerable en las utilidades por la depreciación total del parque de equipos y terminación de periodos de devolución de créditos para su adquisición.

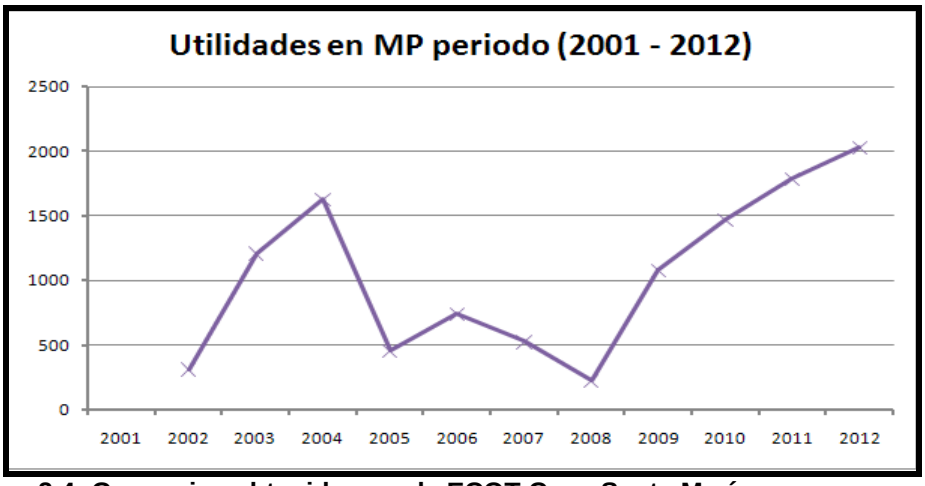

Figura 2.4: Ganancias obtenidas por la ECOT Cayo Santa María
Fuente: Elaboración propia

2.3. Breve caracterización de las entidades económicas que intervienen en la cadena productiva del edificio FORSA

A continuación se detallan las entidades vinculantes en la cadena productiva del edificio FORSA

1. Unidad Básica de Industria y Materiales (UBIM) – Caibarién
2. Unidad Básica de Equipos y Talleres (UBET) – Caibarién
3. Unidad Básica Constructora Caibarién (UBCC)
4. UEB Armando Mestre, El Purio
5. UEB Raúl Cepero Bonilla, Palenque
6. Fábrica de Cemento Carlos Marx (Cementos-Cienfuegos)
7. Fábrica de Cemento Siguaney

En caso de utilizarse cemento de bajo carbono SIG-B45 en aplicaciones futuras para este tipo de edificación, se contaría con una séptima entidad económica, la Fábrica de Cemento Siguaney.

2.3.1. Unidad Básica de Industria y Materiales (UBIM)

La Unidad Básica de Industria y Materiales (UBIM) de Caibarién, perteneciente a la ECOT-Cayo Santamaría, que a su vez se subordina a la Unión de Construcciones Militares, posee un objeto social diverso, cuyos aspectos más relevantes se relacionan a continuación:

- Producir hormigón premezclado y elementos prefabricados de hormigón y su transportación.
- Efectuar trabajos de impermeabilización y tratamientos químicos a elementos constructivos.
- Servicios de ensayos físicos, químicos y mecánicos de áridos y hormigón.

2.3.2. Unidad Básica de Equipos y Talleres (UBET)

La Unidad Básica de Equipos y Talleres (UBET) tiene como encargo social asegurar la construcción y montaje en obras para el turismo de la cayería norte y otras producciones, en los servicios de máquinas, equipos ingenieros, equipos especiales y transportación e izaje a través del alquiler de equipos, servicios de mantenimiento y reparación media y general en los talleres de la UBET, además de la prestación de servicios de lubricantes y combustibles, alquiler de equipos cuando las capacidades lo permitan a otras entidades.

2.3.3. Unidad Básica Constructora Caibarién (UBCC)

La Unidad Básica Constructora Caibarién perteneciente a la ECOT “Cayo Santa María”, subordinada a la Unión de Construcciones Militares, con domicilio en Zona Industrial Bicinay, Caibarién, Villa Clara, tiene como objeto social el aprobado por la Resolución 146 del 6 de Mayo de 2005 del Ministro de las FAR, referido a:

Construcción civil y montaje de nuevas edificaciones; demolición, reparación, remodelación, desmontaje y mantenimiento constructivo de edificaciones; dirección y contratación de obras; trabajos de acabado, montajes eléctricos, hidráulicos, sanitarios e industriales y producción de

accesorios de construcción; trabajos de movimiento de tierra y voladura; trabajos de impermeabilización y tratamientos químicos, mantenimiento y reconstrucción vial, trabajos de urbanización. Todos los servicios descritos anteriormente se realizan en obras de arquitectura, turísticas, científicas, industriales y sociales y se prestan a entidades nacionales y extranjeras. Además las actividades productivas que requieren las acciones constructivas y de servicios para la conservación y rehabilitación de las viviendas vinculadas y medios básicos de las FAR. Comercializa sus producciones y servicios en moneda nacional y en moneda libremente convertible según lo establecido al respecto.

Entre las obras más relevantes de los últimos años se encuentran las mencionadas en el epígrafe 2.2, destacando que el Reparto Van Troi II de Caibarién fue construido por la UBCC. Se le incorporan, de reciente construcción, la Estación de Rebombeo de Agua, el tanque de almacenamiento de agua para abastecer la red del cayo Santamaría y la Planta de Tratamiento de Residuales que dará servicio a los hoteles del Proyecto Lagunas.

2.3.4. UEB Armando Mestre, El Purio

La UEB “Armando Mestre”, del Purio, subordinada a la Empresa Provincial de Materiales de la Construcción, suministra áridos (gravilla, granito, arena artificial, polvo de piedra, base pétrea, balasto o macadam y rajón). Esta UEB suministra arena artificial y gravilla a las producciones de la UBIN. En esta cantera se cuenta con la opción de transportación de áridos por ferrocarril. Es la cantera más moderna que cuenta la provincia Villa Clara, y abastece a la provincia Villa Clara y a otras cercanas. Los áridos procedentes de la Cantera El Purio resultan de alta resistencia, y tienen como destino las obras para el Turismo de la cayería nordeste y del MICONS del patio, así como los programas de asfalto y pisos, de Villa Clara y La Habana, respectivamente. En el molino de piedra El Purio funciona un moderno hidrociclón, encargado de incrementar la obtención de áridos finos como arena y granito, con una mayor calidad y ahorro en los consumos de energía y de agua.

Esa instalación entrega el polvo de piedra que se utiliza en las labores de repavimentación de la pista del Aeropuerto Internacional Abel Santamaría y aporta a las obras del turismo en Cayo Santa María. Otros clientes resultan la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas y la de Producciones Industriales (EPI) --ambas de Santa Clara, dedicadas a la confección de

traviesas para el Ferrocarril--, la Unión Eléctrica y entidades de la Construcción de Cienfuegos y Pinar del Río.

