





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Título**

**“MATERIALES COMO FACTORES DE RENDIMIENTO EN  
CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS AMBIENTALES PARA  
VIVIENDAS PREFABRICADA DE HORMIGÓN EN ZONAS ANDINAS”**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental**

**Autor:**

Pacheco Loza Melany Lizbeth

**Tutor:**

Ing. Marco Marcel Paredes Herrera MSc

**Riobamba, Ecuador. 2023**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Melany Lizbeth Pacheco Loza con cédula de ciudadanía 0605110170, autor(a) del trabajo de investigación titulado: “materiales como factores de rendimiento en certificaciones energéticas ambientales para viviendas prefabricada de hormigón en zonas andinas” certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 17 de abril de 2023



---

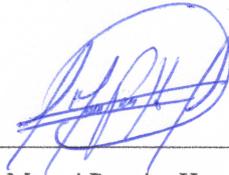
Melany Lizbeth Pacheco Loza

C.I: 0605110170

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Marco Marcel Paredes Herrera catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería Ambiental por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: “materiales como factores de rendimiento en certificaciones energéticas ambientales para viviendas prefabricada de hormigón en zonas andinas” bajo la autoría de Melany Lizbeth Pacheco Loza; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 17 días del mes de abril de 2023



---

Ing. Marco Marcel Paredes Herrera MSc

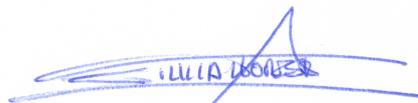
C.I: 0603783184

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación "MATERIALES COMO FACTORES DE RENDIMIENTO EN CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS AMBIENTALES PARA VIVIENDAS PREFABRICADA DE HORMIGÓN EN ZONAS ANDINAS", presentado por Melany Lizbeth Pacheco Loza, con cédula de identidad número 0605110170, bajo la tutoría de Mg. Marco Marcel Paredes Herrera; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

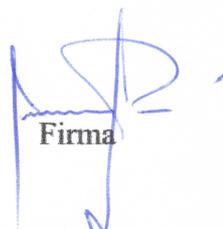
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 17 días del mes de abril de 2023.

Presidente del Tribunal de Grado  
PhD. Silvia Hipatia Torres Rodriguez



Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
PhD. Ivan Alfredo Ríos García



Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Msc. Guido Patricio Santillan Lima



Firma



# CERTIFICACIÓN

Que, **PACHECO LOZA MELANY LIZBETH** con CC: **0605110170**, estudiante de la Carrera **AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "MATERIALES COMO FACTORES DE RENDIMIENTO EN CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS AMBIENTALES PARA VIVIENDAS PREFABRICADA DE HORMIGÓN EN ZONAS ANDINAS", cumple con el 4%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **urkund**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 06 de abril de 2023

Mgs. Marco Marcel Paredes Herrera  
**TUTOR(A)**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación está dedicado a:

A Dios quien ha guiado mi camino, ha sido mi fortaleza y me ha acompañado en este camino hasta el día de hoy.

A mis padres Jorge y Jessika quienes con su amor, esfuerzo y dedicación me han encaminado a cumplir mis sueños; a culminar uno más. Gracias por nunca dejarme sola, por ser un ejemplo para seguir y siempre estar pendiente de mí a lo largo de este proceso.

A mis hermanos Karla y Jorge Josué por su cariño y apoyo, por estar conmigo y confiar en su hermana mayor.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a mis padres, quienes han estado en todo mi proceso, no dejaron que decaiga y siempre me brindaron su apoyo para seguir adelante.

De igual manera expreso mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo, a toda la Facultad de Ingeniería, en especial a la Carrera de Ingeniería Ambiental, a su director de carrera y a todos mis maestros quienes con su conocimiento hicieron que pueda crecer día a día como persona y como profesional, gracias por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero agradecer al Ingeniero Marcel Paredes, principal colaborador de este proceso de investigación, quien, con su enseñanza, apoyo, colaboración y saber hizo posible el desarrollo de este trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL:

|   |    |
|---|----|
| DECLARATORIA DE AUTORÍA .....                   | 2  |
| DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....      | 3  |
| CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL .....  | 4  |
| CERTIFICADO ANTIPLAGIO .....                    | 5  |
| DEDICATORIA.....                                | 6  |
| AGRADECIMIENTO.....                             | 7  |
| ÍNDICE GENERAL:.....                            | 8  |
| ÍNDICE DE TABLAS. ....                          | 11 |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                         | 11 |
| RESUMEN.....                                    | 12 |
| ABSTRACT .....                                  | 13 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCION. ....                  | 14 |
| 1.1    Antecedentes.....                        | 14 |
| 1.2    Planteamiento del problema .....         | 14 |
| 1.3    Justificación .....                      | 15 |
| 1.4    Objetivos.....                           | 16 |
| 1.4.1    General.....                           | 16 |
| 1.4.2    Específicos .....                      | 16 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO. ....                | 17 |
| 2.1    Construcciones en el Ecuador .....       | 17 |
| 2.2    Construcciones Sostenibles .....         | 17 |
| 2.3    Contaminación por construcción.....      | 17 |
| 2.4    Viviendas prefabricadas de hormigón..... | 18 |
| 2.5    Certificación energética ambiental ..... | 18 |
| 2.6    Sostenibilidad.....                      | 18 |

|  |    |
|--|----|
| 2.7 Impacto Ambiental.....                             | 18 |
| 2.8 Factores de Rendimiento.....                       | 19 |
| 2.9 Matriz de Leopold.....                             | 19 |
| 2.9.1 Elaboración de matriz de Leopold modificada..... | 19 |
| 2.9.2 ISO 14040.....                                   | 19 |
| 2.10 Metodología verde.....                            | 20 |
| 2.11 Materiales de construcción.....                   | 21 |
| 2.11.1 Cemento.....                                    | 21 |
| 2.11.1.1 Yeso.....                                     | 21 |
| 2.11.2 Caliza.....                                     | 22 |
| 2.11.3 Arcilla.....                                    | 22 |
| 2.11.4 Grava.....                                      | 22 |
| 2.11.5 Arena.....                                      | 22 |
| 2.11.6 Agua.....                                       | 22 |
| 2.11.7 Hormigón.....                                   | 22 |
| 2.11.8 Acero.....                                      | 22 |
| 2.12 Varillas.....                                     | 23 |
| 2.13 Mallas electrosoldadas.....                       | 23 |
| 2.14 Molde.....  | 23 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....                         | 24 |
| 3.1 Diseño de la metodología.....                      | 24 |
| 3.2 Recolección de datos.....                          | 24 |
| 3.3 Métodos de análisis.....                           | 25 |
| 3.4 Hipótesis.....                                     | 25 |
| 3.5 Muestra.....                                       | 25 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....               | 26 |
| 4.1 Cemento.....                                       | 28 |

|   |               |    |
|---|---------------|----|
| 4.2   | Acero .....   | 28 |
| 4.3   | Grava .....   | 29 |
| 4.4   | Arena .....   | 30 |
| 4.5   | Hormigón..... | 31 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES .....      |               | 46 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                     |               | 47 |
| ANEXOS.....   |               | 50 |
| Anexo 1. Modelo tentativo de la vivienda (UCEM) ..... |               | 50 |

## ÍNDICE DE TABLAS.

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 Cantidad de materia prima para la obtención de cemento.....   | 32 |
| Tabla 2 Cantidad de materia prima para la obtención de hormigón.....  | 33 |
| Tabla 3 Matriz de Leopold del cemento.....  | 35 |
| Tabla 4 Matriz de Leopold del acero.....  | 37 |
| Tabla 5 Matriz de Leopold del hormigón.....   | 38 |
| Tabla 6 Cantidad de materia prima del acero.....  | 40 |
| Tabla 7 Factores de emisión de la maquinaria pesada por hora de trabajo.....  | 42 |
| Tabla 8 Valor máximo, medio y mínimo de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> del hormigón.....  | 42 |
| Tabla 9 Valores máximos permisibles de concentraciones de emisiones al aire para motores de combustión interna mg/Nm <sup>3</sup> ..... | 42 |
| Tabla 10 Factores de emisión por un Kg de cemento.....  | 43 |
| Tabla 11 Resumen de los factores de emisión de todos los materiales de construcción evaluados como factores de rendimiento.....         | 45 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Diagrama de flujo de un panel prefabricado de hormigón.....                            | 27 |
| Figura 2 Diagrama de flujo del cemento.....   | 28 |
| Figura 3 Diagrama de flujo del acero.....   | 29 |
| Figura 4 Diagrama de flujo de la grava.....   | 29 |
| Figura 5 Diagrama de flujo de la arena.....   | 30 |
| Figura 6 Diagrama de flujo del hormigón.....  | 31 |
| Figura 7 Diagrama de flujo del Proceao de Fabricación de un panel prefabricado de hormigón..... | 44 |

## RESUMEN

El sector de la construcción genera varias intervenciones directas e indirectas al ambiente a nivel mundial. Actualmente en el Ecuador el sector de la construcción no utiliza procesos sustentables, una manera adecuada de utilizar y valorar la sostenibilidad es mediante las Certificaciones Energéticas Ambientales. Ayuda a reducir costos en los usuarios, menora la contaminación y aprovecha diferentes tecnologías de minimización de consumos. En este proyecto de investigación se busca aportar información y determinar los materiales de construcción que se usan para obtener los paneles prefabricado de hormigón para la construcción de viviendas.

Para conocer los materiales utilizados se basará en una revisión secundaria de las empresas que se dedican a la prefabricación de paneles de hormigón. Además, se utilizará el modelo de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la creación de diagramas con los datos de entrada, fronteras y datos de salida. Utilizando una matriz de comparación se conseguirá la identificación de impactos ambientales en cada una de las actividades que se dan en la obtención de cada material y expresar cuantitativamente los factores de emisión de esta actividad.

En la recopilación de datos los materiales para el análisis son la arena, grava, cemento, acero y hormigón, con sus respectivos procesos de generación. Es decir, entradas, fronteras del sistema y salidas, donde se adiciona la creación de un diagrama de flujo del panel prefabricado de hormigón. Dicha recopilación hizo posible la puesta en marcha el ACV, las matrices de Leopold modificadas y la cuantificación de las unidades según el material necesario para cada material de construcción utilizado.

El ACV indicó que el cemento afecta al suelo, el acero perjudica a la cobertura vegetal y el hormigón modifica la flora y fauna in situ de la materia prima. La identificación de las unidades mostró que para construir un bloque prefabricado de hormigón se necesita de un metro cúbico de hormigón armado, cantidad favorable para el ambiente en cuestión a la construcción de una vivienda prefabricada de hormigón para la zona andina en Ecuador, pues su impacto es bajo en consideración a la construcción tradicional.

**Palabras claves:** construcción, hormigón, material, materia prima, panel prefabricado

## ABSTRACT

The construction sector generates a number of direct and indirect environmental interventions worldwide. Currently in Ecuador the construction sector does not use sustainable processes, an appropriate way to use and value sustainability is through Environmental Energy Certifications. It helps reduce costs for users, reduces pollution and takes advantage of different technologies to minimize consumption. This research project aims to provide information and determine the building materials that are used to obtain prefabricated concrete panels for housing construction.

To know the materials used will be based on a secondary review of companies engaged in the prefabrication of concrete panels. In addition, the Life Cycle Analysis (LCA) model will be used to create diagrams with input, boundary and output data. Using a comparison matrix, it will be possible to identify the environmental impacts of each of the activities involved in obtaining each material and to express quantitatively the emission factors of this activity.

In data collection, the materials for analysis are sand, gravel, cement, steel and concrete, with their respective generation processes. That is, inputs, system boundaries and outputs, where the creation of a flow diagram of the precast concrete panel is added. This compilation made it possible to implement the LCA, the modified Leopold matrices and quantify the units according to the material needed for each building material used. The LCA indicated that cement affects the soil, steel damages the vegetation cover and concrete modifies the in situ flora and fauna of the raw material. The identification of the units showed that one cubic meter of reinforced concrete is needed to build a prefabricated concrete block, an amount favorable to the environment in question for the construction of a prefabricated concrete house for the Andean area of Ecuador, since its impact is low considering traditional construction.

