

UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

ESCUELA DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA CON MENCIÓN CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

PRIMERA COHORTE

DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA INCORPORADA Y EMISIONES DE CO₂
CONTENIDAS EN LA TEJA ARTESANAL Y TEJA ARTESANAL VIDRIADA
UTILIZADAS EN LA CIUDAD DE CAÑAR, PARA EVALUAR EL IMPACTO
AMBIENTAL DE LOS DIFERENTES PROCESOS EN SU CICLO DE VIDA.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
MAGÍSTER EN ARQUITECTURA CON MENCIÓN EN CONSTRUCCIÓN
SOSTENIBLE

AUTOR: JUAN DAVID CASTRO PILLAGA

Napo - Ecuador

2024

UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

ESCUELA DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA CON MENCIÓN CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

PRIMERA COHORTE

DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA INCORPORADA Y EMISIONES DE CO₂
CONTENIDAS EN LA TEJA ARTESANAL Y TEJA ARTESANAL VIDRIADA
UTILIZADAS EN LA CIUDAD DE CAÑAR, PARA EVALUAR EL IMPACTO
AMBIENTAL DE LOS DIFERENTES PROCESOS EN SU CICLO DE VIDA.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

**MAGÍSTER EN ARQUITECTURA CON MENCIÓN EN CONSTRUCCIÓN
SOSTENIBLE**

AUTOR: JUAN DAVID CASTRO PILLAGA

TUTOR: PhD. JEFFERSON TORRES QUEZADA

Napo - Ecuador

2024

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad

Yo, JUAN DAVID CASTRO PILLAGA, con documento de identidad N° 0302592555, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título de Magíster en Arquitectura con mención en Construcción Sostenible, son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en la presente investigación son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Tena, 13 de junio de 2024

Juan David Castro Pillaga

C.I.: 0302592555

Autorización de Publicación en el Repositorio Institucional

Tena, 13 de junio de 2024

Y Yo, JUAN DAVID CASTRO PILLAGA, con documento de identidad N° 0302592555, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA INCORPORADA Y EMISIONES DE CO2 CONTENIDAS EN LA TEJA ARTESANAL Y TEJA ARTESANAL VIDRIADA UTILIZADAS EN LA CIUDAD DE CAÑAR, PARA EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS DIFERENTES PROCESOS EN SU CICLO DE VIDA, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Juan David Castro Pillaga

C.I.: 0302592555

Certificado de Dirección de Trabajo Titulación

Tena, 13 de junio de 2024

Certifico que el trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA INCORPORADA Y EMISIONES DE CO2 CONTENIDAS EN LA TEJA ARTESANAL Y TEJA ARTESANAL VIDRIADA UTILIZADAS EN LA CIUDAD DE CAÑAR, PARA EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS DIFERENTES PROCESOS EN SU CICLO DE VIDA”, aprobado bajo el mecanismo de titulación de TESIS, fue realizado por: JUAN DAVID CASTRO PILLAGA, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiám, para su entrega y defensa.

Jefferson Eloy Torres Quezada

C.I.: 0704535087

AGRADECIMIENTO

Quiero iniciar agradeciendo profundamente a la Universidad Regional Amazónica IKIAM, por la oportunidad brindada a mi persona para permitirme ingresar a este programa de estudios superiores, y así evolucionar en el ámbito profesional y académico, brindándome la posibilidad de abrirme camino hacia nuevos retos.

A AECID y a todas las instituciones que, de una u otra manera, lograron aunar esfuerzos para consolidar el financiamiento de la beca con la cual me fue posible ingresar a este programa de estudios superiores. Gestiones de esta índole son fundamentales para consolidar un verdadero desarrollo integral de nuestra sociedad.

A mi tutor de tesis, Arq. PhD. Jefferson Torres Quezada, por todo el apoyo que me ha brindado desde el primer día, compartiendo sus amplios conocimientos respecto de los temas abordados en este documento, y que me han permitido culminarlo con éxito.

A Don Ángel Rodrigo Sinche, propietario de la fábrica de ladrillos y tejas semi industriales, que desde el primer día tuvo la predisposición para atender cada uno de mis requerimientos, y a toda su familia, por haberme permitido conocer y formar parte de esta tradición que se va tecnificando cada día más.

Y a Don Onofre Contreras, hábil y honorable artesano sexagenario que me abrió las puertas de su pequeño taller y me explicó cada uno de los procesos que, a su avanzada edad, continúa ejecutando, perennizando el legado de una tradición familiar que se niega a desaparecer.

¡Muchas gracias a todos!

DEDICATORIA

Siempre, cada logro y objetivo alcanzado que potencie mi desarrollo personal y profesional, será dedicado a mis padres: Martha y Jorge, pilar y fortaleza en cada uno de los pasos que doy. Gracias por entenderme, por corregirme, por guiarme y por enseñarme siempre desde el amor, desde el cuidado, y con el ejemplo. ¡Los amo muchísimo!

A mis hermanos: Cristian, Anita y José, por ser compañía en las alegrías, y refugio en las tristezas. Anhelo que la vida también les presente motivos suficientes para verlos siempre sonreír y saber que están bien.

A Dios, o a cualquiera de sus manifestaciones, por permitir mantenerme sano y lleno de vida para poder vivirla. A mis *chubbytas*: Laika, Mía y Kira, por la compañía durante las amanecidas. (*Ojalá ser perro en otra vida xd <3*)

A todas y cada una de las personas con las que he entablado amistad en esta etapa, también va para Ustedes. Gracias por hacerme ver la vida desde otras aristas, por abrirme la mente hacia nuevas perspectivas y por haberme brindado su amistad durante todo este tiempo ¡Los llevo en el alma!

A todos ustedes, familia, amigos, colegas, docentes, a mis estudiantes, y a mis seres queridos: ¡Mil gracias por hacerme ver que mucho de lo que hago está bien, por creer siempre en mí, y por permitirme entender que cuando haces las cosas desde el corazón, nada puede *malir sal!* :)

Tabla de Contenido

Portada

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad	ii
Autorización de Publicación en el Repositorio Institucional.....	iii
Certificado de Dirección de Trabajo Titulación.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
Tabla de Contenido	vii
ÍNDICE DE TABLA.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problemática: Definición del problema	3
1.3 Marco Teórico	5
1.4 Hipótesis.....	7
1.5 Objetivos	7
1.5.1 Objetivo General	7
1.5.2 Objetivos Específicos	7
2 CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	9
2.1 Beneficiarios directos e indirectos.....	10
2.2 Desarrollo: Impacto Ambiental en la Construcción	10
2.2.1 Contexto Internacional	10
2.2.2 Contexto Nacional y Local	13
2.2.3 La Teja Como Material en las Edificaciones en el Austro.	17
2.2.4 Esquema de Producción de Tejas en las Fábricas.....	19
2.3 Análisis del Ciclo de Vida (ACV).....	24
2.3.1 Antecedentes del ACV	24
2.3.2 Introducción al Análisis de Ciclo de Vida	25
2.3.3 Metodología para el análisis del Ciclo de Vida	26

2.4	Aplicación del ACV en el Caso de Estudio	27
2.4.1	<i>Etapa 1: Obtención y Traslado de materia prima</i>	27
2.4.2	<i>Etapa 2: Proceso de Batido de Arcilla</i>	28
2.4.3	<i>Etapa 2: Proceso de Distribución</i>	33
3	CAPÍTULO III: CASO DE ESTUDIO: ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (ICV) DE LA TEJA ARTESANAL Y TEJA ARTESANAL VIDRIADA	34
3.1	Aplicación del ICV.....	34
3.1.1	<i>Definición del Objetivo, Alcance de Estudio Y Unidad Funcional</i>	34
3.1.2	<i>Inventario del Ciclo de Vida</i>	36
3.2	Recopilación y Validación de Datos	37
3.2.1	<i>Primer Etapa: Transporte de Materia Prima</i>	38
3.2.2	<i>Segunda Etapa: Procesos dentro de la Fábrica.....</i>	40
3.2.3	<i>Tercera Etapa: Traslado</i>	46
3.3	Cálculo de las Emisiones de CO2 dentro de las 3 Etapas	47
3.3.1	<i>Maquinaria para procesamiento</i>	47
3.3.2	<i>Transporte del material</i>	48
3.4	Resultados de Emisiones de CO2	53
3.5	Cálculo de Energía Incorporada	54
3.6	Discusión de resultados y análisis	55
4	CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 3-1:	Factor de conversión para combustibles en transporte	49
Tabla 3-2:	Emisión de CO2 en la Etapa 2 de elaboración de tejas.	52
Tabla 3-3:	Emisiones de CO2 en las 3 etapas del alcance del estudio.	53
Tabla 3-4:	Emisiones de CO2 por kg de teja producida dentro del análisis.	54
Tabla 3-5:	Energía incorporada en la producción de tejas.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Niveles en los cuales aplicar el ACV de un producto en la construcción	13
Figura 2-2: Medidas aproximadas de una teja artesanal.	15
Figura 3-2: Fábrica de ladrillos y tejas artesanales en el sector de Sinincay, Cuenca, Ecuador	16
Figura 4-2: La teja artesanal es un producto de alta demanda en ciudades del austro ecuatoriano. Fotografía de la Ñukanchi-Huasi en la ciudad de Cañar.....	17
Figura 5-2: Ubicación geográfica de ladrilleras en parroquias rurales de Cuenca.....	19
Figura 6-2: La producción de tejas es una tradición familiar.	20
Figura 7-2: Don Onofre Contreras durante la entrevista.	21
Figura 8-2: La arcilla recién extraída debe pasar por un proceso de trituración para romper rocas pequeñas que pueda contener.....	22
Figura 9-2: Arcillas “rojas” utilizadas para la elaboración de las tejas artesanales	24
Figura 10-2: Ciclo de vida de materiales, sus procesos y sus actividades.	25
Figura 11-2: Diferentes alcances dentro del Ciclo de Vida de un material.	27
Figura 12-2: Colocación de la mezcla de arcillas, dentro de un espacio conocido como “Noque” (Teja artesanal)	29
Figura 13-2: Proceso de elaboración de tejas vidriadas	30
Figura 14-2: Elaboración completamente artesanal de tejas.....	31
Figura 15-2: Proceso de secado natural de teja, previo al ingreso al horno.	32
Figura 16-2: Horno en el que se produce la quema de tejas	33
Figura 1-3: Peso de teja artesanal Vs. teja artesanal vidriada	35
Figura 2-3: Proceso de “entradas y salidas” durante la elaboración de las tejas.	38
Figura 3-3: Distancia recorrida desde las minas de obtención de materia prima hacia la fábrica.....	39
Figura 4-3: El transporte interno y la mezcla del material se produce de forma artesanal en el caso de la fábrica semi industrial y fábrica artesanal.	41
Figura 5-3: La extrusión de la mezcla (en el proceso semi industrial) se produce por medio de máquinas que funcionan a diésel.	43
Figura 6-3: El secado de las tejas se produce de forma natural en espacios cubiertos destinados para este fin, tanto en el caso de la fábrica semi industrial, como en el de la fábrica artesanal.....	44

Figura 7-3: Hornos utilizados para la quema de las tejas. En el caso de la fábrica semi industrial (izquierda) se hace uso de un ventilador eléctrico para acelerar el proceso de combustión.	45
Figura 8-3: Distancia recorrida desde el origen (fábrica) hasta el destino (Cañar) ..	47

RESUMEN

El sector de la construcción es una de los mayores contribuyentes a los cambios y alteraciones en el medio ambiente, debido a la gran cantidad de CO₂ que se genera en los procesos de elaboración de los materiales que se utilizan, así como a la cantidad de energía que se requiere durante el proceso. Alrededor del mundo existe una Base de Datos del Análisis de Ciclo de Vida para varios elementos constructivos, lo cual permite la identificación de valores cuantificables asociados a la contaminación por la producción de estos materiales. En el ámbito nacional (Ecuador) la falta de una Base de Datos con materiales de uso común en sus regiones, imposibilita la detección de estos valores en algunos materiales que, de otra forma, podrían coadyuvar para el mejoramiento en sus procesos de producción, permitiendo reducir tanto de la energía incorporada como la huella de carbono asociadas a este elemento. El presente documento cuantifica la cantidad de energía incorporada, así como las emisiones de CO₂ generadas para la elaboración de una unidad de material denominada “teja artesanal” y “teja artesanal vidriada” utilizadas en la ciudad de Cañar, considerando los límites “de la Cuna al Sitio” por medio del Análisis de Ciclo de Vida, y que provienen de fábricas artesanales ubicadas en la parroquia Sinincay, cantón Cuenca, Provincia del Azuay. Para los cálculos y la metodología se emplea literatura relacionada al tema; mientras que los datos para los cálculos serán obtenidos de las fábricas antes mencionadas.

PALABRAS CLAVES: ACV, Sostenibilidad, Teja Artesanal, CO₂, Ecuador.

ABSTRACT

The construction sector is one of the largest contributors to changes and alterations in the environment due to the large amount of CO₂ generated in the production processes of the materials used, as well as the amount of energy required during the process. Around the world, there is a Life Cycle Analysis Database for various construction elements, which allows the identification of quantifiable values associated with pollution from the production of these materials. Nationally (in Ecuador), the lack of a Database with commonly used materials in its regions makes it impossible to detect these values in some materials that, otherwise, could contribute to improving their production processes, allowing for the reduction of both the embodied energy and the carbon footprint associated with this element. This document quantifies the amount of embodied energy, as well as the CO₂ emissions generated for the production of a unit of material called "handmade tile" and "glazed handmade tile" used in the city of Cañar, considering the "Cradle to Site" limits through Life Cycle Analysis, and which come from artisanal factories located in the parish of Sinincay, Cuenca canton, Azuay Province. For the calculations and methodology, literature related to the topic is used, while the data for the calculations will be obtained from the aforementioned factories.

KEYWORDS: LCA, Sustainability, Artisanal Tile, CO₂, Ecuador.

1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El crecimiento urbano es una característica propia de las civilizaciones occidentales contemporáneas. Las ciudades experimentan un ritmo de crecimiento que se traduce en la expansión del área urbana, vinculada a su vez a un incremento en la actividad de construcción.

Las investigaciones en el contexto mundial indican que la industria de la construcción bordea el 10% de la economía mundial, al tiempo que consume el 50% de los recursos, convirtiéndola en una de las actividades con menor sostenibilidad en el planeta (Palacios, 2015).