2.3.5. UEB Raúl Cepero Bonilla, Palenque

La UEB Combinado de Hormigón y Áridos "Raúl Cepero Bonilla", localizada en el poblado de Palenque perteneciente al municipio de Camajuaní, se subordina a la Empresa de Materiales de la Construcción, y está destinada a producir, comercializar y prestar servicios de materiales de construcción. En la actualidad esta unidad estratégica de negocios posee una extensión de 782.1 Km^2, donde radica su yacimiento y laboran un total de 140 trabajadores. La UEB cuenta para los procesos productivos con máquinas de bloque, pulidoras de losas, moldes, hornos y molinos como parte de su tecnología básica. Sus principales producciones para la satisfacción de los clientes están divididas en dos tipos hormigón y áridos, por ejemplo: balaustrada, bloque, cal, baldosa mallorquina, losas de terrazos, pintura base de cal, carbonato de sodio, gravilla, granito y polvo de piedra. Esta UEB suministra polvo de piedra y gravilla 19.10 para los elementos de prefabricado de la EPI, y gravilla para la UBIN.

2.3.6. Fábrica de Cementos "Carlos Marx", Cienguegos

La Fábrica de Cemento "Carlos Marx", conocida como Cementos Cienfuegos S.A, es una de las dos fábricas más eficientes del país (conjuntamente con Cementos Mariel-CEMEX), es una empresa sociedad anónima con la firma HOLCIM. Posee una capacidad productiva anual de 1 500 000 toneladas. Su proceso productivo es por vía seca, así como Mariel-CEMEX. Esta fábrica suministra clínquer a la Fábrica de Siguaney para la fase final de producción del cemento: la molienda.

2.3.7. Fábrica de Cemento Siguaney

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 y única vez hasta la fecha 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 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 CBC en Cuba. Las empresas del cemento en Cuba se subordinan al Grupo Empresarial del Cemento (GECEM).

2.4. Caracterización de la cadena productiva de un edificio tipología FORSA en Reparto Van Troi II, Caibarién

Las cadenas productivas nacen en los proveedores de materias primas de los procesos productivos. En el caso de una edificación se originan en los suministradores de cemento, áridos, aditivos, acero y agua. Posteriormente estos materiales son sometidos a procesos transformativos hasta convertirse en hormigones (ya sean mediante la elaboración de elementos prefabricados u hormigón de premezclado para su colocación *in situ*). Y, finalmente, ocurre el proceso constructivo de la edificación, que es justamente donde culmina la cadena productiva, coincidente con el consumidor final del producto que es la persona o personas que habitan la edificación.

Existen entidades que operan con funciones específicas en la cadena de suministros, como por ejemplo, empresa comercializadora, empresa transportista, suministradores de servicios básicos (y públicos) como el agua y la electricidad.

Aunque existe un gran volumen de componentes o suministros requeridos para el completamiento de una obra constructiva, en este trabajo se opera con los elementos básicos constituyentes del hormigón.

El suministrador de áridos es la Empresa de Materiales de la Construcción (EMC) de Villa Clara. A su vez, las Unidades Empresariales de Base (UEB) productoras de áridos se subordinan a la EMC. Se tienen los siguientes orígenes de agregados para el sistema constructivo en estudio: Mariano Pérez (El Purio), Armando Mestre (El Purio), Sergio Soto (El Hoyo, Manicaragua), Arimao (Cienfuegos), Raúl Cepero Bonilla (Palenque) y Guajabana (Caibarién). La UEB Mariano Pérez y Armando Mestre proporcionan arena articifial y gravilla;

El Hoyo y Arimao, arena beneficiada; Raúl Cepero, gravilla, polvo de piedra; y Guajabana, solamente gravilla.

Es importante apuntar que el origen de gravilla más utilizado en la producción de hormigón para estos sistemas constructivos resulta Palenque, debido a (1) la menor distancia relativa, (2) la buena calidad y (3) la capacidad productiva.

El cemento utilizado en este tipo de edificación es suministrado por la Fábrica de Cemento Carlos Marx. Se emplean fundamentalmente dos tipos de cemento: P-35 y PP-25. Se emplea cemento de la fábrica Siguaney o de Carlos Marx (Cienfuegos). En caso de roturas o mantenimiento no planificados en estas fábricas, se utiliza el proveedor Mariel-CEMEX, siendo esta por su lejanía la fuente más costosa.

En la fabricación del hormigón se ha utilizado el Dynamon SX-32 y el N-100 RC de procedencia italiana de la firma MAPEI. Se valora por especialistas la factibilidad de sustitución del aditivo importado por un aditivo de producción nacional MEF (producido por el Instituto Finlay, Habana). Las importaciones de N-100 RC se encuentran a cargo de la importadora MAPEI-Habana.

Los materiales de construcción o insumos productivos antes referidos son transportados por la Unidad Básica de Equipos y Talleres (UBET), subordinada a la ECOT-Cayo Santamaría de la Unión de Construcciones Militares (UCM), la cual tiene por encargo social prestar este tipo de servicio transportista. Los insumos se dirigen hacia la unidad productora del hormigón, en este caso la Unidad Básica de Industria y Materiales (UBIM), de la ECOT-Cayo Santamaría (también subordinada a la UCM). La UBET transporta, además, el hormigón de premezclado que produce el batching plant de la UBIM.

Una vez transportados los materiales hacia el lugar de la obra y el hormigón mezclado (ambos productos intermedios de la cadena), con el proceso constructivo o ejecución de la obra culmina la cadena productiva del edificio. La empresa constructora o fabricante es la Unidad Básica Constructora Caibarién (UBCC), adscrita a la ECOT-CS de la UCM.

En este sentido se precisa distinguir una cadena productiva *sui generi*, puesto que el consumo final del producto terminado obedece a la habitabilidad de la edificación construida. La

empresa constructora y el consumidor final (personas que habitan el edificio) coinciden *in situ* al final de la cadena: el primero durante los procesos ejecutorios, y el segundo, una vez concluidos estos. Cliente y consumidor no son la misma entidad en este caso. Estos edificios se ordenan a partir de los pedidos del inversionista (ALMEST), que a su vez funge como cliente del producto terminado. El diagrama de la cadena productiva se muestra en la figura 2.5.