**Keywords:** construction, concrete, material, raw material, prefabricated panel

Reviewed by:



Firmado electrónicamente por:

**ANDREA  
CRISTINA  
RIVERA PUGLLA**

Lic. Andrea Rivera  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C 0604464008

# **CAPÍTULO I. INTRODUCCION.**

## **1.1 Antecedentes**

La presente investigación se basa en la determinación de los diferentes materiales de construcción necesarios en la construcción de viviendas prefabricadas de hormigón para ser evaluados mediante certificación energética ambiental. Conociendo que en Ecuador el material que predomina en la construcción de viviendas de urbanizaciones y barrios es el hormigón, dato que puede ser verificado en el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEN, 2014). La construcción es el principal problema de impacto ambiental. Mundialmente esta actividad es considerada como el sector con más fuentes de contaminación ambiental, debido a que su actividad genera polvo, contaminación acústica, remoción de vegetación y contaminación atmosférica, desencadenando problemas de salud para los trabajadores del sector de la construcción y quienes se dedican a esta actividad (Enshassi, 2014).

Actualmente, debido al alto riesgo de contaminación ambiental y al uso desmesurado del uso de energía, es indispensable buscar solución con nuevas alternativas en lo que respecta a una vivienda, a su diseño, construcción (materiales utilizados), las tecnologías ya existentes y el aprovechamiento de los recursos renovables. La idea de una certificación energética es lograr un confort óptimo en las viviendas unifamiliares con el uso adecuado de los recursos y respetando al medio ambiente (García R. &., 2013). Entendiendo que lo principal es mejorar la construcción de viviendas encaminados con el respeto al medio ambiente para impulsar una eficiencia energética en futuras construcciones de viviendas (Laverde, Construcción sostenible en Bogotá, de ideal normativo a estándar constructivo, 2020).

Para esto cada material de construcción que se va a utilizar debe pasar por el Análisis de ciclo de vida (ACV). Dicha información se encuentra en la Normativa ISO 14040, que dice “El Análisis de Ciclo de Vida es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio” (INEN, 2014).

La metodología Verde de Evaluación Ambiental de viviendas está basada en una aproximación al análisis del ciclo de vida y consiste en evaluar la reducción de los impactos de las viviendas y su emplazamiento por la implementación de medidas, tanto en estrategias de diseño como en factores de rendimiento. Para esto la presente investigación se va a desarrollar dentro del proyecto de investigación Habitabilidad Sustentable para viviendas prefabricadas de hormigón en zonas Andinas, aportando con información de los materiales de construcción que se utiliza en viviendas prefabricadas de hormigón mismo que serán evaluados mediante una certificación energética ambiental.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Está claro que el sector de la construcción antes, durante y después de su actividad genera intervenciones directas e indirectas al ambiente, por tal motivo el análisis del ciclo de vida

que se detallará en este trabajo de investigación va a ayudar a un mejor análisis de cada material de construcción utilizado en la fabricación de un panel prefabricado de hormigón hasta el lugar donde se armará la vivienda.

El principal problema es la poca información sobre cómo se califica o se categoriza una construcción sustentable, en el Ecuador certificaciones energéticas ambientales todavía es algo nuevo en construcción de viviendas, de esta manera, se propone determinar una línea base de materiales que se usan en viviendas prefabricadas de hormigón. Una construcción sustentable es necesaria, pues ayuda a reducir costos a usuarios, menora la contaminación ambiental y permite aprovechar cualquier otra tecnología. La arquitectura tradicional con los prefabricados de hormigón busca integrar nuevas tecnologías vinculadas con la producción de nuevas viviendas y ahorro de energía, agregando datos ambientales y sociales en la construcción que hoy en día se denota, con la urgencia de presentar un accionar en esta actividad que cada vez es indispensable para las nuevas familias, donde se busca confort en todo el diseño de la vivienda (Terrados Cepeda, 2012).

El presente trabajo pretende aportar con información que ayude a determinar la eficiencia en el consumo energético que hoy en día es de gran interés, pero de escasa producción. La idea es mostrar la importancia del aprovechamiento energético, caracterizando los materiales de construcción (madera, hormigón, pintura, etc.) para insertar la información en un simulador de ocupación y obtener el consumo energético en un tiempo determinado. Mostrar interés de lo importante que es una certificación energética, es indispensable, cierto es que hay muy poca información y no se toma conciencia del uso de energías y recursos renovables. Por esa razón, se busca informar sobre la importancia de este tema, mismo que ayudará a mantener el confort en las viviendas, preservar el ambiente, garantizar el abastecimiento e inculcar la sostenibilidad (Zorita, 2016).

### **1.3 Justificación**

La empresa UCEM (Unión Cementera Ecuatoriana) S.A., ofrece a la ciudadanía una nueva alternativa de construcción. Se dedica a la producción y comercialización de prefabricados de hormigón, cumpliendo los estándares de calidad y cuidado del medio ambiente.

El diseño de las instalaciones espera brindar confort en la construcción de viviendas prefabricadas de hormigón. Y para que esta construcción de viviendas prefabricadas de hormigón sea una realidad, se va a precisar de forma exacta su utilidad, donde se conocerá qué materiales son útiles para la construcción de prefabricados, se tomará en cuenta una base de datos de dichos materiales para tener claros cuales son útiles en este caso e incluso el estudio brindará explicación acerca de los impactos ambientales de los materiales de construcción por medio de la metodología del ACV, por ende se fijará las unidades para los impactos ambientales según los elementos utilizados en dicha construcción.

Por esa razón, se puede afirmar que este estudio está encaminado a brindar información técnica de la importancia de construir con prefabricados de hormigón, pues se trata de demostrar que hará frente al alto consumo energético que a nivel global sigue en aumento, explicando que desde su primera fase (extracción del material) y su posterior construcción se vea una responsabilidad energética en pro de los recursos y el ambiente, exponiendo los

materiales relacionados con la construcción de prefabricados de hormigón afines a un consumo energético verde.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

- Determinar los materiales como factores de rendimiento en certificaciones energéticas ambientales para viviendas prefabricada de hormigón en zonas andinas.

### **1.4.2 Específicos**

- Crear una base de datos para materiales de construcción de viviendas prefabricadas de hormigón en zonas andinas.
- Determinar el impacto ambiental de los materiales de construcción para viviendas prefabricadas de hormigón en zonas andinas mediante la metodología de un ACV.
- Identificar las unidades para los impactos ambientales según cantidad de material utilizado.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Construcciones en el Ecuador**

El sector de la construcción desde 2015 en Ecuador viene disminuyendo cada año, provocando un incremento en los niveles de desempleo, involucrado un impacto negativo en el PIB, que en este sector es del 9%. Es preocupante al ver esta cifra, pues expertos indican que tardarán de cinco a diez años en recuperarse, pues se explican que también se necesita parte del Gobierno para reducir gastos (Jaramillo, 2018).

Este sector se ve involucrado en la fabricación de artículos relacionados al hormigón, cemento y yeso, pues aporta al crecimiento económico del país. Con la presencia de empresas que producen y distribuyen los materiales necesarios para una construcción siempre y cuando se puede proveer de materia prima, cumpliendo estándares de calidad evidenciados en normativas e instituciones encargadas de su regulación (Mercado, Superintendencia de Control del Poder de Mercado, 2017).

### **2.2 Construcciones Sostenibles**

La construcción sostenible involucra al sector social y ambiental, donde se verifica la ubicación y transporte de cada material; uso eficiente del agua, energía y atmósfera; uso eficiente de materias y recursos, calidad ambiental dentro de la vivienda y confort en el diseño. Es con este concepto que se da lugar a la creación de la certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental) en 1993. En 1998 es desarrollada con objeto de añadir “estándares de referencia para medir las estrategias de sostenibilidad aplicadas en una edificación, los ahorros e impactos asociados y reconocer el desempeño de las construcciones sostenibles”. Es cierto que en la actualidad las prácticas sostenibles se ven reflejadas en la selección de terrenos para la construcción y los materiales útiles para esta actividad, sin embargo, dentro del inmueble todavía no es notoria (Laverde, Construcción sostenible en Bogotá, de ideal normativo a estándar constructivo., 2020)

### **2.3 Contaminación por construcción**

La industria de la construcción se considera como una de las fuentes de contaminación más significativas a nivel mundial, debido a la gran variedad y cantidad de efectos negativos que emite al ambiente ya sea de forma directa o indirecta, pues abarca complicaciones en diferentes ecosistemas, provoca diferentes efectos por el tipo de obra, el tiempo de la obra y el lugar donde se realiza la obra, pues a esta actividad también se agrega la utilización de maquinaria, recursos naturales, desechos y residuos que desencadenan otro tipo de contaminación: contaminación atmosférica, contaminación por ruido, contaminación por desechos, contaminación de agua y polvo, no obstante se debe considerar a esta actividad con un impacto positivo, pues genera empleo al brindar trabajo a personas que no necesitan de experiencia (Enshassi, 2014).

## **2.4 Viviendas prefabricadas de hormigón**

Las viviendas prefabricadas de hormigón se encaminan a una tendencia al alza, gracias al arquitecto estadounidense Edward T. Potter, que a finales del siglo XIX registró su primera patente de edificio prefabricado con módulos tridimensionales a manera de cajón hechos con hormigón, desde ese momento se deduce que existen más de 1300 patentes de construcción de este tipo a nivel mundial, y cada vez esta metodología de construcción sigue siendo más aceptada. Este tipo de construcción se basa en un modelo básico tridimensional, que empieza desde la viga o pilar (estructura lineal 1D) hasta los forjados y/o paneles (estructura superficial 2D). La idea es que de la fábrica ya salga el bloque armado para que facilite su montaje, considerando el confort dentro de la vivienda, es decir, los acabados, la distribución de cada parte de la vivienda, entre otras cosas (López, 2017).

Este tipo de construcción modular consta de varios modelos: el enfoque integral donde los suelos, techos y paredes componen una única unidad y por componentes donde se usan paneles para formar el esqueleto de la vivienda. La construcción modular permite aprovechar al máximo las ventajas de prefabricar el hormigón en planta, permitiendo la creación de estructuras completas o parciales en plantas industriales que llegan a obra y cuya gestión en obra se limita básicamente al ensamblaje de estos. El montaje por cadenas permite que los trabajadores se desempeñen en la fábrica y no en la obra, mismo que permite que se especialicen de mejor manera (López, 2017).

## **2.5 Certificación energética ambiental**

Las certificaciones energéticas son el consumo responsable de energía dentro de una vivienda, donde se mantiene el confort y calidad de vida, protegiendo al medio ambiente, extendiendo la duración de reservas energéticas y fomentando costumbres positivas en la ciudadanía con respecto a la utilización de energía. Esta certificación se debe llevar a cabo tomando en cuenta la capacidad de producción, la economía positiva para el medio ambiente y la reducción de consumo energético (García R. &, 2013).

## **2.6 Sostenibilidad**

Es el desarrollo o crecimiento de un espacio o lugar donde siempre se considera la capacidad de las futuras generaciones; se garantiza un equilibrio entre el cuidado del ambiente, el crecimiento económico y el bienestar social. Por tanto, una sostenibilidad ambiental se mantendrá siempre y cuando los recursos naturales que sean explotados cumplan con las normativas y el marco legal correspondiente, implementando tecnologías limpias en diferentes ámbitos (distintos sectores económicos), sin explotar en exceso y mostrando una afectación nula o moderada para que sea manejable (Ávila, 2018).

## **2.7 Impacto Ambiental**

Es considerado impacto ambiental a toda actividad, obra o proyecto que genere alteraciones positivas, negativas, directas o indirectas, que en un periodo de tiempo de un área determinada van ocasionando daños medibles y demostrables sobre el ambiente y al nivel natural en general (COA, 2017).

## 2.8 Factores de Rendimiento

Se conoce como factores de rendimiento a aquellos materiales que influyen significativamente en la creación u obtención de algo en específico, que van a dar realce a la obra o construcción de manera cualitativa (Fajardo, 2021).