Según datos del Banco Central, a nivel de Ecuador, la construcción alcanza a representar cerca del 12% del producto interno bruto (PIB), ocupando el 4to lugar dentro del sector industrial que mayor aporte brinda (Alvear Palomeque, 2013). A su vez, y contrario a lo que se supondría, la tendencia actual de los constructores ha llevado a obviar el vínculo existente entre el contexto natural circundante y el impacto ambiental que esta actividad genera, lo cual se traduce en crecientes problemáticas que se manifiestan a nivel global, caracterizadas por el calentamiento global, destrucción de ecosistemas y contaminación de recursos, entre otros. (Maza González, 2012, p. 22)

La existencia de estos problemas ambientales, en conjunto con la responsabilidad de desarrollar nuevas propuestas de construcción que sean sostenibles y amigables con el medio ambiente, surge la necesidad de investigar los diversos procesos en construcción y uso de materiales, con objeto de determinar el grado de impacto ambiental que generan y desde este conocimiento, desarrollar propuestas que reduzcan dicho impacto y permitan mejorar la eficacia productiva en cuanto a uso de recursos materiales y energéticos.

Lo cierto es que los programas de construcción sostenible son relativamente nuevos, por lo que las técnicas de construcción tradicional aún predominan en este sector. Además, existe un importante grupo de fabricantes artesanales de material de construcción que tiene alta demanda en el mercado, como en el caso del uso de la teja artesanal y vidriada, materiales utilizados de forma más frecuente en las construcciones de la región Sierra.

Esta lectura de los hechos, deja ver dos vías de trabajo en favor de la sostenibilidad. Por un lado, la búsqueda de nuevas técnicas de construcción que suplanten a las tradicionales y sean más amigables con el medio ambiente y uso de recursos, posibilidad que se puede concretar en el largo plazo y de mano con el desarrollo tecnológico y la innovación; y por otro lado, la investigación de las técnicas de construcción y elaboración de materiales de construcción con objeto de conocer los procesos, el grado de contaminación y determinar estrategias que reduzcan el impacto ambiental que generan, enfoque que, como objeto de investigación, se considera relevante, ya que permite reducir el impacto de emisiones y posiblemente, es la vía más apropiada para desde este conocimiento, dar paso a procesos de innovación.

Esta búsqueda de sostenibilidad y óptimo aprovechamiento de materiales y energía, concuerda a su vez con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establecidos por las Naciones Unidas, cuyo objetivo número 11 destaca la importancia de contar con ciudades y comunidades sostenibles, por lo que el uso de materiales y construcción sostenibles se enmarcan con la consecución de este objetivo (Naciones Unidas, 2015). Ahora bien, en el caso de Ecuador, todavía se recurre en diversos tipos de construcciones (sobre todo de viviendas), al uso de materiales artesanales. En el caso de la sierra, considerando la importancia de los centros urbanos patrimoniales, el uso de la teja artesanal y la teja vidriada, es recurrente.

Los problemas de contaminación generados por este tipo de materiales, generalmente se caracterizan por descuidar la búsqueda del mínimo impacto durante todo el proceso de elaboración, generando erosión en la tierra al momento de la extracción de materia

prima, por el uso de madera circundante en procesos de cocción, desperdicio de agua y falta de eficacia en procesos productivos, y finalmente el transporte del producto a los diferentes mercados. Todos estos procesos representan una problemática ecológica (López, et al., 2009).

Entonces, la importancia del estudio del ciclo de vida de los materiales resulta relevante, ya que permite comprender todo el proceso de elaboración de un material específico y valorar su impacto en términos de sostenibilidad. Particularmente, en el caso de la teja, no se han registrado investigaciones que expliquen los procesos dentro de su ciclo de vida, y los niveles de contaminación media que registra.

En esta investigación se buscó cuantificar la cantidad de “energía incorporada”, así como las emisiones generadas en términos de CO₂ producidas durante la elaboración de las unidades materiales de: “teja artesanal” y “teja artesanal vidriada”, mismas que son de uso frecuente en la ciudad de Cañar, provincia del Cañar, ubicada en la región austral andina del Ecuador.

La investigación se centra en el ciclo de vida del material delimitándolo “de la Cuna al Sitio” (*Cradle to gate*), a través del ACV. El proceso metodológico utilizado corresponde a las recomendaciones de la normativa ISO 14044.

1.2 Problemática: Definición del problema

El cambio climático es una problemática por la que se ha discutido durante las últimas décadas. Las evidencias muestran que existe un incremento en la temperatura ambiental causado por los excesos de producción energética que generan gases (principalmente CO₂) lo cual incrementa la capacidad de retener calor en el ambiente, y lo que se denomina finalmente como calentamiento global.

Este cambio se da por el acelerado crecimiento industrial del último siglo, el incremento poblacional y la concentración urbana que demanda altos consumos de energía, lo cual

se traduce en más emisiones de CO₂. El sector de la construcción es uno de los que mayor energía requiere, además es altamente demandado ya que, en el ámbito urbano, todo está sostenido por una construcción y la expansión poblacional es improbable, en un entorno urbano, sin métodos de construcción que lo consoliden.

De acuerdo a Alvear Palomeque (2017), la construcción moviliza el 10% de la economía a nivel mundial, al tiempo que requiere la mitad de recursos a nivel mundial, evidenciando ser la actividad con menos sostenibilidad del planeta. Esta realidad ha hecho que la ética con sentido ecológico, empiece la investigación sobre nuevas formas de construcción, más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. A su vez, es también relevante las investigaciones que permitan sostener las formas de construcción que se usan a la actualidad, con objeto de convertirlas en actividades más sostenibles, o reducir el nivel de consumo de energía y contaminación que requieren.

En la línea de nuevas propuestas constructivas, las variedades son extensas, desde el uso de materiales de construcción alternativos, hasta propuestas de proyectos urbanos en base al aprovechamiento de los procesos de construcción (desde la obtención de los componentes básicos, elaboración del material, traslado hasta la construcción propiamente dicha).

La producción eficaz con enfoque ambiental, es el resultado del estudio de los procesos de producción. Estos empezaron a finales de los años sesenta del siglo pasado, con objeto de determinar aspectos a mejorar en los procesos internos de una fábrica. La investigación se realizó a cargo del Midwest Research Institute, para la Coca Cola Company. Posteriormente, este proceso de investigación se lo conoció como el "Análisis de Ciclo de Vida" (o también ACV), en donde se realiza una cuantificación de emisiones de CO₂ al medioambiente (Guineé et al., 2011, p.1).

Torres-Quezada (2023), en su investigación titulada *La evolución de la construcción y su impacto energético en la región andina*, en Ecuador, detalla cuatro períodos constructivos, con objeto de estudio de los materiales que componen la estructura de

edificaciones: hormigón armado, hormigón ciclópeo, madera y acero. Si bien estas investigaciones suponen un aporte a la investigación del impacto ambiental de la construcción, específicamente en la producción y traslado de materiales, a pesar de que se habla en este trabajo de las bondades de confort térmico asociadas al tipo de materiales que componen la cubierta de las viviendas, no se profundiza un estudio sobre estos tipos de cubierta.

En general, la base de datos que contiene información clara y concisa sobre los materiales que se usan en las construcciones ecuatorianas, se encuentran todavía en fase de desarrollo (Torres-Quezada, 2023). En este sentido, es fundamental contar con más información que permita completar el catálogo de materiales de construcción local, su producción energética y niveles de contaminación que se generan en el proceso, con objeto de estudiar posibilidades que reduzcan su impacto ambiental, así como también buscar alternativas que sean de mayor sostenibilidad.

Particularmente, la zona austral andina, caracterizada por un clima frío, hace uso de materiales para cubierta que favorecen el confort térmico al interior de la vivienda, por lo que productos como la teja artesanal y la teja artesanal vidriada, todavía presentan una alta demanda. Estos materiales no presentan registros detallados sobre su ACV, energía incorporada, huella ambiental, impacto ambiental del transporte de este material, entre otros, generados durante su proceso de fabricación y uso en la construcción.

1.3 Marco Teórico

“La idea de que los edificios de bajo consumo energético son respetuosos con el medio ambiente y de que, a través de la construcción de más edificios de este tipo, cumpliremos las promesas hechas en la Cumbre de Río de reducir las emisiones de CO₂, es naturalmente, una estupidez. Un nuevo edificio nunca ahorra energía, sino que genera nuevas necesidades energéticas, y la calificación de nuevo suelo para urbanizar es fundamentalmente antiecológica. Básicamente, sólo existen tres procesos que

puedan conducir razonablemente a reducir las necesidades energéticas o la carga sobre el medio ambiente: la rehabilitación de edificios existentes; la sustitución de antiguos edificios ecológicamente despilfarradores por nuevas formas de bajo consumo y el cierre de intersticios entre edificios.” (Moewes, 1997 cit. En Verdaguer, 1999)

La búsqueda de sostenibilidad en los procesos constructivos forma parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), propuestos por la ONU, en el intento de creación de sociedades capaces de hacer uso equilibrado de los recursos, sin afectar el medio ambiente, garantizando así la sostenibilidad social en el largo plazo (ONU, 2015).

Si bien, el término “sostenibilidad” se presenta como un soporte para el desarrollo de procesos constructivos respetuosos con el medio ambiente, la realidad es que todavía es muy distante la posibilidad de que dicha sostenibilidad sea real en materia de construcción. Actualmente, la construcción apunta simplemente a reducir en lo posible la huella de carbono que deja en sus procesos. Esto tampoco tiene la capacidad de compensar las necesidades ambientales del planeta para evitar los efectos ecológicos, ya que paralelo a la búsqueda de procesos constructivos sostenibles, las civilizaciones continúan en crecimiento, lo que significa también ampliación de la zona urbana; es decir, una continua y creciente construcción.

A pesar de que esta realidad puede resultar desalentadora para la búsqueda de la sostenibilidad, es preciso regresar la mirada a aquellos aspectos más relevantes que permiten reducir significativamente el impacto ambiental de la construcción: la posibilidad de refacción de edificaciones que tengan amplios rangos de durabilidad. En este marco, la producción de materiales como la teja cerámica, cobran relevancia, ya que la teja como material constructivo ha sido característico a lo largo de la historia de la construcción, por ende, es también uno de los materiales principales en proceso de refacción y reconstrucción de edificaciones; sobre todo en zonas de clima frío como la región andina, en donde la teja cerámica adquiere importancia como elemento

constructivo de cubiertas debido, entre otras cosas, a sus propiedades de conservación térmica.

En este capítulo se realiza un estudio de los antecedentes investigativos en cuanto a materiales como la teja (y similares por su proceso productivo con uso de materia prima de arcilla, como el ladrillo), para luego adentrar en un análisis teórico que parte de la consideración del impacto de la construcción en el medio ambiente, el ACV en la construcción, sus diferentes niveles, su estandarización, y finalmente enfoca la teja cerámica en el contexto ecuatoriano.

Estos apartados permiten comprender de forma clara la importancia del estudio planteado, el cual enfoca el ACV de la teja cerámica, así como la teja cerámica vidriada.

1.4 Hipótesis

“La energía incorporada y las emisiones de carbono producto de la fabricación y traslado de la teja artesanal y teja artesanal vidriada utilizados en la ciudad de Cañar, lo convierten en un material poco ecológico con un alto impacto ambiental”

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar la energía incorporada, así como las emisiones de CO₂ de la teja artesanal y artesanal vidriada, utilizada en las construcciones de la ciudad de Cañar.

1.5.2 Objetivos Específicos

Conocer la metodología para el cálculo tanto de energía incorporada, y también de las emisiones de CO₂ durante el proceso de fabricación de la teja artesanal, teniendo como objetivo de alcance “De la Cuna al Sitio”.

Identificar los materiales y procesos involucrados en la elaboración de la teja artesanal y la teja vidriada.

Presentar los resultados comparativos con posibles soluciones para un menor consumo energético y generación de CO₂ en la fabricación de tejas artesanales y las tejas artesanales vidriadas.

2 CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Este estudio adopta un enfoque cuantitativo y no-experimental, analizando el gasto de los recursos energéticos a través de la medición de la cantidad de energía incorporada y de la producción de CO₂ durante el proceso de elaboración de los dos tipos de tejas (artesanal y artesanal vidriada) dentro de 2 fábricas ubicadas en la parroquia Sinincay, cantón Cuenca, provincia del Azuay.

Para el registro de datos y de las cantidades de material necesario con sus unidades correspondientes (y sus conversiones), se cuantifican las cantidades de materia prima, los flujos de energía (en términos de energía eléctrica y combustible consumido) y finalmente las descargas contaminantes producto de las emisiones de CO₂.

Las unidades que se utilizan estarán en función de los archivos propios de las fábricas visitadas. En el caso de los áridos se manejan unidades de metros cúbicos, en el caso de los agregados, estos estarán en kilogramos; el agua será medida en metros cúbicos, y finalmente la electricidad en kWh. Para el caso del análisis en el transporte, se consideraron datos existentes de vehículos utilizados en esta actividad y que funcionan a base de diésel estimándolo en términos de (litro/tonelada). La transformación de unidades es fundamental para convertir los datos obtenidos en la “unidad funcional” utilizada dentro de nuestro caso de estudio.

Para los cálculos se consideraron cantidades promedio en la elaboración de las tejas artesanales, y tejas artesanales vidriadas, debido a que estas cantidades son susceptibles a variaciones, producto de los mismos procedimientos de fabricación artesanal, así como existencia de recursos locales, y eficiencia de la producción.

Respecto del combustible utilizado (Diesel), se tomaron en cuenta ciertos valores de energía incorporada y emisiones de CO₂ correspondientes a estudios y análisis nacionales. De igual manera sucede con el factor de emisión de CO₂ en el caso concreto

de la energía eléctrica.

2.1 Beneficiarios directos e indirectos

Los beneficiarios directos de esta investigación serán en primera instancia los productores del material. Esta información es relevante sobre todo porque brindará las pautas para mejorar la capacidad productiva, en términos de interés para quien produce el material, podría significar un ahorro en los gastos de producción, reducción del consumo energético y procesos más favorables con los intereses ambientales. Esto no representa simplemente un beneficio económico para la empresa, sino que también significan un aporte social que mejora su imagen en un plano ético empresarial.

Existe también un beneficio directo a la comunidad académica en temáticas de producción, arquitectura, ingeniería, ya que esta información contribuye a los intereses investigativos de enfoque ecológico en materia constructiva, que pudiera surgir de cualquiera de las ramas de la ciencia vinculadas o afines por motivos investigativos, a la temática planteada.

