

**LINEAMIENTOS EFICIENTES DE CONSTRUCCIÓN PARA REDUCIR LA  
TENDENCIA DE IMPACTO AMBIENTAL NEGATIVO EN LAS VIVIENDAS DE  
INTERÉS SOCIAL BARRIO JUAN PABLO II- PASTO**

**IVON LORENA JURADO BENAVIDES**

**UNIVERSIDAD CESMAG  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y BELLAS ARTES  
PROGRAMA DE ARQUITECTURA  
SAN JUAN DE PASTO  
2025**

**LINEAMIENTOS EFICIENTES DE CONSTRUCCIÓN PARA REDUCIR LA  
TENDENCIA DE IMPACTO AMBIENTAL NEGATIVO EN LAS VIVIENDAS DE  
INTERÉS SOCIAL BARRIO JUAN PABLO II- PASTO**

**IVON LORENA JURADO BENAVIDES**

Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de arquitecto

Asesor:  
**ING. ANA MARÍA GONZÁLEZ BASTIDAS**  
Magíster en Gobierno Urbano

**UNIVERSIDAD CESMAG  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y BELLAS ARTES  
PROGRAMA DE ARQUITECTURA  
SAN JUAN DE PASTO  
2025**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

San Juan de Pasto, 12 de agosto de 2025

El pensamiento que se expresa  
en esta obra es de exclusiva  
responsabilidad del autor  
y no compromete la ideología  
de la Institución Universitaria  
CESMAG.

A mi madre, por su amor y devoción, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como en la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Por ser la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla.

## **AGRADECIMIENTOS**

A lo largo de este arduo camino, he contado con el apoyo incondicional de personas que han sido pilares fundamentales en mi vida y la culminación de este proyecto. Es para mí un honor expresar mi más sincero agradecimiento a quienes han sido mi fortaleza y motivación constante.

A mi admirable Ing. Gloria M. Jurado, mi madre, su amor incondicional, su apoyo constante y sabios consejos han sido la base esencial sobre la cual se han formado mis sueños y se han construido cada uno de mis logros. Su dedicación, paciencia y sacrificio han sido fundamentales en mi vida y mi formación profesional. Le agradezco incansablemente ser mi guía, mi ejemplo y mi mayor fortaleza. Este logro ha sido posible gracias a ella.

A mi querido Arq. Luis E. Jurado, por su orientación profesional y su ejemplo de dedicación y excelencia. Su influencia a lo largo de mi vida y su pasión por la arquitectura fueron para mí una fuente de inspiración para seguir sus pasos, por su apoyo que me motivó a seguir adelante frente a la dificultad y a esforzarme cada día más.

A mi querida, Nelly Benavides, por su amor incondicional y su aliento en los momentos más difíciles. A mi estimado, Florentino Jurado, por su paciencia, cariño y compañía. Su crianza, basada en sólidos valores y principios, ha sido fundamental en mi formación personal y profesional. Su sabiduría y ejemplo de vida han sido una guía invaluable para mí y les estaré eternamente agradecida.

A mis asesores, Ing. Ana María González y Arq. Mario German Martínez, por su valiosa guía y apoyo a lo largo de este proyecto. Su experiencia, sabiduría y compromiso han enriquecido significativamente mi trabajo. Agradezco profundamente el tiempo y esfuerzo que dedicaron a orientarme y por compartir sus conocimientos y experiencias, todo esto ha sido crucial para la culminación exitosa de este proyecto.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todos aquellos que, de una manera u otra, han contribuido a la culminación de este proyecto de grado. A Dios, familia, amigos, profesores y colegas, por la enseñanza, apoyo, comprensión y aliento. Cada uno de ellos ha dejado una huella imborrable en este camino. Este logro es el resultado del esfuerzo conjunto del inestimable apoyo que he recibido a lo largo de esta travesía académica.

## CONTENIDO

	PÁG
CONTENIDO	13
LISTA DE FIGURAS	16
LISTA DE CUADROS	17
LISTA DE ANEXOS	18
GLOSARIO	19
RESUMEN	23
ABSTRACT	24
INTRODUCCIÓN	19
1. ASPECTOS GENERALES DEL TRABAJO DE GRADO	22
1.1 OBJETO DE INVESTIGACIÓN	22
1.2 CONTEXTUALIZACIÓN	22
1.2.1 Macro contexto.	23
1.2.2 Micro contexto.	23
1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	24
1.3.1 Planteamiento del problema.	24
1.3.2 Formulación del problema.	25
1.4 JUSTIFICACIÓN	25
1.5 OBJETIVOS	27
1.5.1 Objetivo general.	27

1.5.2	Objetivo específico.	27
1.6	ÁREA DE INVESTIGACIÓN	28
1.7	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	28
1.8	ANTECEDENTES	28
1.9	ESTADO DEL ARTE	31
1.10	MARCO TEÓRICO	35
1.11	VARIABLE DEDUCTIVA	36
1.12	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	37
1.13	METODOLOGÍA	38
1.13.1	Paradigma.	38
1.13.2	Enfoque.	38
1.13.3	Método.	38
1.13.4	Población.	39
1.13.5	Muestra.	39
1.13.6	Tipo de investigación.	40
1.13.7	Diseño de investigación.	40
1.13.8	Técnicas de recolección de información.	40
1.13.9	Instrumentos de recolección de la información.	40
1.13.10	Procesamiento de la información.	41
2	INVENTARIO DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS DE LA VIVIENDA VIS JUAN PABLO II POR SISTEMA CONSTRUCTIVO Y TIPOLOGÍA DE VIVIENDA.	42
2.1	PROCESO CONSTRUCTIVO MANUAL	43
2.2	PROCESO CONSTRUCTIVO TECNIFICADO	44
2.3	PROCESO CONSTRUCTIVO INDUSTRIAL	45

3	TENDENCIA DE IMPACTO AMBIENTAL EN LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.	48
3.1	Gasto energético del ser humano:	48
3.2	Cálculo del gasto energético	49
3.3	Calculo TMB:	50
3.4	Calculo GET estimado según actividad física estándar (AF)	50
3.5	Cálculo de GET por actividad física	51
3.6	Resultado de gasto energético por proceso	52
3.7	CONSUMO ENERGÉTICO DE LA MAQUINARIA PESADA Y NO PESADA	55
3.7.1	Maquinaria	55
3.7.2	Cálculo	57
3.7.3	Resultado de gasto energético por actividad con relación a la maquinaria	57
4	EVALUACIÓN DEL IMPACTO TENIENDO EN CUENTA EL ECO INDICADOR 99	60
4.1	Cálculo de gasto energético de los operarios	61
4.2	Cálculo de gasto energético de la maquinaria	62
5	LINEAMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN PROPUESTOS PARA LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL NEGATIVO	86
	CONCLUSIONES	104
	RECOMENDACIONES	107
	ANEXOS	111

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plano urbano – barrio juan pablo ii.	23
Figura 2. Flujo de actividades del proceso constructivo manual.	44
Figura 3. Flujo de actividades del proceso constructivo tecnificado.	45
Figura 4. Flujo de actividades del proceso constructivo industrializado.	46
Figura 5. Modelo metabólico lineal de un edificio.	48
Figura 6. Porcentaje de gasto energético en kcal/día por proceso constructivo.	53
Figura 7. Comparación de resultados de gasto energético en kcal/día por actividad de los sistemas constructivos.	54
Figura 8. Consumo de energía de camión articulado y amoladora en términos de potencia y combustible.	58
Figura 9. Consumo de energía de excavadora, motoniveladora y rodillo vibratorio en términos de potencia y combustible.	58
Figura 10. Consumo de energía de la mezcladora en términos de potencia y combustible.	59
Figura 11. Tabla metodología eco indicador 99 para electricidad (kwh).	60
Figura 12. Descripción del sistema durante la etapa constructiva, con el transporte como conector entre procesos.	61
Figura 13. Comparación de gasto energético en milipuntos según proceso constructivo/actividad.	64
Figura 14. Comparación de impacto total general en milipuntos según proceso constructivo.	65
Figura 15. Flujo de actividades del proceso constructivo manual.	66
Figura 16. Flujo de actividades del proceso constructivo tecnificado.	74
Figura 17. Flujo de actividades del proceso constructivo industrial.	82
Figura 18. Comparación de consumo de energía de topadora, excavadora, motoniveladora en términos de potencia y combustible.	86
Figura 19. Comparación del impacto inicial y el impacto final del gasto energético en milipuntos según proceso constructivo.	88
Figura 20. Flujo de actividades modificado del proceso constructivo manual.	90
Figura 21. Flujo de actividades modificado del proceso constructivo tecnificado.	95
Figura 22. Flujo de actividades modificado del proceso constructivo industrial.	100

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Valores estándar para estimación de actividad física.	49
Cuadro 2. Ecuaciones de la fao/who/unu 1985 para la estimación de tmb.	50
Cuadro 3. Compendio de actividades físicas.	51
Cuadro 4. Resultado de gasto energético en kcal/día por proceso constructivo/actividad.	52
Cuadro 5. Resultado de gasto de energía según tiempo de actividad específica y maquinaria estándar.	57
Cuadro 6. Cálculo en milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo manual.	62
Cuadro 7. Cálculo en milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo tecnificado.	63
Cuadro 8. Cálculo en milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo industrializado.	63
Cuadro 9. Puntaje final de milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo manual.	87
Cuadro 10. Puntaje final de milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo tecnificado.	87
Cuadro 11. Puntaje final de milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo industrializado.	88
Cuadro 12. Factor de eficiencia horaria de la maquinaria.	120
Cuadro 13. Factor de llenado de cucharón de la maquinaria.	121
Cuadro 14. Factor de carga de la maquinaria por material específico.	122
Cuadro 15. Factor de esponjamiento según material específico.	122
Cuadro 16. Factor de eficiencia del operador y mantenimiento de la maquinaria.	122
Cuadro 17. Consumo de combustible por hora de trabajo según maquinaria específica.	124
Cuadro 18. Consumo de combustible por hora de trabajo según maquinaria específica.	129
Cuadro 19. Consumo de combustible por hora de trabajo según maquinaria específica.	131
Cuadro 20. Consumo de combustible por hora de trabajo según maquinaria específica.	132
Cuadro 21. Consumo de combustible por hora de trabajo según maquinaria específica.	135

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Diseño estructural módulo básico de vivienda – plano n 1.	111
anexo 2. Diseño estructural módulo básico de vivienda – plano n 2.	112
anexo 3. Diseño estructural módulo básico de vivienda – plano n 3.	113
anexo 4. Diseño estructural módulo básico de vivienda – plano n 5.	114
anexo 5. Tablas de af del proceso del sistema constructivo manual.	115
anexo 6. Tablas de af del proceso del sistema constructivo tecnificado.	117
anexo 7. Tablas de af del proceso del sistema constructivo industrial.	119
anexo 8. Factores de rendimiento de maquinaria.	120
anexo 9. Cálculo de rendimiento y consumo energético de la maquinaria.	123
anexo 10. Cálculo de maquinaria topadora	134

## GLOSARIO

**ECO INDICADOR 99:** es una herramienta para la evaluación del impacto ambiental. Este indicador se utiliza para cuantificar y evaluar los impactos ambientales de un producto o proceso a lo largo del ciclo de vida.

**SISTEMA CONSTRUCTIVO:** conjunto de métodos, técnicas, materiales y procesos utilizados para construir un edificio o estructura.

**SISTEMA ESTRUCTURAL DE CONCRETO ARMADO:** utiliza concreto reforzado con acero (varillas o mallas) para formar elementos estructurales como columnas, vigas y losas.

**SISTEMA DE PREFABRICADO:** implica la fabricación de componentes de construcción (como paneles de pared, techos y módulos completos) en una fábrica para transportar al sitio de construcción para su ensamblaje.

**TIPOLOGÍA DE VIVIENDA:** categorización de los diferentes tipos de viviendas según características como su forma, distribución interna, tamaño, número de plantas, ubicación, materiales de construcción, entre otros.

**VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL (VIS):** viviendas promovidas y subvencionadas por el gobierno o instituciones privadas destinadas a satisfacer las necesidades habitacionales de la población de bajos ingresos económicos que buscan ser funcionales, sostenibles y accesibles.

**VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL SOSTENIBLE (VISS):** es aquella diseñada y construida para ser asequible y accesible a personas y familias de bajos ingresos, incorporando principios de sostenibilidad ambiental, social y económica.

**SISTEMA METABÓLICO LINEAL:** es la integración de procesos para optimizar la eficiencia energética, la gestión de recursos y la sostenibilidad en el diseño y funcionamiento de edificios donde en función, los flujos de energía y materiales se gestionan de manera eficiente y se optimiza para minimizar el impacto ambiental.

**METODOLOGÍA ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV o LCA):** evalúa los impactos ambientales de un producto o proceso a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.

**METODOLOGÍA ISO 14040:** es una norma que proporciona directrices y requisitos para la realización de un ACV, incluyendo la definición del objetivo y alcance del

estudio, la recopilación de inventario de datos, la evaluación de impactos y la interpretación de resultados.

**INDICADORES DE IMPACTO:** son variables cuantitativas o cualitativas utilizadas para medir y evaluar los efectos ambientales, sociales o económicos de un producto, proceso o actividad a lo largo de su ciclo de vida.

**CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE:** enfoque de diseño, construcción y operación de edificaciones que busca minimizar el impacto ambiental, conservar recursos naturales, garantizar la salud y el bienestar de los ocupantes y promover la equidad social y económica.

**SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL:** es el equilibrio entre las acciones humanas y la capacidad del medio ambiente para mantener las condiciones de vida saludables para las generaciones presentes y futuras.

**COMPONENTES ESTRUCTURALES:** elementos fundamentales que componen la estructura de un edificio o cualquier otra construcción, proporcionando resistencia, estabilidad y soporte.

**LINEAMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN:** directrices, normativas o recomendaciones establecidas por autoridades gubernamentales, organizaciones profesionales o entidades especializadas que regulan el proceso de construcción de edificaciones.

**MATERIAL RECICLABLE:** materiales que pueden ser procesados y reutilizados para fabricar nuevos productos después de su uso inicial.

**DEGRADACIÓN AMBIENTAL:** es el deterioro progresivo de los recursos naturales y del medio ambiente debido a actividades humanas y otros factores naturales.

**EVALUACIÓN DE CICLO DE VIDA (ECV):** es una herramienta para la toma de decisiones sostenibles en diseño de productos, procesos industriales, políticas públicas y gestión ambiental. Pertenece a las fases del ACV.

**ENTRADAS ENERGÉTICAS:** son todas las formas de energía que se suministran un sistema, proceso o actividad para su funcionamiento.

**HUELLA DE CARBONO:** es una medida que cuantifica la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directa o indirectamente por una persona, organización, evento o producto a lo largo de su Ciclo Vida.

**CAMBIO CLIMÁTICO:** se refiere a variaciones significativas y de largo plazo en los patrones climáticos de la Tierra.

**ECOFICIENCIA:** es un concepto que combina eficiencia económica y sostenibilidad ambiental.

**GAS DE EFECTO INVERNADERO (GEI):** son compuestos gaseosos que contribuyen al efecto invernadero atrapando el calor en la atmósfera de la Tierra.

**ECO INDICADORES:** es una medida, dato o conjunto de datos que proporciona información sobre una condición, fenómeno o tendencia específica. Herramienta utilizada para medir y evaluar el desempeño ambiental de un producto, proceso, servicio o sistema.

**APORTICADO:** estructura arquitectónica que cuenta con una serie de columnas o pilares que soportan una estructura horizontal.

**HORMIGÓN ARMADO:** es un material de construcción ampliamente utilizado que combina concreto o cemento y acero de refuerzo para aumentar su resistencia y capacidad estructural.

**CONCRETO:** consiste en una mezcla de cemento Portland, agua, agregados (como arena, grava o piedra triturada) y, en algunos casos, aditivos o adiciones que mejoran ciertas propiedades del concreto.

**MAMPOSTERÍA:** método de construcción que utiliza unidades de piedra o ladrillo unidas entre sí con mortero para formar paredes u otras estructuras.

**MORTERO:** material de construcción utilizado para unir elementos de albañilería, como ladrillos, bloques de hormigón o piedras.

**GESTIÓN URBANA:** Se refiere al conjunto de acciones, políticas y procesos destinados a planificar, organizar, administrar y mejorar el desarrollo y funcionamiento de las áreas urbanas.