## 2.9 Matriz de Leopold

El caso de la matriz de significación y la matriz de Leopold, en este sentido, ilustra, enfoque pionero. Al establecer un modo de análisis de sistemas de información. El efecto, a partir de un conjunto de juicios de valor generados de forma sistemática, permite identificar los factores potenciales de desequilibrio y determinar sus efectos. Diversos procedimientos son evaluados y tenidos en cuenta en la etapa de gestión global de proyecto (AGUIRRE U., 2016). La aplicación de esta matriz permite ver con claridad las variables del medio y las causas y efectos de los impactos.

### 2.9.1 Elaboración de matriz de Leopold modificada

En la elaboración de una matriz de Leopold se considera las variaciones entre las acciones del proyecto y los factores ambientales receptores del impacto de la actividad. El momento de la cuantificación las interacciones presentes en cada celda son evaluadas individualmente considerando lo siguiente:

**Clase:** Indica el tipo de impacto (positiva, buena (+) o negativa, perjudicial (-)).

**Magnitud:** Indica el grado o nivel de alteración hacia el ambiente (se cuantifica con 1 la alteración mínima y con 10 la alteración máxima, con calificaciones intermedias).

**Importancia:** Es el peso relativo que el factor ambiental es afectado por el proyecto, obra o actividad (si el valor es 1 es insignificante y si es 10 presenta máxima significación) (Mendoza y otros, 2021).

### 2.9.2 ISO 14040

La normativa ISO 14040 busca generar conciencia en tema de protección ambiental y los impactos que se asocian en productos fabricados y consumidos. El ACV (análisis del ciclo de vida) es la técnica que se desarrolla para ayudar en la identificación de oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de los productos, la selección de los indicadores pertinentes del comportamiento medioambiental, la implementación de un sistema de etiquetado ecológico y el diseño o rediseño de productos o procesos. La normativa explica la realización del ACV, en referencia al ciclo de vida de un material, es decir desde la materia prima hasta su disposición final (14040, 2014)

El ACV es una de las varias técnicas de gestión del ambiente que se maneja mediante etapas, facilitan su implementación, según como indica la Normativa ISO 14040 (14040, 2014):

#### 1. Definición del objetivo y el campo de aplicación

Se define el tema de estudio, incluyendo el porqué del trabajo. Se establece la unidad funcional (función principal del sistema analizado) y se limita el sistema a determinar que se van a incluir en el ACV.

## **2. Inventario de Ciclo de Vida (ICV)**

Se abarca la obtención de datos, es decir la identificación, recopilación y cuantificación de las entradas y salidas medioambientales asociados al sistema que se está estudiando.

La idea principal es la recolección de datos necesarios para cumplir los objetivos del estudio.

## **3. Evaluación de impactos ambientales del ciclo de vida**

En esta fase se busca proporcionar información adicional que ayude a evaluar los resultados del ICV y poder comprender de mejor manera su significado ambiental.

## **4. Interpretación**

Es dar a conocer las conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos tanto en el inventario como en la evaluación de impactos, en relación con el objetivo y alcance de estudio.

### **2.10 Metodología verde**

La metodología VERDE expresa la valoración de criterios e impactos que para Ecuador son desarrollados por VERDE (GBCE). Para su análisis se utiliza una serie de criterios que se agrupan y relacionan para obtener su análisis final, estos criterios son (VERNE NE, 2013):

- 1. Criterios VERDE (GBCE).** - Permite caracterizar el edificio según diferentes aspectos. Asocia cada criterio con uno o más impactos e indica un valor numérico y su unidad de medida (VERNE NE, 2013).
- 2. Categoría de impacto.** – Parte de la evaluación de indicadores ambientales o constructivos, que permiten calcular la reducción de impactos de la mano de un método prestacional (VERNE NE, 2013).
- 3. Modelo de evaluación.** – Este modelo cuenta con criterios evaluados a partir de medidas reductoras de impactos. Esta parte de la evaluación requiere definir una escala entre rendimiento y puntuación. Los criterios se basan en las estrategias de diseño (ACV, consumo de energía, agua potable, entre otros) y sus factores de rendimiento (Materiales, características del suelo, temperatura, entre otros) (VERNE NE, 2013).
- 4. Sistema de Puntuación.** – Los valores dimensionales se convierten en una puntuación final sobre el rendimiento global del edificio (VERNE NE, 2013).
- 5. Niveles de certificación ambiental del edificio.** – Permite diferenciar cada uno de los proyectos con el fin de evaluar el impacto ambiental presente, con 6 niveles de certificación (VERNE NE, 2013).

La presencia de esta metodología VERDE para Ecuador es necesario se aplique, pues es notorio que el país muestra un aumento en su consumo energético, por eso se busca fortalecer el stock energético de sus fuentes renovables. La mala planificación energética presenta grandes pérdidas económicas de sus recursos. Entonces como una propuesta de salida a toda esta mala planificación se presenta la evaluación de la eficiencia energética de edificación por medio de certificaciones energéticas, con metodologías que van de la mano con el ACV (análisis del ciclo de vida) y la evaluación de la reducción de impactos. Para esta valoración

Ecuador añadió la valoración sismo resistente, por su ubicación geográfica, pues el territorio es catalogado de alto riesgo sísmico (Herrera & Uzcátegui, 2018) .

## **2.11 Materiales de construcción**

Los prefabricados facilitan la capacidad de acopio, es decir, no existen interrupciones de paralización ya sea por cuestiones climáticas, legales o servicios básicos. Su instalación es de bajo tiempo y alto grado de cumplimiento del presupuesto de la obra (UCEM). El prefabricado es la unión de los materiales detallados a continuación:

### **2.11.1 Cemento**

(Crespo, 2013) explica que el cemento es un polvo que nace a partir de la mezcla de caliza, arcilla y yeso dihidratado ( $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ). La mezcla entre la arcilla y la caliza toma el nombre de Clinker.

Para dar lugar a este material es necesario seguir una serie de pasos:

- Extracción de las materias primas (caliza, arcilla y yeso dihidratado)
- Trituración y machaco
- Dosificación: Cantidades adecuadas para cada material
- Primera mezcla entra la arcilla y la caliza
- Eliminación de la humedad en la mezcla anterior
- Cocción de la mezcla de arcilla y caliza
- Enfriamiento a temperatura ambiente para obtener el Clinker
- Molienda de la mezcla mencionada
- Almacenamiento en depósitos con condiciones adecuadas de humedad y temperatura.

El cemento debe mostrar distintas características esenciales para su buena aplicación (Crespo, 2013):

- Fraguado rápido y endurecimiento lento
- Capacidad para adherirse sin problema con piedras, acero y cerámica
- Resistente a la humedad
- Al ser mezclado con el agua, este debe expandirse y retraerse después.
- Ser deformable a la humedad y sequedad.

#### **2.11.1.1 Yeso**

Es una de las principales rocas sedimentaria presentes en la Tierra.

Es de origen químico, abundante en la naturaleza, y se crea a partir de la cristalización del sulfato cálcico hidratado con dos moléculas de agua ( $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ). Es algo soluble en agua y blando. Este material por lo general se aplica para la obtención de yesos blancos y negros de revestir, piezas prefabricadas y moldes, e incluso se puede aplicar en la formación de tabiques, pavimentados y demás elementos de colocación (Crespo, 2013).

### **2.11.2 Caliza**

No tiene colores característicos, es muy variada. Se forman a base de carbonato de calcio mezclado con arcilla, sílice, carbón, etc. Junto con el granito es la sustancia más usada para la construcción de viviendas o edificaciones. (Crespo, 2013)

### **2.11.3 Arcilla**

Forma parte de las rocas sedimentarias que según su procedencia forma parte del grupo de las rocas detríticas, es decir que se formaron a raíz de la mezcla de otros componentes naturales que fueron transportados o depositados en dicho lugar, en este caso la arcilla no sufrió un proceso de consolidación de rocas, lo que permite que sea resistente al agua y forme parte del grupo de la grava (Crespo, 2013).

### **2.11.4 Grava**

La grava es una roca sedimentaria que forma parte del grupo de las rocas detríticas que al momento de ser transportadas no sufrieron ninguna consolidación, es decir son rocas sueltas (Crespo, 2013).

### **2.11.5 Arena**

Su tamaño de partícula no sobrepasa de 5mm. La arena procede de la desintegración natural o trituración de rocas (Martínez, 2013).

### **2.11.6 Agua**

En construcción es agua se utiliza para trabajar con el hormigón, pues este material facilita el fraguado y endurecimiento del hormigón al momento de formar la pasta y poder formar los moldes (Martínez, 2013).

### **2.11.7 Hormigón**

Se conoce como una piedra artificial que se forma con la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y eventualmente aditivos.

Es el material más importante en una construcción de la actualidad, especialmente en edificaciones modernas, se utiliza porque es capaz de amoldarse y adoptar la forma estructural que se desee (Medina, 2018).

### **2.11.8 Acero**

Es la unión del hierro con el carbono. Para la construcción de viviendas es un material resistente, elástico, no se rompe y soportar grandes deformaciones, se usa porque es fácil de unir (Crespo, 2013).

Procedente de una aleación de hierro con carbono, el acero puede derivarse del "proceso de generación" conocido como hierro y acero. Este sistema, ideado por el hombre hace muchos

años, se basa en la transformación del mineral de hierro y consta de varias etapas antes de que se solidifique. Todos estos procesos comienzan en el proceso de minería y tienen lugar en las fábricas, donde se utiliza maquinaria extremadamente pesada y temperaturas de hasta 2000°C para moldear el acero según sea necesario. Una vez que se produce una aleación de hierro con carbono, el hierro se funde con combustible para fundición; iniciando la remoción de varios elementos, entre ellos: fósforo y azufre. El hierro puro se fabrica y luego se usa como combustible para fundir hierro, y el carbón se usa para hacer coque y se muele y se usa en altos hornos (Alambres y Refuerzos DAC, 2018).

## **2.12 Varillas**

Son corrugadas y lisas, de diferentes tamaños. Su composición está hecha de hierro y se usan en el interior de las columnas de las viviendas, mismas que serán cubiertas por el cemento (Jaramillo B, 2019)

## **2.13 Mallas electrosoldadas**

Está formada por la disposición de alambres o barras corrugadas, transversal y longitudinalmente, que se cruzan perpendicularmente y se unen mediante una soldadura, están creadas para que no se mezclen entre sí (Jaramillo B, 2019).

## **2.14 Molde**

Son fabricados de acuerdo con la medida que se requiera según necesidad o diseño. En el catálogo general de moldes de Moldtech explica que la empresa fabrica diferentes tipos de moldes para hormigón armado, mostrando moldes para columnas, moldes simples, molde batería vertical y panel interior, entre otros (Moldtech, 2021).

## **CAPÍTULO III. METODOLOGIA.**

El presente trabajo de investigación se realizó con el respaldo del proyecto de investigación de la Universidad Nacional de Chimborazo denominado “Habitabilidad Sustentable para viviendas prefabricadas de hormigón en zonas Andinas”.

### **3.1 Diseño de la metodología**

Para el desarrollo de la investigación se explica una lista de los 5 materiales de construcción que utiliza la UCEM para construir una vivienda prefabricada de hormigón, esta investigación se dará de la mano de un Análisis del Ciclo de Vida (ACV), de acuerdo con la metodología propuesta por la normativa ISO 14040 y cada una de sus etapas. La idea principal de este trabajo de investigación es demostrar que la construcción de prefabricados es mucho más sostenible y buena para el ambiente, pues su tecnología verde desde su construcción hasta su ocupación muestra diferentes criterios útiles para evitar el desperdicio de los recursos.

En este punto cabe recalcar que los impactos ambientales para este estudio se dan en base a los criterios de una matriz de evaluación ambiental y serán tomados en cuenta por ser los más tradicionales en un análisis de ciclo de vida (ACV).

A partir de entender el porqué de cada material como factor de rendimiento se realiza la valoración e identificación de los impactos según las actividades desarrolladas en cada paso para la obtención de un panel prefabricado de hormigón. Esta valoración se hace posible gracias a la ayuda de expertos panelistas y la realización de matrices de valoración, en este caso una matriz de Leopold modificada.

La selección de cada acción y factor son pensadas en el paso a paso de cada material, con la visión de entender la valoración cualitativa de los impactos para cada material, pues esta implementación de la metodología del ACV y la matriz de Leopold son eficientes en este tipo de circunstancias.