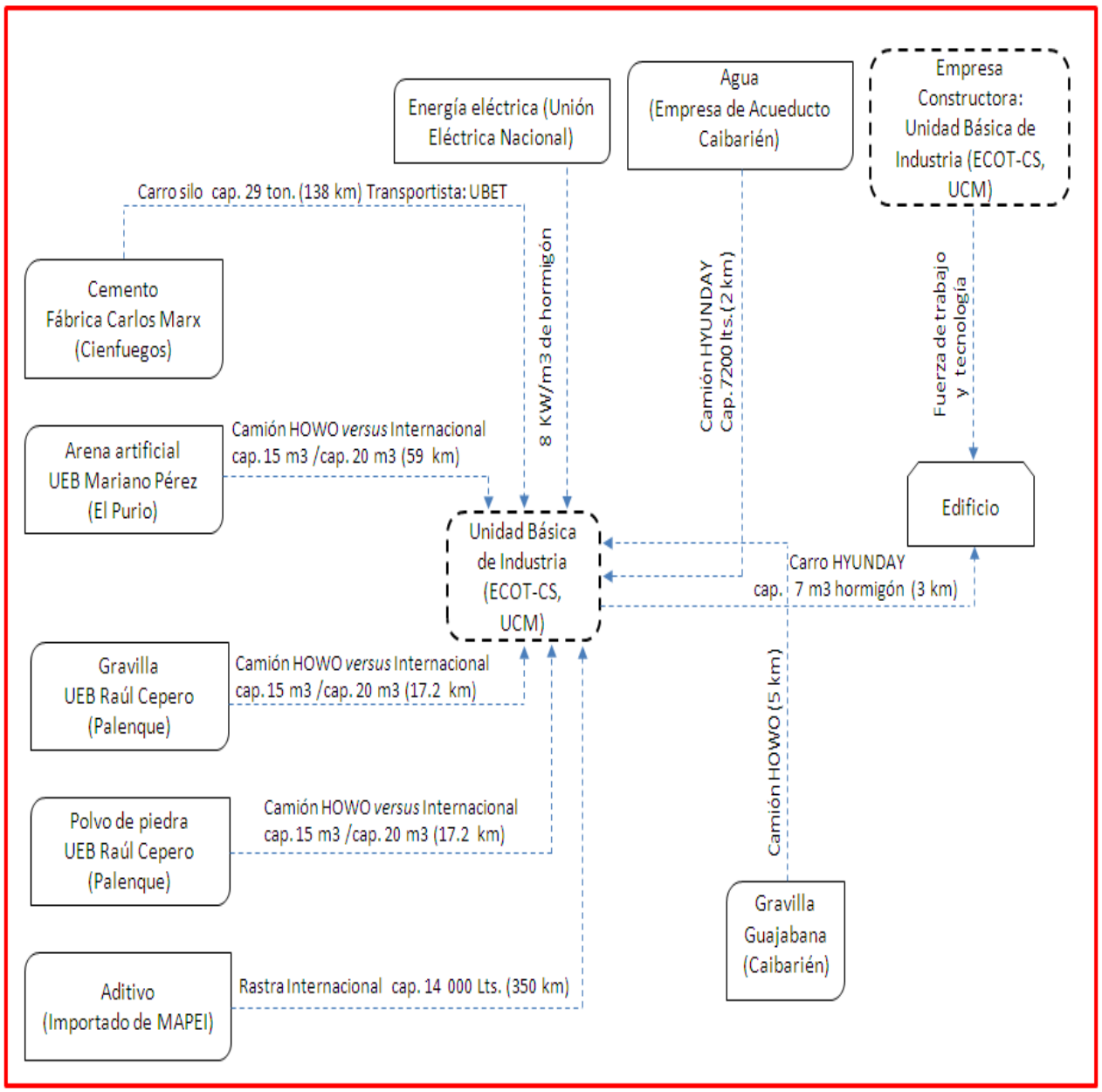

Figura 2.5. Diagrama de la cadena productiva de un edificio FORSA en Caibarién
Fuente: Elaboración propia

2.5. Características generales de la obra constructiva objeto de estudio

La solución estructural del Edificio FORSA tipo 2H está compuesta por muros portantes y losas de hormigón armado, sus cargas son distribuidas de forma lineal. Esta técnica de encofrados para construir, conocida como FORSA está constituida por formaletas de aluminio que forman el encofrado de muros y losas, que posteriormente se hormigonan *in situ* de forma monolítica.

Para el cálculo tanto de las losas de entrepiso como de cubierta se tienen en cuenta las siguientes cargas: carga de uso en entrepiso de 1.50KN/m^2, exceptuando los balcones y los patios de servicio con 3.0KN/m^2, carga de uso en la cubierta de 0.8KN/m^2, el peso propio de los elementos así como las cargas permanentes.

En esta tipología de edificios se refuerzan muros y losas con mallas electro-soldadas, elemento constituido por alambres de aceros obtenidos mediante un proceso de estirado en frío de un alambre de bajo contenido de carbono, dispuestos paralelamente en dos direcciones perpendiculares y unidos todos sus puntos de contactos mediante un proceso de soldadura eléctrica por fusión homogénea.

Los muros tienen un espesor de 100mm, exceptuando los muros laterales de la escalera que tienen 150mm, reforzándose ambos con la malla electro soldada colocada al centro, garantizando la continuidad estructural entre muros.

En los laterales de los vanos de puertas y ventanas se refuerza con dos barras de acero de 12 mm de diámetro en todo su perímetro, incluyendo barras en diagonales en las esquinas de los vanos, las barras se prolongarán más allá de sus bordes en 600 mm de longitud.

En las esquinas e intersecciones entre muros, se refuerza con aceros verticales adicionales a las mallas, que se elabora con barras de acero de 12mm de diámetro, garantizando la continuidad entre un nivel y otro con una longitud de empalme de 400mm.

Las losas de entrepiso y cubierta tienen un peralto total de 120mm, trabajando de forma general en dos direcciones, siendo estrictamente necesario cumplir con las longitudes empalmes señalados.

El refuerzo principal de las losas se realiza con mallas electro soldadas tanto el inferior para tomar los momentos positivos como el superior para los negativos, con un recubrimiento por ambas caras de 30mm. También se adiciona barras de acero ordinario cuando es necesario.

En las losas de balcón se coloca viga ciega que consiste en una jaula de acero con cercos de alambre de 6 mm dentro del espesor de la losa.

Las bases de las antenas tienen una sección de 300 x 300mm en planta con una altura de 150mm y la de los calentadores de 200 x 200mm con una altura entre 100-400mm, fundida en obra.

La escalera que da acceso a los niveles superiores del edificio, es del tipo plana maciza, fundida en el lugar, con una planta rectangular con cambio de dirección, con el arranque y el desembarco apoyado en el entrepiso y el descanso sustentado por los muros que contienen la escalera, con un peralto 120mm tanto las ramas como el descanso, reforzándose con barras de acero de 10mm de diámetro. Para el arranque de la escalera, se dejan unas barras de acero ancladas a la cimentación.

La unión entrepiso rama de escalera se hormigona en dos etapas diferentes.

El hormigonado de los muros y losas se ejecuta en forma monolítica en una misma etapa, por lo que la secuencia en el proceso de hormigonado debe ser continua, garantizando de esta manera que no se produzcan juntas frías en los elementos. Tanto en muros como en losas se colocan correctamente los accesorios y dispositivos de las diferentes especialidades y se deben prever los pases a dejar en estos.

A los hormigones a emplear para esta obra se les añade un aditivo que me permita obtener altas resistencia a temprana edad, reduciendo los tiempos de desencofrado. Se emplea desmoldante para evitar la adherencia de los hormigones a las formaletas, permite obtener un perfecto acabado de la superficie, y aumenta la vida útil de la formaleta.