**GASTO ENERGÉTICO:** se refiere a la cantidad de energía utilizada por un sistema, proceso o actividad durante un periodo de tiempo específico.

**KILOCALORÍAS (KCAL):** unidades de medida de energía comúnmente utilizadas para expresar el gasto energético del cuerpo humano.

**METABOLISMO ENERGÉTICO BASAL (MB o TMB):** es la cantidad mínima de energía que el cuerpo necesita para mantener las funciones vitales en reposo.

**COMPENDIO DE ACTIVIDADES FÍSICAS (AF):** es una herramienta utilizada para catalogar y clasificar diversas actividades físicas según su intensidad y el gasto energético asociado. A cada actividad se asigna un valor en unidades metabólicas (METs), que representa el índice del costo energético de las actividades físicas.

**METs:** Es una medida utilizada para expresar la energía consumida durante la actividad física en comparación con el gasto energético en reposo. Un MET se define como la cantidad de oxígeno consumido mientras el cuerpo está en reposo.

**COEFICIENTE DE PONDERACIÓN:** se utiliza para asignar distintos niveles de importancia o peso a diferentes variables, criterios o factores en un proceso de evaluación, análisis o toma de decisiones.

**ECO DISEÑO:** es una metodología que busca incorporar principios medioambientales en el diseño y desarrollo de productos y sistemas con el objetivo de minimizar el impacto ambiental negativo durante todo el CV del producto o proceso.

## RESUMEN

La construcción refleja de manera significativa la huella del ser humano sobre el entorno, intensificando los flujos materiales y el consumo energético que generan impactos negativos en el ambiente. A lo largo de su ciclo de vida, las edificaciones demandan grandes cantidades de recursos naturales, incrementan el consumo de energía, producen emisiones contaminantes y contribuyen al deterioro de los ecosistemas. Con el paso de los años, ha prevalecido un modelo constructivo industrializado y seriado, en el que los intereses económicos suelen imponerse sobre los criterios ambientales, lo que ha incrementado los impactos negativos sobre el entorno.

Este estudio identifica el proceso del sistema constructivo aporticado en hormigón armado y mampostería cerámica en viviendas de interés social, con el propósito de evaluar su impacto mediante la metodología ISO 14040 y el eco indicador 99. El análisis se basa en un inventario de ciclo de vida y una muestra aleatoria de viviendas representativas del barrio Juan Pablo II. Los resultados permiten identificar los puntos críticos de mayor consumo energético en el sistema constructivo y plantear lineamientos dirigidos a optimizar el uso de energía en futuras construcciones. Con ello se busca promover prácticas constructivas más sostenibles y responsables con el entorno, contribuyendo a la mitigación del impacto ambiental negativo.

**Palabras clave:** Vivienda de interés social, ciclo de vida, impacto ambiental, consumo energético, proceso constructivo, sostenibilidad, eficiencia.

## ABSTRACT

The construction sector significantly reflects the human footprint on the environment, intensifying material flows and energy consumption that generate negative environmental impacts. Throughout their life cycle, buildings demand large amounts of natural resources, increase energy consumption, produce polluting emissions, and contribute to the deterioration of ecosystems. Over the years, an industrialized and standardized construction model has prevailed, where economic interests often take precedence over environmental criteria, increasing negative impacts on the environment.

This study identifies the construction process of reinforced concrete and ceramic masonry structures in social housing, with the purpose of evaluating its impact through the ISO 14040 methodology and the Eco-indicator 99. The analysis is based on a life cycle inventory and a random sample of representative housing units in the Juan Pablo II neighborhood. The results identify critical points of higher energy consumption in the construction system and propose guidelines aimed at optimizing energy use in future projects. The aim is to promote more sustainable and environmentally responsible construction practices that contribute to mitigating negative environmental impacts.

**Keywords:** Social housing, life cycle, environmental impact, energy consumption, construction process, sustainability, efficiency.

## INTRODUCCIÓN

La construcción refleja de manera significativa la huella del ser humano sobre el entorno. Aunque desde tiempos antiguos las intervenciones agrícolas transformaron el paisaje, son las edificaciones y las infraestructuras viales las que intensifican esta acción, generando flujos materiales y consumos energéticos destinados a sostener estilos de vida diversos según la cultura y la época. A lo largo de su ciclo de vida, las edificaciones demandan grandes cantidades de recursos naturales, incrementan el consumo de energía, producen emisiones contaminantes y contribuyen al deterioro de los ecosistemas y de los servicios que estos prestan.

Con el paso de los años, ha prevalecido un modelo constructivo industrializado y seriado, en el que los intereses económicos suelen imponerse sobre los criterios ambientales, lo que ha incrementado los impactos negativos sobre el entorno. En este contexto, todo proceso constructivo implica, en mayor o menor medida, una afectación al ambiente. Desde la extracción de materias primas hasta la disposición final, se contribuye al deterioro del entorno mediante el gasto energético, las emisiones que intensifican el efecto invernadero, la acidificación y otros impactos. Este panorama refuerza la necesidad de estudiar y optimizar el consumo energético en el proceso constructivo, como se aborda en el presente trabajo.

Este trabajo se enfoca en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), una metodología que permite evaluar de manera integral los impactos ambientales asociados a todas las etapas del ciclo de vida de un edificio. Este ciclo comprende seis fases: la extracción de materias primas, la manufactura de materiales, el proceso constructivo, el uso del edificio, la demolición, y finalmente, el reciclaje y eliminación de residuos, con lo cual se cierra el ciclo.

En este estudio, el análisis se centra en la tercera etapa: el proceso constructivo de la vivienda. En esta fase, se identifica un sistema metabólico de carácter lineal, compuesto por tres momentos: una etapa inicial, en la que se registran las entradas de materiales y energía; una etapa intermedia, caracterizada por el consumo energético durante la ejecución de la obra; y una etapa final, en la que se generan salidas en forma de desechos. Este análisis se aplica a un conjunto de viviendas de interés social ubicadas en el barrio Juan Pablo II, que constituye el caso de estudio del presente trabajo.

Cabe destacar que, si bien este estudio se concentra en la etapa constructiva, forma parte de un enfoque metodológico progresivo, en el cual el ciclo de vida del edificio se analiza por fases, dado que una evaluación integral y simultánea resultaría demasiado extensa, considerando la complejidad y amplitud del tema. En esta línea,

la investigación realizada por Velasco Pantoja en 2022<sup>1</sup> abordó una etapa del ciclo, correspondiente al ingreso de materiales en proyectos de vivienda de interés social, también bajo la metodología ACV. Aunque ambas investigaciones comparten un enfoque metodológico y una temática relacionada, el presente trabajo constituye un estudio independiente, con un objeto de análisis distinto. Mientras el estudio anterior se centró en la evaluación del impacto desde la materialidad de la VIS, esta investigación profundiza en la etapa constructiva, con el propósito específico de identificar el consumo energético asociado al desarrollo del sistema constructivo.

De este modo, el presente estudio se realiza con el propósito de aportar criterios técnicos que permitan orientar la toma de decisiones hacia prácticas constructivas más sostenibles en proyectos de vivienda de interés social. Al identificar los puntos críticos de mayor consumo energético en la etapa constructiva, se busca establecer recomendaciones aplicables a futuros proyectos, dirigidas a la mejora del desempeño ambiental del sector. En este sentido, la investigación anticipa que una gestión eficiente del proceso constructivo resulta clave para optimizar el uso energético, lo cual representa una vía concreta para mitigar impactos negativos. La finalidad es llegar a estrategias que mejoren la eficiencia energética durante la ejecución de la obra, contribuyendo a soluciones responsables con el entorno, especialmente en contextos urbanos como el de San Juan de Pasto, donde el crecimiento habitacional exige respuestas sostenibles.

Para determinar el impacto ambiental negativo, se sigue la metodología antes mencionada, utilizando el eco indicador 99 y evaluando el flujo energético generado durante el proceso constructivo de viviendas de interés social en la ciudad de San Juan de Pasto.

El procedimiento incluye la realización del inventario de ciclo de vida (ICV) para identificar y cuantificar las entradas y salidas energéticas de esta etapa, seguido de la categorización y evaluación del impacto ambiental (EICV) utilizando los indicadores del eco indicador 99. Este enfoque permite determinar la magnitud y grado de afectación ambiental negativa del sistema constructivo en su estado actual.

Finalmente, el estudio permite identificar los puntos críticos de mayor impacto ambiental negativo relacionados con el consumo energéticos en la etapa del proceso constructivo de la VIS. A partir de los resultados, se plantean recomendaciones orientadas a optimizar el consumo energético durante esta fase, con el fin de contribuir al desarrollo de prácticas constructivas más sostenibles en proyectos de vivienda de interés social en contextos urbanos como el de San Juan de Pasto.

---

<sup>1</sup> VELASCO PANTOJA, Santiago. Tendencia de impacto ambiental en viviendas de interés social: caso de estudio barrio Juan Pablo II – Pasto. Trabajo de grado. Pasto: Universidad CESMAG. Programa de Arquitectura, 2022.

**Palabras clave:** Vivienda de interés social, ciclo de vida, impacto ambiental, consumo energético, proceso constructivo, sostenibilidad, eficiencia.

## **1. ASPECTOS GENERALES DEL TRABAJO DE GRADO**

### **1.1 OBJETO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación aborda la problemática ambiental asociada al proceso constructivo de viviendas de interés social en San Juan de Pasto, con un enfoque en el gasto energético del sistema constructivo. El estudio parte de la identificación de una causa principal: el modelo constructivo tradicional porticado en hormigón armado y mampostería cerámica, genera un consumo energético elevado durante la etapa de construcción, contribuyendo en gran medida al impacto ambiental negativo.

El fenómeno se observa en un caso modelo en el barrio Juan Pablo II, donde la tipología de vivienda es representativa por su uso repetitivo de este sistema constructivo. Esto permite la factibilidad del estudio y su potencial replicabilidad en otros conjuntos similares.

La causa principal del problema identificado es la permanencia de un modelo constructivo tradicional que, en su etapa de ejecución, implica elevados consumos energéticos. Esto responde a prácticas constructivas poco eficientes que priorizan otros aspectos sobre los criterios ambientales, lo que se traduce en síntomas como el aumento de emisiones contaminantes, la sobreexplotación de recursos y el deterioro de los ecosistemas.

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible<sup>2</sup>, se refiere a una construcción sostenible a la búsqueda de restaurar y mantener la armonía entre el ambiente y el espacio construido adoptando nuevas prácticas de diseño y técnicas de construcción más eficientes, incorporando el uso eficiente de la energía y los recursos, sin dejar de lado el enfoque ambiental, social y económico.

El pronóstico indica que, de mantenerse esta tendencia, los impactos negativos sobre el medio ambiente seguirán intensificándose, lo que refuerza la necesidad de plantear estrategias orientadas a la optimización energética. De esta manera, el estudio busca contribuir al diseño de lineamientos para la construcción de viviendas de interés social más sostenibles, en consonancia con las directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Vivienda, orientadas a mitigar el deterioro ambiental mediante la adopción de prácticas más óptimas y eficientes.

### **1.2 CONTEXTUALIZACIÓN**

El objeto de estudio se encuentra en la ciudad de Pasto – Nariño - Colombia, debido a la falta de conocimiento del impacto medio ambiental y la problemática que representa, se hace necesario estudiar y cuantificar las viviendas de interés social,

---

<sup>2</sup> Ministerio de Ambiente. Gestión Ambiental Urbana. Construcción Sostenible (En línea). En: MinAmbiente. Publicación electrónica Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana. (consultada: 2023) Disponible en la dirección electrónica: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/construccion-sostenible/>

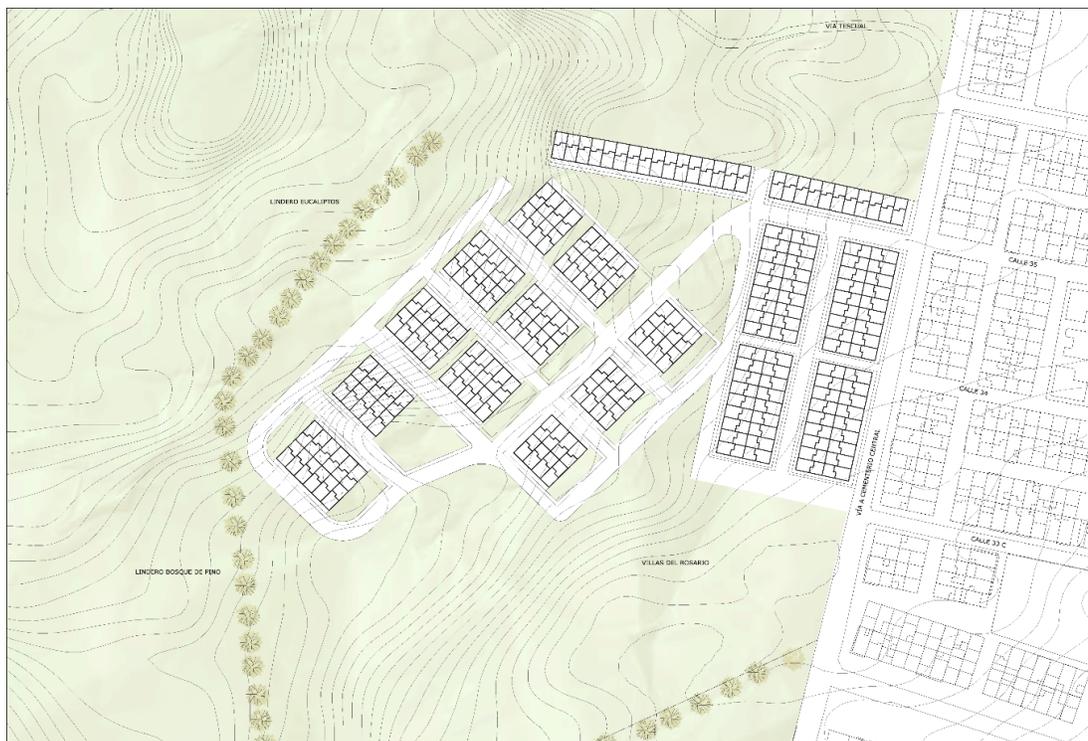
reconociendo al Barrio Juan Pablo II como un sector potencial para realizar esta investigación puesto que cuenta con una amplia existencia de este tipo de vivienda.

Según los datos registrados en CORPONARIÑO dentro del Plan de Gestión Ambiental, el sector de estudio se encuentra en las coordenadas 00°31'08" y 02°41'08" de latitud norte y los 76°51'19" y 79°01'34" de longitud oeste.

### 1.2.1 Macro contexto.

El caso de estudio se encuentra en la comuna 10 de la ciudad San Juan de Pasto, ubicado dentro de la zona norte del municipio, la urbanización está contenida en el barrio Juan Pablo II, la cual posee un área bruta del lote de 54.692,05 m<sup>2</sup> y un área neta urbanizable de 15.581,50m<sup>2</sup>.

**Figura 1.** Plano urbano – Barrio Juan Pablo II.



**Fuente:** Esta investigación.

La urbanización del barrio Juan Pablo II, ha sido producto de una planificación urbana para población vulnerable y desplazada por la violencia.

### 1.2.2 Micro contexto.

En el barrio Juan Pablo II se identifica el desarrollo de la vivienda de interés social, la cual cuenta con una tipología a un piso que se repite a lo largo del sector, cada módulo cuenta con un área de 77 m<sup>2</sup>.

La zona se toma como caso de estudio ya que, cumple con las características necesarias para llevar a cabo esta investigación, además, el desarrollo de estas VIS perjudica al medio ambiente generando elevados indicadores de impacto que se replican en 203 unidades de viviendas que se establecen en la zona, generando un alto deterioro ambiental en el entorno y a escala de ciudad.

### **1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1 Planteamiento del problema.**

En la ciudad de Pasto, el proceso constructivo de las viviendas de interés social (VIS) genera un impacto ambiental negativo considerable, principalmente por el consumo energético elevado y el uso intensivo de recursos naturales durante la etapa de construcción. La causa central de esta problemática es la permanencia de un modelo constructivo tradicional, basado en un sistema aporricado en hormigón armado y mampostería cerámica, que no incorpora prácticas eficientes ni sostenibles.

Entre los síntomas de esta situación se evidencian el aumento de las emisiones contaminantes, el deterioro progresivo de los ecosistemas urbanos y la ausencia de estrategias concretas que permitan mitigar los efectos ambientales negativos asociados a la construcción de este tipo de vivienda. A esto se suma la ineficiencia en el uso del tiempo y de los recursos durante la ejecución de las obras, lo que incrementa aún más los impactos.