### **3.2 Recolección de datos**

Se toma como punto de partida la producción y comercialización de prefabricados de hormigón que la UCEM (Unión Cementera Nacional) S.A., utiliza en esta forma de construcción, EQUIFORMAS. Esta empresa después de realizar la debida caracterización de qué materiales son necesarios para los prefabricados, publicó un documento con la información, logrando la recolección de los datos necesarios para el desarrollo de esta investigación. Es decir, se logró conocer cuáles son los materiales no estandarizados que la empresa utiliza para realizar sus prefabricados de hormigón.

### **3.3 Métodos de análisis**

Todo el análisis que será detallado en esta investigación está basado en la metodología del ACV, misma que incluye el estudio de los impactos ambientales relacionados a la vida del producto, es decir, desde su obtención (materia prima), fabricación, distribución, uso y fin de su vida útil.

- Los datos obtenidos serán tabulados y representados según un diagrama de flujo con el fin de representar las entradas, fronteras del sistema y salidas del producto o subproducto.
- Para evaluar el impacto ambiental de los materiales de construcción para viviendas prefabricadas de hormigón en zonas andinas, se utilizó la matriz de categorías de impacto ambiental denominada matriz de Leopold.
- Los datos tabulados serán representados según la cantidad de material utilizado para indicar las unidades de para los impactos ambientales.
- La veracidad de este trabajo de investigación será por parte de la metodología Delphi, por tal razón se buscó 3 profesionales expertos en temas ambientales y de construcción, con el fin de que los datos encontrados sean analizados por ellos.

### **3.4 Hipótesis**

Se quiere comprobar que la construcción con prefabricados de hormigón es mucho más eficiente energética y ambientalmente que la construcción tradicional. Puesto que en los últimos años se ha visto un incremento considerable en el consumo de energía, que para el año 2030 tendrá un aumento del 2.5% por año en países emergentes (IEO, 2014)

### **3.5 Muestra**

Este proyecto de investigación se asentará en la zona céntrica del Ecuador, es decir para la zona andina, más específicamente en la provincia de Chimborazo. La zona es tomada en cuenta porque se requiere encontrar la información adecuada para cada material de construcción de los prefabricados de hormigón y conocer qué impacto genera según el lugar de donde son transportados los diferentes materiales de construcción necesarios en la construcción de los prefabricados de la UCEM.

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Desde la recopilación de datos, el presente capítulo muestra la información levantada de manera bibliográfica, misma que hace posible el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo de investigación.

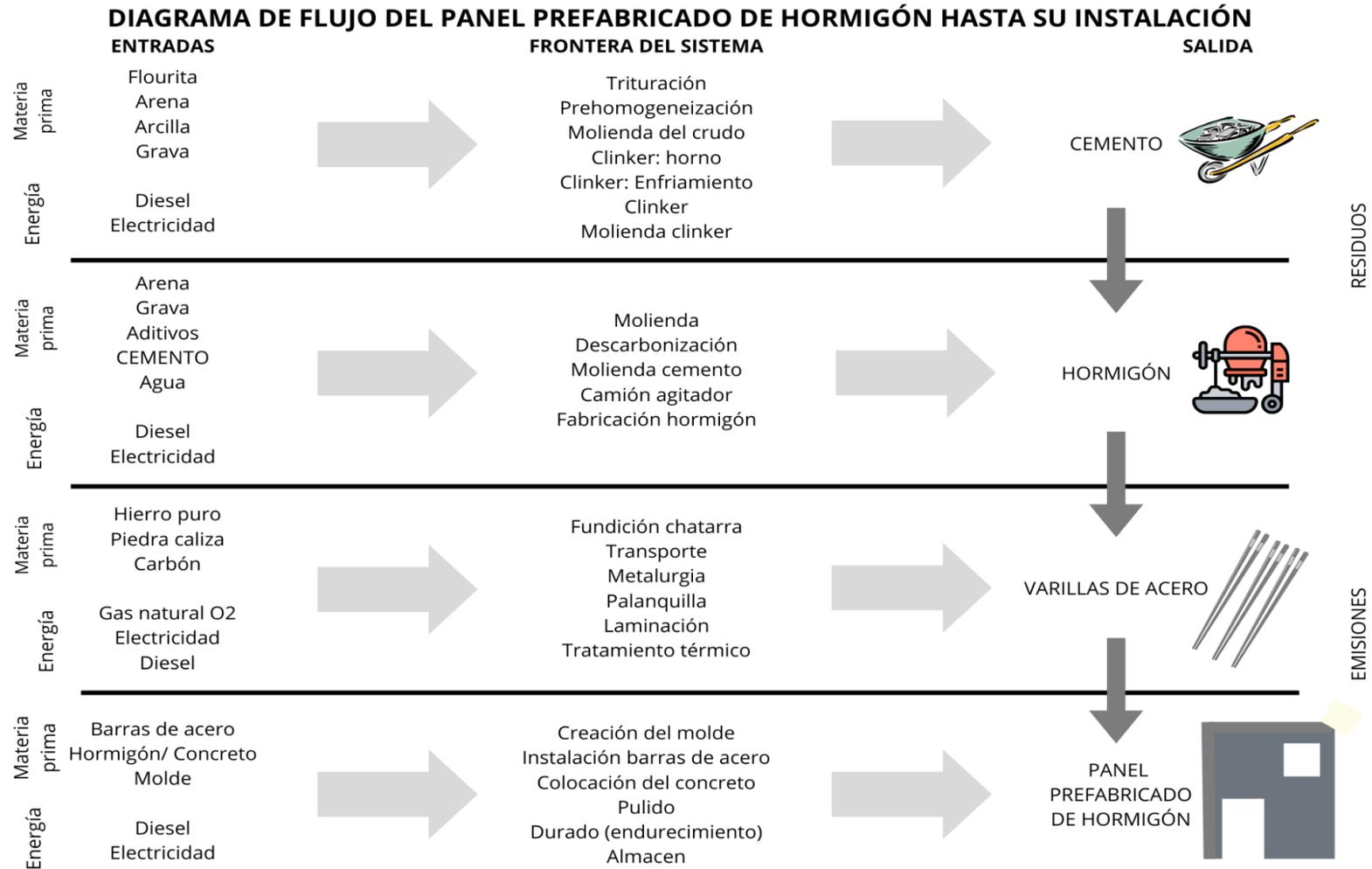
El levantamiento de información fue posible gracias a la revisión bibliográfica del catálogo de EQUIFORMAS facilitado por la UCEM, donde se detalla los materiales que esta empresa necesita para la conformación del panel prefabricado de hormigón. Adicionalmente se obtuvo el registro de la entrevista realizada al señor Manual Román, gerente de la Empresa Pública Cementera del Ecuador (EPCE) con la finalidad de conocer parte de la historia de la empresa cementera que hace posible este trabajo de investigación para la veracidad de este.

Es más, en los diagramas de flujo que se muestran a continuación se notará el proceso de obtención y formación de cada material de construcción útil para la creación un panel prefabricado de hormigón, cada proceso se detalla con sus respectivos recursos y actividades dispensables para optimar la creación del panel de hormigón.

Un prefabricado es el conjunto de varios materiales de construcción que presentan una serie de procesos de los subproductos necesarios para obtención del panel prefabricado. Como se menciona estos subproductos mantienen una serie de procesos en su fabricación. Se establece las entradas, la frontera del sistema y salidas conforme los subproductos presentes, con el fin de observar la secuencia de actividades en la fabricación de un panel de hormigón. Estas entradas, salidas y fronteras detallan el comienzo de la actividad; para cada subproducto es necesario conocer su materia prima y energía, el proceso que se cumple con dicho material y por último se muestra el resultado (subproducto principal), las emisiones y residuos que como toda actividad emerge. A continuación, en la Figura 1 se precisa el diagrama de flujo que da seguimiento a dicha mención.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo de un panel prefabricado de hormigón*



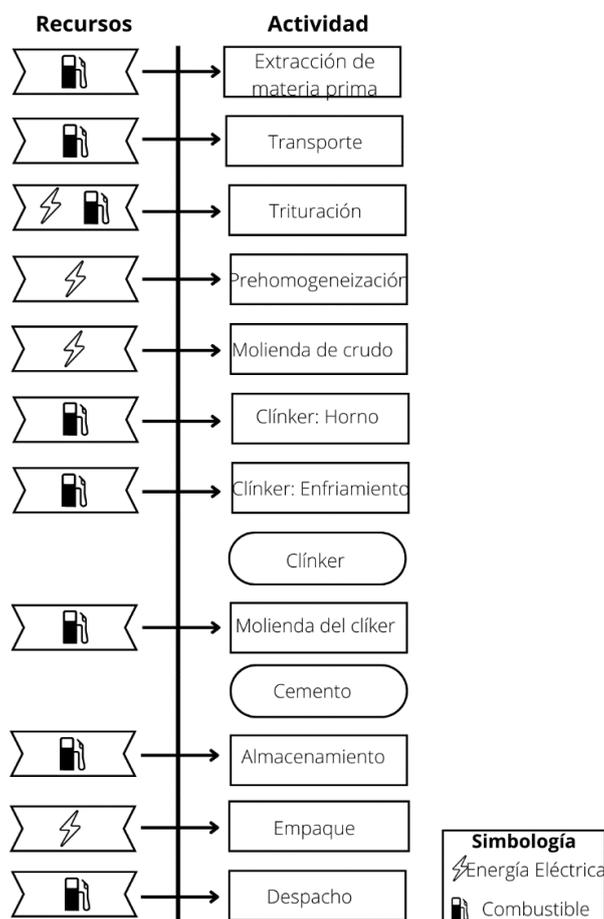
En secuencia del diagrama presentado en la Figura 1 se procede a analizar cada uno de los subproductos, el cemento, el hormigón y el acero que son las principales salidas presentes en la figura; materiales que dan lugar a la obtención del panel prefabricado de hormigón.

## 4.1 Cemento

El cemento al ser el material más utilizado para una construcción es el primero que se detallará, es así como en la Figura 2 se nota los pasos necesarios para su obtención (materia prima que es extraída de canteras, que son espacios idóneos donde dichos materiales se necesitan), acompañado de los recursos necesarios para cada proceso, en este caso del combustible (Diesel) y energía eléctrica.

**Figura 2**

*Diagrama de flujo del cemento*



## 4.2 Acero

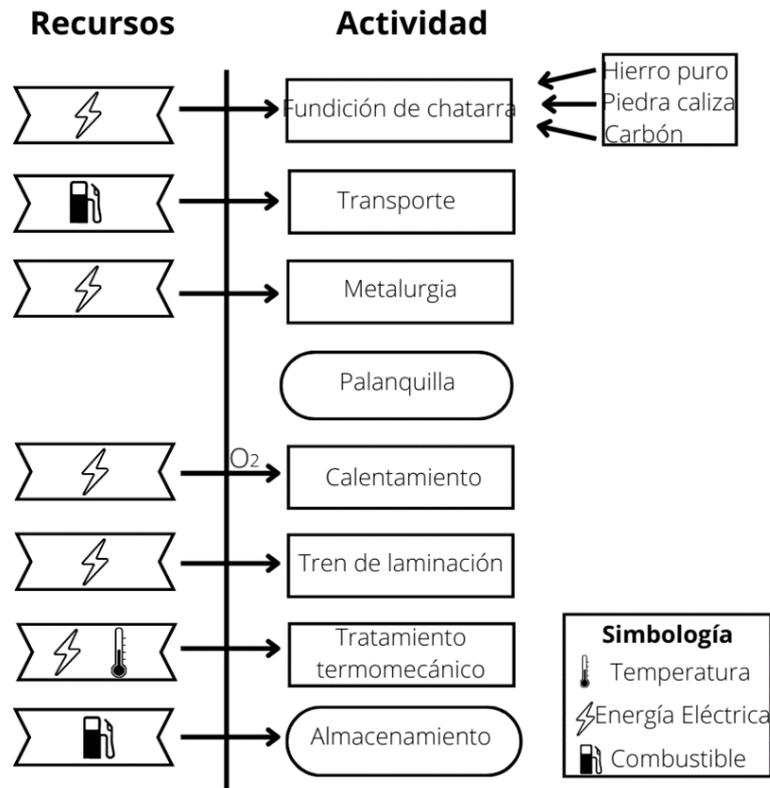
Material utilizado para los moldes del panel prefabricado y las juntas que la vivienda necesita. Tal como se observa en la Figura 3 los recursos útiles para el proceso de obtención de acero son el combustible, la energía eléctrica y la temperatura, gracias a estos recursos es posible que el acero cumpla ciertos procesos en su transformación, procesos que benefician en la metamorfosis del acero al producto final que se necesita en la fabricación de los moldes

de hormigón prefabricado. En esta transformación se presenta el horneado, calcinado, laminado, entre otros.