En general se proyecta para el uso de hormigones que deben alcanzar una resistencia característica de 25.0 MPa para los elementos que se hormigonarán en el lugar utilizando cemento P-35. El acero principal a emplear será de grado A500T con una resistencia de 500MPa para la malla electro soldada, el resto grado G-40 con una resistencia de 300MPa.

Acerca de la cimentación

La balsa o losa de cimentación, es un elemento que soporta las cargas del edificio y trasmite al suelo las mismas, siendo continua en toda el área de construcción y tiene un espesor de 300 mm.

La balsa se construye sobre una terraza técnica que debe tener como mínimo una compactación del 95 % por pruebas *in situ* del proctor modificado, las cuales se hacen en todas las capas que componen la terraza técnica y deben entregarse por escrito estas pruebas a la empresa proyectista.

El armado de la balsa se realiza con dos mallas de acero, una inferior y la otra superior, los empalmes entre las barras tendrán una longitud de 500 mm.

Durante el armado de la losa de cimentación se colocan los anclajes para los muros que son barras de acero de 12mm de diámetro espaciadas a 400 mm y también se dejan anclajes para el apoyo de la losa de escalera que son barras de acero de 12 mm de diámetro espaciadas a 200 mm.

Antes del hormigonado de la losa de cimentación se colocan correctamente los accesorios y dispositivos de las diferentes especialidades.

Se recomienda un estricto curado de la losa de hormigón por un mínimo de siete días, mediante el humedecimiento de las superficies por medio de sacos de yute empapados en agua tres veces al día. El curado consiste en mantener la humedad y temperatura adecuada durante el proceso de fraguado y los primeros días de endurecimiento del hormigón, con el fin de impedir la pérdida de agua necesaria para la hidratación del cemento de manera que se desarrollen normalmente las propiedades del hormigón. El proceso de curado es imprescindible para que el hormigón pueda alcanzar la resistencia para la que fue diseñado, previendo además la formación de fisuras y grietas por retracción.

El acero a emplear será de grado G-40 con una resistencia de 300MPa.

Es muy importante colocar bien la malla superior de forma firme para que durante el hormigonado la misma no pierda su posición lo cual afectaría la capacidad resistente de la

balsa en detrimento de la estabilidad del edificio. Se podría fijar a través de barras soldadas en forma de Z a la malla inferior que debe quedar bien calzada y firme.

En la figura 2.6 se presenta una vista fotográfica del proceso constructivo del sistema FORSA objeto de estudio.

Figura 2.6. Edificio FORSA en cosntrucción. Reparto Van Troi II, Caibarién
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE ECO-EFICIENCIA: CASO DE ESTUDIO EN EDIFICIO FORSA

En el presente capítulo se realiza la aplicación práctica del procedimiento de Cancio (2014), descrito en el capítulo 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 análisis es un edificio construido con la tecnología FORSA tipo 2H, ubicado en el Reparto Van Troi II de Caibarién. Esta técnica de construir está formada por moldes de aluminio para fundición *in situ* de muros y losas, las que forman el encofrado de los mismos, el proceso de hormigonado se efectúa de forma monolítica de muros y losas. Este sistema utiliza cimentación en balsa.

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

La investigación construye el indicador de eco-eficiencia a escala del edificio FORSA, realizando además una especificación relacionada con los metros cuadrados de superficie total edificada, lo cual posibilitará la comparabilidad de los resultados obtenidos, con otros sistemas constructivos. Se incluye un análisis de costos y emisiones de CO2 atendiendo a la superficie de suelo de los niveles, con objeto de realizar comparaciones. Es importante esclarecer que los cálculos relacionados con la eco-eficiencia se realizan considerando los siguientes elementos constitutivos del hormigón: cemento, gravilla, arena, aditivo y agua.

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.

De acuerdo con lo explicado en la etapa 1.2., la principal limitación que se reconoce en la evaluación de eco-eficiencia es la no consideración de los componentes acero y malla

electrosoldada. No obstante, su no incorporación no afecta los resultados de eco-eficiencia que se pretenden reportar debido a que las variaciones en eco-eficiencia se producen como resultado del uso de un tipo u otro de cemento y no justamente por el empleo de los componentes antes mencionados. Estos componentes constituyen el denominador común en el empleo de un hormigón de uno u otro tipo de cemento.

Se evaluarán dos alternativas o escenarios: el primero (que es el escenario actual o en condiciones reales) en el cual toda la fundición se realiza con cemento P-35, y un segundo escenario bajo el supuesto de utilizar cemento SIG-B45, que es el cemento cubano de bajo carbono. Este análisis queda en el plano de la comparación teórica, pues aún no está demostrada técnicamente la factibilidad de la sustitución de un cemento por otro en este tipo de soluciones constructivas. Sin embargo, se puede apuntar que las pruebas de laboratorio realizadas al cemento SIGB-45 reportan resistencias mecánicas muy similares a las del cemento Portland tradicional.

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. Existen dos orígenes o proveedores de cemento: Cienfuegos (P-35) y Siguaney (SIG-B45)
2. La gravilla utilizada en la fabricación del hormigón proviene de la UEB Palenque.
3. La arena proviene de la cantera de El Hoyo, Manicaragua.
4. El cemento se comercializa a través de la Empresa Comercializadora del Cemento (ECOCEM).
5. El hormigón premezclado se elabora en el batching plant de la Unidad Básica de Industria y Materiales (UBIM), ubicada en Caibarién.
6. Los materiales se transportan por la Unidad Básica de Equipos y Talleres (UBET).
7. La empresa constructora es la ECOT-Cayo Santamaría, perteneciente a la UCM.

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

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

La dosificación gravimétrica utilizada para la elaboración de 1 m3 de hormigón de 30 MPa es la que se especifica a continuación:

Cemento P-35: 400 Kg

Gravilla 19.10 mm: 975 Kg

Arena artificial: 900 Kg

Aditivo Dynamon SX-32: 4 L

Agua: 200 L

La información anterior fue proporcionada por la Unidad Básica de Industria y Materiales (UBIM), que es la productora del hormigón utilizado en este tipo de edificación. La dosificación se corresponde con la Norma ACI.

Etapa 3.2. Transformación de las dosificaciones a escala del sistema estructural definido en 1.2.

En la tabla 3.1 se reportan las cantidades de los materiales constitutivos del hormigón (sin considerar el acero, como se explicó anteriormente), los cuales constituyen la base de cálculo del resto de las magnitudes técnico-económicas asociadas a la evaluación ambiental y económica.

Tabla 3.1. Consumo de materiales a nivel del edificio

Etapa-estructura	Volumen de hormigón (m3)	Cemento (kg)	Gravilla (kg)	Arena (kg)	Aditivo (lts)	Agua (lts)
Cimentación	86,27	34.508,00	84.113,25	77.643,00	345,08	17.254,00
Primer nivel	76,91	30.764,00	74.987,25	69.219,00	307,64	15.382,00
Segundo nivel	76,91	30.764,00	74.987,25	69.219,00	307,64	15.382,00
Tercer nivel	76,91	30.764,00	74.987,25	69.219,00	307,64	15.382,00
Cuarto nivel	76,91	30.764,00	74.987,25	69.219,00	307,64	15.382,00
Quinto nivel	85,14	34.056,00	83.011,50	76.626,00	340,56	17.028,00
Total	**479,05**	**191.620,00**	**467.073,75**	**431.145,00**	**1.916,20**	**95.810,00**

Fuente: Elaboración propia

Etapa 3.3. Definición de las magnitudes que caracterizarán la evaluación económica y ambiental del sistema estructural objeto de estudio.