Los beneficiarios indirectos son los grupos sociales en general, debido a que todo aporte a la conservación ecológica, reducción de niveles de contaminación, restauración de medioambientes, y toda acción dentro de lo ecológico, significa un beneficio para el ecosistema, que comparte la sociedad general.

2.2 Desarrollo: Impacto Ambiental en la Construcción

2.2.1 Contexto Internacional

La construcción es la actividad que genera mayor contaminación ambiental, en comparación con otras industrias (Enshasii et al., 2014), ya que este requiere de diversas maquinarias así como dispone de considerables cantidades de recursos naturales y un uso energético alto para dar concreción a las obras. Así, en la práctica de la construcción

es posible identificar diversas formas de contaminación: atmosférica, generación de desechos sólidos, líquidos, gaseosos, contaminación de fuentes hídricas, contaminación del aire, consumo energético elevado y afección a las actividades ciudadanas e impacto social, en obras de gran envergadura. Así también, y en función de las zonas de construcción, éstas pueden afectar directamente ecosistemas, como se han evidenciado efectos en ecosistemas que son frágiles y el impacto que genera sobre fuentes de agua y uso de recursos naturales del entorno (Montero, et al., 2020).

La construcción se caracteriza además por ser una actividad no sustentable. Se estima que aproximadamente el 50% de recursos naturales que se extraen, son destinados a la actividad de construcción; a su vez, este material, al ser desechado, alcanza el 50% de residuos que producimos a nivel mundial (Hernández & Jiménez, 2021). A esto hay que sumarle que el proceso de obtención de materiales, su transformación y traslado, requieren una alta cantidad de consumo de recursos energéticos. Finalmente, la ingeniería que ha evolucionado en función de mejorar las características de estos materiales, con agregados químicos que pueden generar un impacto ambiental más alto, son algunos de los factores que hacen de la construcción una de las principales problemáticas ambientales de las sociedades contemporáneas.

A pesar de todas estas consideraciones ambientales, que actualmente son objeto de debate, la construcción no ha cambiado sus técnicas, y tampoco se ha podido detener, ya que representa parte importante del sector económico, a su vez que es una necesidad frente al incremento poblacional constante, que a su vez conlleva también al crecimiento urbano. En este sentido, la búsqueda de alternativas constructivas, así como la búsqueda de nuevos materiales, y la eficacia de los procesos, son algunas de las líneas investigativas que contribuyen de forma más representativa a reducir el impacto ambiental en los procesos constructivos (Castro & Suysuy, 2020).

Para Vázquez (2001), uno de los problemas del impacto ambiental de la construcción, está en la concepción de la obra. Es preciso que la construcción sostenible estudie también la durabilidad del material a lo largo del tiempo, la posibilidad de refacción y la

búsqueda de diseños bioclimáticos que reduzcan el consumo de recursos físicos y energéticos. Contrario a esto, en la realidad sucede que en las grandes urbes existe también un creciente interés por la construcción “desechable”, que ofrezca productos inmediatos, de menor costo y durabilidad; esto por el interés de espacios de usos temporales, por los constantes cambios en cuanto a funcionalidad de diversos sectores urbanos.

La evaluación del impacto ambiental durante los procesos constructivos, ha sido objeto de debate a lo largo de las investigaciones que buscan determinar cómo afecta el proceso de elaboración de determinado material, hasta su aplicación en diferentes tipos de construcciones. Es también cierto que el coste energético como indicador, puede resultar ambiguo, según afirma Vázquez (2001), que “cada autor suele contabilizar el coste de una serie de operaciones, escondidas e implícitas en el agregado final de energía” (p. 53).

Esta realidad ha motivado la búsqueda de métodos de medición estandarizados. A pesar de esto, los mismos no pueden aún considerarse precisos, debido a la variedad de factores que inciden y resultan complejos de contabilizar, como diferencia entre procesos de elaboración del material, traslado, pérdidas energéticas en la línea productiva y otros valores que por su complejidad pueden resultar inciertos.

Entonces, se habla siempre de una aproximación apegada a un sistema de medición que permite establecer relaciones entre otros productos investigativos para aproximarse a una descripción científicamente aceptable y útil en pro de la búsqueda de construcciones sustentables. Esta aproximación se considera en un entorno constante, y en la suposición que la línea productiva trabaja en óptima eficiencia, lo que hace que su interpretación sea identificada como la mínima cantidad de emisiones que suceden en el proceso (mas no la media).

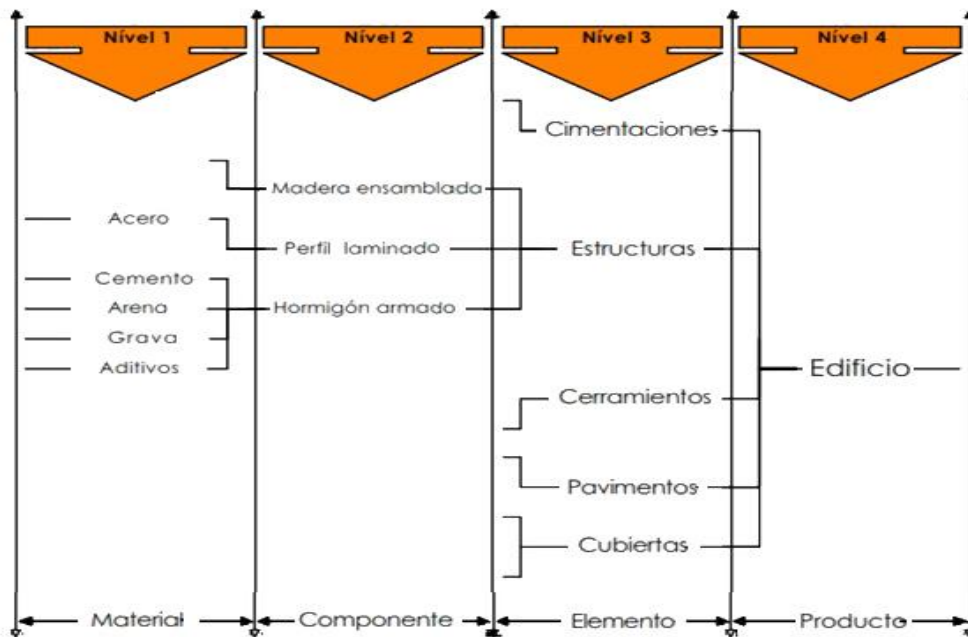


Figura 1-2: Niveles en los cuales aplicar el ACV de un producto en la construcción
Elaborado por: Castro Juan, 2024

La discusión en torno a las formas de medición estándares para tener medidas más precisas, así como los niveles de investigación, corresponden al análisis de ciclo de vida (ACV) de un material. En el caso de los materiales de construcción, existen (a nivel de Europa) estudios del ACV de varios de estos elementos, obteniendo una gran base de datos, que resulta especialmente útil para conocer con precisión la cantidad de energía requerida durante la elaboración de estos materiales, así como las emisiones de CO₂ asociadas con su fabricación.

2.2.2 Contexto Nacional y Local

En el ámbito nacional y local, son muy pocos los estudios relacionados ACV de determinados elementos utilizados en el ámbito de la construcción. De manera particular, y como resultado de la investigación realizada para la elaboración de este documento, se puede concluir que no existen aún estudios para el ACV de las tejas elaboradas en el Austro ecuatoriano, a pesar de ser un material de construcción muy requerido en esta región del país.

En el presente trabajo, se toma como referencia la investigación realizada por Salas (2019) en Perú, en donde se buscó “determinar las magnitudes de las propiedades físicas y mecánicas de las tejas cerámicas manufacturadas mediante procesos tradicionales en una población del Cusco” (Fernández Chura, 2019). Para esto, la investigación hizo uso de las normas NTE INEN, aplicadas en Ecuador, debido a que en el Perú no existe normativa para valorar la calidad del material.

Los resultados de esta investigación muestran (de manera general) que la capacidad de absorción de agua para tejas artesanales es de 15,4%, mientras que las tejas cerámicas mecanizadas absorben el 13,12%. En cuanto a indicadores mecánicos, se determinó que la resistencia a flexión es de 131,3 Kg en el primer caso, mientras que en la teja cerámica mecanizada, su resistencia es de 156,4 Kg, teniendo una longitud de 41,97 cm para el largo, mientras que el ancho mayor 18,50 cm, y el ancho menor igual a 15,68 cm. Finalmente, la flecha mayor con una medida de 4,22 cm, y su flecha menor 3,65 cm. Para el espesor, esta fue contabilizada en 1,09 cm, en el caso de la teja artesanal. Se concluye que este tipo de producto cumple de forma parcial las condiciones y requerimientos establecidos en la norma, siendo las tejas cerámicas mecanizadas las que presentan mejores indicadores (Fernández Chura, 2019).

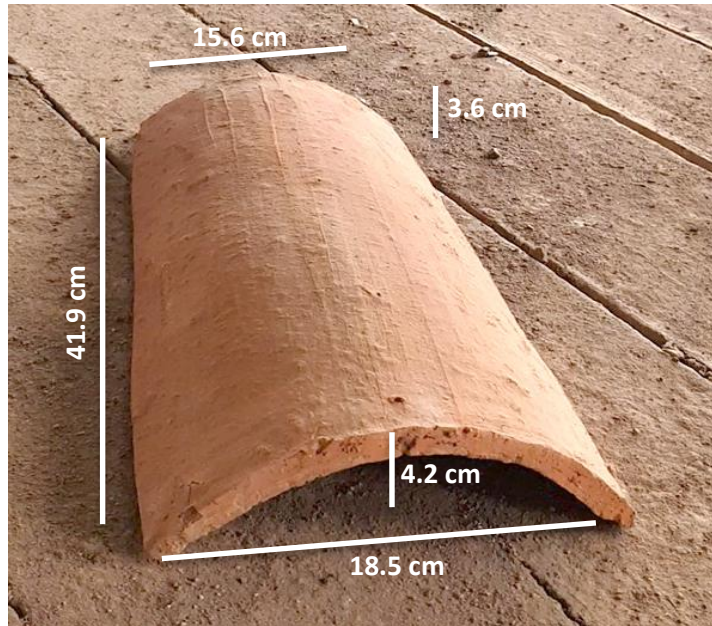


Figura 2-2: Medidas aproximadas de una teja artesanal.
Elaborado por: Castro Juan, 2024

Según la investigación realizada por Vergara (2022), titulada “Análisis del ciclo de vida de Elementos Constructivos No Estructurales (ECNE) fabricados con lodos papeleros y arcilla”, el proceso de fabricación de la teja artesanal (también conocida como teja española), es el mismo que el del ladrillo, pero con cambios en el moldeado del producto.

El proceso de elaboración de la teja se lleva a cabo cuatro partes: selección y preparación de las arcillas que la componen, su moldeado, posterior secado y finalmente el proceso de cocción. Esta investigación mostró una mezcla en diferentes concentraciones de arcilla con lodo paplero (30%, 50% y 70%). Las pruebas determinaron que cumple con las exigencias de la norma en cuanto a resistencia y durabilidad, mientras que el análisis del ciclo de vida mostró una reducción entre 0,12 y 0,3% en los índices de impacto ambiental. Cabe señalar que la metodología aplicada para el ACV del producto resultado de la experimentación, fue mediante software OPENLCA (Vergara, 2022).



Figura 3-2: Fábrica de ladrillos y tejas artesanales en el sector de Sinincay, Cuenca, Ecuador.

Elaborado por: Castro Juan, 2024

En el contexto nacional y local, es de interés de esta investigación traer a mención la publicación de Córdova y Palomeque (2017), titulada “Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales”, ya que, como se mencionó en los párrafos previos, el proceso de fabricación de ladrillo y de teja son similares, salvo en el proceso de moldeado.

Esta investigación realizó un ACV de ladrillos, con objeto de dimensionar su impacto ambiental. Los resultados dejan ver que los procesos artesanales, generan mayor contaminación (12% más) que los procesos mecanizados. Se evidencia, además, que no existen estándares para controlar niveles de emisión de CO₂ en el proceso de elaboración de ladrillos. También se observa otro tipo de efectos ambientales, como la erosión del suelo sin planes de reposición del mismo, generan efectos en el ecosistema e inclusive alteran el paisaje, y no son tomados en cuenta.

2.2.3 La Teja Como Material en las Edificaciones en el Austro.

A lo largo de la historia, el uso del ladrillo y la teja en las construcciones ubicadas en las provincias del sur del Ecuador ha sido determinante para el desarrollo y crecimiento urbano y de la sociedad. El uso de estos materiales queda evidenciado en obras de gran repercusión en el entorno patrimonial e histórico de las ciudades dentro de estas provincias.



Figura 4-2: La teja artesanal es un producto de alta demanda en ciudades del austro ecuatoriano. Fotografía de la Ñukanchi-Huasi en la ciudad de Cañar.

Elaborado por: Castro Juan, 2024

De manera particular, las tejas utilizadas en el cantón Cañar, provenientes de las fábricas artesanales, semi industriales e industriales ubicadas en la parroquia Sinincay del cantón Cuenca, provincia del Azuay. Las propiedades físicas y mecánicas que presentan las tierras de este sector, han sido de gran aprovechamiento por las manos hábiles de los artesanos, quienes aún conservan métodos empíricos de elaboración de tejas en algunos de los casos, mientras que en otros, han ido mejorando costos y procesos por medio de equipos industriales en combinación con sistemas artesanales.

Dentro de las características físicas de estas tierras arcillosas podemos mencionar su coloración y textura, porosidad y plasticidad. Estas dos últimas propiedades brindan ventajas en la elaboración de las tejas, pues debido a su porosidad, tienen una gran capacidad de absorción de agua, permitiendo que la arcilla sea fácilmente moldeable, mientras que en cuanto a las características mecánicas, podemos manifestar su buena resistencia a la compresión y flexión, lo que las hace capaces de soportar cargas externas y el peso propio sin deformarse fácilmente. Además, una vez que han sido cocidas, este tipo de tierras tienen una baja absorción de agua, lo que las hace menos susceptibles a la humedad y a la formación de grietas, garantizando la durabilidad y estabilidad estructural en estas las tejas.

A más de ello, el uso de este tipo de tierras se debe (en gran medida) a la facilidad de acceso que se tiene por parte de los lugareños a las arcillas como el principal elemento utilizado en la fabricación de tejas. Esto ha promovido que sus pobladores subsistan de cierto modo, gracias a la elaboración y comercialización de este producto, lo que le otorga incluso un sello de identidad a las construcciones locales.