Parte de la separación de la taconita, roca férrica que dentro tiene el mineral del hierro en bruto y que se obtiene al triturar la roca y es separada por imanes. Así se obtiene su materia prima. A partir de esto se empieza con su proceso partiendo de la fundición de chatarra y transportando el hierro puro, la piedra caliza y el carbón.

**Figura 3**

*Diagrama de flujo del acero*

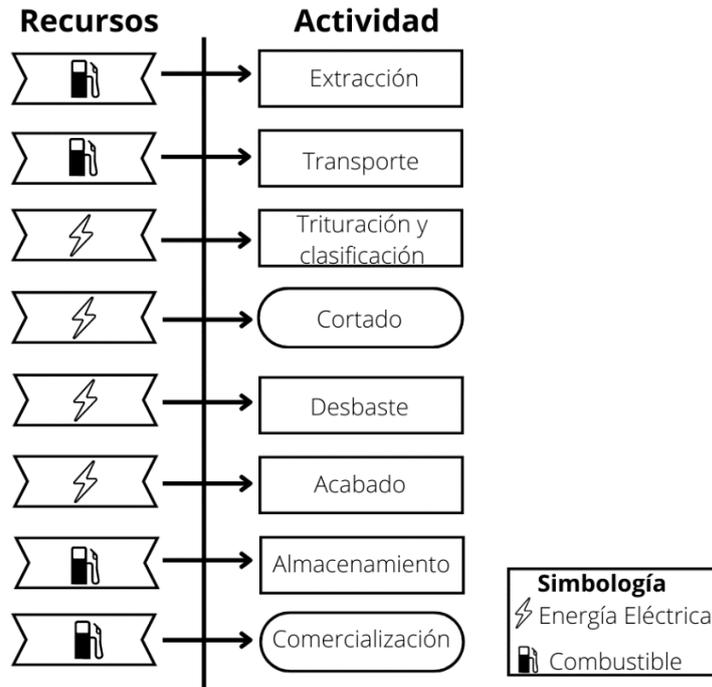


### 4.3 Grava

Se usa de materia prima en la fabricación del hormigón. Su obtención es de forma más directa y necesita de un proceso de elaboración no tan riguroso pero indispensable para cumplir con el hormigón deseado en la vivienda prefabricada. Cada actividad requiere de uno o dos recursos para su correcta aplicación, tal como se observa en la Figura 4, que indica paso a paso la obtención de la grava a ser idóneo.

**Figura 4**

*Diagrama de flujo de la grava*

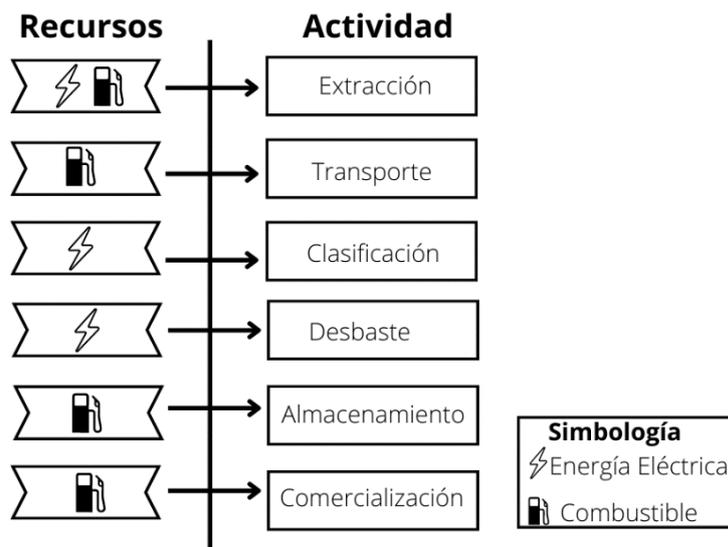


#### 4.4 Arena

Igual que la grava, la arena es usada como materia prima para la fabricación del hormigón y del cemento. En la Figura 5 se puede ver que las actividades varían al material anterior, puesto que al poseer distintas características de peso y tamaño requiere otro trato.

**Figura 5**

*Diagrama de flujo de la arena*

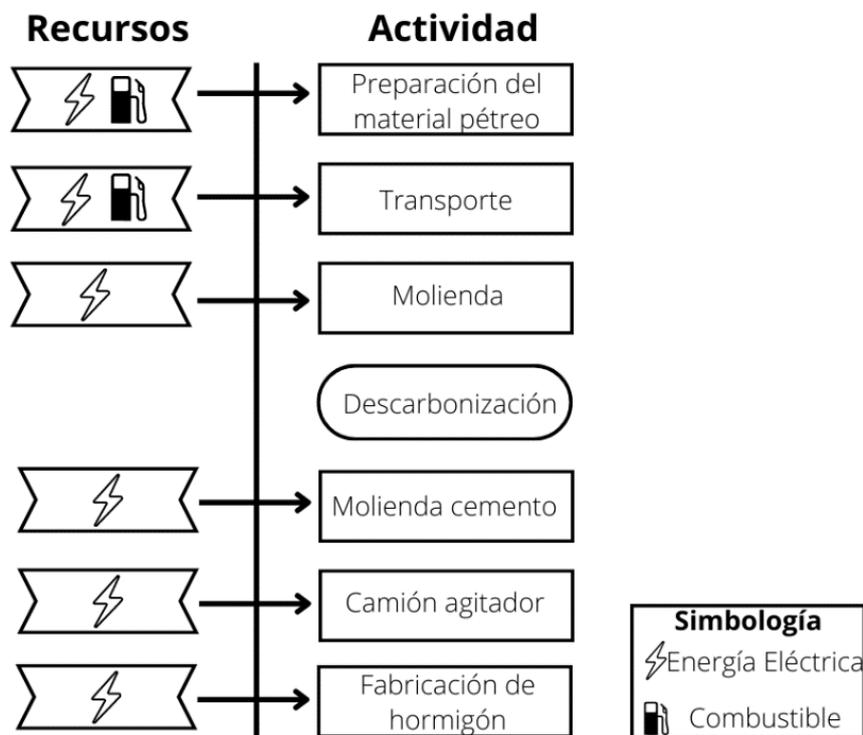


## 4.5 Hormigón

El último, pero el más importante, el proceso de obtención del hormigón. Este material es la base del panel prefabricado, por sus características y usos infinitos en su fabricación. La recopilación de actividades de los materiales detallados con anterioridad, sus recursos (combustible y energía eléctrica) hacen posible cada paso de obtención visibles en la Figura 6. Este material se da a cabo gracias a la presencia del cemento ya creado, junto a la arena, la grava, los aditivos y el agua que conforme a su dosificación y mezclado es posible crear el hormigón.

**Figura 6**

*Diagrama de flujo del hormigón*



En suma, el primer objetivo se cumple con la recopilación de datos de cada material de construcción, es decir se detalla con prudencia cada una de las actividades que hacen posible su obtención. Esta información es requerida en la continuidad del presente trabajo de investigación, pues el desarrollo del segundo objetivo viene de la mano de cada diagrama de flujo detallado al inicio de este capítulo, incluyendo la Figura 1, diagrama más detallado.

En secuencia con la metodología, en esta parte del capítulo se detalla el segundo objetivo, donde se busca determinar el impacto ambiental de los materiales de construcción con ayuda el ACV.

El ACV (Análisis del ciclo de vida) cumple los requerimientos de la ISO 14040 al describir de manera cuanti y cualitativa para un mejor entendimiento y verificación de los impactos. Con su análisis ayuda a contemplar un mejor fin de las tareas que se realizan en la obtención de un panel prefabricado de hormigón.

#### **4.5.1 Análisis del ciclo de vida**

Dicho análisis permite que la obtención de información hallada y descrita facilite examinar cada material de construcción, desde su materia prima hasta su disposición final (panel prefabricado de hormigón para la vivienda). Los diagramas de flujo anteriores posibilitan un análisis minucioso para identificar los impactos ambientales según las cantidades de material necesario y así culminar esta investigación.

#### **4.5.2 Objetivo y alcance del ACV**

El presente análisis de ciclo de vida busca determinar el impacto ambiental de los materiales de construcción para viviendas prefabricadas de hormigón en zonas andinas creando una investigación real, de la mano de fuentes confiables para la adquisición de información y progreso de este.

Dentro de la metodología del ACV, cada material de construcción es presentado paso a paso hasta la obtención de este, para conocer sus distintas afectaciones cualitativas y cuantitativas en el proceso de creación de un prefabricado. Proceso final al que en esta investigación se desea llegar, pues luego de la obtención de los paneles, éstos son despachados al lugar de equipamiento que el usuario especifique.

#### **4.5.3 Inventario del ciclo de vida (análisis)**

Con ayuda del catálogo de EQUIFORMAS de la UCEM, los datos recopilados hicieron posible evidenciar los procesos idóneos de producción de paneles prefabricados de hormigón. Tras recolectar datos cualitativos y cuantitativos de ayuda de expertos, es posible precisar su procedimiento y explicar las etapas necesarias para un prefabricado tipo cajón.

#### **4.5.4 Etapa de extracción**

Esta etapa es aquella actividad donde de manera directa el ambiente proporciona esta materia prima, es decir hay una visita in situ a canteras específicas, que hacen posible su extracción y que en ocasiones se usa para un bien social o económico.

Paso a paso en los diagramas de flujo se explicó el ciclo de vida de cada material. Es entonces cuando se afirma que se necesitó del cemento, grava y arena para la fabricación del hormigón, el cual permite que sobresalga la homogeneización de cada material con el fin de obtener un hormigón resistente, ideal para las viviendas según su tipo (unifamiliar, entre otras).

La fabricación del cemento y el hormigón se hacen posible con el uso de la materia prima (grava, arena y arcilla), que en su mayoría son extraídas directamente de canteras (espacios con agujeros en el suelo), han sido cuantificados según los datos de proporcionados por la empresa cementera. Hay que recalcar que el componente explícito en la creación del cemento es el Clinker (componente que ayuda a mejorar la calidad del cemento), proceso representado en la Tabla 1:

#### ***Tabla 1***

*Cantidad de materia prima para la obtención de cemento*

| <b>Materia prima</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> | <b>Porcentaje</b> |
|----------------------|-----------------|---------------|-------------------|
| <b>Caliza</b>        | 650             | Kilogramos    | 65%               |
| <b>Arcilla</b>       | 300             | Kilogramos    | 30%               |
| <b>Fluorita</b>      | 25              | Kilogramos    | 2.5%              |
| <b>Arena ferrosa</b> | 25              | Kilogramos    | 2.5%              |

Los valores observados en la Tabla 1 muestran las cantidades de material que se utiliza para la formación de 1m<sup>3</sup> de cemento estandarizado. Hay que recalcar que los valores proporcionados pueden variar dependiendo de las condiciones en que el material sea entregado.

La materia prima, los movimientos de tierras in situ y trabajos de carga son posible con ayuda de maquinarias; entre las más comunes se consideran a las miniexcavadoras y excavadoras. Su motor al trabajar a Diesel muestra potencias que oscilan de 10 a 40 kW, promediando un consumo de combustible entre los 30 y 40 Litros/h (GEASUR, 2013). Según el Análisis del Ciclo de Vida para camiones que trabajan a Diesel su consumo específico va de un rango 0.8 – 2.2 (MJ/km/ton).