Para el cálculo de la eco-eficiencia se utilizaron las siguientes magnitudes económicas y ambientales.

Ámbito Económico: Costo de producción, valor agregado.

Ámbito Ambiental: Se involucra la variable emisiones de CO2 por m2 de muro, para lo cual fue necesario realizar relevamiento de información asociada a la energía consumida en la extracción de los áridos, la transportación de los materiales y el proceso transformativo de los materiales. Se presenta el reporte desglosado por las fuentes emisoras: directas e indirectas.

Etapa 3.4. Conversión de las dosificaciones y cantidades totales de 3.2 en función de las magnitudes de 3.3.

En la tabla 3.2 se presenta el proceso de prorrateo de los consumos de combustible resultantes de la transportación de los materiales, de manera tal que se obtienen los consumos unitarios asociados a cada material, esto es, por cada unidad física del material. Esta información posteriormente se utiliza para la evaluación ambiental, ya que proporciona la cantidad total de combustible utilizado a partir de las materias primas transportadas y utilizadas en la obra.

Tabla 3.2. Resumen del proceso de prorrateo del combustible asociado a la transportación

Material	Origen	Destino	Km	Km ciclo	Medio de transporte	ICC*	Consumo total	Base de prorrateo	Consumo unitario combustible
Cemento	Cienfuegos	UBIM	138	276	Carro silo Internacional	0,5	138	Cap. 29 000 Kg	0,0047 L/Kg
Cemento	Siguaney	UBIM	91	182	Carro silo Internacional	0,5	91	Cap. 29 000 Kg	0,0031 L/Kg
Gravilla	Palenque	UBIM	17,2	34,4	HOWO	0,45	15,48	Cap. 15 m3	1,032 L/m3
Arena	El Purio	UBIM	59	118	HOWO	0,45	53,1	Cap. 15 m3	3,45 L/m3
Aditivo	MAPEI Habana	EPI	350	700	Rastra Internacional	0,5	350	Cap. 14 000 L	0,025 L/L
Transportación del hormigón de batching plant	UBIM	Obra	3	6	HYUNDAY	0,5	3	Cap. 7 m3	0,4285 L/m3

* Indice de consumo de combustible del medio de transporte

Fuente: Elaboración propia

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 completo, que significa el viaje de ida y regreso en el aprovisionamiento logístico, específicamente, en la transportación.

Fase IV: Determinación de los indicadores de Eco-eficiencia

Etapa 4.1. Definición de los indicadores de Eco-eficiencia con que se operará

Para el cálculo del indicador de eco-eficiencia se utilizará el método del valor agregado 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 de eco-eficiencia que se determina es: $\frac{DesempeñoEconómico}{DesempeñoAmbiental}$, que se determina como se especifica a continuación:

$$= \frac{Valor\ Agregado}{Emisiones} = \frac{\text{Pr}ecio\ Edificio - Costos\ \ acumulados\ por\ concepto\ de\ gasto\ material}{Emisiones\ asociadas\ a\ los\ materiales\ involucrados\ en\ \ el\ edificio}$$

Etapa 4.2. Evaluación medioambiental del sistema productivo como totalidad

Las determinaciones de combustible antes especificadas se encuentran en la unidad de medida litros, lo cual resulta inoperante para el cálculo de las emisiones, debido a que el factor de impacto del combustible que se dispone se encuentra en términos de toneladas de CO2 por toneladas de combustible (lo que es análogo a Kg/Kg); en este sentido se requiere convertir a kilogramos de combustible, de acuerdo con la densidad del combustible diesel utilizado. Este proceso de conversión así como las especificaciones de densidad del combustible se encuentran reflejados en la tabla 3.3, donde además se reportan las emisiones de CO2 debido al combustible utilizado en la transportación. Los datos relativos a emisiones del cemento P-35 y del SIG B-45 se tomaron como insumo de los trabajos parciales reportados por Sánchez (2014), quien investiga por varios años la factibilidad técnica, económica y ambiental de la introducción del cemento de bajo carbono en Cuba.

Se investigaron todos los consumos de combustible y electricidad (emisiones directas e indirectas) debidas a la obtención de los áridos, los elementos de prefabricado y el hormigón de batching plant. Con dicha información se consolidó la información que se dispone en la tabla 3.4, donde se puede apreciar el volumen de emisiones debidas a las distintas fuentes emisoras en diferentes nodos de la cadena productiva. Tal como en los análisis debido a 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.

En función de la tabla 3.2 se elabora la tabla 3.3, 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 3.3, 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.

Tabla 3.3. Emisiones debido a la transportación

	Cantidad de materiales	Consumo unitario de combustible	Consumo total combustible (L)	Combustible total (en Kg)*	Emisiones totales - P35** (Kg CO2)	Emisiones totales - SIG B-45 (Kg CO2)
Cemento Cienfuegos	191620,00 Kg	0,0047 L/Kg	900,61	754,621119	2422,33	
Cemento Siguaney	191620,00 Kg	0,0031 L/Kg	594,022	497,7310338		1597,72
Gravilla	467073,75 Kg/321,11 m3	1,032 L/m3	331,38	277,663302	891,30	222,97
Arena	431145,00 Kg/296,41 m3	3,45 L/m3	1022,61	856,844919	2750,47	332,76
Aditivo	1916,20 L	0,025 L/L	47,9	40,13541	128,83	65,12
Transportación del hormigón de Batching Plant	479,05 m3	0,4285 L/m3	205,27	171,995733	552,106303	65,12
	Emisiones totales debido a la transportación				**6745,05**	**2283,69**
	*Densidad del diesel: 0,8379Kg/L		**Factor de emisión: 3,21 Kg CO2/Kg diesel			

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.4 proporciona las emisiones que se producen como resultado de los procesos transformativos (excluyendo la fabricación del cemento). Los datos relativos a normas de consumo de combustible y electricidad fueron obtenidos de la Comercializadora Escambray (para el caso de los áridos) y de la UBIM (para el caso de la electricidad en el batching plant). La Comercializadora a su vez proporcionó información de acuerdo con las especificaciones tecnológicas de los equipos utilizados en las canteras para la obtención definitiva del árido en su forma comercial.

Tabla 3.4. Emisiones debido a procesos transformativos

Fuente de emisión	Volumen material	Norma consumo	Consumo Total	Factor emisión	Emisiones Totales (Kg CO2)
Combustible obtención de áridos	617,52 m3	1,3 Kg Comb./m3	802,77 Kg Comb.	3,21*	2576,89
Electricidad obtención de áridos	617,52 m3	4,68 KWh/m3	2889,99 KWh	0,00744**	21,5
Electricidad fabricación del hormigón	479,05 m3	8 KWh/m3	3832,4 KWh	0,00744**	28,51
* Kg CO2/Kg diesel	** Kg CO2/KWh				

Fuente: Elaboración propia

El factor de impacto de la electricidad se corresponde con datos ofrecidos por la Unión Eléctrica Nacional a partir de la matriz energética del Sistema Electroenergético Nacional, y es el que se reporta en la tabla 3.4.