En el artículo “Estudio y análisis de nuevas tipologías del ladrillo introducidas en Cuenca para la aplicación en la autoconstrucción”, publicado en 2013, el documento indica un total de 601 ladrilleras distribuidas en las parroquias de Sayausí, Bellavista, Sinincay etc. y que se clasifican, a su vez, según su tipo, pudiendo ser estas fábricas artesanales, semi industriales, industriales, hornos y secaderos (Salas, 2013).

En la figura 6 se puede observar la ubicación y distribución de estas fábricas en la periferia del centro urbano del cantón Cuenca, en un estudio realizado por el Proyecto de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales (EELA) en el año 2010 (Cabrera Zúñiga & Faicán Zari, 2019).

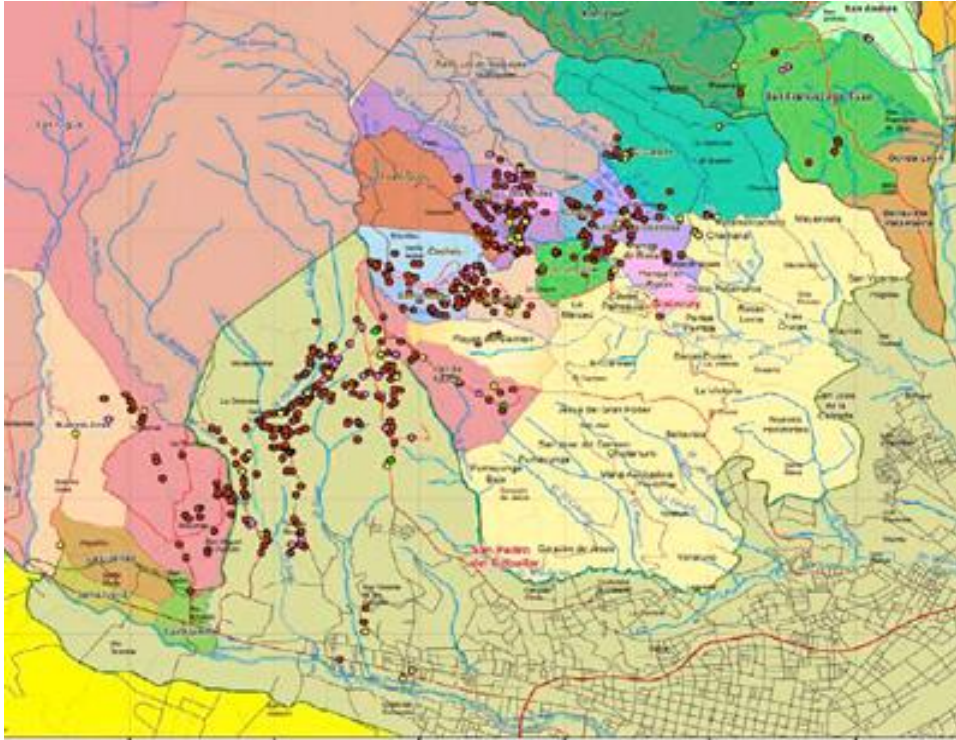


Figura 5-2: Ubicación geográfica de ladrilleras en parroquias rurales de Cuenca
Elaborado por: Castro Juan, 2024

2.2.4 Esquema de Producción de Tejas en las Fábricas

2.2.4.1 Participantes

Para el desarrollo de este estudio, se contó con la participación de los productores directos de las tejas, es decir, de las personas que están encargadas de realizarlas y comprobar la validez o desecho del producto final. Al ser una manera artesanal de fabricación de este elemento, no se cuenta con máquinas o instrumentos que realicen análisis finales técnicos respecto de temas como resistencia, densidad, y demás.

Al ser una producción con un fuerte arraigo a la transmisión de saberes dentro del núcleo familiar, los participantes están incluidos en el rango de edad que va desde la adolescencia hasta la tercera edad, en el caso de la teja artesanal vidriada, y en el rango de la tercera edad en el caso de la teja artesanal.



Figura 6-2: La producción de tejas es una tradición familiar
Elaborado por: Castro Juan, 2024.

2.2.4.2 *Técnicas e Instrumentos*

En el presente estudio se utilizó la técnica de entrevistas a los artesanos que elaboran las tejas en el sector de Sinincay y Sayausí. Además, se recopiló información sobre el proceso de extracción de materia básica (prima), y también de la elaboración de producto y su transporte. Estos datos fueron registrados en un diario de campo, y posteriormente fueron procesados mediante el uso de programas computacionales que faciliten el entendimiento y comprensión de los resultados, como Microsoft Excel.



Figura 7-2: Don Onofre Contreras durante la entrevista.
Elaborado por: Castro Juan, 2024.

2.2.4.3 La Arcilla como Material de Construcción

La arcilla como material constructivo, es uno de los elementos más antiguos utilizados para este fin, tanto así que su relevancia se mantiene incluso hasta la actualidad. Si bien, el término “arcilla”, es extenso en su definición pues abarca una amplia diversidad de tierras, lo común entre estas tierras es que las mismas son maleables al combinarse con agua, y luego de secarse y cocerse al fuego, ofrecen un producto (componente) sólido y resistente. Esto permite que las arcillas sean la base material para la elaboración de ladrillos, tejas, e inclusive elementos de mampostería (Bermeo, 2020).



Figura 8-2: La arcilla recién extraída debe pasar por un proceso de trituración para romper rocas pequeñas que pueda contener.

Elaborado por: Castro Juan, 2024

El uso de arcillas como material fundamental para la elaboración de estos elementos responde a su disponibilidad en el lugar, y al entendimiento por parte de los lugareños que residen en este sector, para utilizarla con este fin. Por esta razón, es característico el uso de este material en zonas geográficas específicas, debido a la presencia de minas de arcillas en las inmediaciones de estos lugares.

En varias parroquias rurales ubicadas al norte del cantón Cuenca (dentro de las cuales se incluyen las parroquias de Sayausí y Sinincay) la composición de sus suelos contiene gran cantidad de arcilla, razón por la cual los vuelven material apto para la elaboración de materiales constructivos como la teja o el ladrillo. Así lo refieren los estudios de Álvarez Guerrero (2014) en su tesis “Optimización del Proceso de Mezcla de Arcilla para la producción de ladrillos en el sector artesanal”.

En su estado natural, dentro de la arcilla se puede encontrar uno (o varios) minerales denominados arcillosos, siendo los silicatos de aluminio y otros productos hidratados la gran mayoría, y que provienen de la desintegración y deterioro natural de rocas aluminosas y con alto contenido de silicio presentes en el lugar (Cabrera Zúñiga, 2019).

Varios autores clasifican a las arcillas según su origen, su capacidad para absorber agua, o por su composición química. En este último apartado y debido a la naturaleza misma del origen de estas tierras, existen algunas que presentan impurezas en su composición, siendo consideradas como un tipo de arcillas “puras”, a las cuales se las denominan “caolín” (Barranzuela Lescano, 2014).

Las arcillas plásticas, por su parte, son mucho más finas, lo cual le da su característica de plasticidad. Este tipo de arcilla suele mezclarse con arcillas caolín, para obtener diversos grados de plasticidad, de acuerdo al tipo de uso que se le brindará.

Las arcillas refractarias, por su parte, son el grupo de arcillas cuya resistencia de temperatura alcanza una media de 1500 °C. y se usan con mayor frecuencia como material para elaboración de hornos y calderas, que posteriormente servirán para la cocción de otros materiales que hace uso de la arcilla, como las tejas y ladrillos.



Figura 9-2: Arcillas “rojas” utilizadas para la elaboración de las tejas artesanales

Elaborado por: Castro Juan, 2024

Finalmente, existen las denominadas arcillas “de alfarería” son: rojas y azules. Esta última abarca los colores de tonos azulados, incluido el morado, violeta o negro y se caracteriza por ser altamente plástica, pero inferior en propiedades como resistencia y consistencia posterior a la cocción debido al alto contenido de impurezas, por lo que no es frecuente su uso como material constructivo.

2.3 Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

2.3.1 Antecedentes del ACV

Los primeros estudios acerca del Análisis del Ciclo de Vida inician alrededor de los años 70, siendo uno de los primeros, el realizado para la fábrica de “*The Coca-Cola Company*” por el *Midwest Research Institute*, en donde su objetivo principal fue el de determinar aspectos claves en la producción de la bebida gaseosa, para optimizar recursos, así como calcular la cantidad de emisiones de CO₂ al medioambiente. (Guniée et al., 2011, p. 1).

Entre 1967 y el 2006, la Organización Internacional de Estandarización propone una primera aproximación a la serie de procedimientos y terminologías normalizadas para la homogeneización y aplicación del ACV, por medio de Normativas (Gil García, 2012, p. 10), siendo éstas, las normativas ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042, ISO 14043, ISO 14044 y la ISO 14048, las más importantes. En el presente trabajo, se hará uso de la Normativa ISO 14040 (ISO, 2006).

2.3.2 Introducción al Análisis de Ciclo de Vida



Figura 10-2: Ciclo de vida de materiales, sus procesos y sus actividades.

Elaborado por: Castro Juan, 2024

Según Romero Rodríguez (2003), el Análisis de Ciclo de Vida es una metodología diseñada con el propósito de “identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos potenciales, asociados a cada una de las etapas de un producto” (p. 1). Dentro de esta metodología, existen varias etapas que indican los procesos y actividades por las que atraviesa un material o elemento a lo largo de su denominado “ciclo de vida”, tal y como se ilustra en la Figura 6, y que proporciona información que puede ser empleada para optimizar procesos, planificar de manera más eficiente y reducir la cantidad de emisiones o la cantidad de consumo de energía durante la fabricación de productos.

2.3.3 Metodología para el análisis del Ciclo de Vida

A través del enfoque del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), es posible identificar los aspectos medioambientales y las consecuencias vinculadas a un producto. Para lograr esto, el primer paso implica la recopilación y cuantificación de las entradas y salidas en un sistema de productos. Posteriormente, se procede a evaluar los efectos asociados tanto a estas entradas, así como a las salidas, seguido del entendimiento de los resultados generados.

La metodología para el ACV está determinada por la Norma ISO 14040, en fases que se describen a continuación:

- 1) Definición del Objetivo y Alcance: Aquí se definen tanto el procedimiento de elaboración del producto que se va a analizar, así como los límites dentro de los cuales se va a realizar el estudio, y el objetivo del mismo.
- 2) Inventario del Ciclo de Vida (ICV): Aquí se realiza la cuantificación total de entradas y salidas tanto de la energía como de la materia y las emisiones generadas hacia el aire, agua o suelo.
- 3) Evaluación de Impactos (EICV): Aquí se valoran todos los datos recopilados en la etapa anterior (ICV) y se traducen a impactos ambientales. Esta fase nos muestra gráficamente los resultados con el uso de software para poder analizarlos y realizar las valoraciones correspondientes.
- 4) Interpretación: Etapa final en la que se colocan las deducciones finales, así como todas las posibles sugerencias para las fases que la preceden. Aquí se identifican aquellos procesos que tienen un mayor impacto ambiental, y cómo poder mejorarlos.

Alcance del Estudio: En esta parte, se define los “límites del estudio” de acuerdo a las etapas que atraviesa un elemento (material) desde su extracción hasta su elaboración, fin de vida, o reciclaje del producto. En este sentido, el presente estudio determina un análisis del material “teja artesanal” y “teja artesanal vidriada” desde la extracción del

material para su elaboración, hasta su traslado a sitio, según se indica en la Figura 7.

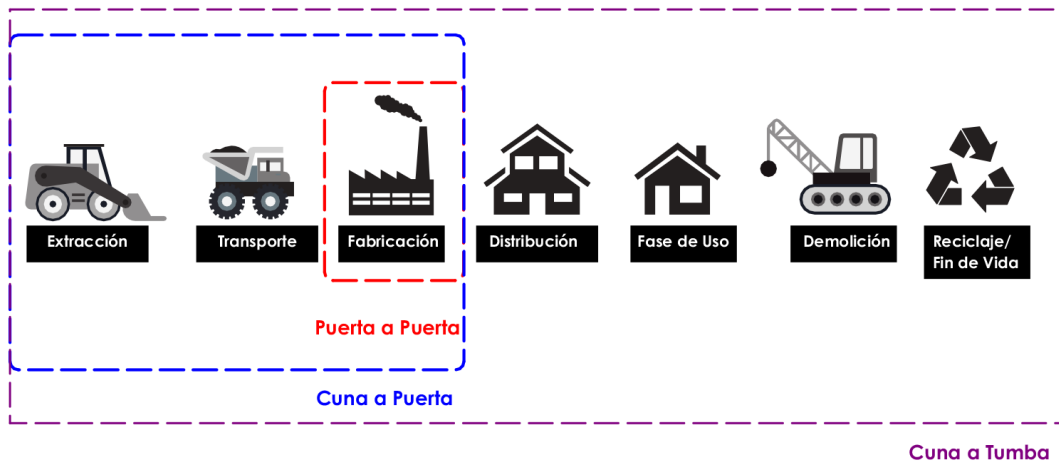


Figura 11-2: Diferentes alcances dentro del Ciclo de Vida de un material.
Elaborado por: Castro Juan, 2024

Unidad Funcional: La unidad funcional nos permitirá realizar los cálculos para un análisis posterior, de forma más simplificada pues se encuentra en función de la misma. La importancia de la definición de la unidad en la cual se va a realizar los análisis, radica en la conveniencia de poder comparar fácilmente entre diferentes sistemas de productos que compartan las mismas funciones.

2.4 Aplicación del ACV en el Caso de Estudio

2.4.1 Etapa 1: Obtención y Traslado de materia prima

El material principal utilizado para la elaboración de las tejas artesanales, es la arcilla, o tierra arcillosa. En el sector de Sayausí, ubicado en el cantón Cuenca, provincia del Azuay, esta extracción se produce en gran parte de manera artesanal, por medio de picos y palas y con el uso de la fuerza humana. No obstante, y debido a la gran demanda de este material, sumado al avance tecnológico, se ha venido implementando el uso de maquinaria pesada para su extracción, con el uso de retroexcavadoras y volquetes utilizados para transportar el material hasta las fábricas.

Debido al alto impacto ambiental que se genera en la zona luego de la extracción de la arcilla, la normativa municipal ha implementado políticas de remediación ambiental en las zonas, las cuales además limitan la extracción para evitar el deterioro del paisaje y composición natural del suelo.