### **Tabla 2**

#### *Cantidad de materia prima para la obtención de hormigón*

| <b>Materia prima</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> | <b>Porcentaje</b> |
|----------------------|-----------------|---------------|-------------------|
| <b>Arena</b>         | 1167            | Kilogramos    | 49.88%            |
| <b>Agregados</b>     | 800             | Kilogramos    | 34.19%            |
| <b>Cemento</b>       | 250             | Kilogramos    | 10.69%            |
| <b>Aditivo</b>       | 2.65            | Kilogramos    | 0.11%             |
| <b>Agua</b>          | 120             | Litros        | 5.13%             |
|                      |                 | <b>Total</b>  | <b>100%</b>       |

La aleación de los materiales que se pueden observar en la Tabla 2 con sus valores aproximados respectivamente, muestran las cantidades que hacen posible la fabricación de 1 m<sup>3</sup> de hormigón, esto con la finalidad de garantizar la resistencia del hormigón prefabricado y evidenciar la creación de los paneles de hormigón. Tomando en cuenta que el aditivo debe ayudar a reducir la cantidad de agua y el cemento a utilizar debe ser de alta resistencia.

#### **4.5.5 Etapa de transporte**

La etapa de transporte para el presente documento de investigación es de suma importancia, pues la razón de este análisis es para considerar las actividades necesarias para la extracción de las materias primas y la energía (CO<sub>2</sub>) emitida al ambiente del producto final hasta su traslado al punto donde se instalarán los paneles.

En contexto para esta investigación se toman valores de forma estándar, ya que el consumo de Diesel y las emisiones de CO<sub>2</sub> según la volqueta que transporta la materia prima será

variado por las condiciones de la ruta, el aire, el modo de construcción y demás variables. Es por esto que para volquetas que soportan material de  $8\text{m}^3$  a  $16\text{m}^3$  el consumo de Diesel es de 0.3 a 0.4 litros por km recorrido en materia prima. En la fabricación de una vivienda construida en bloques es indispensable el uso de camiones de carga, estos se encargan del traslado de los paneles prefabricados de hormigón, los mismos que denotan un consumo de 0.25 litros de Diesel por km recorrido. (Bóquez & Ramis, 2017) estiman una producción media de  $2.5\text{Kg}$  de  $\text{CO}_2$  / litro de combustible quemado.

#### **4.5.6 Etapa de Transformación**

El proceso de fabricación de los paneles de hormigón consta de varias etapas, esta etapa dignifica el proceso de la obtención de la materia prima hasta el producto final (paneles de hormigón armado). Se recalca los procesos físicos y químicos que hay en cada maquinaria utilizada en la explotación y extracción de los materiales de construcción, así como también la molienda de la materia prima y demás procesos.

Según se requiere, para determinar el impacto ambiental de los materiales de construcción presentados en este trabajo de investigación se debe describir la metodología de un ACV, mismo que fue detallado en la metodología. Por esta razón en continuidad con el material investigativo para evaluar este impacto se requiere de la realización de una matriz de Leopold conforme a los materiales principales en la construcción de paneles prefabricados de hormigón. Matriz que representa de manera cuantitativa el impacto ambiental. Estos valores numéricos denotan las acciones del proyecto y las alteraciones de los factores del medio, según su importancia y magnitud.

Tabla 3

Matriz de Leopold del cemento

MATRIZ DE LEOPOLD APLICADA A: CEMENTO

| Acciones del proyecto |           |                | ASENTAMIENTO          |                    |                      | OBTENCIÓN M.P      |                   |                 | TRANSFORMACIÓN |                     |         | PROMEDIO POSITIVO | PROMEDIO NEGATIVO | IMPACTO SUBCOMPONENTE | IMPACTO COMPONENTE | IMPACTO TOTAL DEL PROYECTO |         |
|-----------------------|-----------|----------------|-----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-----------------|----------------|---------------------|---------|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|---------|
|                       |           |                | ELIMINACIÓN COBERTURA | REMOSIÓN DEL SUELO | ASENTAMIENTO EQUIPOS | EXTRACCIÓN IN SITU | EXTRACCIÓN CALIZA | TRANSPORTE M.P. | TRITURACIÓN    | PRE HOMOGENEIZACIÓN | CLINKER |                   |                   |                       |                    |                            | EMPAQUE |
| FISICO                | AIRE      | CALIDAD        | -9<br>1               | -8<br>2            | -8<br>2              | -8<br>1            | -8<br>1           | -9<br>1         | -7<br>1        | -8<br>3             | -9<br>4 | -8<br>1           | 10                | -141                  | -313               | -532                       |         |
|                       | SUELO     | EROSIÓN        | -9<br>1               | -9<br>5            | -8<br>3              | -9<br>3            | -9<br>3           | -5<br>1         |                |                     |         |                   | 6                 | -137                  |                    |                            |         |
|                       | AGUA      | TURBIDEZ       |                       |                    |                      |                    |                   |                 | -7<br>5        |                     |         |                   | 1                 | -35                   |                    |                            |         |
| BIOLOGICO             | FLORA     | HABITAT        | -7<br>3               | -7<br>3            | -7<br>3              | -8<br>3            | -8<br>3           | -7<br>3         | -7<br>3        |                     |         |                   | 7                 | -153                  | -234               |                            |         |
|                       | FAUNA     | HABITAT        | -9<br>1               | -8<br>3            | -8<br>1              | -8<br>3            | -8<br>2           | -2<br>3         | 4<br>3         | -1<br>3             | -1<br>3 |                   | 1                 | 8                     |                    |                            | -81     |
| SOCIOECONOMICO        | POBLACIÓN | MIGRACIÓN      | -2<br>2               |                    |                      |                    |                   |                 |                |                     |         |                   |                   | 1                     | -4                 |                            |         |
|                       | ECONOMÍA  | EMPLEO         | 1<br>1                | 3<br>1             | 5<br>1               | 5<br>1             | 5<br>1            | 5<br>3          | 5<br>2         | 5<br>2              | 5<br>2  |                   | 9                 | 64                    | 15                 |                            |         |
|                       | CULTURA   | ESTILO DE VIDA |                       |                    | -3<br>2              | -2<br>5            | -5<br>5           | -2<br>5         | -2<br>2        |                     |         |                   |                   | 4                     | -45                |                            |         |
| PROMEDIO POSITIVO     |           |                | 1                     | 1                  | 1                    | 1                  | 1                 | 1               | 2              | 1                   | 1       | 10                |                   |                       |                    |                            |         |
| PROMEDIO NEGATIVO     |           |                | 5                     | 4                  | 5                    | 5                  | 5                 | 5               | 3              | 2                   | 2       | 1                 | 37                |                       |                    |                            |         |
| PROMEDIO ARITMÉTICO   |           |                | -33                   | -103               | -64                  | -88                | -95               | -30             | -41            | -17                 | -29     | -8                |                   |                       | -532               |                            |         |

Al tratarse del cemento es importante considerar las acciones que se llevan a cabo en su elaboración, así como también los factores ambientales que principalmente se ven afectados por este material de construcción, material más importante en la construcción de distintos prefabricados que utilizan hormigón. Con respecto al análisis que se brindó para cada una de las actividades descritas en la tabla 3, se detalla que en el factor ambiental físico que más altera al ambiente es la calidad del aire, donde se conoce que los procesos principales en este caso son la eliminación de cobertura vegetal, el transporte de la materia prima (MP) y la obtención del Clinker. Existe un patrón común en cada proceso, y es que las tres actividades son indispensables ya que son la base de la obtención, al ser las actividades que de manera continua se están desarrollando para la obtención de la materia prima del cemento. En consecuencia, también se ve afectado el factor biológico, con mayor proporción en la parte de la flora, pues el espacio donde se ubica la materia prima por lo general es en lugares con vegetación abundante, razón por la que se modifica el suelo (erosión) del lugar. Lo positivo de que una empresa genere este tipo de actividades es que en el componente socioeconómico se ayuda al sector, así como también a los transportistas y empleados de la construcción.

El segundo material analizado con la matriz de Leopold viene a ser el acero, los componentes principales para su obtención es la extracción del hierro (mineral) y el carbón. De esta manera, la afectación más notoria que se da en el factor suelo es al momento de eliminar la cobertura vegetal para una extracción in situ. El componente físico en la parte del agua también hay que recalcar por su turbidez, es baja a comparación de otros componentes, pero indispensable dar a conocer por su contaminación directa al momento de verter el agua sin ningún tratamiento. Una afección directa del componente biológico se muestra que tanto la fauna como la flora se ven afectadas de manera equitativa, genera pérdida de vegetación en el lugar y obliga a que los animales de la zona busquen un hogar adecuado, fuera de amenazas. Y con respecto al componente socioeconómico según se puede observar en la matriz de la tabla 4 se puede decir que es bueno en su totalidad, pues con cada actividad su rendimiento y empleo aumentan conforme se nota que una empresa necesita de personal.

Tabla 4

Matriz de Leopold del acero

MATRIZ DE LEOPOLD APLICADA A: ACERO

| Acciones del proyecto |           |                | ASENTAMIENTO                  |                    |                       | OBTENCION M.P      |               |                | TRANSFORMACIÓN |             |           |          |          | PROMEDIO POSITIVO | PROMEDIO NEGATIVO | IMPACTO SUBCOMPONENTE | IMPACTO COMPONENTE | IMPACTO TOTAL DEL PROYECTO |
|-----------------------|-----------|----------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|---------------|----------------|----------------|-------------|-----------|----------|----------|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|
|                       |           |                | ELIMINACION COBERTURA VEGETAL | REMOSION DEL SUELO | ASENTAMIENTOS EQUIPOS | EXTRACCION IN SITU | EXTRACCION MP | TRANSPORTE M.P | HORNEADO       | DESILICIADO | CALCINADO | MEZCLADO | LAMINADO |                   |                   |                       |                    |                            |
| Factores ambientales  |           |                |                               |                    |                       |                    |               |                |                |             |           |          |          |                   |                   |                       |                    |                            |
| FISICO                | AIRE      | CALIDAD        | -6<br>2                       | -5<br>1            | -2<br>1               | -5<br>4            | -5<br>4       | -2<br>1        | -2<br>1        | -5<br>2     | -2<br>2   |          |          |                   | 9                 | -77                   | -207               | -218                       |
|                       | SUELO     | EROSIÓN        | -7<br>4                       | -7<br>4            | -3<br>1               | -6<br>4            | -5<br>3       | -5<br>4        |                |             |           |          |          |                   | 6                 | -118                  |                    |                            |
|                       | AGUA      | TURBIDEZ       |                               |                    |                       |                    |               |                |                |             |           | -2<br>1  | -5<br>2  |                   | 2                 | -12                   |                    |                            |
| BIOLOGICO             | FLORA     | HABITAT        | -5<br>2                       | -5<br>2            | -5<br>2               |                    |               |                |                |             |           |          |          |                   | 3                 | -30                   | -60                |                            |
|                       | FAUNA     | HABITAT        | -5<br>2                       | -5<br>2            | -5<br>2               |                    |               |                |                |             |           |          |          |                   | 3                 | -30                   |                    |                            |
| SOCIOECONOMICO        | POBLACION | MIGRACION      | -4<br>3                       |                    |                       |                    |               |                |                |             |           |          |          |                   | 1                 | -12                   | 49                 |                            |
|                       | ECONOMIA  | EMPLEO         | 1<br>1                        | 2<br>1             | 4<br>1                | 4<br>1             | 5<br>2        | 4<br>1         | 2<br>1         | 5<br>2      | 5<br>2    | 5<br>2   | 5<br>2   | 11                |                   | 67                    |                    |                            |
|                       | CULTURA   | ESTILO DE VIDA | -3<br>1                       |                    |                       |                    |               |                | -1<br>1        | -1<br>1     | -1<br>1   |          |          |                   | 4                 | -6                    |                    |                            |
| PROMEDIO POSITIVO     |           |                | 1                             | 1                  | 1                     | 1                  | 1             | 1              | 1              | 1           | 1         | 1        | 11       |                   |                   |                       |                    |                            |
| PROMEDIO NEGATIVO     |           |                | 6                             | 4                  | 4                     | 2                  | 2             | 2              | 2              | 2           | 2         | 1        | 1        |                   | 28                |                       |                    |                            |
| PROMEDIO ARITMETICO   |           |                | -74                           | -51                | -21                   | -40                | -25           | -18            | -1             | -1          | 5         | 8        | 0        |                   |                   | -218                  |                    |                            |

El hormigón al ser el principal factor de rendimiento de este proyecto es trabajado en consideración de sus acciones y en los desechos que puede generar. En la matriz de la tabla 5 hay un dato curioso cuando analizamos las acciones del hormigón en el componente físico para presentar su producto final, pues la limpieza del agua es aquella actividad que más afectaciones causa, altera los cuerpos hídricos, genera aguas residuales; agua llena de contaminantes pétreos y por tal razón no puede ser vertida directamente, necesita de un tratamiento adecuado para evitar un mayor impacto negativo en la construcción que ya sabemos es la actividad que a nivel mundial más contamina. La empresa Chimboracense tiene claro su papel con la sociedad y el ambiente, cuenta con una planta de tratamiento misma que busca mitigar el agua que genera en esta actividad (construcción). Con respecto al componente biológico, la acción que perjudica de alguna manera a la flora y fauna es el transporte, porque al momento de ingresar al lugar donde se necesita la materia prima esta causa malestar, con el ruido de la maquinaria, el forcejeo que debe hacer para asentarse en ese sitio y la remoción de cada material presente. Como anteriormente ya se mencionó en la tabla 3 y tabla 4, la actividad como tal presenta un impacto alentador y en esta ocasión no es la excepción, pues también se nota que en cada acción del proyecto la presencia de la mano del hombre es indispensable para dar a cabo la obtención de hormigón, evidenciando la utilidad de un empleo en la incorporación del material y el transporte de este.