Existen criterios ambientales a tener en cuenta al momento de diseñar y construir, El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible<sup>3</sup> propone lo siguiente:

En el marco de la Política de Gestión Ambiental Urbana, El Ministerio de Ambiente desarrolló y publicó el documento «*Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana*», el cual integra un conjunto de propuestas, con enfoque principalmente preventivo, relacionados con el uso de recursos renovables. Los criterios allí propuestos se enfocan en tres objetivos básicos de sostenibilidad:

- Racionalizar el uso de los recursos naturales renovables.
- Sustituir con sistemas o recursos alternativos.
- Manejar el impacto ambiental producido.

De acuerdo a lo anterior, se prevé que, de mantenerse estas prácticas, los efectos sobre el ambiente seguirán intensificándose, afectando la calidad del entorno y contrarrestando los esfuerzos normativos y técnicos planteados por entidades como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Vivienda. Esto

---

<sup>3</sup> Ministerio de Ambiente. Gestión Ambiental Urbana. Construcción Sostenible (En línea). En: MinAmbiente. Publicación electrónica Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana. (consultada: 2023) Disponible en la dirección electrónica: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/construccion-sostenible/>

hace necesario analizar el impacto ambiental generado por el proceso constructivo, con el fin de identificar los elementos críticos que desencadenan el consumo energético excesivo y proponer estrategias que permitan optimizar el uso de recursos y reducir la afectación ambiental. evalúe dichos componentes a fin de mitigar el daño ambiental negativo producido.

### 1.3.2 Formulación del problema.

Por lo expuesto, es necesario plantear estrategias que permitan optimizar el proceso constructivo de las viviendas de interés social, con métodos más eficientes que contribuyan a mitigar el impacto ambiental negativo.

Por lo anterior, se plantea la pregunta:

¿Cuál es el impacto ambiental negativo asociado al consumo energético que genera el proceso del sistema constructivo aporticado en hormigón armado y mampostería cerámica, implementado en las viviendas de interés social del barrio Juan Pablo II en la ciudad de Pasto, y qué estrategias podrían plantearse para su mitigación?

### 1.4 JUSTIFICACIÓN

El sector de la construcción representa uno de los principales generadores de impacto ambiental a nivel mundial. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA 2021)<sup>4</sup>, este sector es responsable de aproximadamente el 38% de las emisiones globales de CO2 relacionadas con la energía, producto del consumo intensivo de recursos naturales y del uso ineficiente de materiales y procesos. En Colombia, el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022<sup>5</sup> y la Política Nacional de Edificaciones Sostenibles (2016)<sup>6</sup> reconocen la urgencia de transformar las prácticas constructivas para reducir el impacto ambiental y fomentar el uso responsable de los recursos.

En este contexto, la ciudad de San Juan de Pasto enfrenta retos significativos derivados del crecimiento urbano y la expansión de proyectos de vivienda de interés social (VIS). Las construcciones tradicionales, basadas en sistemas aporticados de hormigón armado y mampostería cerámica, no contemplan plenamente criterios de

---

<sup>4</sup> Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. *Global Status Report for Buildings and Construction* (en línea). En: UNEP. Publicación electrónica. (consultada: 2024). Disponible en la dirección electrónica: <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction/>

<sup>5</sup> Departamento Nacional de Planeación. *Política Nacional de Edificaciones Sostenibles. Documento CONPES 3919 de 2018* (en línea). En: DNP. Publicación electrónica. (consultada: 2024). Disponible en la dirección electrónica: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3919.pdf>

<sup>6</sup> Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio; Departamento Nacional de Planeación. *Política Nacional de Edificaciones Sostenibles* (en línea). En: MVCT. Publicación electrónica. (consultada: 2024). Disponible en la dirección electrónica: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/2020-11/politica-nacional-de-edificaciones-sostenibles.pdf>

eficiencia energética ni estrategias claras para la reducción de su impacto ambiental. Esto ha derivado en el uso intensivo de energía durante el proceso constructivo, con consecuencias como el aumento de emisiones contaminantes, la sobreexplotación de recursos y la degradación de los ecosistemas locales. Además, el Plan de Desarrollo Municipal de Pasto 2020-2023<sup>7</sup> señala la necesidad de implementar proyectos que contribuyan a la sostenibilidad ambiental y al uso eficiente de los recursos naturales en el sector de la construcción.

La presente investigación es conveniente porque permite cuantificar, mediante la aplicación del eco indicador 99 y la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV), el impacto ambiental asociado al consumo energético en el proceso constructivo de las VIS. Esto ofrece insumos técnicos para el diseño de estrategias que optimicen el uso de la energía y contribuyan a mitigar los efectos negativos sobre el entorno, en coherencia con las políticas nacionales y locales.

En cuanto a su relevancia social, los resultados de esta investigación beneficiarán directamente a la comunidad de Pasto, al proponer lineamientos que mejoren las prácticas constructivas y fomenten la sostenibilidad ambiental, lo que se traduce en una mejor calidad de vida y en la conservación de los ecosistemas. Asimismo, los organismos gubernamentales y los profesionales del sector podrán emplear estos resultados como soporte para la formulación de políticas, proyectos y normas orientadas al desarrollo sostenible.

Desde el valor teórico, este estudio llena un vacío en el conocimiento local sobre el impacto ambiental generado por el proceso constructivo de las VIS, específicamente en el consumo energético. Aporta al fortalecimiento del modelo de análisis del ciclo de vida en el contexto regional, y valida la aplicación del eco indicador 99 como herramienta para cuantificar y evaluar este tipo de impactos en edificaciones de interés social, contribuyendo al desarrollo de la teoría ambiental en arquitectura y construcción.

El valor metodológico radica en la aplicación integrada de herramientas de evaluación ambiental en un caso real de vivienda de interés social, lo cual puede servir como modelo replicable en otros contextos urbanos del país que presenten características constructivas similares. Esta experiencia metodológica sienta un precedente para estudios futuros que busquen abordar el impacto energético de las construcciones de manera cuantitativa y objetiva.

Las implicaciones prácticas de la investigación son las siguientes, como ya se ah mencionado anteriormente, los lineamientos propuestos pueden ser aplicados por las entidades municipales, empresas constructoras y profesionales del sector como guía para mejorar la eficiencia energética y mitigar el impacto ambiental en futuros

---

<sup>7</sup> Alcaldía de Pasto. *Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023: Pasto, la Gran Capital* (en línea). En: Alcaldía de Pasto. Publicación electrónica. (consultada: 2024). Disponible en la dirección electrónica: [https://www.pasto.gov.co/images/stories/plan\\_desarrollo/PLAN\\_DE\\_DESARROLLO\\_2020-2023.pdf](https://www.pasto.gov.co/images/stories/plan_desarrollo/PLAN_DE_DESARROLLO_2020-2023.pdf)

proyectos de vivienda de interés social. Esto es especialmente relevante considerando los compromisos nacionales e internacionales adquiridos por Colombia frente al cambio climático, como los establecidos en la *Agenda 2030*<sup>8</sup> y el *Acuerdo de París*.<sup>9</sup>

El interés de esta investigación se inscribe en la necesidad local, nacional y global de promover la sostenibilidad en el sector de la construcción, y responde a los objetivos planteados en las políticas de gestión ambiental urbana y edificaciones sostenibles del país.

Finalmente, el estudio representa un aporte novedoso al aplicar el ACV y el eco indicador 99 en un análisis específico del impacto energético de las VIS en Pasto, ofreciendo un enfoque cuantitativo que se ha abordado de manera limitada en contadas investigaciones, pero no ha sido aplicado en la práctica dentro de este contexto.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo general.**

Identificar el proceso del sistema constructivo aporticado en hormigón armado y mampostería cerámica para evaluar su impacto mediante la metodología ISO 14040 y el método de medición del eco indicador 99 con el fin de brindar lineamientos eficientes en futuras construcciones VIS.

### **1.5.2 Objetivo específico.**

- Determinar el inventario de materiales y componentes estructurales de la vivienda VIS Juan Pablo II según el sistema constructivo y tipología de vivienda.
- Establecer el impacto ambiental del gasto energético para los sistemas constructivos a través del eco indicador 99 como instrumento de evaluación y cuantificación.
- Comparar resultados de evaluación del impacto del gasto energético de los tres sistemas constructivos.
- Proponer recomendaciones de construcción más eficientes para futuras construcciones VIS.

---

<sup>8</sup> Organización de las Naciones Unidas. *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (en línea). En: ONU. Publicación electrónica. (consultada: 2024). Disponible en la dirección electrónica: <https://sdgs.un.org/2030agenda>

<sup>9</sup> Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *Acuerdo de París* (en línea). En: CMNUCC. Publicación electrónica. (consultada: 2024). Disponible en la dirección electrónica: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>

## **1.6 ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

El proyecto se enmarca dentro del área de Medio Ambiente, ya que se centra en el impacto ambiental negativo generado en el entorno. Este trabajo se enfoca en el estudio del gasto energético del sistema constructivo de un caso de estudio ubicado en la ciudad de Pasto: la vivienda de interés social del barrio Juan Pablo II. Para ello, se realiza un análisis orientado a plantear lineamientos constructivos eficientes y aplicables al objeto de estudio, que permitan reducir el consumo energético y optimicen el tiempo y las cantidades de obra, con el propósito de mitigar al máximo dicho impacto. Esto parte de la premisa de que, actualmente, el impacto ambiental derivado del sector de la construcción es extremadamente elevado, lo cual se cuantifica mediante el eco indicador 99.

## **1.7 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

La línea que sigue el proyecto es ciudad, paisaje y territorio, enfocado en el medio ambiente, ofertada por la Universidad CESMAG, en la cual se orienta el presente proyecto en la investigación de la determinación del impacto ambiental negativo en el proceso constructivo de la vivienda de interés social en la ciudad de Pasto asociado al consumo energético, donde se brindará información y herramientas de ayuda para llevar dicho análisis como el eco indicador 99 y la ISO 14040, los cuales determinarán la afectación del impacto luego de una recolección de información del objeto de estudio y una serie de análisis que se realizarán del mismo, y que permitirán entregar en el actual trabajo, resultados válidos, comprobables y ratificados que justificarán y respaldarán el planteamiento resultante.

## **1.8 ANTECEDENTES**

El impacto ambiental se ha venido generando desde hace mucho tiempo, pero es en la década de los sesenta cuando los países más desarrollados empezaron a preocuparse por el impacto directo e indirecto del hombre sobre el medio ambiente dando paso a una serie de discusiones ambientales.

La década de los setenta está marcada por una crisis social, política, económica que trajo consigo graves accidentes al medio ambiente por el desabastecimiento, los impactos nucleares y la energía fósil. Dichos acontecimientos condujeron a la ciudadanía y diferentes ONG a iniciar la búsqueda para contrarrestar los accidentes medioambientales.

Grandes empresas en Estados Unidos empezaron a introducir el ACV desde el material para la venta de sus productos o servicios con estudios que evaluarán el impacto del material actual. Por ejemplo, Coca cola estudió desde la metodología ACV, el análisis del material de la botella para vender el producto con la finalidad de conocer si era factible vender envases plásticos o de vidrio. Partiendo de la metodología, el análisis se realiza desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final o reciclaje, en este sentido, se concluyó, que la botella de plástico duraría más tiempo y de igual manera, sería un material reciclable.

En Estados Unidos, el inicio de la preocupación por el medio ambiente condujo a la introducción de las primeras formas de control de las intervenciones humanas en el medio ambiente que recibió por nombre “environmental impact assesement” con la finalidad de determinar el impacto ambiental a través de evaluaciones y procedimientos, para luego, mitigar y compensar dicho impacto.

Hacia los años 70, en Estados Unidos se empezó realizar varios estudios de metodologías que implican el análisis de ciclo de vida con el objetivo de determinar el impacto ambiental desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final, pero años después, la metodología ACV fue olvidada. La firma Franklin Associates, fundada por William Franklin, uno de los expertos en Resources and environmental profile análisis (REPA) del Midwest research institute (MIR) llevó a cabo varios estudios, entre ellos, un destacado estudio en 1975 en el cual, intentaba aplicar el concepto de ciclo de vida en la determinación de los residuos generados por los procesos de producción, cuyo objetivo era determinar el consumo neto de energía con énfasis en el desarrollo de un modelo de producción, materialidad y procesos, patrocinado por el Programa de la Fundación Nacional para la Ciencia sobre Investigación de las Necesidades Nacionales. Este estudio permitió determinar la fase de inventario del ACV.

En la década de los 80, la organización de las naciones unidas creó la comisión mundial del medio ambiente y el desarrollo y fue a finales de esta época, en abril de 1987, la comisión presentó el informe “nuestro futuro común” que se dio a conocer mundialmente como “el informe Brundtland” creado por la Organización de Naciones Unidas (ONU), teniendo como concepto principal el término formal de desarrollo sostenible, dando visibilidad a la problemática medio ambiental que enfrenta el planeta desde hace muchas décadas atrás, con el fin de buscar una cooperación entre las naciones para hablar de desarrollo y del uso de los recursos naturales. La visión del documento fue “satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer las necesidades y posibilidades de las generaciones futuras.”<sup>10</sup> teniendo en cuenta el medio ambiente, la economía y la sociedad como vertientes de la sostenibilidad.

Afrontar una problemática a nivel mundial requiere de la contribución de varias partes como los gobiernos, la sociedad, las organizaciones nacionales, entre otros. Que ayuden a implementar la responsabilidad en la problemática y garanticen la conservación y la recuperación de los recursos naturales, de igual forma, la implementación de una nueva visión positiva ante la problemática que repercute en la cultura de la sociedad.

A finales de la década de los 80 se presentó también la problemática llamada “la crisis de los residuos sólidos”, recibió este nombre por la gran cantidad de residuos

---

<sup>10</sup> BRUNDTLAND, G. H. Our Common Future: Brundtland Report. N.Y. Oxford University Press. 1987.

que flotaban en los diferentes componentes de agua que conformaban al planeta, para este entonces se volvió a hablar sobre el análisis de ciclo de vida.

En las siguientes décadas, varios países profundizaron en la metodología con diferentes estudios que permitieron consolidar la metodología como una norma. Países Europeos fueron pioneros en la investigación y aplicación del ACV donde diferentes comunidades económicas medioambientales empezaron a incorporar políticas y programas de aplicación del ecodiseño a través de estudios con la noción de crear conciencia sobre el consumo de energía, materiales y residuos y que, como fin, ayudó a impulsar la metodología ACV y los países Bajos fueron pioneros en la elaboración de guías y manuales específicos de la implementación de normas ambientales sobre las metodologías del Análisis del Ciclo de Vida que fueron promovidas con el propósito de ponerlas a disposición del público.

Con la consolidación de la metodología como un manual, se publicó la metodología Eco-indicador 95 en el 2001, como complemento y herramienta de cuantificación del impacto del ACV desde un indicador que se atribuye a una carga medioambiental. Esta metodología fue muy criticada y algunas opiniones de expertos comentaban que este indicador estaba orientado a la medición de las emisiones de CO<sub>2</sub> y no consideraba mayor número de impactos.

Con el tiempo, esta metodología fue reinventada y actualizada con el fin de corregir, expandir y mejorar dando paso al Eco-indicador 99 que se basó en datos científicos y fiables, está detallada y especificada y añadió un mayor conjunto de emisiones e impactos.

## **América**

En una perspectiva cercana a América Latina, fue Colombia en 1973 quien dio los primeros pasos para incorporar en el continente la evaluación del impacto ambiental en su código de recursos naturales, le siguió México unos años después en 1978, Brasil en 1988, Venezuela y Bolivia en 1992 y poco tiempo después, Paraguay, Chile, Honduras en 1993 y Uruguay en 1994.

A inicios del siglo XX, comenzó a surgir la visión de aprovechamiento racional de los recursos naturales con el fin de protegerlos y asegurar su renovación. Por esto nace el concepto de “recurso renovable” que trata de aprovechar racionalmente los recursos naturales renovables, con el fin de asegurar una fuente continúa de recursos y así, la conservación de los ecosistemas.

En la década de los setenta se registraron graves daños por la lluvia ácida, los pesticidas y los afluentes industriales, creció la preocupación por la contaminación ambiental a causa del desarrollo económico. Después de las conferencias de las Naciones Unidas y tratados que nacieron a raíz de dichas problemáticas y su alto alcance, se inició la introducción de la visión de la gestión ambiental de Estado que

se sobrepuso a las visiones maneras, al uso racional y la visión conservacionista del recurso renovable que aún se preservan.