La tabla 3.5 reporta el consolidado de la estructura de las emisiones atendiendo a los dos escenarios que son sometidos a evaluación, especificándose el peso porcentual que tienen algunos procesos considerados nodos centrales en los sistemas constructivos. Puede apreciarse que más de un 94% de la responsabilidad en las emisiones totales del proceso constructivo se debe al uso del cemento. De ahí que constituya el centro de atención de la actividad científica en la actualidad, el hecho de someter a evaluación alternativas de sustitución de los cementos tradicionales por otros tipos de tecnologías de producción más limpias, como es el caso del cemento de bajo carbono SIG-B45.

Tabla 3.5. Resumen de emisiones atendiendo a las fuentes emisoras y ambos escenarios comparados

Resumen de emisiones (Kg CO2)	Escenario P-35	Escenario SIG-B45	Estructura Esc.P-35 (%)	Estructura Esc.SIG-B45 (%)
Cemento	176.721,90	109.821,76	94,96	95,72
Obtención de áridos	2.598,39	2.598,39	1,40	2,26
Fabricación de hormigón	28,51	28,51	0,0153	0,0248
Transportación	6.745,05	2.283,69	3,62	1,99
Total de emisiones	186.093,85	114.732,35	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

La figura 3.1 ofrece la información visual que complementa la tabla antes comentada, contribuyendo a explicar la estructura de las emisiones. La porción que se debe a procesos transformativos resulta prácticamente imperceptible, pues esta se debe a las emisiones indirectas que son el resultado del consumo de electricidad en el batching plant de la UBIM, las cuales son sometidas al factor de impacto de la electricidad antes reportado, el cual se considera irrisorio en comparación con otros consumos.

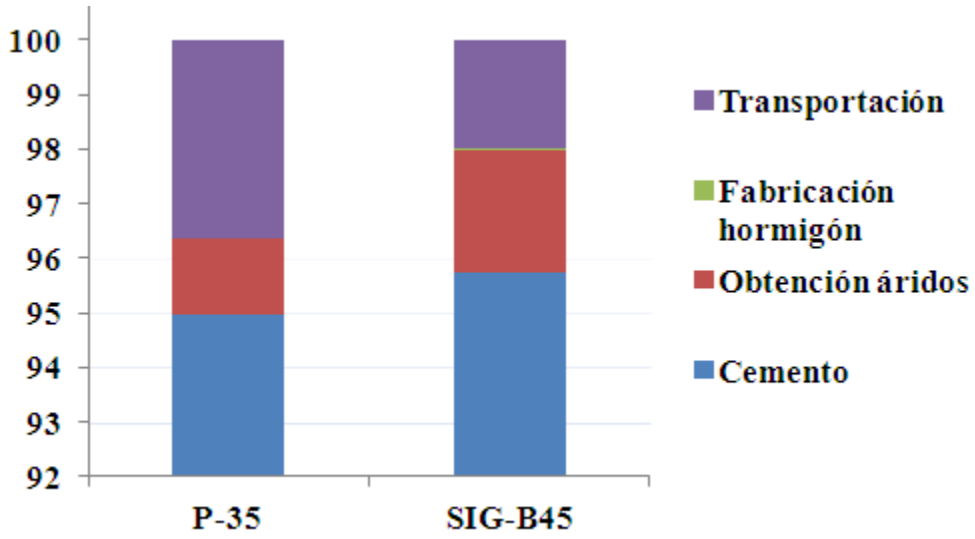

Figura 3.1. Estructura de la generación de emisiones
Fuente: Elaboración propia

Etapa 4.3. Evaluación del sistema generador de valor a través de todo el ciclo productivo

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 del edificio. 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. La figura 3.2 muestra la estructura porcentual de los costos, en la cual el 55% se debe al cemento.

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

		Costos ($)	
Materiales	**Cantidad**	**Escenario P-35**	**Escenario SIG-B45**
Cemento	191 620 Kg	23.157,27	21.520,84
Gravilla	321 113,2 m3	7.812,60	7.812,60
Arena	296 412,18 m3	7.691,83	7.691,83
Aditivo	1 916,20 L	3.506,64	3.506,64
Total		**42.168,34**	**40.531,91**

Fuente: Elaboración propia

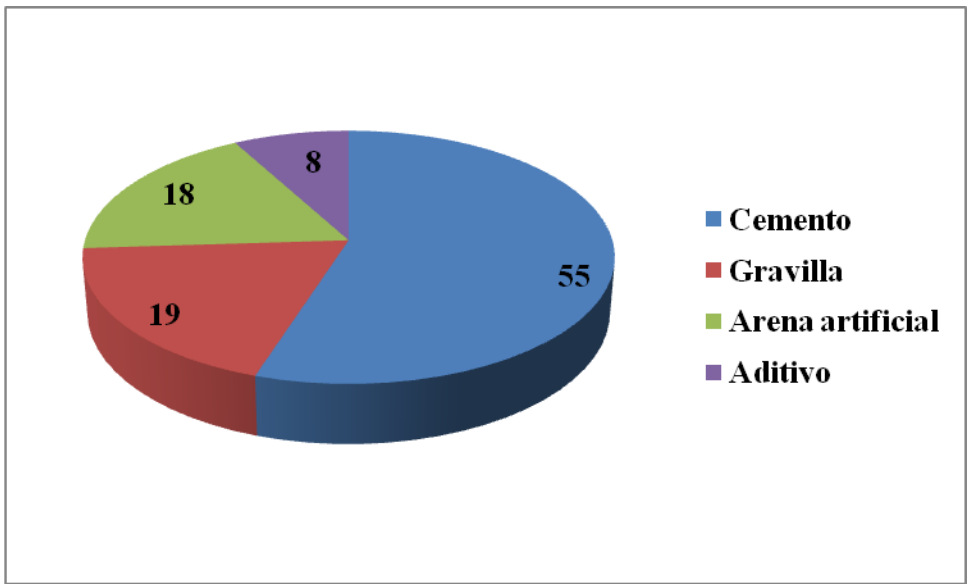

Figura 3.2. Estructura porcentual de los costos asociados a los materiales
Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de los costos se utilizaron los precios que se ofrecen a continuación, los cuales se corresponden con la información proporcionada por el departamento económico de la ECOT, y están asociadas a las facturas más frecuentes que han mediado en el proceso de aprovisionamiento de las materias primas y materiales.