En la actualidad, las minas de arcilla se encuentran en un sector denominado Buenos Aires, ubicado al oeste de la parroquia de Sayausí, desde donde se transporta el material base hasta las fábricas, cubriendo un tramo aproximado a los 8 o 10 km.

Otro de los componentes considerados como materia prima es la arena (agregado fino), la cual es comprada a distintos proveedores locales ubicados en las inmediaciones, así como también el caso del esmalte utilizado para brindar el efecto vidriado a las tejas.

Finalmente, el agua es tomada de la red de distribución de agua potable, aunque también se evidenció que puede ser obtenida de los riachuelos que atraviesan las inmediaciones de las fábricas, e incluso de la lluvia, en cuyo caso se la recolecta por medio de recipientes metálicos o plásticos.

2.4.2 Etapa 2: Proceso de Batido de Arcilla

El proceso de batido de la arcilla puede ser desarrollado de varias maneras, dependiendo de la fábrica y de los equipos con los que ésta cuente. Algunas de estas pueden utilizar equipos especializados para triturar el material, mientras que los más artesanales aún dependen del trabajo manual e incluso de la fuerza animal para su batido y homogeneización de la mezcla.

En el proceso artesanal, el tamizaje y aprobación del material se realiza de manera visual, utilizando únicamente el conocimiento empírico adquirido a través del tiempo para determinar la validez de la tierra que se va a utilizar. Una vez que el material ha sido filtrado, se utiliza la fuerza animal por medio de un caballo, el cual se encargará de “pisar” y triturar el material hasta su estado plástico. Este lugar dentro de la fábrica y

que se encuentra protegido de las adversidades climáticas por medio de un plástico que le sirve de cubierta, recibe el nombre de “Noque”.



Figura 12-2: Colocación de la mezcla de arcillas, dentro de un espacio conocido como “Noque” (Teja artesanal)
Elaborado por: Castro Juan, 2024

En el caso del proceso semi industrial, el batido se produce dentro de maquinaria especializada para este fin, requiriendo únicamente la colocación del material dentro del equipo, de manera manual con el uso de picos y palas.

2.4.2.1 Proceso de moldeado y perfilado

Dependiendo de la fábrica en la que se proceda a elaborar la teja, ésta puede ser desarrollada mediante maquinaria especializada que facilita su elaboración, así como también optimiza los tiempos utilizados, elaborando más cantidad, en menos tiempo.

En el caso de elaboración semi-industrial, la mezcla es colocada sobre unas bandas transportadoras, que llevan el material a una máquina que comprime la masa y que se

encarga de darle su forma final, pudiendo ser ortogonal (con esquinas) o curva, dependiendo del requerimiento de los compradores.



Figura 13-2: Proceso de elaboración de tejas vidriadas
Elaborado por: Castro Juan, 2024

En el caso de las fábricas artesanales, el proceso de moldeado y perfilado tarda mucho más que en el caso de fábricas semi-industriales, pues requiere de la habilidad y experticia de los artesanos, quienes se valen de herramientas rústicas y de técnicas que se encuentran en riesgo de desaparecer por la llegada de nuevas tecnologías para su elaboración.

Una vez que la masa batida está en condiciones óptimas de plasticidad, es llevada a una mesa en donde un molde metálico y rectangular determinará su espesor, el mismo que no va más allá de 1 cm. Posteriormente, esta pasta es asentada sobre un molde de madera de eucalipto utilizado para dar la característica forma curva a la teja artesanal, y que lleva por nombre “galápago”, el cual será asentado en el suelo de madera para su secado, dejando a la masa con la forma curva característica.



Figura 14-2: Elaboración completamente artesanal de tejas
Elaborado por: Castro Juan, 2024

Tanto en el caso del modeado y perfilado semi-industrial como artesanal, es en este punto en donde se procede a perforar con un clavo humedecido, en el centro de uno de sus arcos. Esto para facilitar el “amarrado” de las tejas en la construcción, debido principalmente a los requerimientos modernos.

2.4.2.2 Proceso de Secado

En ambos casos, el secado de la teja se produce de forma natural, ubicándolas en espacios con iluminación y ventilación natural, y procurando evitar la humedad. En el caso artesanal, el tiempo de secado tiene una duración de 1 semana, mientras que en el caso semi industrial, existen 2 secados, que se dividen en 4 días “a la sombra” y 3-4 días dentro de un espacio en el que la incidencia solar aumenta.



Figura 15-2: Proceso de secado natural de teja, previo al ingreso al horno.
Elaborado por: Castro Juan, 2024

2.4.2.3 Proceso de Quema

Una vez que las tejas moldeadas se secan de manera natural, atraviesan un proceso de quema para consolidación y rigidez final del material. Sin importar los requerimientos en cuanto a forma y a acabados finales que se pretenda dar al material, el proceso de quema continúa siendo de forma artesanal en ambos casos, utilizando madera de eucalipto y hornos fabricados con ladrillos para este fin.



Figura 16-2: Horno en el que se produce la quema de tejas
Elaborado por: Castro Juan, 2024

2.4.3 Etapa 2: Proceso de Distribución

En el caso de la producción semi-industrial, el promedio de tejas fabricadas para su posterior comercialización se ubica entre las 4.000 o 5.000 unidades. Esta cantidad de tejas será distribuida a las ferreterías por medio de camiones o volquetas destinadas para este fin. Debido a que los datos que se puedan obtener respecto de la generación de CO₂ varían de acuerdo a múltiples factores, como tamaño de vehículo, año de fabricación, estado de conservación de maquinaria, etc. se optará por hacer uso de datos de estudios similares y de fecha reciente.

En el caso de la distribución de las tejas elaboradas artesanalmente, estas se producen por medio de camiones y volquetas que se encargan de llevar el material hacia el sitio de obra. Según relata su propietario, las dificultades de elaboración de estas tejas, sumado a la avanzada edad con la que él cuenta, han propiciado que estas tejas sean elaboradas única y exclusivamente bajo pedido.

3 CAPÍTULO III: CASO DE ESTUDIO: ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (ICV) DE LA TEJA ARTESANAL Y TEJA ARTESANAL VIDRIADA

3.1 Aplicación del ICV

A través del análisis del ICV (Inventario del Ciclo de Vida), se cuantificará la energía incorporada en el material y sus posibles emisiones de CO₂ producidas durante la fase de extracción y transporte desde la fábrica hasta el sitio de uso, tanto para la teja artesanal como para la teja artesanal vidriada. Este proceso considerará la delimitación de los objetivos y su alcance; y el análisis tanto del inventario como de los resultados, lo que nos permitirá determinar el nivel de impacto ambiental de acuerdo con la hipótesis y el objetivo general.

3.1.1 Definición del Objetivo, Alcance de Estudio Y Unidad Funcional

3.1.1.1 Definición del Objetivo

Cuantificar la cantidad de energía incorporada y la cantidad de emisiones de CO₂ de la teja artesanal y teja artesanal vidriada entre una fábrica semi-industrial y una artesanal de la parroquia Sinincay, así como la energía incorporada en su traslado hacia la ciudad de Cañar.

3.1.1.2 Alcance y Límite del Sistema

La determinación de la energía incorporada y las emisiones de CO₂ en el proceso de elaboración de la teja artesanal se realizó mediante un ICV (Inventario del Ciclo de Vida), teniendo como límites “de la cuna a sitio”, es decir, desde la extracción de la materia prima del material con el que se elaboran las tejas, hasta su transporte al sitio.

Para ello se cuantificaron los datos de la energía que se encuentra incorporada, así como también sus emisiones de CO₂ generados durante el proceso de elaboración de la teja artesanal considerando el uso de máquinas, equipos eléctricos, motores, y hornos para su fabricación, mientras que en la parte final, se cuantificaron los datos de energía incorporada, y de emisiones de CO₂ generados en el traslado del material.

Para la cuantificación de energía y producción de CO₂ no se tomó en cuenta el recurso humano (mano de obra).

3.1.1.3 Unidad Funcional

Para facilidad y mejor interpretación de resultados, se optó por tomar como unidad funcional a 1 kg de teja artesanal. En las muestras tomadas del peso promedio de una teja artesanal se obtuvo un dato cercano a los 0.824 kg, y un promedio de 0.881 kg. para la teja artesanal vidriada.



Figura 1-3: Peso de teja artesanal Vs. teja artesanal vidriada
Elaborado por: Castro Juan, 2024

Con estos datos, se tiene que la unidad funcional (1kg) en el caso de la teja artesanal corresponde a 1.21 tejas aproximadamente (Peso total de 5000 tejas =4120 kg) mientras que la unidad funcional (1kg) corresponde a 1.13 tejas artesanales vidriadas (Peso total de las 5000 tejas = 4405kg).

La energía incorporada será medida en Megajulios por cada u (Mj/kg), mientras que las emisiones de CO₂ por u (Kg CO₂/kg). En la parte final, para la transformación de unidades dentro del análisis, se realizaron las equivalencias correspondientes de Megajulios a Kw/hora, pues las dos corresponden a unidades de medición de energía.

3.1.2 *Inventario del Ciclo de Vida*

En este apartado se muestran las cifras y procesos de cálculo para poder cuantificar entradas, así como salidas durante la elaboración del material, según la Norma ISO 14040. Se estudiaron facetas desde el punto de vista medioambiental en todos y cada uno de los subprocesos que lo componen, partiendo de los métodos previamente analizados, acerca del consumo energético y de las emisiones de CO₂.

Considerando todos los procesos que se requieren para la elaboración de la teja artesanal, se tienen distintos tipos de energía, siendo la eléctrica, combustible (diesel) y también la que proviene de madera seca para la combustión de los hornos, considerando las entradas como “flujos de energía”, y salidas con las emisiones de CO₂ en el límite definido con anterioridad (cuna a sitio).

El registro y recopilación de datos se realizó en el lugar y por separado a dos fábricas ubicadas en la Parroquia de Sayausí. Una de ellas es semi-industrial (teja artesanal vidriada), mientras que la otra fábrica (tejas artesanales), utiliza métodos exclusivamente artesanales.

3.1.2.1 Entradas

Materia Prima:

- Arcillas
- Áridos, y/o agregados
- Agua
- Esmalte (Teja artesanal vidriada)

Combustibles y Energía Eléctrica: El combustible que es utilizado por la maquinaria encargada del transporte, incluso la mezcla (en casos específicos) y almacenaje del material es el diésel. Combustibles sólidos como la madera de eucalipto seca para la quema del ladrillo. Energía eléctrica para el funcionamiento de ventilador y de luminarias en la fábrica.

3.1.2.2 Salidas

Material Elaborado: La teja artesanal es la resultante del proceso de fabricación. Se contabilizó la cantidad de tejas que se pudieron fabricar en “una quema”.

Emisiones de CO₂: Hace referencia a las descargas de energía debido a la quema de combustibles fósiles (diésel), y también de la madera seca de eucalipto.

3.2 Recopilación y Validación de Datos

Para el análisis de este estudio, se han dividido los procesos de elaboración de teja artesanal y de teja artesanal vidriada en 3 etapas, que abarcan el alcance del estudio desde la cuna hasta el sitio, con la finalidad de que nos permita entender con mayor facilidad cada una de ellas y así mismo nos faciliten los cálculos finales de generación energética y producción de CO₂ (Figura 9).

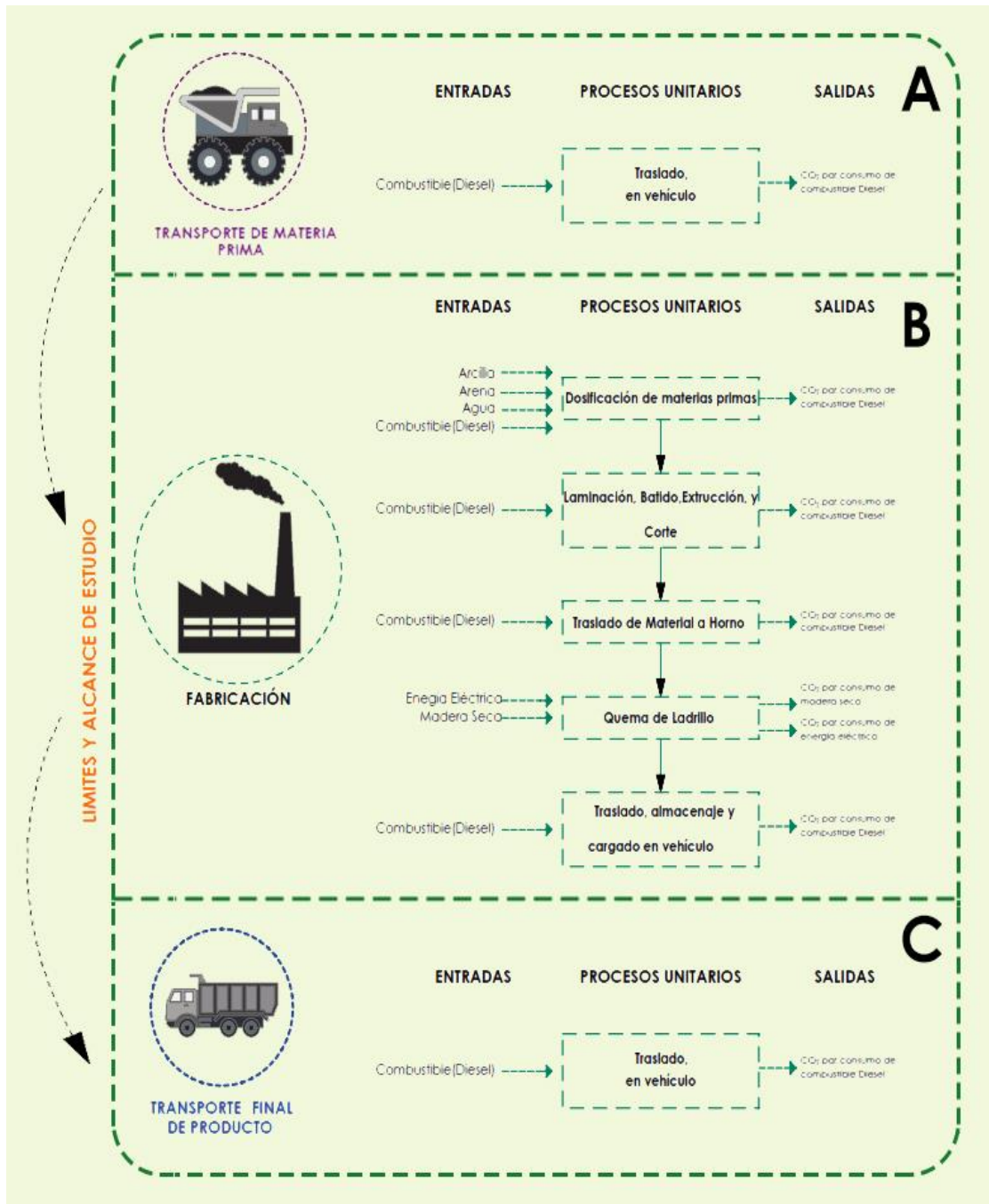


Figura 2-3: Proceso de “entradas y salidas” durante la elaboración de las tejas.
Elaborado por: Castro Juan, 2024

3.2.1 Primer Etapa: Transporte de Materia Prima

Aquí se contempla el transporte de la materia extraída de la cantera o las minas destinadas para este fin y que se encuentran localizadas en el barrio de Buenos Aires (parroquia Sayausí) hasta las fábricas. El cargado del material se da por medio de una

mini cargadora, o también por medio de fuerza humana, mientras que el traslado hacia las fábricas se da por medio de volquetas o camiones.