***Tabla 5***

*Matriz de Leopold del hormigón*

MATRIZ DE LEOPOLD APLICADA A: HORMIGÓN

| Acciones del proyecto       |           |                | PESADO     |                            |              | MEZCLADO    |        | MANTENIMIENTO          | PROMEDIO POSITIVO | PROMEDIO NEGATIVO | IMPACTO SUBCOMPONENTE | IMPACTO COMPONENTE | IMPACTO TOTAL DEL PROYECTO |
|-----------------------------|-----------|----------------|------------|----------------------------|--------------|-------------|--------|------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|
|                             |           |                | TRANSPORTE | INCORPORACIÓN DEL MATERIAL | DOSIFICACIÓN | TRITURACIÓN | MEZCLA | TRANSPORTE Y FUNDICIÓN |                   |                   |                       |                    |                            |
| <i>Factores ambientales</i> |           |                |            |                            |              |             |        |                        |                   |                   |                       |                    |                            |
| FISICO                      | AIRE      | CALIDAD        | 8<br>1     | -6<br>2                    |              | -7<br>2     |        | -2<br>1                |                   | 4                 | -36                   |                    |                            |
|                             | SUELO     | EROSIÓN        | 5<br>2     |                            |              |             |        | -2<br>1                |                   | 2                 | -12                   |                    |                            |
|                             | AGUA      | CONSUMO        |            | -4<br>2                    |              |             |        |                        | -10<br>3          | 2                 | -38                   | -86                |                            |
| BIOLOGICO                   | FLORA     | HABITAT        | 5<br>3     |                            |              |             |        |                        | -5<br>3           | 2                 | -30                   |                    |                            |
|                             | FAUNA     | HABITAT        | 5<br>3     |                            |              |             |        |                        | -5<br>3           | 2                 | -30                   | -60                |                            |
| SOCIOECONOMICO              | POBLACIÓN | MIGRACIÓN      |            | -1<br>1                    |              |             |        |                        |                   | 1                 | -1                    |                    |                            |
|                             | ECONOMÍA  | EMPLEO         | 5<br>1     | 6<br>2                     | 5<br>1       | 2<br>1      | 2<br>1 | 2<br>1                 | 3<br>1            | 7                 | 28                    |                    |                            |
|                             | CULTURA   | ESTILO DE VIDA | -2<br>4    |                            |              |             |        |                        | -3<br>3           | 2                 | -17                   | 10                 |                            |
| PROMEDIO POSITIVO           |           |                | 1          | 1                          | 1            | 1           | 1      | 1                      | 7                 |                   |                       |                    |                            |
| PROMEDIO NEGATIVO           |           |                | 5          | 3                          |              | 1           |        | 2                      |                   | 15                |                       |                    |                            |
| PROMEDIO ARITMÉTICO         |           |                | -51        | -9                         | 5            | -12         | 2      | -2                     |                   |                   |                       | -136               |                            |

## Identificar las unidades para los impactos ambientales según cantidad de material utilizado.

En cumplimiento del proyecto de investigación una vez realizada la Metodología de un ACV y la valoración de impactos de manera cualitativa con la elaboración de varias matrices de Leopold (tabla 3, tabla 4, tabla 5), se procede a identificar las unidades para los impactos ambientales según cantidades de material utilizado.

Explícitamente para el tipo de construcción de prefabricados de hormigón por bloques, el cemento se maneja mediante trituración de grava, donde es llevado a la mezcladora en la hormigonera, junto a los aditivos y el agua. Listo el hormigón, se pasa a los moldes de acero para secar y las planchas (paneles) estén listos.

Como ya se viene recalando el material principal para la elaboración de los paneles prefabricados de hormigón es el cemento; su análisis se detalla con la especificación de las cantidades de materia prima para su creación, donde se muestra aproximadamente los valores a utilizarse, pues esto dependerá de la forma en que cada materia prima sea entregada. Cada factor de rendimiento para asegurar su calidad, procedencia y apoyo al ambiente en este trabajo mostramos las unidades según el impacto ambiental valorado en el segundo objetivo de este trabajo, tal como se puede corroborar en la tabla 1. En conjunto con las unidades estandarizadas del sistema internacional; sistema de medición de unidades más utilizado en el país, que se trabaja en unidades de masa (Kg) y volumen (L). Ya que el producto final se entrega toneladas pero que para este análisis se observa en m<sup>3</sup>.

Sin el acero la elaboración de los paneles prefabricados de hormigón no sería posible, pues los bloques son quienes impulsan la metodología LEED, misma que califica qué tal rentable, confortable y eco amigable es la implementación de este tipo de construcción. En las generalidades del acero es preciso indicar que la producción de una varilla de acero para construcción genera alrededor de 272 kg CO<sub>2</sub> (Vásquez, 2016). El acero cuenta de una serie de condiciones y factores para llegar a su producto final, es decir el molde que crea el panel prefabricado (Anexo 1). El proceso que la materia prima indispensable para este material se explica de acuerdo con la tabla 4 y el diagrama de flujo de la figura 3, significando el análisis de sus unidades de acuerdo con las cantidades que cada proceso necesita. La tabla 6 con base a las actividades que se observan en el diagrama de flujo de la figura 3 indica las siguientes unidades:

**Tabla 6**

*Cantidad de materia prima del acero*

| <b>Materia prima</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> | <b>Porcentaje</b> |
|----------------------|-----------------|---------------|-------------------|
| <b>Hierro puro</b>   | 1500            | Kilogramos    | 60.61%            |
| <b>Piedra caliza</b> | 225             | Kilogramos    | 9.09%             |
| <b>Carbón</b>        | 750             | Kilogramos    | 30.30%            |

En el caso del hormigón cada unidad y cantidad es pensada para mantener la resistencia de cada panel prefabricado, a diferenciar del cemento este material consta de materia prima extra, es por lo que en la tabla 2 se nota al agua y a los aditivos como nuevos implementos. Con el fin de observar la acción y el proceso del material que se caracteriza la tabla 5, que explica su impacto con el ambiente y muestra una cara distinta de la implementación del hormigón en este tipo de construcción en bloques. El mecanismo utilizado para la obtención de la unidad de este material se hace con revisión bibliográfica y apoyo de la UCEM, misma que facilitó las cantidades a usarse en la elaboración del hormigón. La tabla 2 muestra con detalle las unidades y cantidades, donde también se añade el porcentaje por material utilizado con el fin de incrementar la veracidad de su uso y obtención.

Para el cumplimiento total del tercer objetivo de este trabajo de investigación se requiere describir los factores de emisión según el tipo de combustible empleado en las miniexcavadoras, excavadoras, moliendas y volquetas. Para ello cabe mencionar que el combustible que se usa en este tipo de maquinaria de construcción es la gasolina Diesel. Es tal que en la producción de una tonelada de cemento se puede hallar un consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>, con valores de 3.191,95 MJ y 510,57 kgCO<sub>2</sub>, según corresponde (León & Guillén, 2020).

En la tabla 7 se muestra los factores de emisión de maquinaria por hora de trabajo según los compuestos contaminantes más comunes en maquinaria de construcción que ocupa Diesel. Los contaminantes que se muestran en la tabla son los más comunes en temas de construcción, industria, y actividades agrícolas por el tipo de combustible y fuente móvil en la que se utiliza (Zamudio & Lady, 2020)

**Tabla 7***Factores de emisión de la maquinaria pesada por hora de trabajo*

| <b>Contaminante (g/kWh)</b> | <b>Potencia en kW<br/>0-20</b> | <b>Potencia en kW<br/>20-37</b> | <b>Potencia en kW<br/>37-75</b> |
|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>NO</b>                   | 14.4                           | 14.4                            | 14.4                            |
| <b>CO</b>                   | 8.38                           | 6.43                            | 5.06                            |
| <b>PM<sub>10</sub></b>      | 2.22                           | 1.81                            | 1.51                            |
| <b>PM<sub>2.5</sub></b>     | 2.09                           | 1.7                             | 1.42                            |

Cabe recalcar que esta tabla 7 está ligada a la producción del hormigón y su materia prima.

La dosificación del hormigón para la elaboración de 1m<sup>3</sup> de este material no va a ser conocido en su totalidad, pues cada empresa cuida esta dosificación, por temas laborales y en especial por cuidar su producción de la competencia. Por ello en la tabla 8 encontramos la energía y emisiones de con valores máximos, medios y mínimos en la producción de un 1m<sup>3</sup> de hormigón de la planta (Mel Fraga y otros, 2014).

**Tabla 8***Valor máximo, medio y mínimo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> del hormigón*

| <b>Valor</b> | <b>Energía de transporte<br/>(MJ/m<sup>3</sup> hormigón)</b> | <b>Emisiones de transporte<br/>(kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> hormigón)</b> |
|--------------|--|--|
| Mínimo       | 67,62  | 4,733  |
| Medio        | 187,79   | 13,145   |
| Máximo       | 375,59   | 26,291   |

*Fuente:* (Mel Fraga y otros, 2014)

El acuerdo ministerial 97 tiene como objeto establecer los valores máximos permitidos para emisiones de fuentes fijas de combustión y procesos. Por tanto, este acuerdo indica los “límites máximos permisibles de concentraciones de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión (mg/Nm<sup>3</sup>)” (Acuerdo Ministerial 097, 2015) como se observa en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Valores máximos permisibles de concentraciones de emisiones al aire para motores de combustión interna mg/Nm<sup>3</sup>*

| <b>Contaminante</b>              | <b>Combustible</b> | <b>Fuente fija: a partir de marzo del 2013</b> |
|----------------------------------|--------------------|--|
| <b>Material particulado (PM)</b> | DIESEL             | 100  |
| <b>Óxidos de nitrógeno</b>       | DIESEL             | 500  |
| <b>Dióxido de azufre</b>         | DIESEL             | 1000   |
| <b>Monóxido de carbono</b>       | DIESEL             | 200  |

mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico en condiciones normales, temperatura de 0 °C a trece milibares de presión (1013 mbar).

Entre los demás factores de emisión y unidades de los materiales principales en la fabricación de un panel de hormigón encontramos las emisiones que la fabricación del cemento genera en su proceso, la Tabla 10 indica estos valores conforme a 1 Kg de cemento:

**Tabla 10**

*Factores de emisión por un Kg de cemento*

| <b>Contaminante</b>   | <b>Gramos</b>                                | <b>Porcentaje</b> |
|-----------------------|--|-------------------|
| <b>CO<sub>2</sub></b> | 800g CO <sub>2</sub> por Kg de cemento       | 99.64%            |
| <b>NO<sub>x</sub></b> | 2.4g NO <sub>x</sub> por Kg de cemento       | 0.30%             |
| <b>SO<sub>2</sub></b> | 0.4 a 0.6g SO <sub>2</sub> por Kg de cemento | 0.06%             |

En concordancia con la Figura 1 y los demás datos detallados en este trabajo de investigación es posible presentar en la figura 7 el diagrama del proceso que lleva a cabo la formación de un panel prefabricado de hormigón, donde se detalla paso a paso su obtención, misma que no sería posible sin el ACV realizado con cada uno de los materiales, en el cual me permito exponer con cada una de sus unidades y factores de emisión en los procesos con más relevancia en la investigación.