Precios Unidad Básica de Industria y Materiales (UBIM):

Arena artificial: 25.95 $/m3

Granito: 24.51 $/m3

Gravilla: 24.33 $/m3

Aditivo Dynamon: 1.83 $/L

El precio utilizado para el cemento no es el ofrecido por la ECOT, pues como se ha explicado con anterioridad, en esta investigación se incorporan los costos estudiados por Sánchez (2014), en cuyo análisis de factibilidad del cemento de bajo carbono, involucra las comparaciones con los cementos tradicionales (P-35 y PP-25), ofreciendo los siguientes resultados: 120.85 $/ton para el cemento P-35 y 112.31 $/ton para el cemento SIG-B45. Luego

de realizar un estudio utilizando varios escenarios para la fabricación del cemento, se determina este reporte parcial de resultados del estudio de factibilidad del cemento SIG-B45.

Etapa 4.4. Determinación de los indicadores de Eco-eficiencia

En la tabla 3.7 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 al edificio atendiendo las fuentes emisoras que antes fueron declaradas, el valor agregado y, finalmente el indicador de eco-eficiencia con la consiguiente variación porcentual atendiendo a ambos escenarios comparados que se han sometido a evaluación.

El valor agregado se determinó a partir de la consideración del valor total del edificio, que constituye una medida de su precio. Este edificio FORSA tipo 2H está valorado en 594 239.57 pesos. La forma de cálculo del valor agregado así como de la eco-eficiencia fueron explicadas en los capítulos precedentes así como en la etapa 4.1. Significa el valor incorporado al edificio una vez descontados los costos de los materiales involucrados.

Tabla 3.7. Resumen del cálculo de la eco-eficiencia

Concepto	U/M	Escenario P-35	Escenario SIG-B45
Costos	Pesos	42.168,34	40.531,91
Emisiones	Kg CO2	186.093,85	114.732,35
Valor Agregado	Pesos	552.071,23	553.707,66
Eco-eficiencia	%	2,97	4,83
Variación en Eco-eficiencia	%	63,00	

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3 se puede apreciar un resumen de los resultados más relevantes derivados del análisis de la eco-eficiencia, ofreciendo una reducción del 4% en los costos del escenario P-35 con respecto al SIG-B45 y una reducción del 38% en las emisiones de CO2, lo cual conjuntamente proporciona un incremento de la eco-eficiencia en, aproximadamente, un 63%.

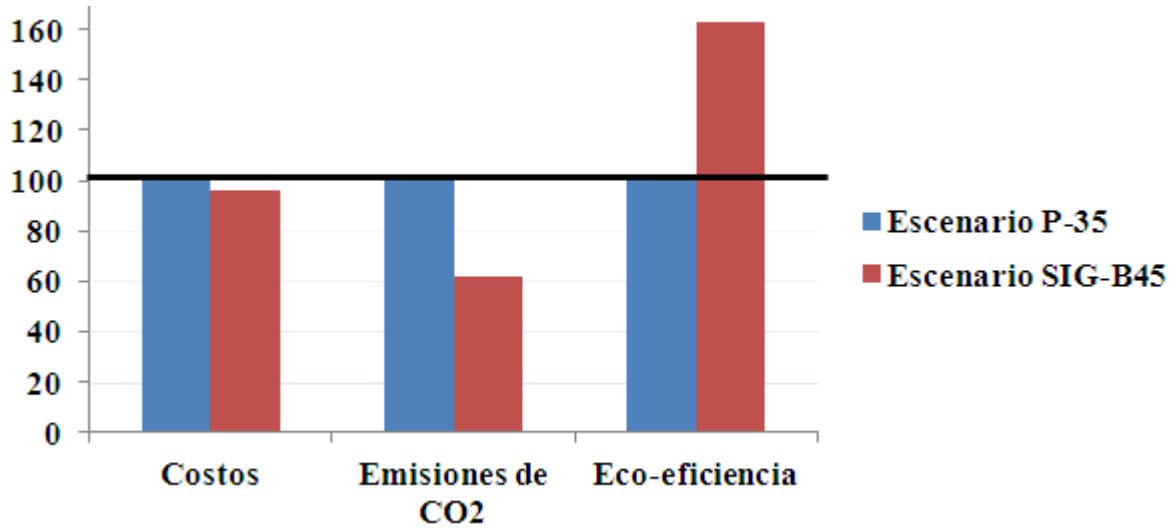

Figura 3.3. Comparación de costos, emisiones y eco-eficiencia
Fuente: Elaboración propia

A continuación se refleja el análisis tomando como referencia la superficie total edificada (STE) del edificio en sus 5 niveles, lo cual ofrece un marco de referencia para comparaciones con otras tipologías de edificaciones y tecnologías constructivas.

	U/M	Escenario P-35	Escenario SIG-B45
Costo/STE*	$/m2	46,92	45,10
Emisiones/STE	Kg CO2/m2	207,08	127,67
*Superficie Total Edificada = 898,65 m2			

Comparando los resultados antes expuestos, frente a un edificio construido con tecnología Gran Panel, también de 10 apartamentos, se tiene la siguiente información que se corresponde con los resultados investigativos de García (2014).

	U/M	Escenario P-35	Escenario SIG B-45
Costo/STE*	$/m2	25,93	25,04
Emisiones/STE	Kg CO2/m2	97,27	63,33
* Superficie Total Edificada = 170 m2 (x 5 niveles) = 850 m2			

Como puede apreciarse fácilmente, el sistema Gran Panel resulta con creces la solución más económica y más ecológica, por tanto más eco-eficiente, al utilizar el mismo patrón de comparación o unidad funcional: la superficie total edificada (superficie de suelo).

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

Etapa 5.1. Establecer el perfil de Eco-eficiencia con fines comunicacionales

Inversionista de la obra constructiva: ALMEST

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

Empresa constructora: ECOT-Cayo Santamaría (UCM)

Destino final de la edificación: Trabajadores asociados al sector del Turismo

Descripción de la solución potencialmente eco-eficiente que origina el estudio: Introducción del cemento cubano de bajo carbono SIG-B45 en el edificio (se enfatiza que el estudio comparado está fundamentado teóricamente, o sea, aún no se ha utilizado este tipo de cemento para estas aplicaciones de gran formato).

Precio del edificio objeto de estudio: $ 594 239.57

Costo de los materiales involucrados: $42 168.34 (Escenario P-35) y $40 531.91 (Escenario SIG-B45).

Emisiones totales asociadas al edificio: 186 093.85 Kg de CO2 (Escenario P-35) y 114 732.35 Kg CO2 (Escenario SIG-B45).

Valor agregado: $ 552 071.23 (Escenario P-35) y $ 553 707.66 (Escenario SIG-B45)

Indicador de eco-eficiencia: 2.97 (Escenario P-35) y 4.83 (Escenario SIG-B45) (comparado con la solución más eco-eficiente se generan incrementos de eco-eficiencia del 63%).

CONCLUSIONES

1. En el concepto de eco-eficiencia subyace la síntesis de la eficiencia económica y la eficiencia ambiental de un sistema productivo de bienes y/o servicios. Su instrumentación práctica ha proporcionado beneficios económicos a un grupo importante de empresas, las cuales han adoptado el concepto como una filosofía empresarial.