En inicios de la década de los setenta, legislaciones e instituciones ambientales expidieron las primeras políticas nacionales sobre el medio ambiente: en Brasil se creó La Secretaría Especial del Medio Ambiente en 1973, La Subsecretaría para el Mejoramiento del Medio Ambiente en México, la Ley Orgánica y el Ministerio de Medio Ambiente de Venezuela en 1976, creando así una serie de agencias ambientales pioneras a nivel nacional e internacional que introdujeron la evaluación del impacto ambiental.

En los años sesenta y ochenta se establecieron normas para la protección ambiental que condujeron a la publicación de leyes generales y macro en los países latinos, que regulan la protección del medio ambiente desde la perspectiva de protección de los recursos ambientales y los ecosistemas naturales, debido al exceso y a la falta de capacidad de hacer cumplir dichas normas, convirtiéndose en un proceso que desde entonces hasta la actualidad no ha culminado.

## **Colombia**

Según estudios externos a poblaciones colombiana de diferentes sectores, concluyen que, a pesar de la gran biodiversidad existente en Colombia, esta se está viendo afectada por daños ambientales generados por varios tipos de intervenciones de la mano del ser humano, una de las causas del deterioro ambiental es el desarrollo de infraestructura, algunas de estas ubicadas donde eran masas arbóreas, entre otras, llevando a la deforestación y a la degradación ambiental.

Desde entidades gubernamentales se habla de un impacto ambiental generalizado, el cual sintetiza las causas y los efectos que lo generan, pero no se habla de existencia de estudios para identificar, evaluar y cuantificar dicho impacto desde metodologías ACV.

En Colombia, son muy escasos los estudios y el análisis del impacto ambiental y la metodología ACV desde el ámbito de la construcción. Si bien, en países como Europa y Estados Unidos inició con la metodología hace unas décadas recientes, es muy reciente la llegada de la metodología para países latinoamericanos, entre ellos, Colombia.

### **1.9 ESTADO DEL ARTE**

El análisis del impacto ambiental negativo asociado al consumo energético durante el proceso constructivo de viviendas de interés social ha sido escasamente explorado en investigaciones locales y regionales, y su aplicación práctica en proyectos reales es prácticamente inexistente. Este vacío en el conocimiento limita la posibilidad de tomar decisiones fundamentadas que permitan optimizar el uso de la energía y reducir los efectos negativos sobre el entorno. En este contexto, el

presente trabajo contribuye a superar esta carencia mediante la evaluación específica del sistema constructivo porticado en hormigón armado y mampostería cerámica en un caso de estudio de la ciudad de Pasto, aplicando herramientas metodológicas como el Análisis de Ciclo de Vida y el eco indicador 99 para cuantificar de manera precisa el consumo energético y proponer lineamientos orientados a la sostenibilidad en el sector.

A continuación, se nombran y describen investigaciones que abordan aspectos relacionados con el tema y que sirven de base para el desarrollo de este estudio.

**MARTÍNEZ CAICEDO, MARIO GERMAN, ARQUITECTURA HOMEOSTÁTICA. DESARROLLO METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN EDIFICACIONES.<sup>11</sup>**

La investigación tiene similitud al presente estudio, la diferencia radica en la escala de evaluación y alcance ya que se realiza un amplio estudio fundamentado en la metodología de análisis del ciclo de vida a partir de la ISO 14040 enfocado en el concepto de sostenibilidad ambiental de la construcción del edificio en función de la ciudad y el urbanismo.

Entendiendo que “la construcción es tan solo una parte del ciclo de vida de la edificación”<sup>12</sup> para evaluar a mayor escala el impacto, el autor desglosa la conjunción de los sistemas, los procesos constructivos y sus actividades para definir el alcance con un caso de estudio de su autoría, cuantificando energía, materiales y procesos. A diferencia de esta investigación, se define solo un sistema, a partir de un caso de estudio, del cual se desglosan tres procesos constructivos con sus respectivas actividades y la cuantificación se limita a obtener el gasto energético.

**JUANMA HERNANDEZ - SANCHEZ, METODOLOGÍA BASADA EN EL ACV PARA LA EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD EN EDIFICIOS.<sup>13</sup>**

La investigación es una tesis doctoral que utiliza la metodología Análisis del ciclo de vida donde el autor realiza tres adaptaciones para usos específicos: análisis de alternativas de parámetros para mejorar en las fases del edificio, rehabilitación de edificios en la etapa de uso para disminuir el consumo energético aumentando la calidad de vida de los habitantes y, el ACV de un parque de edificios.

---

<sup>11</sup> MARTÍNEZ CAICEDO, M. G. Arquitectura homeostática, desarrollo metodológico para la evaluación ambiental de procesos constructivos en edificaciones. Tesis de maestría en construcción. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes, 2012.

<sup>12</sup> MARTÍNEZ CAICEDO, M. G. Arquitectura homeostática, desarrollo metodológico para la evaluación ambiental de procesos constructivos en edificaciones. Tesis de maestría en construcción. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes, 2012. pg. 67.

<sup>13</sup> HERNÁNDEZ SANCHEZ, J. M. Metodología basada en el ACV para la evaluación de sostenibilidad en edificios. Tesis doctoral. Catalunya: UPC Universidad politécnica. Departamento de Proyectos de Ingeniería, 2013.

El autor hace una investigación exhaustiva de cada una de las fases de CV de la construcción para proponer una metodología de análisis de impacto tomando como referencia diferentes metodologías de ACV partiendo desde el inicio hasta la disposición final del edificio, llevando a cabo la realización de cada una de las etapas de inventario, evaluación, cálculo y análisis y resultados de manera íntegra, que a diferencia de la presente investigación, esta se enfoca en la determinación y análisis de impacto ambiental de una de las fases del ciclo de vida del edificio: el proceso constructivo siguiendo la metodología ACV. Cabe resaltar que, la tesis citada es una investigación integral que acoge una gran escala en su metodología y en su caso de estudio. Y, en conclusión, como resultado final se presentan propuestas de lineamientos y metodologías para mejorar la calidad de vida desde el CV.

**MUÑOZ, C. ZAROR, C. SAELZER, G. CUCHÍ, A. ESTUDIO DEL FLUJO ENERGÉTICO EN EL CICLO DE VIDA DE UNA VIVIENDA Y SU IMPLICANCIA EN LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO, DURANTE LA FASE DE CONSTRUCCIÓN CASO ESTUDIO: VIVIENDA TIPOLOGÍA SOCIAL. REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE.<sup>14</sup>**

En este estudio los autores realizan una evaluación de ciclo de vida de construcción de una edificación a partir de la norma ISO 14040, identificando las entradas energéticas y los aspectos ambientales como la obtención de materia prima y la huella de carbono en la etapa de construcción.

La conclusión de esta investigación y a la que se pretende llegar en este trabajo es: “el diseño eficiente de los edificios puede desempeñar un papel clave en la lucha contra el cambio climático. Incorporar estrategias que apunten a disminuir el impacto en el medio ambiente y a aumentar la ecoeficiencia en toda cadena de valor, hace posible reducir las emisiones de GEI. Al respecto el consumo de energía debe ser considerado como un indicador de sustentabilidad y, disminuir su uso, nos permitiría acercarnos a los principios de construcción sostenible.”<sup>15</sup>

**SUSUNAGA MONROY, JOSÉ MARIO. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA PARA LA EDIFICACIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL Y PRIORITARIO.<sup>16</sup>**

---

<sup>14</sup> MUÑOZ, C. ZAROR, C. SAELZER, G. CUCHÍ, A. Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción caso estudio: vivienda tipología social. Región del Biobío, Chile. Revista de la construcción, volumen 11 N.º 3, 2012.

<sup>15</sup> MUÑOZ, C. ZAROR, C. SAELZER, G. CUCHÍ, A. Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción caso estudio: vivienda tipología social. Región del Biobío, Chile. Revista de la construcción, volumen 11 N.º 3, 2012. Pg. 144.

<sup>16</sup> SUSUNAGA MONROY, José Mario. Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario. Trabajo de grado. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Programa de Ingeniería Industrial, 2014.

En esta investigación presenta la falta de conocimiento, por parte de entidades encargadas, de la variedad de sistemas sostenibles que pueden ser implementados en la construcción de este tipo de viviendas, y la finalidad del trabajo es describir los conceptos relacionados con construcción sostenible y la importancia de la normativa, profundizando en temas relacionados con el manejo de materiales (naturales y reciclados) y que pueden ser tenidos en cuenta para la construcción de vivienda de interés social sostenible y prioritaria (VISS y VIPS).

**PEREVOCHTCHIKOVA, MARÍA. LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y LA IMPORTANCIA DE LOS INDICADORES AMBIENTALES.<sup>17</sup>**

Este trabajo es un complemento a la metodología utilizada en la presente investigación, ya que habla sobre el desconocimiento de las entidades responsables para desarrollar obras de construcción que generan alto impacto ambiental en el ecosistema, haciendo énfasis en la sostenibilidad, presentando la importancia de los indicadores como instrumentos de medición para la cuantificación, evaluación y análisis del daño ocasionado al medio ambiente.

**VELASCO PANTOJA, SANTIAGO. TENDENCIA DE IMPACTO AMBIENTAL EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL.<sup>18</sup>**

El presente estudio es la continuación del trabajo realizado por Velasco Pantoja, Santiago, siguiendo la metodología ISO 14040, el autor realiza el análisis y evaluación de la materialidad de la VIS – caso de estudio, con el fin de identificar su impacto negativo a través de la herramienta de medición, el eco indicador 99, para luego proponer el reemplazo de ciertos materiales para minimizar el impacto negativo.

Con el fin de mitigar el impacto negativo aún más, se inicia esta investigación siguiendo el ciclo de vida de la construcción del edificio, donde se analiza, evalúa e identifica el gasto energético de los procesos. Los resultados y la conclusión final de este trabajo tienen como objetivo, proponer lineamientos donde se presenten procesos alternos que puedan reemplazar el proceso actual con el fin de reducir el impacto.

Las investigaciones consignadas en este punto sustentan el uso del análisis del ciclo de vida para esta investigación, algunas de las investigaciones extienden su objetivo y alcance, haciendo una investigación a gran escala, las cuales extiende su investigación incorporando la evaluación de la huella de carbono y de igual manera, el alcance recoge más información de las variables. Otras investigaciones son metodológicas, dando a conocer el desconocimiento de las entidades responsables

---

<sup>17</sup> PEREVOCHTCHIKOVA, María. La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. México D.F. Gestión y política pública, vol. XXII, N.º 2, 2013.

<sup>18</sup> VELASCO PANTOJA, Santiago. Tendencia de impacto ambiental en viviendas de interés social: caso de estudio barrio Juan Pablo II – Pasto. Trabajo de grado. Pasto: Universidad CESMAG. Programa de Arquitectura, 2022.

y así mismo, presentando un análisis de las distintas metodologías de las que se puede hacer uso y que se diferencian de la ISO 14040 pero el objetivo y sus resultados son similares.

### 1.10 MARCO TEÓRICO

La norma **ISO 14040** constituye una metodología ampliamente reconocida para la evaluación ambiental mediante el **análisis del ciclo de vida (ACV)** de un producto, proceso o servicio. Este enfoque permite identificar, analizar y cuantificar los impactos ambientales potenciales asociados a todas las etapas del ciclo de vida.

La norma define cuatro fases esenciales:

La primera fase corresponde a la **definición del objetivo y el alcance**, donde se determina el propósito del ACV y se establecen los límites del sistema de estudio, la unidad funcional y el nivel de detalle requerido.

En el caso de esta investigación, el análisis se centra en una tipología específica: **la vivienda de interés social (VIS)**. Este tipo de vivienda surge como una respuesta del Estado y los gobiernos locales para atender el déficit habitacional y mejorar las condiciones de vida de las poblaciones de bajos ingresos. El derecho a una vivienda digna, reconocido como parte de los derechos humanos fundamentales, ha impulsado la creación de políticas públicas y programas destinados a la construcción y financiación de las VIS. En ese marco, la investigación toma como caso de estudio una VIS ubicada en el barrio Juan Pablo II de San Juan de Pasto, representativa de los sistemas constructivos tradicionales de la región, basados en estructuras aporricadas en hormigón armado y mampostería cerámica. Este enfoque permite analizar cómo los procesos constructivos empleados en este tipo de vivienda contribuyen al impacto ambiental negativo, particularmente en términos de consumo energético y generación de residuos, y plantea la necesidad de lineamientos que promuevan prácticas constructivas más sostenibles y eficientes.

La segunda fase es el **análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)**. En esta etapa se recopila información detallada sobre las entradas (materias primas, energía) y salidas (emisiones, residuos) del sistema a lo largo de todo su ciclo de vida. Los datos del inventario constituyen la base para el análisis posterior y garantizan la solidez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Los datos obtenidos en el ICV constituyen la base sobre la cual, en la tercera fase se realiza la **evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)**. Aquí se identifican y seleccionan las categorías de impacto pertinentes —en este caso, el consumo energético y su relación con el impacto ambiental negativo— y se cuantifican sus efectos potenciales mediante herramientas como el **eco indicador 99**. Este método asigna una carga ambiental a cada proceso o material en función de su impacto global, expresando los resultados en **milipuntos (mPt)**, unidad que permite comparar y sumar los impactos de distintos elementos y facilitar la interpretación y comparación de resultados.

El **eco indicador**, empujando como herramienta de medición, es un método de análisis del ciclo de vida que expresa el impacto en números y lo relaciona con los efectos que estos ocasionan en el medio ambiente. A través de este método, se pueden analizar las cargas ambientales de los procesos durante su ciclo de vida.

En el análisis se consideran variables complementarias que se relacionan entre sí y permiten comprender el impacto ambiental derivado del proceso constructivo de forma integral. La **cantidad de obra** corresponde a la medición de los materiales y recursos empleados en dicho proceso, con base en planos y especificaciones técnicas, lo cual resulta esencial para estimar el impacto generado por el volumen de insumos utilizados. Esta variable está estrechamente vinculada con el **consumo energético**, dado que un mayor volumen de materiales implica un incremento en el uso de maquinaria, operarios y transporte y, por tanto, un mayor gasto de energía durante la construcción.

El **consumo energético** se entiende como la cantidad de energía requerida para realizar las actividades del proceso constructivo. En este estudio, su medición se realiza mediante la conversión de los procesos en unidades de energía; kilocalorías para los operarios y en potencia y combustible para la maquinaria, según corresponda. Esta información es clave para estimar el impacto ambiental, ya que permite asociar de manera cuantitativa el uso de energía a los efectos negativos sobre el entorno.

En cuanto al **tiempo**, en el contexto de esta investigación se considera como un valor estadístico estimado, utilizado como referencia para relacionar la duración típica de los procesos constructivos con su eficiencia y su posible incidencia en el impacto ambiental. Es importante aclarar que no se toma como un dato medido directamente en campo, ya que el estudio se desarrolla en un momento único y se asume de forma teórica que, a menor tiempo estimado, existe una mayor eficiencia en el proceso constructivo, lo que se traduce en un menor consumo de recursos y una reducción en la generación de residuos.

Finalmente, la cuarta fase corresponde a la **interpretación**, en la que se analizan los resultados del ICV y la EICV para identificar los procesos o materiales con mayor impacto, derivar conclusiones y plantear recomendaciones orientadas a mejorar el desempeño ambiental del sistema constructivo. Este enfoque contribuye no solo al análisis riguroso del consumo energético y su impacto, sino también al diseño de lineamientos más sostenibles para futuras intervenciones constructivas.

## 1.11 VARIABLES

Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo que establece y define las variables a medir, las cuales se relacionan entre sí para permitir el análisis, interpretación y comprensión del fenómeno estudiado. A continuación, se presentan dichas variables, sus definiciones y la forma en que se cuantifican en el marco del estudio.

- El **impacto ambiental negativo** corresponde al nivel de afectación generado por el consumo energético durante el proceso constructivo, cuantificado mediante el uso del eco indicador 99.

Se mide mediante el eco indicador 99 en milipuntos por kilogramo (mPt/kg), unidad que representa la carga ambiental asociada al **consumo energético durante el proceso constructivo**.

- Los **milipuntos (mPt)** son la unidad de medida utilizada en las listas del eco indicador 99 para cuantificar el impacto ambiental asociado a un material o proceso. En este sistema, 1000 mPt equivalen a 1 punto (Pt).