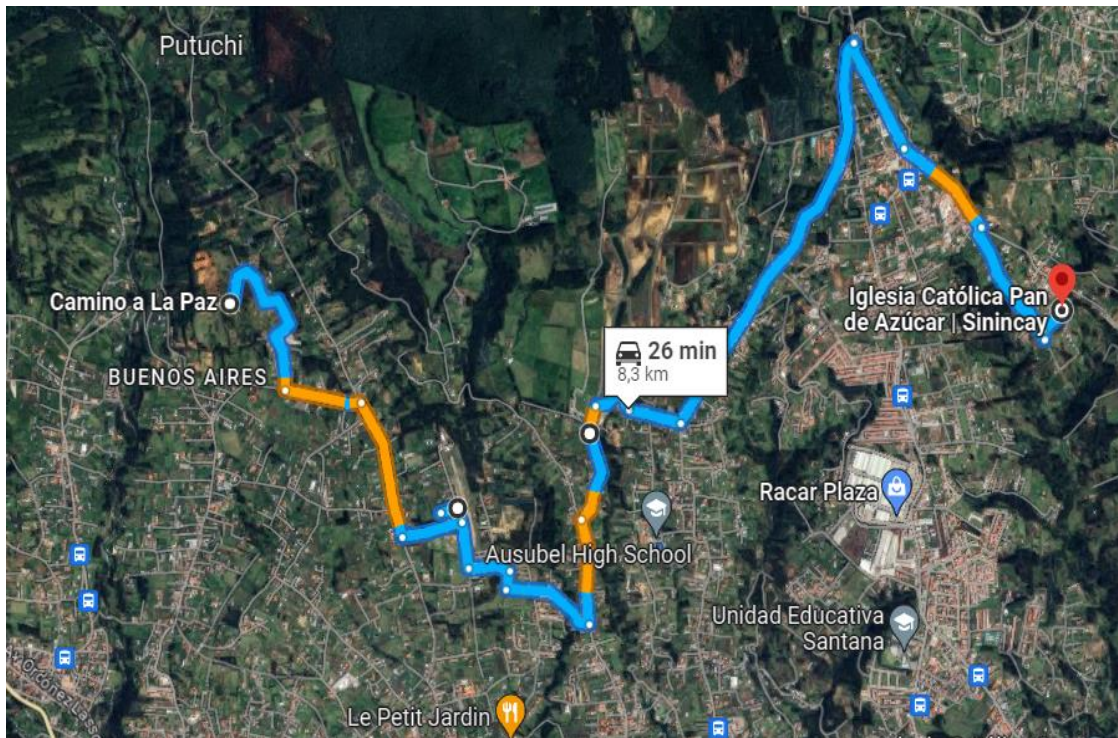


Figura 3-3: Distancia recorrida desde las minas de obtención de materia prima hacia la fábrica.

Elaborado por: Google Maps/Castro Juan, 2024

Entradas:

- Materia prima (Tierra arcillosa)
- Combustible Diésel utilizado en la mini cargadora y volquetas.

Salidas:

- Las emisiones de CO2 por utilización de combustible diésel.

La materia prima se obtiene de las minas de Buenos Aires, barrio ubicado a 8.3 km al oeste de la fábrica tomada para el caso de estudio, y que queda en la parroquia de Sinincay. Según versiones de los lugareños, esta tierra posee características plásticas que las vuelven ideales para la fabricación de tejas y ladrillos. La cantidad transportada corresponde a un total de 9 m3 de arcilla, necesarias para la fabricación de un total de

5.000 tejas.

3.2.2 Segunda Etapa: Procesos dentro de la Fábrica

Esta etapa corresponde a los procesos que se generan en el interior de la fábrica para la elaboración de las tejas que corresponden al estudio. Debido a la naturaleza de actividades generadas dentro de esta etapa, se ha subdividido en las fases que se detallan a continuación

3.2.2.1 Mezcla de Materia Prima

Aquí se aborda el transporte de la materia prima dentro de la fábrica y su mezcla, según las dosificaciones manejadas en ambas modalidades (fábrica semi-industrial y artesanal). El transporte del material se da por medio de la fuerza humana, a través de palas y carretillas, mientras que para la mezcla, se da por medio de fuerza humana, al tiempo que permite tener un control visual de las impurezas que pueda contener el material.



Figura 4-3: El transporte interno y la mezcla del material se produce de forma artesanal en el caso de la fábrica semi industrial y fábrica artesanal.

Elaborado por: Castro Juan, 2024

La dosificación de la mezcla contiene las siguientes cantidades de materia prima:

- Arena normal 3 m³
- Arcilla acerada 2 m³
- Arcilla morada 1 m³
- Arcilla azucarada 3 m³
- Agua ½ m³

Entradas:

- Materias primas:
- Arcilla
- Áridos finos
- Agua
- Combustibles: No aplica*

Salidas: En esta etapa no se contabilizó la generación de CO2 debido al uso exclusivo de fuerza humana y animal para la mezcla del material.

El proceso de medición y toma de datos fue realizado en los sitios donde estos artesanos moldeaban a las tejas, con información proporcionada por los propietarios de las fábricas.

3.2.2.2 *Aplastamiento, batido y expulsión de la mezcla*

Contempla la generación de la mezcla con la cual se trabajará para moldear las tejas. En el caso de la fábrica semi industrial, ésta es realizada por medio de máquinas trituradoras las cuales hacen uso de combustible diésel para su funcionamiento. La máquina funciona con un motor extraído de un tráiler y modificado para cumplir esta función. Cuenta con una potencia de 185 hp, y que funciona con combustible diésel. En el caso de la teja artesanal, el proceso es exclusivamente manual.

a) *Proceso Teja Artesanal*

Carece de cálculos debido a que se utiliza únicamente la fuerza humana para la preparación, batido y extrusión de la mezcla utilizada en la elaboración de las tejas.

b) *Proceso Teja Artesanal Vidriada (Semi industrial)*

- La materia prima es colocada en la máquina por una boca ubicada en la parte superior, y con uso exclusivo de fuerza humana a través de palas.
- Pasa a un a máquina llamada “laminadora” que tritura las rocas y piedras
- Este producto se transporta por una banda hacia la “batidora”.
- La mezcla pasa ala extrusora donde las tejas toman forma y, por medio de un alambre de acero, adquieren su longitud deseada.
- El motor utilizado consume una cantidad aproximada de 10 gl de diésel al día.



Figura 5-3: La extrusión de la mezcla (en el proceso semi industrial) se produce por medio de máquinas que funcionan a diésel.

Elaborado por: Castro Juan, 2024

Entradas:

- Mezcla previamente dosificada
- Combustibles fósiles y energía eléctrica: Diésel utilizado para el motor que lamina, bate y expulsa el material elaborado.

Salidas:

- Emisiones de CO₂ debido al consumo de combustible diésel.

3.2.2.3 Almacenaje (Secado)

Abarca el proceso de secado y oreado del material al natural, durante un período aproximado de 15 días, dependiendo de las condiciones climáticas. Las tejas son apiladas (de forma vertical en el caso de la fábrica semi industrial, y de forma horizontal en el caso de la fábrica artesanal) dentro de una especie de invernaderos de donde,

posterior a los 15 días, pueden ser recién ingresados a los hornos para quemarlos. Este procedimiento se produce tanto en la fábrica semi industrial, como en la artesanal.



Figura 6-3: El secado de las tejas se produce de forma natural en espacios cubiertos destinados para este fin, tanto en el caso de la fábrica semi industrial, como en el de la fábrica artesanal
Elaborado por: Castro Juan, 2024

Entradas:

- Teja artesanal cruda

Salidas:

- Carece de salidas pues no se utiliza maquinaria para el traslado hacia los invernaderos. Este traslado y colocación se da por medio de la fuerza humana.

3.2.2.4 Quema de Teja

Abarca el proceso de quema de la teja seca y endurecida. El espacio en el que se lo

realiza se lo denomina horno con la particularidad de ser del tipo “tiro invertido” en donde también se colocan a las tejas de forma vertical para un mayor aprovechamiento del proceso. El horno tiene una capacidad de carga de 5000 tejas artesanales, aunque algunas veces también se utiliza de manera simultánea con ladrillos, para el aprovechamiento máximo del espacio interno, así como de la madera utilizada para la combustión.



Figura 7-3: Hornos utilizados para la quema de las tejas. En el caso de la fábrica semi industrial (izquierda) se hace uso de un ventilador eléctrico para acelerar el proceso de combustión.

Elaborado por: Castro Juan, 2024

Entradas:

- Tejas secas
- Combustibles sólidos: Leña de eucalipto utilizado en hornos
- Energía eléctrica que enciende los ventiladores que ayudan a mantener la leña en combustión. (En el caso de la fábrica semi industrial).

Salidas:

- Emisiones de CO₂ por la quema de combustible y leña seca.
- Emisiones de CO₂ por el consumo de kWh, (ventilador eléctrico).

Según refieren Alvear Palomeque (2017), el horno es el elemento que mayor cantidad de CO₂ produce durante la elaboración de las tejas, información que es validada por un estudio ejecutado por una empresa extranjera (*Swiss-Contact*) en la ciudad de Cuenca. De manera particular y en nuestro caso de estudio, la fabricación de 5000 unidades de teja requiere del uso de **6m³ de leña**, tanto para la fábrica artesanal, como para la fábrica semi industrial.

En la etapa posterior a la quema de las tejas, éstas son colocadas de forma manual en espacios destinados para su almacenaje dentro de la fábrica, hasta su posterior carga en los camiones que los transportarán a su destino final, por lo que el CO₂ generado en esta actividad, no se toma en cuenta para los cálculos finales.

En el caso de la teja artesanal vidriada, el esmalte utilizado corresponde a una mezcla de sílice y óxido ferroso el cual determina un cambio en el peso final de la teja artesanal, siendo este peso mayor con una diferencia de **0.0565 kg** en cada unidad.

3.2.3 Tercera Etapa: Traslado

Abarca el proceso de traslado del material una vez que este ha sido elaborado y está listo para su comercialización, hasta su destino final que será la ubicación “en obra”. En este caso, el traslado es hacia la ciudad de Cañar. Para ello, se consideró una distancia recorrida equivalente a un viaje de un camión transportador (ida y vuelta) por lo que, para los cálculos, se tomó en cuenta una distancia equivalente al doble de la distancia mostrada en la Figura 24.

Entradas:

- Combustible utilizado por el camión transportador

Salidas:

- Emisiones de CO2 por la combustión del diésel.

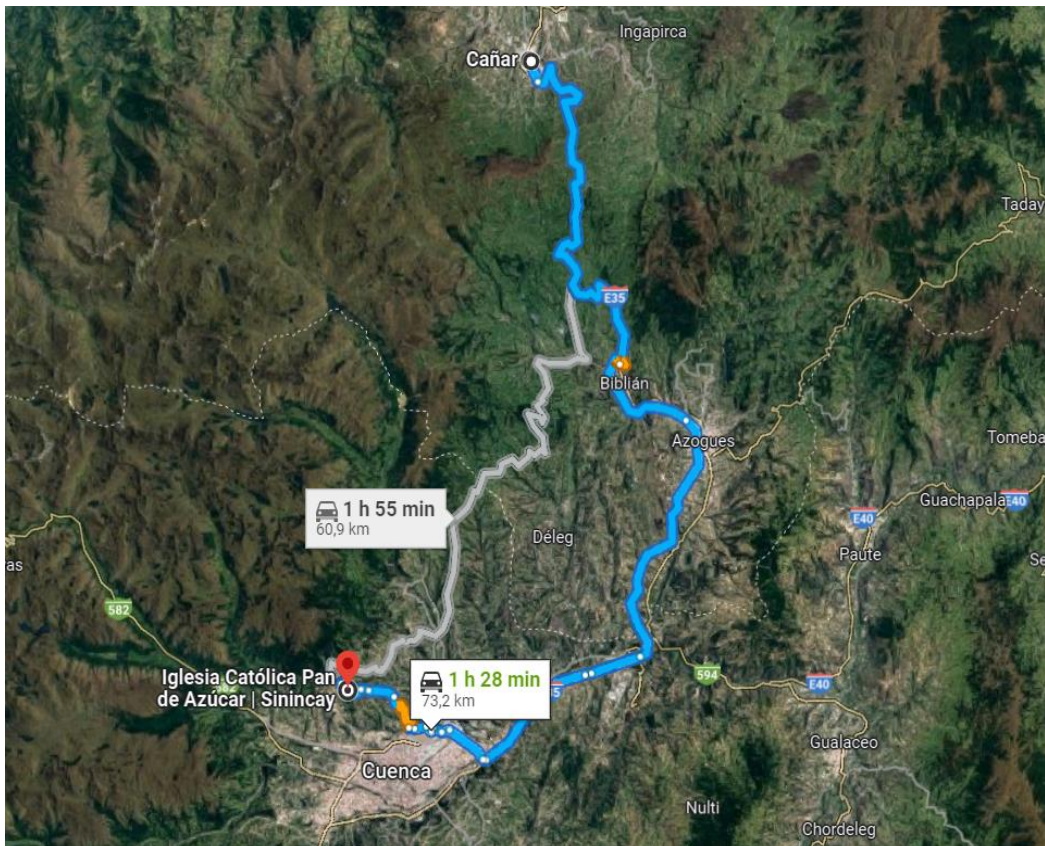


Figura 8-3: Distancia recorrida desde el origen (fábrica) hasta el destino (Cañar)
Elaborado por: Castro Juan, 2024

3.3 Cálculo de las Emisiones de CO2 dentro de las 3 Etapas

Se han reconocido diferentes tipos de energía utilizados dentro de cada etapa para la fabricación de las tejas artesanales y tejas artesanales vidriadas, siendo estas:

3.3.1 Maquinaria para procesamiento

Tiene que ver con todos los equipos que se utilizan para los procesos de mezclado, laminado, batido, extrusión y corte de las tejas. En el caso de la fábrica semi industrial, tenemos:

- 1 Motor de 185 Caballos de fuerza (Hp) que mantiene en funcionamiento a todo el sistema mecánico que va desde el laminado hasta la extrusión.
- 1 Ventilador eléctrico, el cual se encarga de brindarle potencia a la combustión de leña que se ubica dentro del horno (fábrica semi industrial).
- 1 Horno de “tiro invertido” en donde se realiza la quema de las tejas y que funciona con la quema de madera seca, o de leña de eucalipto.