2. La piedra angular de la gestión eco-eficiente radica en la adopción de mejoras permanentes en productos y/o procesos o la gestación de un producto innovador que proporcione algún tipo de ventaja competitiva, lo cual generalmente conlleva intensos esfuerzos de investigación y desarrollo en las empresas y negocios. El cemento de bajo carbono puede ser considerado como una solución eco-eficiente.

3. La cadena productiva constituye un instrumento de gran importancia en la cuantificación de la eco-eficiencia, debido a que a partir de ella se determinan los nexos entre los entes participantes en la conformación del producto final, de manera que a partir de sus relaciones se pueda establecer el movimiento de recursos materiales y financieros, proceso que ocurre simultáneamente con el flujo de emisiones ambientales.

4. La revisión de la literatura especializada da cuenta de la insuficiencia metodológica que existe en la actualidad para el tratamiento de la cuantificación de la eco-eficiencia, sobre todo en lo referente al sector constructivo, lo cual refuerza la necesidad de desarrollar procedimientos alternativos de evaluación de la eco-eficiencia.

5. El estudio empírico desarrollado considerando el edificio construido con tecnología FORSA en el Reparto Van Troi II, condujo a la aseverar que, en términos de sustitución del cemento P-35 por cemento SIG-B45, se consiguen reducciones en costos del 4% y del 38% en emisiones de CO_2, lo cual genera simultáneamente un incremento en eco-eficiencia del 63%.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar nuevos estudios de caso de evaluación de eco-eficiencia, en los cuales se incorpore el acero contenido en el hormigón, la malla electrosoldada, la fabricación de los moldes, así como los aceites desmoldantes (industriales u orgánicos).

2. Valorar la introducción de otros escenarios de evaluación que incorporen, por ejemplo, alternativas diversas en el uso de los aditivos.

3. Profundizar en el estudio de procedimientos de evaluación de eco-eficiencia a nivel internacional, particularmente en aplicaciones a sistemas constructivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALUJAS, A. D. (2010): Obtención de un material puzolánico de alta reactividad a partir de la activación térmica de una fracción arcillosa multicomponente.
2. ANTEZANA, I. (2008): Enfoque Participativo en Cadenas Productivas (EPCP).
3. AYALA, L., ARIAS, R. (2010): El análisis de la Cadena de Valor de Michel Porter. Available: http://www.cadenas de valor.com.
4. BENÍTEZ, A. & IGLESIAS, S. M. (2013): El uso de los eco-materiales y residuos para la producción de materiales de la construcción.
5. BRIBIAN, I. Z. (2014): Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida.
6. CANCIO, D. Y. (2014): Propuesta de procedimiento para la evaluación de eco-eficiencia en aplicaciones a sistemas constructivos cubanos. Esbozo de ponencia para la IX Conferencia Internacional de Ciencias Empresariales (CICE-2014).
7. CARRERA, G., HERRMANN Y PALADINO (1997): La Cadena de Valor en la Industria de la Construcción.
8. CASTILLO, I. M. (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.
9. CASTRO, J. G. I. (2005): Cadenas Productivas. Enfoques y precisiones conceptuales.
10. CIDEM (2007): Eco-materiales en Proyectos de Vivienda Social, Cuba.
11. CIDEM (2010): Estudio de Factibilidad Técnico Económico Financiero de la Producción de Metakaolín en Cuba.
12. COLOMBIA, F. H. (2007): Eco-vivienda en Latinoamérica.
13. EUROPEAN TRAINING PARNERSHIP ON SUSTAINABLE INNOVATION (2005): History and definitions of eco-efficiency
14. FLATT R., R. N., CHEESEMAN C. (2012): Concrete: an eco material that needs to be improved.
15. HERRERA, T. J. F. (2009): Construcción de cadenas productivas del sector agrícola mediante modelos de redes: Caracterización, simulación de escenarios y prospectiva.
16. HIRSCHMAN, A. (1958): The strategy of Economic Development.

17. HIRSCHMAN, A. (1998): Backward and Forward Linkages.
18. HOFF, M. Y. S. (2008): Indicadores de eco-eficiencia.
19. DÍAZ F. I. (2014): Los encadenamientos productivos: un análisis para Cuba.
20. ISO 14040 (1997): Gestión Ambiental-Análisis de Ciclo de Vida-Principios y Marco de referencia.
21. ISO 14042 (2001): Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida.
22. ISO 14045 (2012): Environmental management-Eco-efficiency assessment of product systems-Principles, requirements and guidelines.
23. J. T. (2001): How do we define value chains and production networks? Available: http://www.ids,uk/globalvaluechains/.
24. JARAMILLO, A. S. (2007): Los eco-materiales desde la ciencia y la tecnología.
25. KARIMI, K. G. (2011): Ecomateriales y construcción sostenible.
26. KOSACOFFI, B. (2008): América Latina y las Cadenas Globales de Valor: debilidades y potencialidades.
27. LEAL, J. (2005): Eco-eficiencia: Marco de análisis, indicadores y experiencias.
28. MADDEN, K. et. al. (2005): Eco-efficiency: Learning module
29. MANSE, E. A. (2006): Cadena productiva.
30. MARRERO, I. A. (2012): Ecomateriales para el hábitat sostenible.
31. MARTIRENA, F. (2004): Seminario sobre la Herramienta de Evaluación de la Sostenibilidad en la Construcción (SBET).
32. MARTIRENA, F. (2005): La producción de eco-materiales para la construcción de viviendas de interés social como una vía para la descentralización. La experiencia Cubana. III Encuentro mundial de solidaridad con la revolución bolivariana, Venezuela.
33. MARTIRENA, F. (2007): Ecomateriales en los Proyectos de Vivienda Social.
34. MARTIRENA, F. (2010): Potencialidades de mejoramiento de la eficiencia en la producción de Cemento Pórtland en Cuba.
35. MARTIRENA, F. (2010): Proyecto de cemento de bajo carbono.
36. MARTIRENA, F. (2013): Cemento Ternario en base a arcilla calcinada, carbonato y clínquer.

37. MINISTERIO DE LA PRODUCCION, L.-P. (2007): Cadenas productivas. Available: http://www.cadenas de valor .com.
38. NC 50-03. (1984): Distribución de la vivienda por tipo de asentamientos humanos.
39. ONUDI (2004): Manual de Mini-cadenas Productivas.
40. PORTER, M. (1990): La ventaja competitiva de las naciones.
41. MASPONS, R. R. (1987): Prefabricación.
42. REARDON, T. Y. C. B. (2000): Agro-industrialization, globalization, and international development. Available: http://www.towatch.org.
43. RESTREPO, J. E. A. (2006): Efectos de la adición de metacaolín en el Cemento Portland.
44. TORRES, M. M. (2010): El modelo de gestión de la cadena productiva en Cuba. Una propuesta para su perfeccionamiento.
45. UNITED NATIONS (2004): A manual for the preparers and users of eco-efficiency indicators. Conference on trade and development.

46. VERFAILLIE H.A. et.al. (2000): Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance.
47. WBCSD. Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (2000): Creando más valor con menos impacto.