**Figura 7**

*Diagrama de flujo del Proceso de Fabricación de un panel prefabricado de hormigón*



En el sistema de cálculos de las entradas, fronteras y salidas del sistema es posible identificar la cantidad de energía asociada, así como también el consumo de energía según sea un transporte directo o indirecto, usado en el mezclado y homogeneización del producto como también en el uso de maquinaria para la dosificación y funcionamiento de la planta, y su almacenamiento. La energía es detallada en Mega Joule y explica el proceso de fabricación. En su consumo energético genera alrededor de 37.248.527 MJ, recalcando que este valor se considera por el volumen promedio de la producción anual de 108.848 m<sup>3</sup> y alcanzaría a la producción de una huella de carbono de 26 kgCO<sub>2</sub>/ m<sup>3</sup>. El ACV del proceso de fabricación del hormigón permite evaluar las unidades del consumo energético según la actividad y el subproducto que se esté llevando a cabo. Para el transporte indirecto de la MP (materia prima) se calcula un consumo energético del 51.5% al consumo total de la actividad, mientras que el proceso de dosificación y premezclado llegan a un 48.6% del consumo total de energía. Para la actividad es necesario informar que el consumo energético originario de la materia prima es el transporte de áridos (grava), con un valor aproximado 33.5% de la energía consumida en el transporte indirecto, por esto se vincula un 16.9% de emisiones de CO<sub>2</sub> (Sanguinetti & Ortiz, 2014).

Finalmente, para una mejor comprensión en la tabla 11 se muestra un resumen de todas las etapas de la obtención de un panel prefabricado de hormigón con su respectivo factor de emisión conforme a la cantidad de material producido en la obtención de este panel. Se presenta un resumen cuantitativo que se dio gracias al estudio del ACV.

**Tabla 11**

*Resumen de los factores de emisión de la obtención de todos los materiales de construcción evaluados como factores de rendimiento*

| <b>Material</b> | <b>Factor De rendimiento</b> | <b>Unidad De referencia</b> | <b>Característica</b>                           | <b>Explicación</b>   |
|-----------------|------------------------------|-----------------------------|---|--|
| <b>ARENA</b>    | 2.5                          |                             | Combustible consumido en la extracción (litros) | La UCEM con este tipo de construcción, presenta una vivienda tipo cajón. Hipotéticamente que la vivienda sea de 3 metros de altos x 4 metros de ancho, el grosor del panel será de más o menos 5 cm. Así que para hacer un metro lineal del panel se necesitará de 1.2 m <sup>3</sup> de hormigón. |
| <b>GRAVA</b>    | 2.5                          | Kg CO <sub>2</sub>          | Combustible consumido en la extracción (litros) |  |
| <b>CEMENTO</b>  | 0.8                          |                             | 1 kg  |  |
| <b>HORMIGÓN</b> | 26.29                        |                             | 1 m <sup>3</sup>                                |  |
| <b>ACERO</b>    | 272                          |                             | 1 varilla                                       |  |

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES**

Los materiales de construcción evidencian cuan indispensable es detallar cada producto o subproducto que se va a necesitar en dicha actividad, especialmente en materia ambiental. En virtud, la creación de la base de datos detalla e informa el hallazgo obtenido en esta investigación. La recopilación de datos muestra cada material de construcción necesario para llevar a cabo la obtención de un panel prefabricado de hormigón de la mano de las características que la empresa cementera utiliza para crear este bloque prefabricado de hormigón. En esta recopilación se muestra la creación de diagramas con el fin de explicar el proceso de obtención y formación de cada material, presentando sus respectivas entradas, fronteras y salidas. Los diagramas de flujo parten con la explicación de la obtención de un panel prefabricado de hormigón, a continuación, se detalla el cemento, acero, grava, arena y se finaliza con el hormigón.

La metodología ACV facilita un análisis a detalle de una actividad en específico, en este caso esta metodología cumple con la ISO 14040 que indica un análisis por pasos que parte desde el objetivo y alcance del ACV, inventario del ciclo de vida, etapa de extracción, etapa de transporte y etapa de transformación, lo que hace posible evidenciar el impacto ambiental que la construcción de un prefabricado genera en el transcurso de la actividad, por tal razón se utiliza las matrices de Leopold modificadas con un análisis exhaustivo por cada material utilizado. En el caso del cemento su principal afectación es al factor físico con respecto a la calidad del aire; el acero afecta de mayor manera al suelo cuando se elimina la cobertura vegetal para obtener el mineral; el hormigón en cambio muestra afecciones al componente biológico, es decir daños a la flora y fauna del lugar donde se extrae su materia prima.

La identificación de las unidades según cantidad de material utilizado permite exponer cuantitativamente los impactos ambientales que la construcción de un panel prefabricado de hormigón genera. Como principal factor de emisión contaminante se encuentra el CO<sub>2</sub>, por tanto, es analizado para cada material de construcción. En la extracción total de arena y grava el factor de rendimiento es de 2.5 Kg CO<sub>2</sub> por combustible consumido. En la obtención de un 1 kg de cemento el factor de emisión es de aproximadamente 0.8 Kg CO<sub>2</sub>. Para la obtención de 1 m<sup>3</sup> de hormigón se presenta un factor de emisión de 26.29 Kg CO<sub>2</sub>. Y en la obtención de 1 varilla de acero hay un factor de emisión de 272 Kg CO<sub>2</sub>. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que una vez mezclados estos materiales para la obtención de un panel prefabricado de hormigón solo es necesario 1.2 m<sup>3</sup> de hormigón. Finalmente, con esta apreciación es posible decir que la aplicación de una construcción por bloques para la zona andina en Ecuador es favorable para el ambiente y genera menos impacto que la construcción tradicional.

## BIBLIOGRAFÍA

- Reguant Álvarez, M., & Torrado Fonseca, M. (2016). El método Delphi. *REIRE, Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 9(1), 87-102.
- 14040, N. I.-I. (2014). *GESTIÓN AMBIENTAL — ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA —*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- Acuerdo Ministerial 097. (2015). *REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI, Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2, 31/03/2003*.
- AGUIRRE U., M. d. (2016). *Los materiales en el estudio histórico - constructivo - ambiental de centros patrimoniales*. Cuenca: Universidad Católica de Cuenca.
- Alambres y Refuerzos DAC. (19 de Junio de 2018). *Alambres y Refuerzos DAC*. <https://alambresyrefuerzos.com/origen-del-acero/#:~:text=El%20acero%20al%20tener%20su,antes%20de%20convertirse%20en%20acero>.
- Ávila, P. Z. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula rasa*, (28), 409-423.
- Bóquez, D., & Ramis, F. (2017). CÁLCULO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES DE CO2 DE CAMIONES MINEROS, MEDIANTE SIMULACIÓN DISCRETA. *Revista Ingeniería Industrial*, 36-87.
- COA. (2017, 12 de abril). *Código Orgánico Ambiental. Registro Oficial Suplemento 983*. Quito: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
- Crespo, S. (2013). *Materiales de construcción para edificación y obra civil*. San Vicente: Editorial Club Universitario.
- Enshassi, A. K. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 29(3), 234-254.
- Fajardo, M. &. (2021). Determinación de factores que afectan el rendimiento de la mano de obra en la actividad de colocación de cerámica en la ciudad de Cuenca. *Revista científica Dominio de la Ciencias*, 7(4), 1249-1269.
- García, R. &. (2013). *Eficiencia energética y derecho*. Madrid: Librería-Editorial Dykinson.
- García, R. &. (2013). *Eficiencia energética y derecho*. España: Librería-Editorial Dykinson.

- GEASUR. (18 de Noviembre de 2013). [https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/7.\\_Antecedentes\\_Diagnostico.pdf](https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/7._Antecedentes_Diagnostico.pdf)
- Herrera, M. P., & Uzcátegui, M. V. (2018). CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA "VERDE" PARA MULTIRESIDENCIALES EN EL ECUADOR. *Ciencias, Medio Ambiente y Biodiversidad*, 55-81.
- IEO. (2014). *INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK*. Washington, DC 20585:U.S. Energy Information Administration.
- INEN. (2014). *Gestión Ambiental - Análisis del Ciclo de Vida - Principios y Marco de referencia (ISO 14040:2006, IDT)*. Quito.
- Jaramillo B, G. (2019). *Manual de Materiales de construcción*. Quindío: Gustavo Jaramillo.
- Jaramillo, J. (2018). Impacto del Sector de la Construcción en el Ecuador. *PERSPECTIVA*, 1, 1-1.
- Laverde, A. L. (2020). Construcción sostenible en Bogotá, de ideal normativo a estándar constructivo. *Repositorio Institución UMNG*.
- Laverde, A. L. (2020). *Construcción sostenible en Bogotá, de ideal normativo a estándar constructivo*. Bogotá.
- León, A., & Guillén, V. (2020). Energía contenida y emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. *Ambiente Construído*, 611-625.
- López, A. (2017). Construcción modular en hormigón: una tendencia al alza. *Cemento hormigón*, 48-54.
- Martínez, L. &. (2013). Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológica mecánica en la matriz del hormigón. *Revista de Arquitectura e Ingeniería.*, 7(3).
- Medina, R. &. (2018). Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena. *Obras y proyectos*, 63-77.
- Mel Fraga, J., Del Caño Gochi, A., & De la Cruz López, M. (2014). SOSTENIBILIDAD EN LA PREPARACIÓN Y PUESTA EN OBRA DE HORMIGÓN EN ESPAÑA: ANÁLISIS DE CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub>. *18th International Congress on Project Management and Engineering*, 508-520.
- Mendoza, L., Abraham, C., David, W., & Pacheco, C. (2021). Evaluación de impactos ambientales asociados a la eventual recuperación ambiental de canteras con residuos

- inertes de construcción y demolición en Barranquilla y su área metropolitana. *INGENIERÍA Y DESARROLLO*, 282.
- Mercado, Superintendencia de Control del Poder de Mercado. (2017). Informe Especial de Bloques y Adoquines. *Dirección Nacional de Estudios de Mercado*, 1-21.
- Ministerio del ambiente. (2018). *Anexo 3: Emisiones al aire (TULSMA)*. Quito: Ministerio del ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Línea de base nacional para la Minería Artesanal y en pequeña escala de Oro en Ecuador, conforme al Convenio de Minamata sobre Mercurio*. Quito.
- Moldtech. (10 de Agosto de 2021). *Moldtech*. <https://www.moldtechsl.es/en/>
- Revista Líderes. (25 de Mayo de 2022). *LÍDERES*. <https://www.revistalideres.ec/lideres/ecuador-consumo-cemento-crece-ritmo.html>
- Sanguinetti, C. M., & Ortiz, F. Q. (2014). Análisis de Ciclo de Vida en la determinación de la energía contenida y la huella de carbono en el proceso de fabricación del hormigón premezclado. Caso estudio planta productora Región del Bío Bío, Chile. *Hábitat Sustentable*, 16-25.
- Terrados Cepeda, F. J.-R. (2012). Patio 2.12: Vivienda prefabricada, sostenible, autosuficiente y energéticamente eficiente. . *Participación en la competición Solar Decathlon Europe 2012. Informes de la Construcción*, 67 (538), 1-11.
- Vásquez, A. (2016). *Trazabilidad de la varilla de acero para Construcción #3 como base para la elaboración de la Declaratoria Ambiental del producto en ArcelorMittal Costa Rica*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.
- VERNE NE. (2013). *Guía para evaluadores acreditados en Residencial Oficinas*.
- Zamudio, A., & Lady, S. (2020). *Estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociadas a maquinaria móvil no de carretera en el departamento de Cundinamarca (2019)*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Zorita, A. F.-T.-E.-P. (2016). A Estatistical Modeling approach to detect anomalies in energetic efficiency of buildings. *Energy and Buildings*, 110, 377- 386.

## ANEXOS

### Anexo 1. Modelo tentativo de la vivienda (UCEM)