En el caso de la fábrica artesanal, se cuenta únicamente con el horno (también de tiro invertido) el mismo que funciona únicamente con la combustión de la madera seca o leña de eucalipto.

3.3.2 Transporte del material

En esta etapa se contabiliza la cantidad de combustible necesaria para trasladar tanto la materia prima hacia la fábrica, así como también la cantidad necesaria para el transporte del material terminado al sitio una vez que está lista para su utilización.

En este punto, y debido a la complejidad y variabilidad inherente a los diferentes tipos de vehículos, como automóviles y camiones transportadores (los cuales emiten cantidades variadas de CO₂ a la atmósfera) se optó por utilizar estudios de tesis y artículos similares que contienen datos ajustados a la realidad local, proporcionando una base sólida y contextualizada para el análisis. De manera puntual, los datos del transporte fueron tomados del artículo denominado “Inventario del Ciclo de Vida para la determinación de la energía incorporada y las emisiones de CO₂ en el proceso de elaboración del bloque en una fábrica de Cuenca-Ecuador” (Urgilés Esquivel, 2017), así como también de la tesis de Alvear Córdova y Palomeque Maldonado (2017).

3.3.2.1 Etapa 1: Emisiones de CO₂ por Transporte (Cuna-Fábrica)

Como está contemplado dentro del estudio, se analiza la cantidad de combustible requerida para trasladar la materia prima desde las minas hacia las fábricas que

procesarán este material. En este ámbito, se consideró un recorrido de las volquetas equivalente al doble de distancia existente entre las canteras y la fábrica (ida y vuelta).

Debido a la metodología de cálculo, el combustible diésel ha sido cuantificado en litros y en kg. Se utilizó el método de cálculo propuesto en la tesis “Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales” (Alvear – Palomeque, 2017) para su definición, obteniendo que:

Fuel Conversion factor (kWh/l)	
Gasoline	9.2
Diesel	10.0

Tabla 1-3: Factor de conversión para combustibles en transporte
Elaborado por: Castro Juan, 2024

Adicionalmente, la *SEAP Guidelines Part II, Baseline Emissions Inventory*; propone factores de emisión de CO₂, por cada Kw/Hora de combustible, indicando que, para el caso del diésel, el factor es de 0.267 kg de CO₂, por cada kWh.

Si la distancia entra las minas y las fábricas bordea los 8.4 km, se tiene un total de 16.8 km de recorrido total para los cálculos. Según refiere Urgilés Esquivel (2017) en su análisis “Inventario del Ciclo de Vida para la Determinación de la Energía Incorporada y las Emisiones de CO₂ en el proceso de Elaboración de Bloque en una Fábrica de Cuenca - Ecuador” el consumo de diésel por km recorrido en una volqueta promedio, corresponde a 0.4 lt por km.

En este caso, el consumo de lt de combustible diésel corresponde a un total de 6.72 lt. Utilizando el factor de conversión indicado en la Tabla 1, esta cantidad de litros de combustible, corresponden a una generación de 67.2 Kwh, cantidad que finalmente equivale a una emisión total de **17.94 kg de CO₂**.

3.3.2.2 Etapa 2: Emisiones de CO2 dentro de la Fábrica

En esta etapa se analiza la cantidad de CO2 generada en los procesos que tienen lugar dentro de la fábrica. Debido a que existen 3 tipos de procesos, se divide estos cálculos en 3 tipos, determinando la cantidad de Co2 generada en las emisiones por maquinaria, por la energía eléctrica del ventilador, y la que se genera en el horno en donde se produce la quema de las tejas.

a) Emisiones de CO2 por Maquinaria

En esta etapa, se ha considerado el consumo de la máquina utilizada dentro de la fábrica y que posee un motor de 185HP, que se encarga de mantener en funcionamiento el complejo sistema de máquinas desde el ingreso de materia prima hasta el moldeado de la teja previo a su etapa de secado, utilizando la metodología de conversión establecida en la Tabla 1.

Según señalan Alvear Palomeque (2017), la *SEAP Guidelines Part II, Baseline Emissions Inventory*, presenta para un volumen total de diésel utilizado en esta etapa, correspondiente a 4 galones según los datos tomados en la fábrica semi industrial (15.12 litros), su equivalencia será de 151.2 kWh, con total de emisión de **40.37 kg de CO2**.

b) Emisiones de CO2 por energía eléctrica en el ventilador

Según la información proporcionada por el propietario de la fábrica de ladrillos y tejas artesanales en la cual se realizó este estudio y que lleva por denominación “Fábrica Pan de Azúcar”, la cantidad de energía eléctrica bordea los 12kWh por cada quema de 5000 tejas artesanales.

En este caso, y de acuerdo al Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, para un sistema eléctrico, su “factor de emisión” equivale a 0.5076 kg de CO2/kWh. Por lo que para los 12kWh obtenidos, el valor de CO2 emitido es de **6.09 kg de CO2**.

c) Emisiones de CO2 en el Horno

En este apartado se consideró la cantidad total de leña utilizada en la elaboración de 5.000 tejas, siendo esta cantidad de 3 m³.

Según refieren Alvear Palomeque (2017), la Ficha Técnica de Especies Forestales, N°10 avalada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador, tiene como densidad básica de la madera una cifra igual a 475kg/m³, la misma que se encuentra dentro del rango del eucalipto la especie maderera utilizada para la quema.

Según señala *Atmos Company* (2008) la “equivalencia entre la cantidad de leña seca de eucalipto empleada para la quema en el horno debe guardar relación a los kilovatios hora equivalentes”, siendo necesaria su conversión de unidades. Es así como esta empresa afirma que la leña que contiene entre un 12 o 20% de agua, adquiere un valor calorífico de 4kWh/kg de leña, mientras que la leña con un 50% de agua, presenta un valor calorífico de 2 kWh/kg, según los datos de la empresa (Alvear Palomeque, 2017). Adicionalmente, los datos recolectados durante las visitas a las fábricas presentan un total de **1425 kg** de leña utilizado, por lo que, según las relaciones antes mencionadas, se obtiene como resultado un total de **5700 kWh**.

De igual manera, y conforme el análisis realizado en el estudio de Alvear Palomeque (2017), se señala factores de emisión de CO₂ por Kw/hora de la madera, y que varían de 0 a 0,403 kg CO₂/kWh. Por lo tanto, con este factor y con una cantidad de 5700 kWh, tendríamos un total de **2297.1 kg CO₂** por quema de leña.

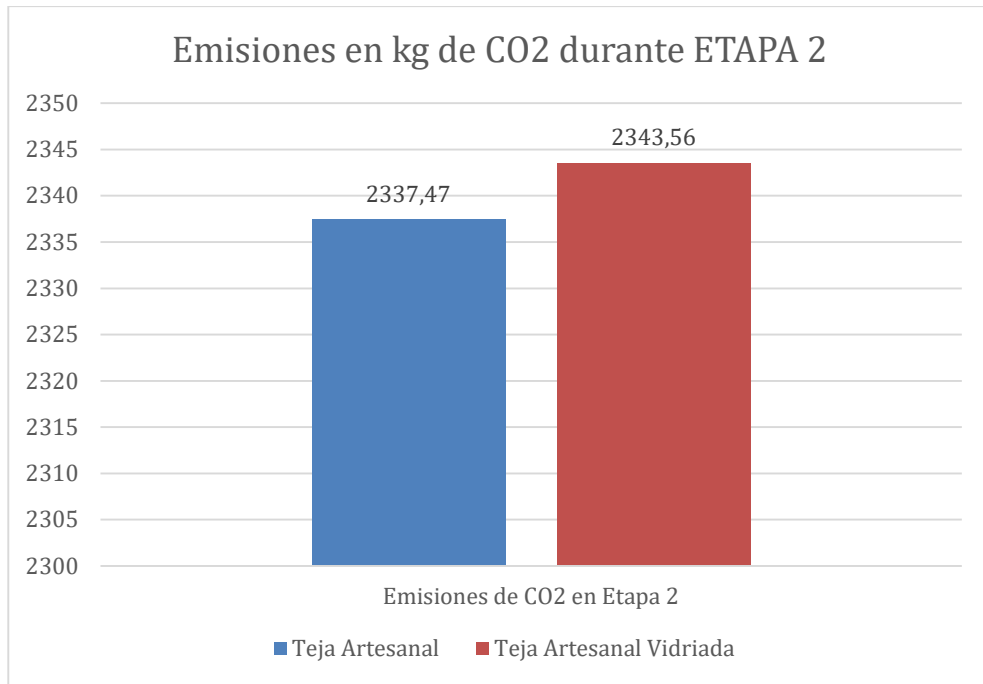


Tabla 2-3: Emisión de CO2 en la Etapa 2 de elaboración de tejas.
Elaborado por: Castro Juan, 2024

3.3.2.3 Etapa 3: Emisiones de CO2 por Transporte (Fábrica-Sitio)

Utilizando el mismo análisis de la Primera Etapa (Traslado de material base hacia la fábrica) obtenemos los siguientes valores para el transporte de un total de tejas artesanales y tejas artesanales vidriadas hacia la ciudad de Cañar, considerando que el transporte incluye “2 viajes” (“ida y vuelta”) desde la fábrica hacia el sitio, y de retorno. Por lo tanto, teniendo en cuenta que la distancia total recorrida durante el traslado de las tejas corresponde a 146.4 km, y que el consumo de diésel corresponde a 0.4 lt por km, el consumo total de diésel en esta etapa será de 58.56 lt.

Utilizando el factor de conversión indicado en la Tabla 1, esta cantidad de combustible corresponde a una generación de 585.6 Kwh, cantidad que finalmente equivale a una emisión total de **156.35 kg de CO2**.

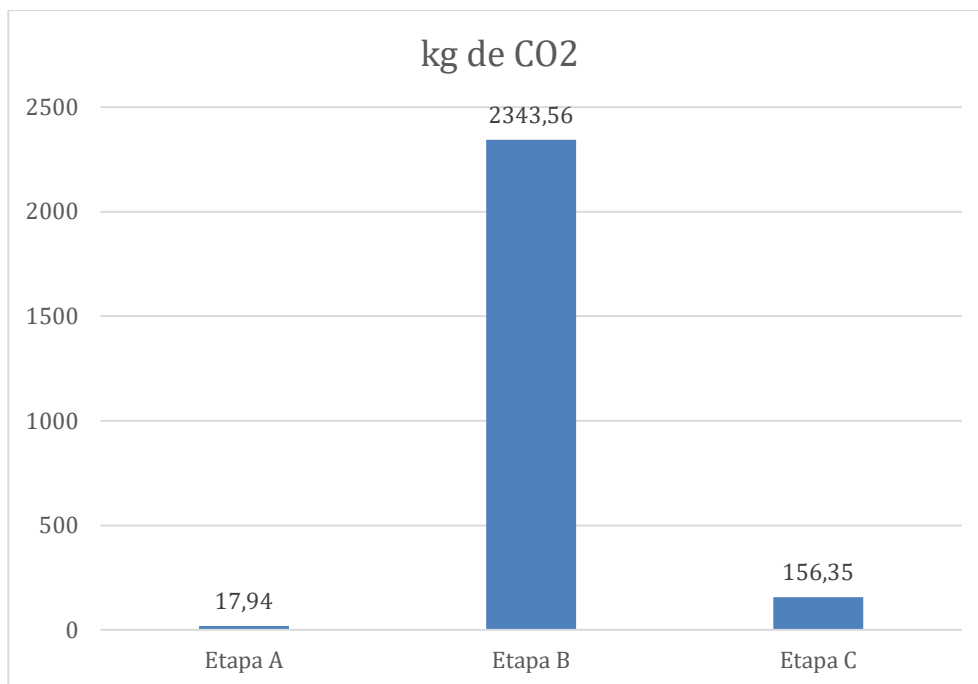


Tabla 3-3: Emisiones de CO2 en las 3 etapas del alcance del estudio.
Elaborado por: Castro Juan, 2024

3.4 Resultados de Emisiones de CO2

Los cálculos realizados nos indican que la generación total de kg de CO2 producidos en la elaboración de un total de 5000 tejas artesanales y tejas artesanales vidriadas, dentro del alcance definido dentro del análisis, no difieren significativamente en sus valores.

En el caso de la teja artesanal, tenemos que el total de CO2 generado corresponde a **2511.76 kg de CO2**. Si adicionalmente, tenemos que las 5000 tejas pesan un total de 4120 kg, tenemos que, por cada kg de teja artesanal producida, se emite un total de **0.61 kg de CO2**.

En el caso de la teja artesanal vidriada, tenemos que el total de CO2 generado corresponde a **2517.76 kg de CO2**. Si adicionalmente, tenemos que las 5000 tejas pesan un total de 4405 kg, tenemos que, por cada kg de teja artesanal producida, se emite un total de **0.57 kg de CO2**.