El valor de los milipuntos varía según el tipo de material y el nivel de energía requerido para su implementación, ya que el eco indicador 99 asigna un impacto ambiental específico al consumo energético involucrado en cada uno.

De manera referencial, se considera que un milipunto corresponde al impacto ambiental generado por 1 kg de desechos producidos por persona. A mayor consumo energético en el proceso constructivo, mayor es el impacto ambiental negativo expresado en milipuntos.

- La **cantidad de obra** hace referencia a la cuantificación de los materiales utilizados en cada una de las actividades que conforman el sistema constructivo de la vivienda. Esta medición se realiza con base en los planos y en los elementos que integran el proyecto arquitectónico. A partir de esta información, se calcula la energía empleada por la maquinaria y el personal para la ejecución de las actividades constructivas, lo que permite establecer el vínculo entre el volumen de obra ejecutada y el impacto ambiental negativo derivado del consumo energético.
- El **tiempo** se entiende como el lapso estimado de duración de cada proceso constructivo. En esta investigación, este valor se emplea como un dato referencial necesario para los cálculos energéticos, ya que el estudio se realiza en un único momento y no contempla mediciones reales de obra en ejecución.

Este componente se considera directamente proporcional al impacto ambiental negativo: a mayor duración de las actividades, mayor es el consumo energético asociado y, por tanto, más elevado el impacto generado. Y, por el contrario, a menor tiempo, más eficiente es el proceso, menor es la cantidad de materiales requeridos y, así mismo, disminuye la cantidad de desperdicios generados, contribuyendo a reducir el impacto ambiental.

- El **consumo energético** corresponde a la cantidad de energía requerida para la realización de las distintas actividades de los procesos constructivos. En esta

investigación, este valor resulta fundamental para evaluar el impacto ambiental negativo asociado al sistema constructivo.

Para su medición, se emplean unidades en kilocalorías cuando se refiere al esfuerzo de los operarios, mientras que en el caso de la maquinaria se calcula en términos de potencia y combustible consumido durante las actividades de obra. Este componente se integra directamente en los cálculos del eco indicador 99, permitiendo cuantificar de forma precisa el grado de afectación ambiental generado.

## **1.12 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

**H.I:** El consumo energético asociado al sistema constructivo aportado en hormigón armado y mampostería cerámica, implementado en las viviendas de interés social del barrio Juan Pablo II de San Juan de Pasto, constituye un factor relevante que contribuye significativamente al impacto ambiental negativo, según los resultados obtenidos mediante el eco indicador 99.

## **1.13 METODOLOGÍA**

### **1.13.1 Paradigma.**

La presente investigación se enmarca dentro del paradigma positivista, dado que la obtención de los resultados es objetiva y se basa en la recopilación y análisis cuantitativo de datos técnicos del sistema constructivo y su impacto ambiental. Este enfoque permite medir, proyectar y explicar el fenómeno mediante relaciones causales que son verificables y que se ajustan a leyes generales. En este trabajo se presenta un análisis que cuantifica el impacto ambiental potencial generado por el sistema constructivo de la vivienda de interés social del caso de estudio, a partir de estimaciones estandarizadas y cálculos de consumo energético, con el fin de proponer estrategias de mitigación.

### **1.13.2 Enfoque.**

La presente investigación tiene una relación directa entre el paradigma positivista y el enfoque cuantitativo, debido a que maneja una investigación causal, única y generalista del fenómeno en la vivienda de interés social. El enfoque mantiene estudios y análisis de datos únicos objetivos que aprueben los alcances proyectados y permite establecer conclusiones reales, verídicas y replicables en casos de estudios similares donde se identifique el fenómeno dentro del campo arquitectónico y constructivo de la vivienda de interés social en articulación con el ámbito medio ambiental, de tal manera que se pueda desarrollar un análisis integral de cada una de las partes que componen la afectación.

### **1.13.3 Método.**

La presente investigación se desarrolla bajo un método científico, el cual se basa en la observación del fenómeno físico para formular y demostrar hipótesis, y

estandarizar resultados a partir de muestras; en este caso, módulos de vivienda de interés social. Posteriormente, se evalúa la información recopilada mediante herramientas como el eco indicador 99, con el fin de definir el impacto negativo del proceso del sistema constructivo de la vivienda de interés social asociado al gasto energético. Se entiende que, en este método, los resultados obtenidos pueden ser replicables en estudios similares y, de igual manera, la información objetiva recogida del fenómeno se apoya también en una percepción empírica que emplea métodos lógicos y de razonamiento.

#### 1.13.4 Población.

La presente investigación se desarrolla en la comuna 10 de la ciudad de Pasto, específicamente en la urbanización de viviendas unifamiliares de interés social en el barrio Juan Pablo II, el cual se constituye de 203 unidades de vivienda que están contenidas en 17 manzanas. Este sector posee un área bruta del lote de 54.692,05 m<sup>2</sup> y un área neta urbanizable de 15.581,50 m<sup>2</sup>, cada módulo de vivienda se distribuye a lo largo del sector y tiene una superficie de 66 m<sup>2</sup> cada unidad. Las características que las relaciona entre sí y que son puntos clave para el desarrollo de este estudio es su sistema constructivo, el cual maneja aporcado en hormigón armado y mampostería cerámica. Su materialidad ocasiona un alto impacto en el medio ambiente.

#### 1.13.5 Muestra.

La muestra seleccionada para el desarrollo de este estudio son los módulos de vivienda unifamiliar de interés social localizados dentro del barrio Juan Pablo II en la ciudad de Pasto, los cuales se seleccionarán de manera aleatoria.

La cantidad resultante dependerá de cálculo de muestra que se obtenga con la siguiente ecuación estadística para proporciones poblacionales:

$$n = \frac{z \wedge 2(p * q)}{e \wedge 2 + \frac{(z \wedge 2(p * q))}{N}}$$

Donde **n** es el tamaño de la muestra, **z** es un valor determinado por el nivel de confianza deseado, **p** es la proporción de la población con la característica deseada, **q** es la proporción de la población sin la característica deseada, **e** es el nivel de error dispuesto a cometer y **N** es el tamaño de la población.

De acuerdo al cálculo de muestra, con un nivel de confianza del 90%, un margen de error del 7%, se obtiene un muestreo de 83 unidades a analizar de las cuales, las viviendas que han sido ampliadas o modificadas no se toman con el fin de generar resultados que correspondan a la planificación principal general de las casas.

### **1.13.6 Tipo de investigación.**

El tipo de investigación de este estudio es **correlacional**, ya que busca analizar principalmente, la relación que existe entre el **proceso del sistema constructivo** y el **impacto ambiental negativo asociado al consumo energético**. Se parte de la premisa de que el desarrollo del proceso constructivo, en términos de consumo de energía, influye directamente en el nivel de impacto ambiental generado. De este modo, el estudio **pretende identificar en qué actividades del proceso constructivo de la vivienda de interés social —caso de estudio en el barrio Juan Pablo II— se presenta el mayor consumo energético, con el fin de proponer estrategias que contribuyan a mitigar el impacto ambiental negativo.**

### **1.13.7 Diseño de investigación.**

El diseño de la investigación es no experimental, dado que las variables no se manipulan y únicamente se observa el fenómeno, sus efectos y consecuencias en un momento único, analizando los datos recolectados para determinar su impacto. En este estudio se recopilan los datos y se identifica que la característica común de las viviendas unifamiliares del barrio Juan Pablo II es su tipología; de esta forma, su sistema constructivo y materialidad se replican. Con base en estas variables, se analiza el impacto ambiental negativo generado.

### **1.13.8 Técnicas de recolección de información.**

Para la recolección de la información requerida a lo largo del presente estudio, se utilizan técnicas de observación no participante del caso de estudio, con el fin de realizar un reconocimiento visual y fotográfico de las viviendas de interés social (VIS). Así mismo, se recurre a la revisión documental y al levantamiento de inventarios para extraer información detallada de los planos y documentos técnicos relacionados con la construcción del sector, expedidos por entidades como INVIPASTO, la curaduría urbana y la Alcaldía Municipal.

La información recolectada mediante estas técnicas constituye la base para el procesamiento de datos y la realización de los cálculos necesarios para cuantificar el impacto ambiental mediante el eco indicador 99.

### **1.13.9 Instrumentos de recolección de la información.**

Los instrumentos de recolección de información utilizados en la presente investigación corresponden a las técnicas mencionadas en el apartado anterior. Para ello, se emplean instrumentos como el diario de campo, la ficha bibliográfica y la ficha de inventario, que permiten sistematizar y registrar de manera organizada la información obtenida mediante la observación no participante, la revisión documental y el análisis de planos e información de obra.

Los datos recopilados a través de estos instrumentos aportan significativamente al desarrollo del estudio, ya que, como se señaló previamente, el método de esta investigación es de carácter objetivo. La información recogida sustenta la

elaboración del inventario, así como la evaluación y el análisis detallado del caso de estudio.

#### **1.13.10 Procesamiento de la información.**

El procesamiento de todos los datos recogidos y analizados en el estudio se desarrolla en diferentes etapas, que corresponden en particular a todo el proceso de inventario y a los cálculos presentados en los anexos. Se utiliza la herramienta ofimática Excel con el objetivo de sistematizar la información, facilitar el proceso de cálculo y organizar de forma eficiente los datos obtenidos. Para esto, se elaboran diversas tablas: tablas de cuantificación de obra, tablas de clasificación de los procesos constructivos de la vivienda analizada, y tablas que detallan los valores de rendimiento físico de los operarios (en términos de METs traducidas a Kilocalorias), lo que permite estimar el esfuerzo energético asociado a cada proceso. Estas tablas, junto con las fórmulas y datos, permiten obtener los cálculos pertinentes y proyectar el impacto ambiental negativo potencial asociado al caso de estudio a partir de estimaciones estandarizadas. Además, se diseñan flujogramas que representan de forma clara los flujos de actividades y el consumo energético correspondiente, facilitando la comprensión de las relaciones entre los procesos y su impacto ambiental.

## **2 INVENTARIO DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS DE LA VIVIENDA VIS JUAN PABLO II POR SISTEMA CONSTRUCTIVO Y TIPOLOGÍA DE VIVIENDA.**

En las ciudades contemporáneas existe una alta demanda de vivienda, se puede decir que, de todas las tipologías arquitectónicas, la vivienda es la que conforma la mayor parte de la estructura urbana. Sin embargo, esto también ha representado retos y desafíos, uno de ellos es la falta de gestión urbana que ha resultado en un déficit cuantitativo y cualitativo de vivienda que afecta al país y en general a Latinoamérica.

Esta problemática se presenta por diferentes variables como altos costos del suelo, escasez de tierra urbana, sectores informales, desplazamientos, difícil acceso a préstamos, ineficiencia en las administraciones locales, entre otros.

Debido a esto, los entes gubernamentales implementan políticas para subsanar dicha problemática. El gobierno nacional y administraciones locales se manifestaron en el año 2009 mediante el CONPES 3583 “*Lineamientos de política y consolidación de los instrumentos para la habilitación de suelo y generación de oferta de vivienda*” a fin de habilitar suelo para construir vivienda, principalmente vivienda de interés social.

Esta política va de la mano con proyectos de renovación urbana y proyectos de interés nacional social que buscan en común, la densificación y el aprovechamiento de la ciudad e infraestructura existente.

Por otra parte, existe la deficiencia en la calidad de las edificaciones para proyectos gubernamentales como las VIS. Desde el diseño hasta su construcción prima la cuestión económica que busca obtener bajos costos para realizar estas edificaciones, por esta razón, predomina la repetición de la planta tipo, el área mínima y un programa básico estándar. Debido a lo anterior, el diseño de las edificaciones VIS es estándar, se observa una imitación de plantas y la configuración se repite sin tener en cuenta otros factores importantes que influyen en la calidad de vida de la vivienda y de los usuarios.

Para dar inicio a la presente investigación, se parte de la metodología ISO 14040, en la fase ICV, la cual se basa en realizar un inventario a partir de la recopilación y la cuantificación de entradas y salidas para un sistema o producto a través de su ciclo de vida<sup>19</sup>. Esta fase implica la división del sistema en los procesos unitarios

---

<sup>19</sup> Gestión Ambiental. *Términos y definiciones*. En: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA ISO 14040. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá. 2007, p. 2.

que lo componen facilitando la identificación de las entradas y salidas del sistema del producto.<sup>20</sup>

De acuerdo con lo anterior, se realiza un análisis del proceso del sistema constructivo de la vivienda en su estado original que permita determinar y cuantificar detalladamente la cantidad de materiales, la mano de obra y el tiempo que se requiere para cada proceso.

En la primera parte del estudio se realiza la identificación y categorización de los elementos que forman al sistema constructivo de la vivienda de interés social del barrio Juan Pablo II para luego analizar a detalle el proceso de construcción de cada uno de ellos.

Según la planimetría arquitectónica original de la unidad base dada por INVIPASTO, evidenciada en **Anexo 1**. Diseño estructural módulo básico de vivienda – Plano N 1., los elementos que corresponden a la vivienda son los siguientes:

- Zapatas en concreto.
- Vigas de cimentación en concreto.
- Vigas en concreto.
- Columnas en concreto.
- Mampostería en ladrillo macizo cerámico.

Con el inventario se procede a hacer el análisis y la descripción detallada de cada proceso identificado, para determinar al finalizar esta primera fase, las actividades que se desglosan de cada proceso.

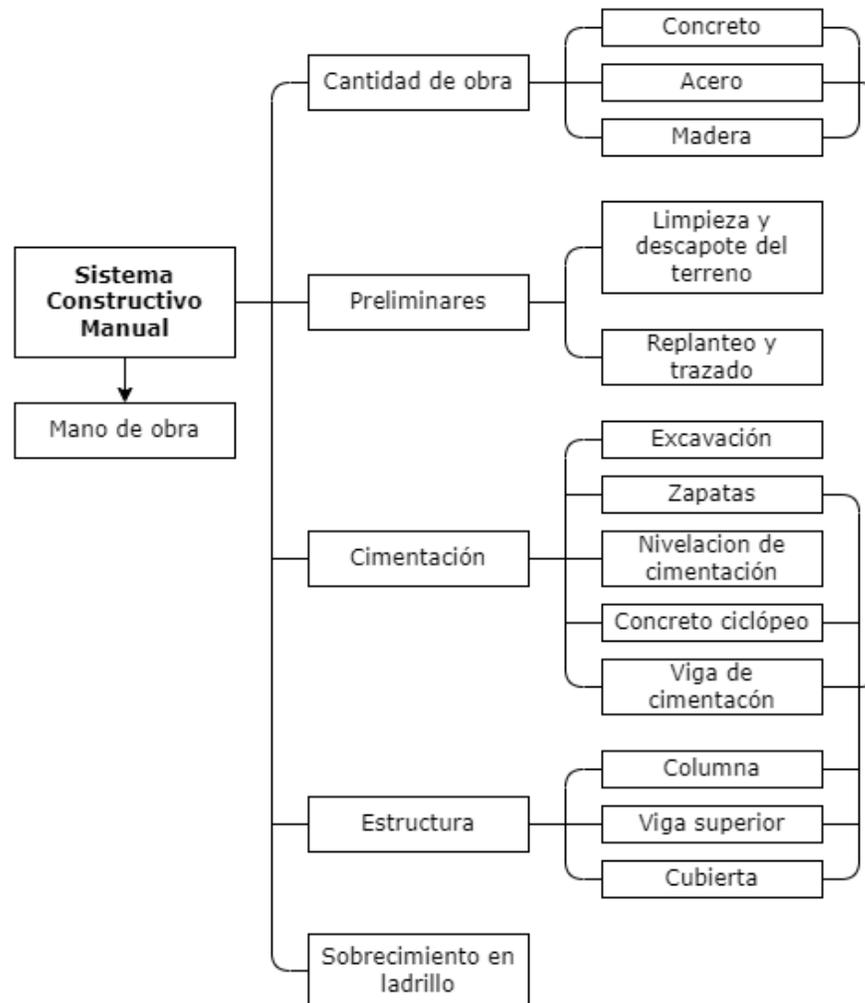
## **2.1 PROCESO CONSTRUCTIVO MANUAL**

En este proceso constructivo, los operarios efectúan tareas o actividades utilizando la fuerza física, ayudados por herramientas de mano como palas, picas, entre otros elementos rudimentarios.

---

<sup>20</sup> Gestión Ambiental. *Conceptos generales del sistema del producto*. En: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA ISO 14040. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá. 2007, p. 9.

**Figura 2.** Flujo de actividades del proceso constructivo manual.



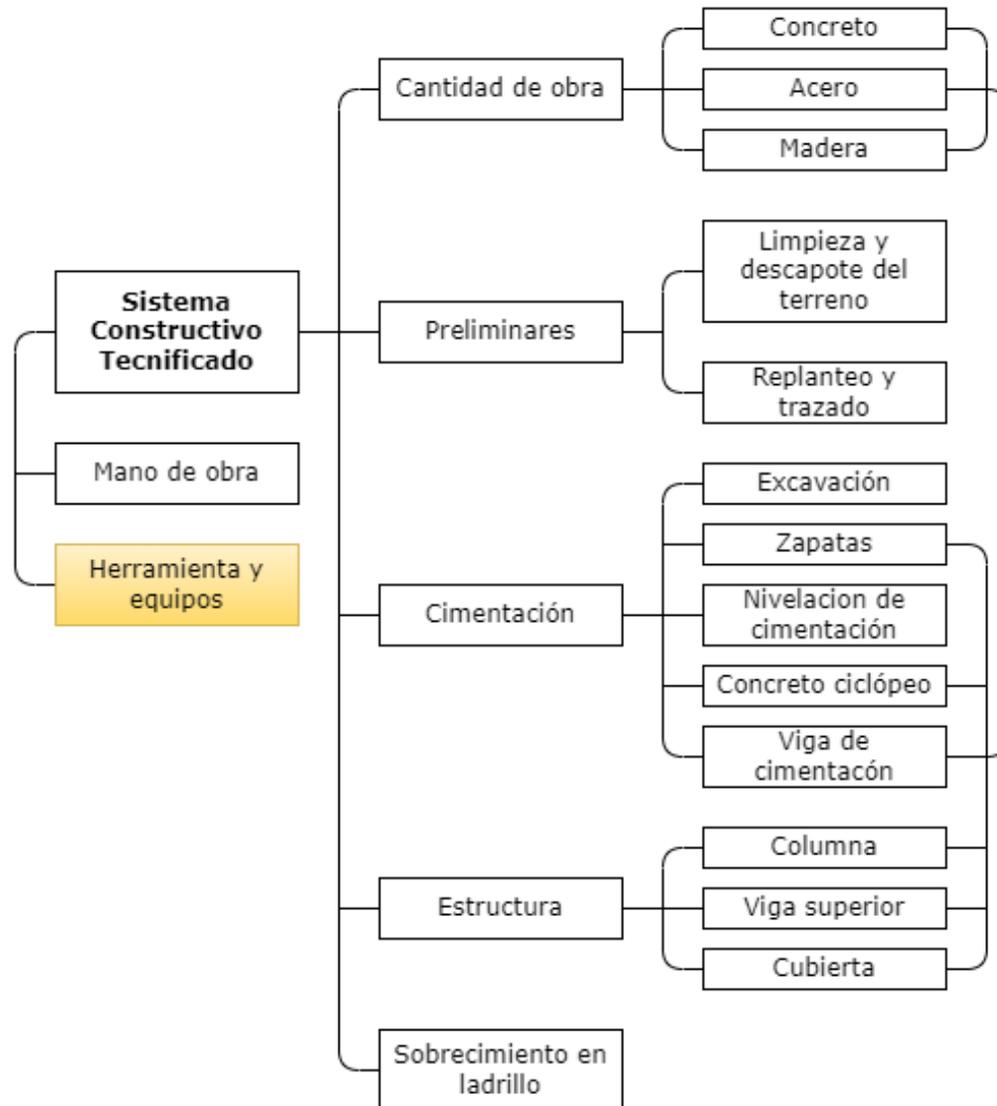
**Fuente:** Esta investigación.

En los siguientes numerales se analizan los procesos constructivos alternos (tecnificado e industrializado) para posteriormente realizar una comparativa sobre su impacto en el medio ambiente siguiendo el ciclo de vida.

## 2.2 PROCESO CONSTRUCTIVO TECNIFICADO

Visto anteriormente el proceso constructivo manual, se procede a describir el proceso constructivo tecnificado, en el cual se involucra maquinaria pesada y equipos eléctricos por lo que puede haber un gasto energético por uso de maquinaria más la actividad física de los operarios.

**Figura 3.** Flujo de actividades del proceso constructivo tecnificado.



**Fuente:** Esta investigación.

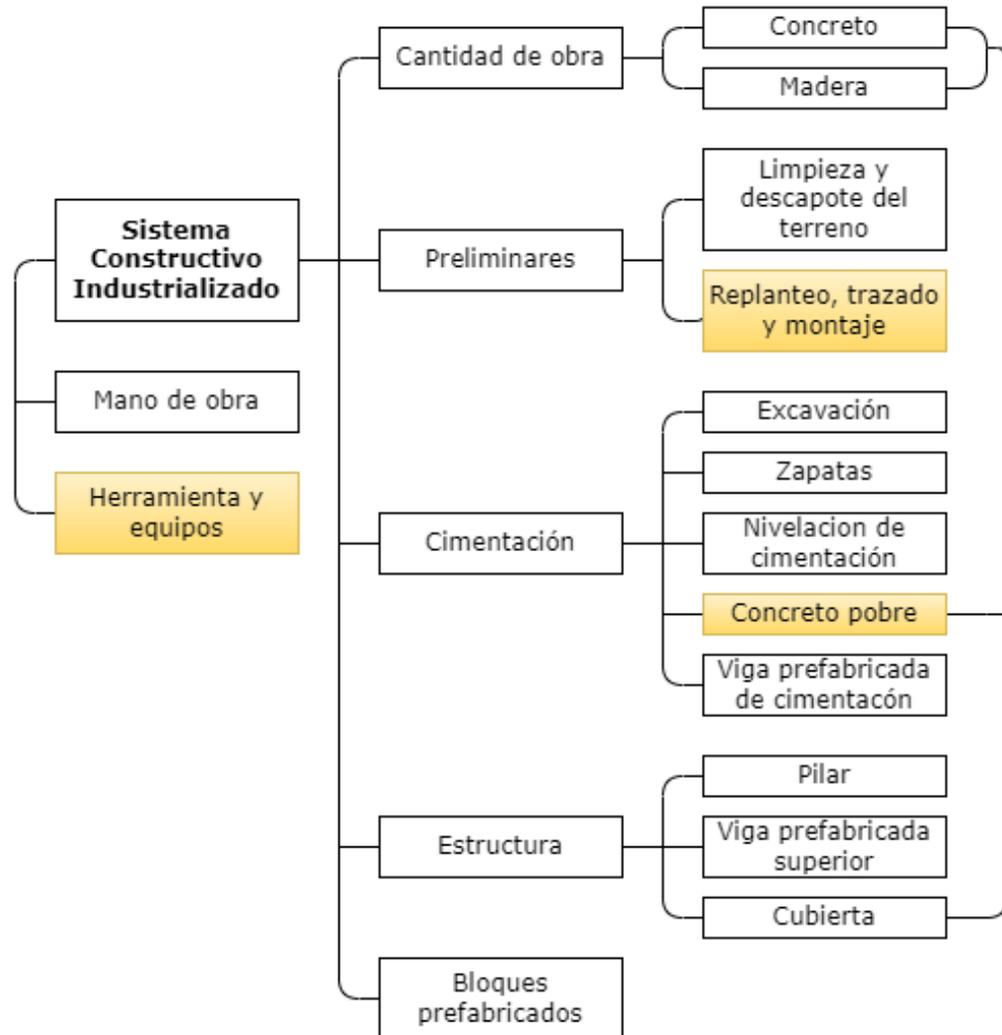
Las actividades del proceso tecnificado son similares al proceso manual, la diferencia radica en la forma de realizar las tareas con la incorporación de maquinaria pesada identificada en el diagrama de herramienta y equipos.

### 2.3 PROCESO CONSTRUCTIVO INDUSTRIAL

En este proceso, los elementos son producidos previamente en fábrica y son trasladados al lugar de ejecución de la obra donde finalmente serán puestos a disposición.

El traslado de los elementos se hace mediante vehículos, los cuales deben tener el manejo adecuado y seguir las indicaciones debidas para transportar las piezas de manera eficaz y efectiva, con el fin de evitar riesgos de lesiones o roturas de los elementos durante el viaje.

**Figura 4.** Flujo de actividades del proceso constructivo Industrializado.



**Fuente:** Esta investigación.

A diferencia de los anteriores procesos, en el proceso constructivo industrializado se agrega la actividad: “montaje” y la actividad concreto ciclópeo cambia por la actividad: “concreto pobre”, de igual manera, las tareas que ocurren en dichas actividades que se modifican son diferentes a las iniciales.

De estos procesos constructivos se puede observar que la diferencia radica en la operatividad del proceso con el uso de maquinaria en el tecnificado e industrializado

y que adicionalmente, este último cuenta con el uso de productos prefabricados que requieren de un traslado a la obra y el respectivo campamento para su posterior montaje.

### 3 TENDENCIA DE IMPACTO AMBIENTAL EN LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.

La investigación se centra en la evaluación del impacto desde la metodología que explica el modelo metabólico lineal de la vivienda donde se entiende al gasto energético como uno de los factores importantes que causan un efecto ambiental. En la siguiente figura se observa el modelo metabólico lineal aplicado a una edificación.

**Figura 5.** Modelo metabólico lineal de un edificio.



**Fuente:** Esta investigación.

El modelo metabólico lineal determina el CV de la edificación en la etapa de construcción en el cual, en la fase inicial hay una entrada de energía y materiales, luego en la fase de proceso, se evidencia un consumo energético y en la finalización, se obtiene la salida de desechos (líquidos, sólidos y gaseosos) y energía.

En este capítulo se llevará a cabo la determinación y el cálculo del gasto de energía en la fase del proceso del sistema constructivo de la vivienda.

#### 3.1 Gasto energético del ser humano:

El gasto energético (GE) en definición es la energía que consume un organismo asociado a las actividades y trabajos físicos que realiza diariamente el ser humano y que permiten al metabolismo del cuerpo quemar calorías.

La energía que el organismo consume se constituye por la tasa metabólica basal, la actividad física, entre otras.

La **tasa metabólica basal** (TMB) es la energía que se utiliza para mantener las funciones vitales y conservar las actividades basales, es decir, es la energía base de un individuo para realizar todas aquellas actividades casi involuntarias como respirar, mantenerse en pie, crecer, entre otras actividades básicas que realiza el ser humano durante el día.

El TMB depende de muchos factores: edad, género, peso (kg), talla (cm), superficie corporal, estado fisiológico (embarazo y lactancia), composición corporal, temperatura ambiental, presencia de algunas enfermedades, etc.<sup>21</sup>

El **gasto energético de la actividad física** es la energía utilizada en las actividades voluntarias que realiza el ser humano y que están relacionadas con su día a día, por ejemplo, trabajar, hacer deporte, hacer actividades del hogar, entre otros. Es decir, es el consumo energético minucioso por cada actividad voluntaria que realice diariamente dependiendo de su profesión.

El gasto energético por AF está condicionado por el tipo de actividad, el tiempo empleado en la actividad (min), peso corporal (kg), estatura (cm), edad, entre otros.

De acuerdo con lo anterior y entendiendo que, el gasto energético contemplado en este estudio es el consumo energético metabólico del ser humano que requiere para realizar una actividad específica. El consumo está asociado a las actividades físicas determinadas que realiza una persona en su profesión, en este caso, el obrero en la construcción necesita cierta cantidad de energía para elaborar una zapata, elaborar una columna, etc.

Este gasto energético del ser humano produce un impacto ambiental por consumo de energía metabólica, ya que, la cantidad de operarios y la gestión del tiempo por cada actividad aportan un valor significativo en la medición del impacto.

### 3.2 Cálculo del gasto energético

Para Para calcular el gasto energético total de un ser humano se necesita saber cuántas Kcal gasta el cuerpo en reposo o en solo mantener sus funciones vitales (TMB) y el gasto energético de Kcal por Actividad Física (AF).

Se realiza la valoración antropométrica en la cual, se utilizará valores estándar según el sexo y la estimación de la actividad física (los valores están sujetos a cambios según se requiera) que se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro 1.** Valores estándar para estimación de Actividad Física.

<i>Sexo</i>	Masculino	Femenino
<i>Edad</i>	18 – 60	18 – 60
<i>Peso (Kg)</i>	75 k	60 k
<i>Estatura (cm)</i>	175 cm	165 cm

**Fuente:** Esta investigación.

---

<sup>21</sup> FERNANDEZ QUINTELA, Alfredo. Nutrición y dietética. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. Facultad de Farmacia, 2013.

### 3.3 Calculo TMB:

Para estimar el gasto energético de los operarios durante el proceso constructivo, se adoptó la fórmula desarrollada por **C.J.K. Henry (2005)**, la cual permite calcular la **Tasa Metabólica Basal (TMB)** en función del peso corporal.

**Cuadro 2.** Ecuaciones de la FAO/WHO/UNU 1985 para la estimación de TMB.

Genero	Edad/años	TMB (Kcal/día)
Hombres	10 – 18	17.686 * P + 658,2
	18 – 30	15.057 * P + 692,2
	30 – 60	11.475 * P + 873,1
	>60	11.711 * P + 587,7
Mujeres	10 – 18	13.384 * P + 692,6
	18 – 30	14.818 * P + 486,6
	30 – 60	8.126 * P + 845,6
	>60	9.082 * P + 658,5

**Fuente:** Henry, C J K. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. Public health nutrition. Estados Unidos. vol. 8,7A (2005): 1133-52.

### 3.4 Calculo GET estimado según actividad física estándar (AF)

El cálculo de la GET se desarrolló en 1985 a partir de la base de datos de Shofield utilizada en la estimación de la TMB. Se consideraron tres niveles de AF y se optó por rangos para cada categoría; además, se adoptó el término de estilo de vida más que el de ocupación laboral para definir el nivel de AF.<sup>22</sup>

Sedentario o estilo de vida con actividad leve: 1.40 - 1.69

Activo o estilo de vida moderadamente activo: 1.70 - 1.79

**Vigoroso o estilo de vida vigorosamente activo: 2.0 - 2.4**

Fórmula:

$$GET = TMB * Factor$$

**Hombres:**

- $1.821,475 * 2,4 = 4.371,54$  Kcal/día aproximadamente.
- $1.733,725 * 2,4 = 4.160,94$  Kcal/día aproximadamente.

**Mujeres:**

- $1.375,68 * 2,4 = 3.301,632$  Kcal/día aproximadamente.

<sup>22</sup> VARGAS Z, Melier. LANCHEROS P, Lilia. BARRERA P, María del Pilar. Gasto energético en reposo y composición corporal en adultos: gasto energético en reposo relacionado con la composición corporal en adultos (en línea). En: Revista SciELO. Facultad de Medicina. Universidad Nacional de Colombia. (Bogotá): 2011 (consultada: 2023) Disponible en la dirección electrónica: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-00112011000500006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-00112011000500006)

- $1.333,16 * 2,4 = 3.199,584$  Kcal/día aproximadamente.

### 3.5 Cálculo de GET por actividad física

De acuerdo con el compendio de actividades físicas<sup>23</sup> en el siguiente cuadro se almacena las actividades físicas a tener en cuenta para este estudio según la tarea a realizar por cada actividad.

**Cuadro 3.** Compendio de actividades físicas.

<b>METS</b>	<b>Actividad Física</b>	<b>Ejemplos</b>
5.0	Jardinería	Transportar, cargar, apilar madera, cargar/descargar, transportar madera.
5.0	Jardinería	Limpieza del terreno.
5.0	Jardinería	Excavación/cavar.
5.0	Jardinería	Colocar piedra triturada.
6.0	Ocupación	Acarrear escombros/conducir maquinaria pesada
3.5	Ocupación	Carpintería general.
8.0	Ocupación	Transporte de carga pesada.
5.5	Ocupación	Construcción, exterior, remodelación.
7.0	Ocupación	Mampostería/hormigón.
8.0	Ocupación	Uso de herramientas pesadas no eléctricas como palas, picos, entre otros.
6.0	Ocupación	Uso de herramientas pesadas eléctricas.
8.5	Ocupación	Caminar o bajar escaleras o estar de pie, cargar objetos de aproximadamente 100 libras o más o trabajar.
6.5	Ocupación	Conducir camión, carga y descarga de camión.
3.0	Transporte	Conducir camión pesado
6.0	Caminar	Llevar una carga de 16 a 24 libras, arriba.
2.5	Caminar	Caminar 20 mph.