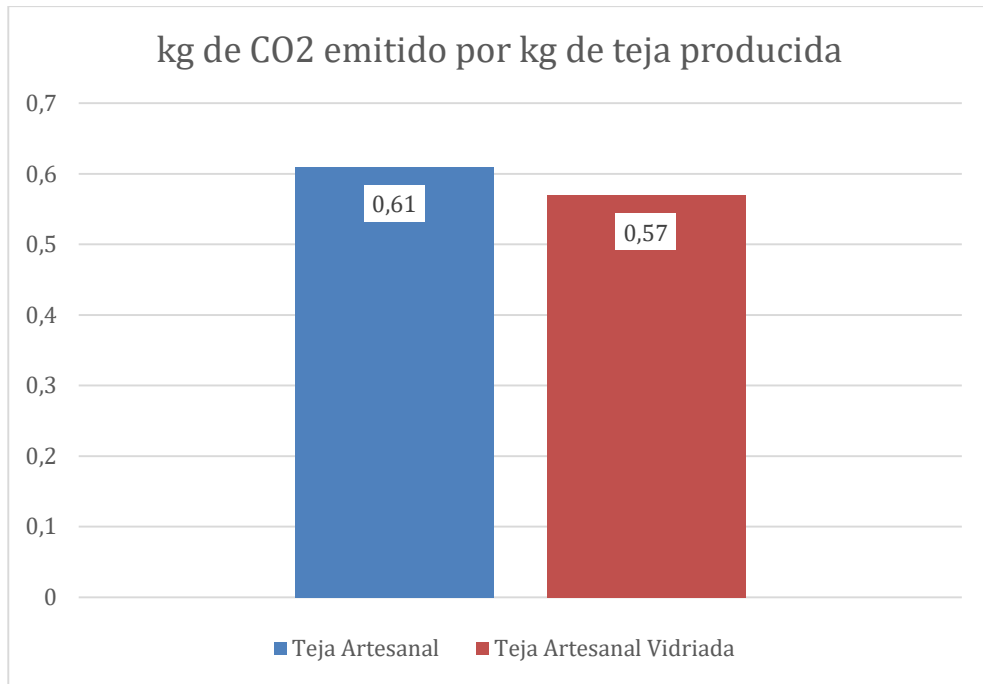


Tabla 4-3: Emisiones de CO2 por kg de teja producida dentro del análisis.
Elaborado por: Castro Juan, 2024

3.5 Cálculo de Energía Incorporada

Con relación a la unidad funcional planteada dentro del estudio, esta será cuantificada en Mj (*Mega Julios*) como su unidad de medición para la energía. Es por ello que para su cálculo, debemos transformar los Kilowatios-hora (Kwh) obtenidos anteriormente, en Mj, según presenta el factor de conversión correspondiente a 3.6 Mj por cada Kwh.

En el caso de la teja artesanal, tenemos que el total de energía incorporada corresponde a **6504 Kwh**. Por lo tanto, el total de energía generada durante la elaboración de la teja artesanal es de **23414.4 Mj**.

En el caso de la teja artesanal vidriada, tenemos que el total de energía incorporada corresponde a **6516 Kwh**. Por lo tanto, el total de energía generada durante la fabricación de la teja artesanal vidriada es de **23457.6 Mj**.

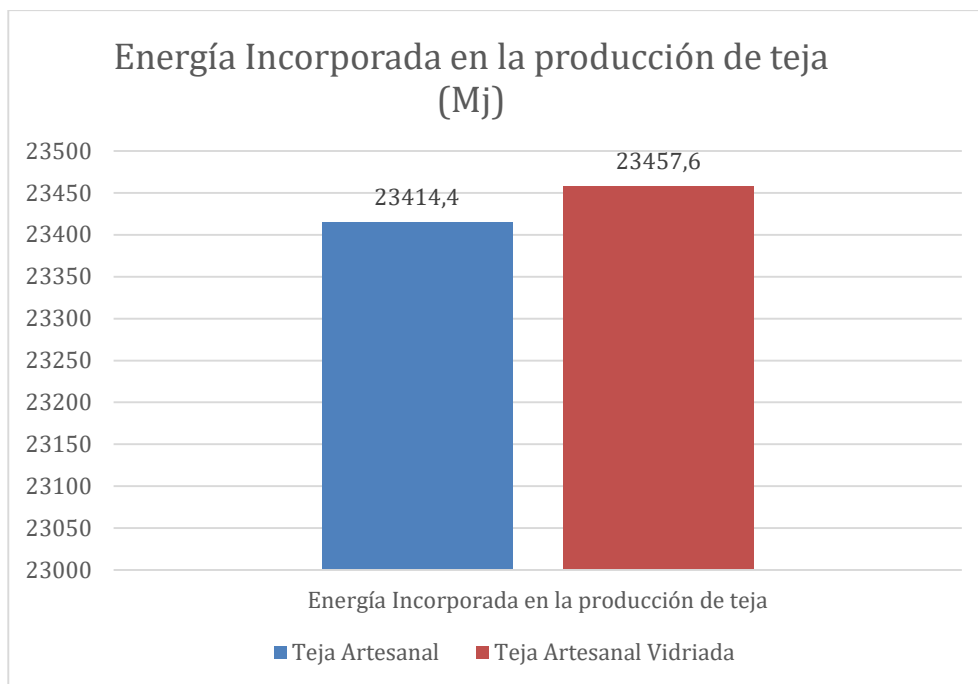


Tabla 5-3-: Energía incorporada en la producción de tejas.

Elaborado por: Castro Juan, 2024

3.6 Discusión de resultados y análisis

En primera instancia, el proceso de fabricación de la teja artesanal abarca varias etapas que pueden ser consideradas como determinantes para el análisis del consumo energético. Según los resultados obtenidos, se puede evidenciar cómo la etapa en la que más gasto energético se produce corresponde a la etapa de quema de las tejas en los hornos. Esto se debe principalmente a la quema de leña, como principal combustible de esta etapa, mismo que tiene una gran carga de impacto ambiental agregada.

La elaboración de la teja artesanal tiene un menor consumo energético, pues aún no hace uso de maquinaria industrial o especializada que requiera el uso de combustibles fósiles o de energía para su elaboración. No obstante, genera mucho más CO₂ por cada kg de teja, pues requiere de igual cantidad de recursos para la generación de una cantidad menor de unidad funcional (4120 kg en 5000 tejas)

Por otra parte, la elaboración de la teja artesanal vidriada tiene un mayor consumo energético, pues utiliza maquinaria industrializada que requiere el uso de combustibles fósiles o de energía eléctrica para su elaboración. Sin embargo, según los resultados, genera menos cantidad de CO₂ por cada kg de teja, pues este CO₂ se divide para más cantidad (en peso) de la unidad funcional (4405 kg en 5000 tejas).

Los procesos de transporte del material desde la cuna hacia la fábrica representan la menor parte de generación de CO₂ dentro de las 3 etapas establecidas, debido principalmente a la distancia recorrida.

Los procesos de transporte del material elaborado hacia el sitio, representan la segunda parte de generación de CO₂, debido a la gran distancia que necesita recorrer para su disposición final.

El factor humano no ha sido tomado en cuenta dentro de este análisis, a pesar de que en gran parte de la elaboración de la teja artesanal y teja artesanal vidriada, se evidenció su participación constante en procesos de traslado, carga y colocación de material antes de ingresar a la fábrica, dentro de la fábrica y también en la última etapa correspondiente a la disposición final del material en obra.

4 CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como primera conclusión, se sugiere analizar la posibilidad de contar con fábricas de tejas artesanales y tejas artesanales vidriadas dentro de la ciudad de Cañar, ubicando espacios adecuados para extracción de material, así como elaboración y disposición del material en el sitio, y así evitar el gasto energético correspondiente a la primera y tercera etapa (transporte) vistas en este estudio.

En caso de no contar la posibilidad de creación de fábricas de tejas en la ciudad de Cañar, ya sea por temas de falta de material o de espacio, se sugiere analizar la posibilidad de generar alianzas estratégicas entre las fábricas (ubicadas en el cantón Cuenca) con proveedores locales en la ciudad de Cañar, mismas que podrán optimizar el recurso “transporte” al trasladar de manera continua y aprovechando la carga máxima de los camiones para dotar de tejas a la localidad. De esta manera, se evita viajes particulares que conllevan más generación de CO₂.

De manera concreta, y para las fábricas ubicadas en las parroquias del cantón Cuenca, se sugiere implementar políticas de remediación ambiental para subsanar los daños establecidos a las zonas de donde se extraen las arcillas para la elaboración de tejas, así como también ubicar otras zonas en donde el impacto ambiental sea menor al generado en las zonas donde habitan las personas. Esto, debido a que la remoción de tierra y excavaciones pueden desestabilizar terrenos aledaños, poniendo en riesgo la vida de los moradores.

Proponer mejoras en los sistemas de procesos de elaboración de las tejas con la intención de evitar el gasto innecesario de recursos, como la quema de tejas en hornos que utilicen energías alternativas y más eficientes, o el aprovechamiento y sistematización de la mano de obra con la que se cuenta en las fábricas.

En cuanto a los procesos tradicionales de elaboración de tejas artesanales, se entiende el valor histórico y patrimonial arraigado a este proceso, no obstante, se sugiere analizar métodos de optimización de recursos, evitando que se genere gastos innecesarios de energía y que, a su vez, consolide el ámbito patrimonial en su elaboración.

Se recomienda tener en cuenta al factor humano y animal para futuros análisis y estudios pues como se mencionó, son elementos determinantes en la elaboración tanto de la teja artesanal, como de la teja artesanal vidriada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvear Córdova, P. J., & Palomeque Maldonado, R. P. (2017). Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales. Recuperado de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27624>
- Urgilés Esquivel, D. R. (2017). Inventario del Ciclo de Vida para la determinación de la energía incorporada y las emisiones de CO2 en el proceso de elaboración del bloque en una fábrica de Cuenca-Ecuador. Recuperado de https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28601/1/ART%C3%8DCULO%20CIENT%C3%8DFICO_%20URGIL%C3%89S%20DIANA.pdf
- Naciones Unidas. (2015). Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Torres Quezada, J.-E. (2023). La evolución de la construcción y su impacto energético en la región andina. Recuperado de <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-21598-8>
- Romero Rodríguez, B. I. (2003). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental. Recuperado de https://www.ucipfg.com/Repositorio/MAES/MAES-07/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/lecturas/ACV_GA.pdf
- Fariña Tojo, J. (2007). Buenas prácticas para un crecimiento urbano más sostenible. Recuperado de https://oa.upm.es/56509/1/Buenas_practicas_crecimiento_urbano.pdf
- Barranzuela Lescano, J. (2014). Proceso Productivo de los Ladrillos de Arcilla Producidos en la Región Piura. Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/5eea42bf-0da2-43bd-b308-b8eb99ea51a3/content>
- Fernández Chura, D. (2019). Evaluación de las propiedades físicas - mecánicas de las tejas cerámicas artesanales y mecanizadas manufacturadas en Piñipampa – Cusco, 2018, según parámetros de las normas NTE INEN. Recuperado de <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2800?show=full>
- Álvarez Guerrero, S. F. (2014). Optimización del Proceso de Mezcla de Arcilla para la Producción de Ladrillos, en el Sector Artesanal. Recuperado de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5529/1/TESIS.pdf>
- Vázquez Espí, M. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: El caso de la tierra y otros

materiales.

https://www.unida.org.ar/Bibliografia/documentos/Desarrollo_Sustentable/Modulo_8/Construccion_e_impacto_sobre_el_ambiente_el_caso_de_la_tierra_y_otros_materiales.htm

Tenesaca Guamán, M. J., & Reasco Gómez, J. (2017). Diseño de un Modelo de Negocios Para el Sector Ladrillero Artesanal del Cantón Cuenca, Período 2017-2019. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/288584645.pdf>

Pesántez Pesántez, J. F., & Tapia Vera, C. M. (2018). Una Alternativa Constructiva: Pisos de Tierra con Fibra de Cabuya y Cascarilla de Arroz. Actas del 18 Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 10 páginas. Recuperado de <http://www.redproterra.org>

Cabrera Zúñiga, A. F., & Faicán Zari, R. A. (2019). Análisis de las Emisiones Ambientales y de la Eficiencia Energética de los Hornos de las Ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales. Recuperado de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33391/1/Trabajo-de-titulaci%C3%B3n.pdf>

Reinoso Avecillas, M. B. (2016). Los aspectos ambientales generados por la producción artesanal de tejas y ladrillos, en relación con el bienestar físico-social de la población, en la parroquia Sinincay del cantón Cuenca, en el año 2015. Recuperado de <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/306/1/Trabajo%2046%20Reinoso%20Avecillas%20Marco%20Benito.pdf>

Villota, D. (2023). Cálculo de la Huella de Carbono para la Fabricación de Ladrillos Artesanales en la Parroquia Sinincay, Cuenca-Ecuador. Recuperado de <https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/14744/Villota%20Carranza%2c%20Diego%20Andr%c3%a9s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vergara Macías, J. C. (2022). Análisis del ciclo de vida de Elementos Constructivos No Estructurales (ECNE) fabricados con lodos papeleros y arcilla. Recuperado de <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/10903#page=1>

Vásquez, M., Guzmán, D. S., & Íñiguez, J. M. (2015). Comparación entre propiedades físicas y mecánicas de adobes tradicionales y BTC estabilizados químicamente. SIACOT 2015 Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 9 páginas. Recuperado de <https://www.redproterra.org>

International Organization for Standardization. (2006). ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.

<https://www.iso.org/standard/37456.html>

Alaña Castillo, T. P., Capa Benítez, L. B., & Sotomayor Pereira, J. G. (2017). Desarrollo Sostenible y Evolución de la Legislación Ambiental en las MIPYMES del Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 91-99. Recuperado en 9 de junio de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000100013&lng=es&tlng=es.

González Maza, F. (2012). Análisis del ciclo de vida de materiales de construcción convencionales y alternativos. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/380669588/Analisis-de-Ciclo-de-Vida-de-Materiales-de-Construccion-Convencionales-y-Alternos-Fgm-Aggj-12>

Pontificia Universidad Católica del Perú, Red Peruana Ciclo de Vida, & Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE. (2019). Estudio de análisis de ciclo de vida de ladrillos y bloques de concreto. Recuperado de https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2019/06/13_estudio_ladrillo.pdf

Echeverría Maggi, A. D. (2015). El sector de la construcción y la economía ecuatoriana período 2007-2013. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/9167>

Guinée JB, Heijungs R, Huppes G, Zamagni A, Masoni P, Buonamici R, Ekvall T, Rydberg T. Life cycle assessment: past, present, and future. *Environ Sci Technol*. 2011 Jan 1;45(1):90-6. doi: 10.1021/es101316v. Epub 2010 Sep 2. PMID: 20812726.

International Organization for Standardization. (2006). ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. ISO.