**Fuente:** AINSWORTH BE, HASKELL WL, WHITT MC, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. Med Sci Sports Exerc. 2000;32(9 Suppl):S498-S504. doi:10.1097/00005768-200009001-00009

Para calcular la actividad por METS se debe tener en cuenta que un MET equivale a 0,0175 Kcal por kg.

Fórmula:

$$\text{Gasto energético total (GET)} = (0,0175 * \text{kg}) * \text{METS} * \text{horas de trabajo.}$$

<sup>23</sup> Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. Med Sci Sports Exerc. 2000;32(9 Suppl):S498-S504. doi:10.1097/00005768-200009001-00009

Estimando los valores de la fórmula al despejar, se utilizan los valores de 75 kg, los METS dados en la tabla según la actividad y 480 minutos que equivalen a 8 horas de trabajo por día.

Considerando lo anterior, se procede a cuantificar el GET según la actividad respectiva a cada proceso de construcción. El cálculo realizado en cada actividad corresponde al gasto energético estimado de un solo operario y no se tiene en cuenta la cantidad de operarios en las actividades que necesitan más de uno para la actividad, el valor se obtendrá multiplicando el total de la actividad por la cantidad de operarios si se requiere.

### 3.6 Resultado de gasto energético por proceso

Analizando los datos obtenidos en el cálculo que se encuentra en **Anexo 5**, **Anexo 6** y **Anexo 7**, se procede a realizar una tabla de datos con el fin de hacer una comparativa gráfica del resultado del alcance y el gasto energético de cada actividad según el proceso en cuanto a kilocalorías humanas.

**Cuadro 4.** Resultado de gasto energético en Kcal/día por proceso constructivo/actividad.

Proceso constructivo	Manual	Tecnificado	Industrializado
<b>Actividad</b>			
Limpieza y descapote	199,50	31,50	31,50
Replanteo y trazado	26,25	26,25	157,50
Excavación	199,50	63,00	31,50
Zapatatas	304,50	294,00	210,00
Nivelación de cimentación	173,25	115,50	115,50
Concreto ciclópeo	357,00	288,75	147,00
Viga de cimentación	304,50	294,00	231,00
Columnas	367,50	357,00	231,00
Sobrecimiento en ladrillo	220,50	220,50	220,50
Viga aérea	393,75	383,25	231,00
Cubiertas	320,25	320,25	231,00
<i>Total</i>	<b>2.866,50</b>	<b>2.394,00</b>	<b>1.837,50</b>

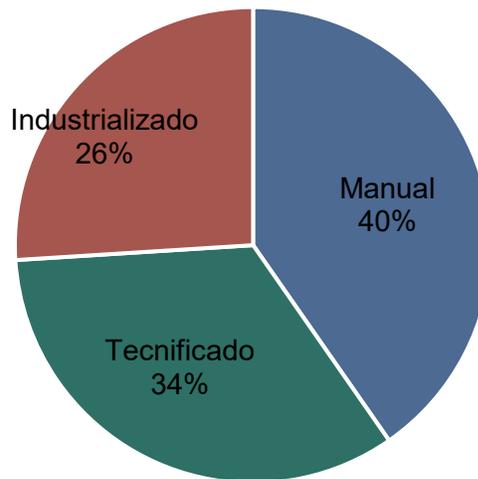
**Fuente:** Esta investigación.

Se observa un consumo energético elevado por parte de los operarios en comparación con el gasto energético total (GET) estimado por día, incluso al considerar el valor más alto del factor de actividad (FA) estándar. Esta diferencia se debe a la alta demanda de energía (kcal) implicada en la realización de actividades físicas específicas, como se evidencia en el **Cuadro 4.** Resultado de gasto energético en Kcal/día por proceso constructivo/actividad.

Así mismo, es importante señalar que la tasa metabólica basal (TMB) no se suma al cálculo total del GET, ya que el resultado corresponde al consumo energético por actividad específica y no según el tiempo de ejecución. Esta decisión metodológica responde a que el factor tiempo no fue considerado como variable de análisis en el desarrollo del estudio.

**Figura 6.** Porcentaje de gasto energético en Kcal/día por proceso constructivo.

**Gasto energetico de operarios (Kcal)**



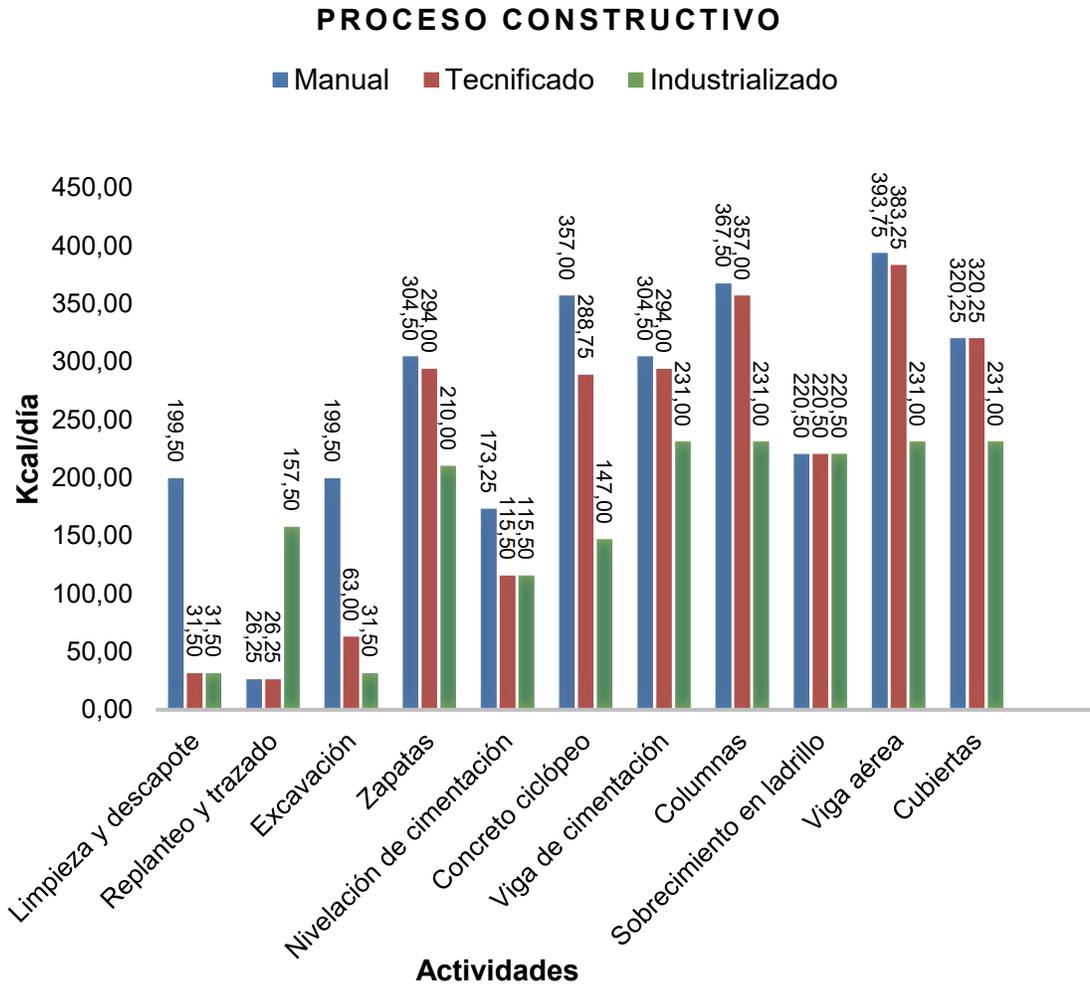
**Fuente:** Esta investigación.

Como conclusión, en resultados generales, el proceso constructivo que tiene un mayor gasto energético en términos de kilocalorías es el proceso manual con un 40,3% de gasto energético, debido a que, el proceso de realizar los elementos constructivos son in situ generando un alto esfuerzo físico por parte de los operarios.

El gasto energético del proceso tecnificado consume un 6% menos en comparación con el proceso manual, la diferencia de las actividades es el uso de herramientas pesadas eléctricas y maquinaria que reemplaza la mano de obra.

El proceso industrializado con un 26% de consumo tiene el menor gasto energético de kilocalorías en comparación a los otros sistemas, debido a que, los procedimientos no son in situ reduciendo considerablemente esfuerzo físico de los operarios y la incorporación de la maquinaria que, dado sea el caso, reemplaza o disminuye la mano de obra.

**Figura 7.** Comparación de resultados de gasto energético en Kcal por actividad de los sistemas constructivos.



**Fuente:** Esta investigación.

Según la **Figura 7**, la actividad de limpieza y descapote y excavación para el proceso tecnificado e industrializado disminuye en comparación del proceso manual debido a que, la actividad física del operario se reduce a la manipulación de maquinaria.

En la actividad de replanteo y trazado para el proceso del sistema industrializado aumenta ya que, en el cálculo se tiene en cuenta el montaje de los elementos.

Apoyado en la **Figura 7**, se evidencia que para el proceso constructivo manual y tecnificado, la actividad de nivelación de cimentación, concreto ciclópeo, columnas y vigas es el procedimiento que más Kcal consume debido a que, se involucra más de una subactividad, las cuales son: construir la estructura de acero, hacer la mezcla y verter el hormigón y construir la formaleta.

En la actividad de columnas y vigas, es necesario aclarar que, los valores de gasto energético resultantes son tomados por el gasto de un operario, pero, para los procedimientos que lo requieren (manual y tecnificado), la actividad de verter el concreto en los moldes y vibrarlos se necesita como mínimo dos operarios que realicen la operación a tiempo.

De agregar los valores para un segundo operario, el gasto en esta actividad incrementaría notablemente y desproporcionaría el resultado de las demás actividades.

En el proceso industrializado, en varias actividades el consumo de Kcal disminuye ya que, se involucra maquinaria, donde los esfuerzos físicos de los operarios se basan en la manipulación de la maquinaria pesada y no pesada y, el proceso de construcción se simplifica al ensamblaje de los elementos prefabricados y no desde el proceso de hacer los elementos in situ.

Existen actividades en el proceso constructivo industrializado que tiene un alto gasto de Kcal debido a que, en los procedimientos, aunque se hace uso de maquinaria, se necesita que los operarios realicen tareas generando esfuerzos físicos.

### **3.7 CONSUMO ENERGÉTICO DE LA MAQUINARIA PESADA Y NO PESADA**

Para dar continuidad a la investigación, es necesario realizar el análisis y la cuantificación del consumo energético de determinadas maquinarias que se identificaron en los dos procesos alternos: proceso constructivo tecnificado y proceso constructivo industrializado y las cuales, son complemento del gasto energético dado anteriormente.

#### **3.7.1 Maquinaria**

Se hace necesario especificar la maquinaria que se utiliza en este cálculo debido a que, si la maquinaria cambia en cuanto a marca y modelo, sus especificaciones técnicas también cambian, al igual que los valores de los cálculos, recordando también, que los valores son estimados y la maquinaria seleccionada no es exactamente la que se utilizó en las VIS del Barrio Juan Pablo II.

En los procesos constructivos alternos, según la actividad a realizar, se identificó la siguiente maquinaria (las especificaciones técnicas fueron extraídas de la ficha técnica de la maquinaria dada por la fábrica correspondiente).

- a) Topadora  
Modelo D3 CAT  
Potencia neta: 77,6 kW  
Potencia HP: 104  
Velocidad: 150 m / min

- b) Excavadora

Para zanjeo – Modelo 301.5 CAT  
Capacidad de colmado: 44L  
Tiempo de ciclo: 15 segundos – 0,25 minutos (4 veces en 1 minuto).  
Ciclos por minuto: 4,0 Ciclos por segundo: 240 (por hora)

- c) Mezcladora / mixer  
Mezcladora de 2 bultos  
Motor eléctrico: ECO Trifásico 5 HP MZET5E  
Producción por hora: 3 a 4 m<sup>3</sup>
- d) Motoniveladora  
Modelo 120 H CAT  
Motor: 140 HP = 104,3 kW  
Velocidad máxima de avance: 48 km/h
- e) Rodillo vibratorio  
Modelo CS323C CAT  
Motor: 52,2 kW  
Ancho del rodillo: 1270 mm = 1,27 metros  
Velocidad: 8,9 Km/h
- f) Camión articulado  
Modelo 730 con Expulsor  
Motor: 276 kW (potencia neta ISO 14396)  
Velocidad: 55 km/h  
Capacidad de colmado: 17,5 m<sup>3</sup>
- g) Sierra– amoladora.  
Modelo DEWALT  
Voltaje: 20 V máx.  
Potencia: 1550 vatios  
Velocidad máxima de rotación: 9.000 RPM

Para calcular el gasto energético total por actividad y tiempo de trabajo de la maquinaria se debe calcular el rendimiento donde se obtendrá la cantidad de trabajo y el tiempo requerido para cada actividad. Posteriormente, con el resultado obtenido se procede a calcular el consumo de energía de la maquinaria por actividad requerida en términos de potencia y consumo de energía en términos de combustible.

Existen varios factores que afectan de manera directa al rendimiento y consumo de energía y se deben tener en cuenta en los cálculos para garantizar que los resultados generados sean cercanos a la realidad. Para obtener el rendimiento, consumo de energía y combustible de la maquinaria se consideran los factores que se condensan en **Anexo 8**. Factores de rendimiento de maquinaria.

### 3.7.2 Cálculo

Considerando los factores que se condensan en el **Anexo 8**, se procede a realizar los cálculos contenidos en el **Anexo 9**. Cálculo de rendimiento y consumo energético de la maquinaria., siguiendo las respectivas fórmulas. Se tiene en cuenta que, dependiendo de las características y función de las maquinarias, los cálculos y las fórmulas varían.

Como primer punto se calculó el rendimiento de la maquinaria según la actividad para encontrar el tiempo de duración en horas de la tarea, posterior se calculó el consumo energético en términos de potencia y el consumo energético en términos de combustible para las maquinarias que lo requieran. Los resultados son dados en el siguiente punto.

### 3.7.3 Resultado de gasto energético por actividad con relación a la maquinaria

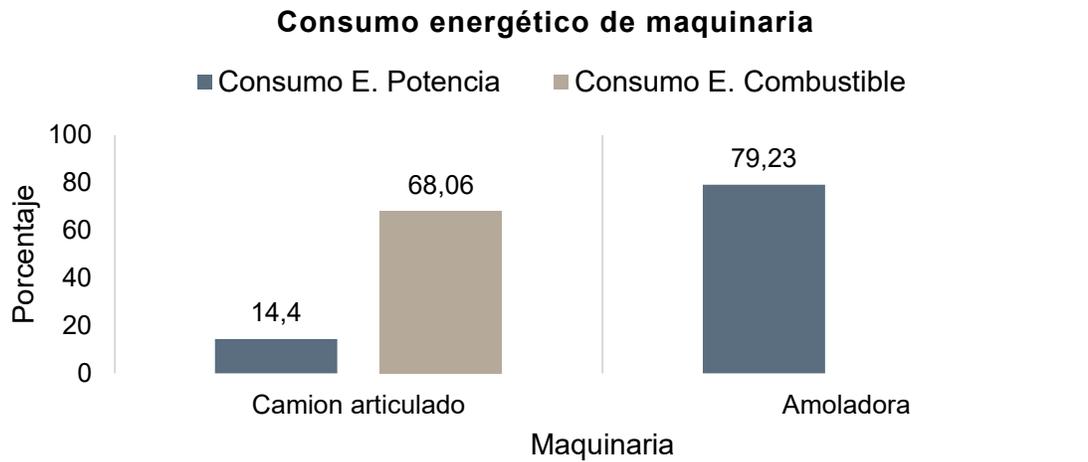
Al analizar los resultados obtenidos en los cálculos de rendimiento, consumo de energía en términos de potencia y combustible, se procede a realizar una representación en gráficas del gasto energético de cada actividad según el factor para observar de manera comparativa los resultados.

**Cuadro 5.** Resultado de gasto de energía según tiempo de actividad específica y maquinaria estándar.

Actividad	Maquinaria	Rendimiento	Consumo E. Potencia	Consumo E. Combustible
		<i>Duración (h)</i>	<i>kW/h</i>	<i>Litros</i>
Limpieza y d.	Topadora	0,16	7,44	2,08
Cimentación	Excavadora	5,15	48,1	8,35
C. ciclópeo (M1)		1,097	4,09	0
Zapatas (M2)		1,09	4,06	0
Vigas de cimentación (M3)	Mezcladora	0,80	2,98	0
Columnas (M4)		0,49	1,82	0
Viga superior (M5)		0,80	2,98	0
N. de cimentación	Motoniveladora	0,1	6,25	1,7
N. de cimentación	Rodillo vibratorio	0,097	3,03	1,45
Transporte	Camión articulado	1,00	165,6	24,5
Corte de acero	Amoladora	0,588	911,4	0

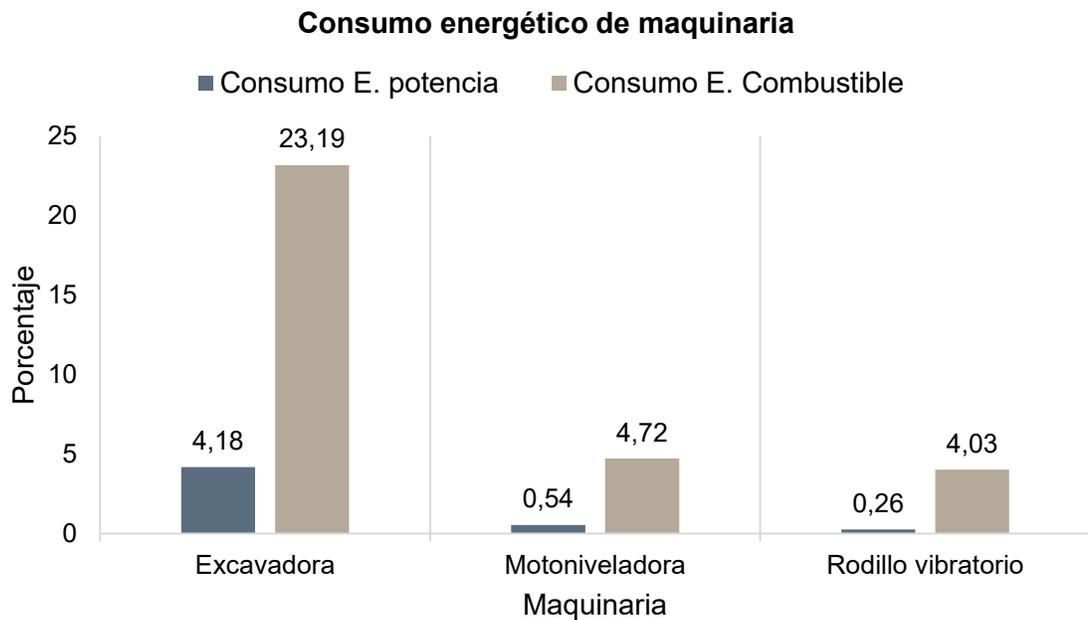
**Fuente:** Esta investigación.

**Figura 8.** Consumo de energía de camión articulado y amoladora en términos de potencia y combustible.



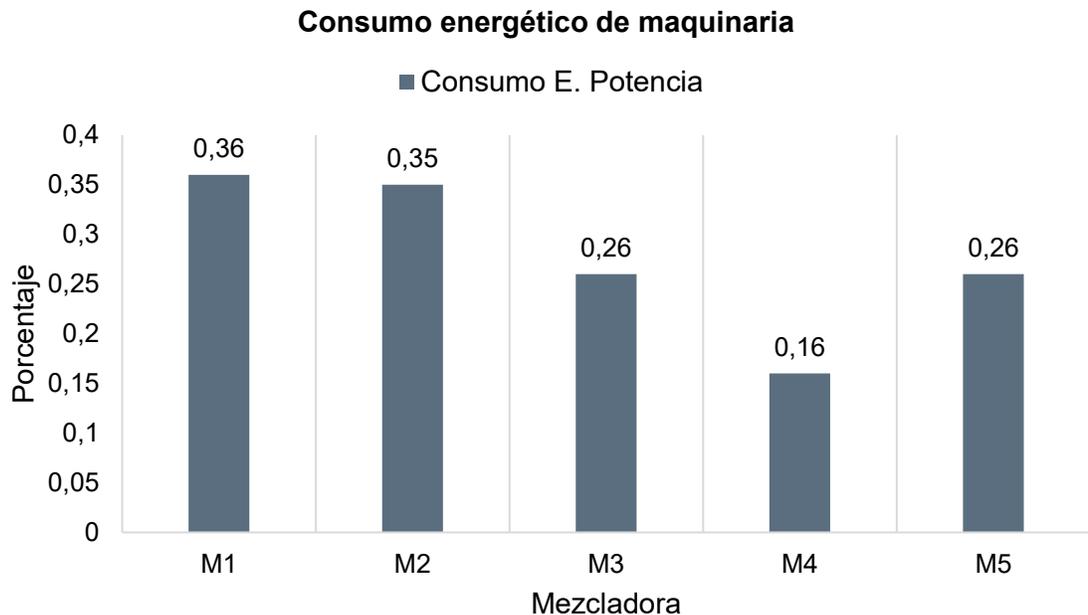
**Fuente:** Esta investigación.

**Figura 9.** Consumo de energía de excavadora, motoniveladora y rodillo vibratorio en términos de potencia y combustible.



**Fuente:** Esta investigación.

**Figura 10.** Consumo de energía de la mezcladora en términos de potencia y combustible.



**Fuente:** Esta investigación.

El **Cuadro 5** y las figuras: **Figura 8**, **Figura 9** y **Figura 10** indican los resultados calculados a partir de áreas, volúmenes y medidas que corresponden a actividades de solo un módulo de vivienda. Cada maquinaria corresponde a una actividad diferente. La maquinaria evidencia un gasto de energía en términos de potencia significativo en comparación de las demás máquinas, como la amoladora, sin embargo, esta máquina no tiene ningún gasto de energía en términos de combustible.

La maquinaria que evidencia un gasto de energía en términos de combustible significativo en comparación de las demás máquinas es el camión articulado, sin embargo, esta máquina posee un bajo consumo de energía en términos de potencia.

#### 4 EVALUACIÓN DEL IMPACTO TENIENDO EN CUENTA EL ECO INDICADOR 99

El eco indicador expresa el impacto ambiental en coeficientes de ponderación de cada uno de los procesos del sistema constructivo estudiados con anterioridad.

Con los datos recopilados, se procede a realizar el cálculo con el eco indicador, el cual es tomado desde el manual práctico de eco diseño.<sup>24</sup>

**Figura 11.** Tabla metodología eco indicador 99 para electricidad (kWh).

<i>Electricidad (en milipuntos por kWh).</i>			
<i>Tipo de electricidad</i>	<i>Indicador</i>	<i>Descripción (Se incluye la producción de carburantes)</i>	
Electricidad AV Europa (UCPTE)	22	Alto voltaje (>24 kVolt)	1
Electricidad MV Europa (UCPTE)	22	Voltaje medio (1kV-24 kVolt)	1
Electricidad BV Europa (UCPTE)	26	Bajo voltaje (<1000 Volt)	1
Electricidad BV Austria	18	Bajo voltaje (<1000 Volt)	1
Electricidad BV Bélgica	22	Bajo voltaje (<1000 Volt)	1
Electricidad BV Suiza	8,4	Bajo voltaje (<1000 Volt)	1
Electricidad BV Gran Bretaña	33	Bajo voltaje (<1000 Volt)	1
Electricidad BV Francia	8,9	Bajo voltaje (<1000 Volt)	1
Electricidad BV Grecia	61	Bajo voltaje (<1000 Volt)	1
Electricidad BV Italia	47	Bajo voltaje (<1000 Volt)	1
Electricidad BV Países Bajos	37	Bajo voltaje (<1000 Volt)	1
Electricidad BV Portugal	46	Bajo voltaje (<1000 Volt)	1

AV.- Alto Voltaje MV.- Medio Voltaje BV.- Bajo Voltaje

**Fuente:** GOEDKOOP, Mark; EFFTING, Suzzane y COLLINGNO, Marcel. Anexo eco indicador 99: Método para evaluar el impacto ambiental a lo largo del Ciclo de Vida. Tercera edición. Lugar de publicación: Amersfoort-Países Bajos. PRé Consultans B.V. 1999. Pág. 29. Consultado: 25 de mayo de 2024. Disponible en la dirección electrónica: [https://proyectaryproducir.com.ar/public\\_html/Seminarios\\_Posgrado/Herramientas/Eco%20indicador%2099%20ca.pdf](https://proyectaryproducir.com.ar/public_html/Seminarios_Posgrado/Herramientas/Eco%20indicador%2099%20ca.pdf).

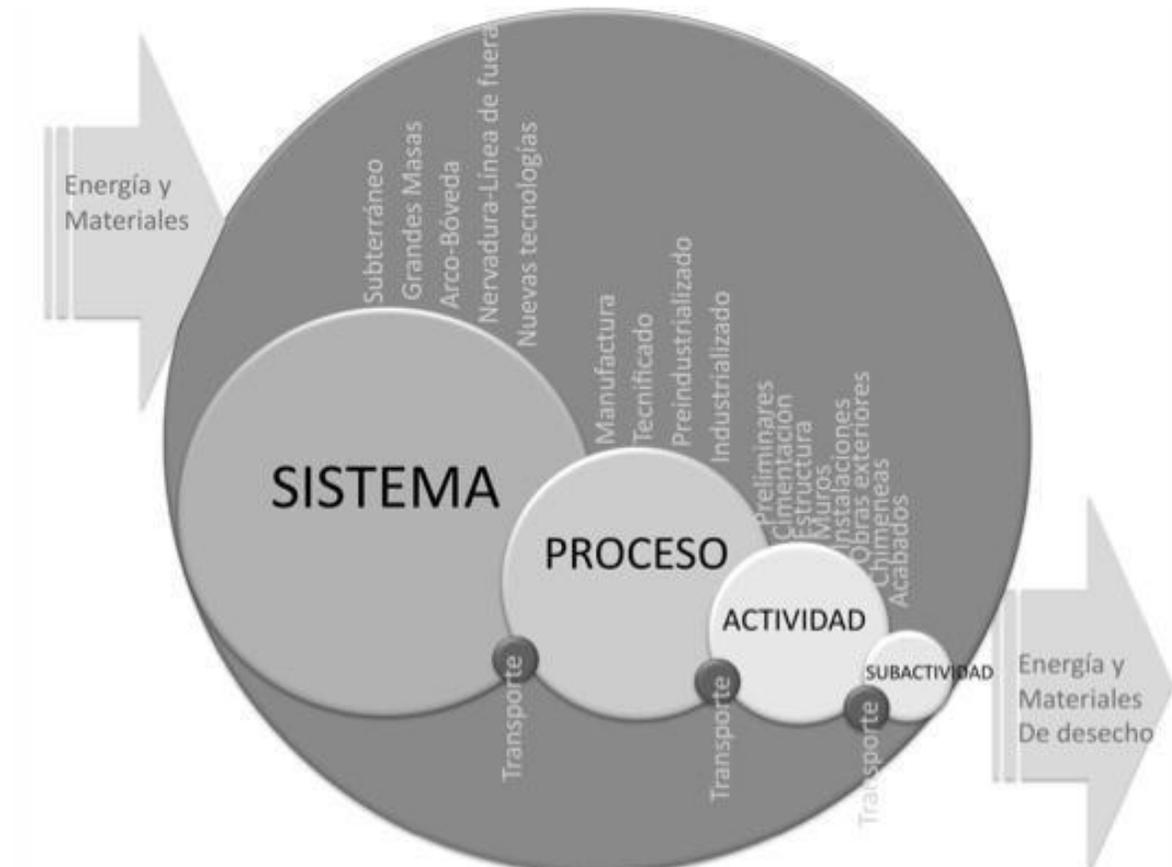
En el cálculo se toma como indicador “Electricidad BV Europa (UCPTE) de bajo voltaje (<1000 Volt)” debido a que para la región en la que se encuentra este estudio tiene un voltaje inferior a los 1000 voltios.

Para iniciar con la cuantificación del impacto ambiental con los datos recolectados anteriormente, se tiene en cuenta que el sistema evaluado cuenta con procesos, estos procesos cuentan con actividades y las actividades con sub actividades que

<sup>24</sup> GOEDKOOP, Mark; EFFTING, Suzzane y COLLINGNO, Marcel. Anexo eco indicador 99: Método para evaluar el impacto ambiental a lo largo del Ciclo de Vida. Tercera edición. Lugar de publicación: Amersfoort-Países Bajos. PRé Consultans B.V. 1999. Pág. 29. Consultado: 25 de mayo de 2024. Disponible en la dirección electrónica: [https://proyectaryproducir.com.ar/public\\_html/Seminarios\\_Posgrado/Herramientas/Eco%20indicador%2099%20ca.pdf](https://proyectaryproducir.com.ar/public_html/Seminarios_Posgrado/Herramientas/Eco%20indicador%2099%20ca.pdf).

para este punto se deben tomar individualmente para un resultado detallado, ya que cada tarea significa un impacto, se sigue la siguiente metodología:

**Figura 12.** Descripción del sistema durante la etapa constructiva, con el transporte como conector entre procesos.



**Fuente:** MARTÍNEZ CAICEDO, M. G. Arquitectura homeostática, desarrollo metodológico para la evaluación ambiental de procesos constructivos en edificaciones. Tesis de maestría en construcción. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes, 2012.

#### 4.1 Cálculo de gasto energético de los operarios

Teniendo en cuenta que, para obtener el impacto del proceso del **sistema manual**, se debe realizar una conversión ya que, los datos registrados para este proceso corresponden al gasto de energía humana dada en kilocalorías.

Para hacer el cálculo se toma la siguiente relación:

$$1 \text{ kilocaloría} = 0,00116222 \text{ kWh}$$

### Impacto en milipuntos por actividad individual

Para el caso del proceso manufacturero, se calcula el impacto de las kilocalorías que gasta el operario ya que no hay uso de maquinaria.

### 4.2 Cálculo de gasto energético de la maquinaria

Para el cálculo del impacto de la maquinaria se tiene en cuenta los dos factores en los que se calculó la energía inicialmente, que se expresa en términos de potencia medidos en kWh y en términos de combustible medidos en litros.

En el caso del combustible, se debe realizar una conversión debido a que, las unidades para calcular con el indicador son en kWh.

Para hacer el cálculo realiza la siguiente fórmula:

$$\text{litro (gasoil/combustible diésel)} = 10,96 \text{ kWh}^{25*}$$

Según los dos puntos anteriores, se realiza la sumatoria de los milipuntos de los operarios y la maquinaria en los procesos que requieran para obtener los puntos totales de impacto general para cada proceso.

**Cuadro 6.** Cálculo en milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo manual.

PROCESO CONSTRUCTIVO MANUAL		
<i>Categoría</i>	<i>Actividad</i>	<i>mpts</i>
<i>Preliminares</i>	Limpieza y descapote	6
	Replanteo y trazado	1
<i>Proceso de cimentación</i>	Excavación	6
	Zapatatas	9
	Nivelación de cimentación	5
	Concreto ciclópeo	11
	Viga de cimentación	9
<i>Estructura</i>	Columnas	11
	Sobrecimiento en ladrillo	7
	Viga aérea	12
	Cubiertas	10
	<b>Total</b>	<b>87</b>

**Fuente:** Esta investigación.

<sup>25\*</sup> Tomado de: ABC motor. Eléctricos vs combustión: diferencias de consumo, rendimiento y coste por kilómetro (en línea). En: DIARIO ABC, S.L (Madrid, España): 2 julio, 2020 (consultada: 2024). Disponible en la dirección electrónica: [https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-electricos-combustion-diferencias-consumo-rendimiento-y-coste-kilometro-202006020150\\_noticia.html#vca=amp-rrss-inducido&vmc=&vso=wh&vli=](https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-electricos-combustion-diferencias-consumo-rendimiento-y-coste-kilometro-202006020150_noticia.html#vca=amp-rrss-inducido&vmc=&vso=wh&vli=)

En la tabla no se tiene en cuenta el gasto energético de las actividades donde se hace necesario más de un operario, solo se realiza la cuantificación de un operario por actividad.

Siguiendo con el puntaje en milipuntos del **proceso tecnificado e industrializado** se suma el resultado de gasto energético de los operarios por actividad en milipuntos con el resultado del cálculo de milipuntos de la maquinaria y herramientas eléctricas.

**Cuadro 7.** Cálculo en milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo tecnificado.

<b>PROCESO CONSTRUCTIVO TECNIFICADO</b>		
<b>Categoría</b>	<b>Actividad</b>	<b>Milipuntos</b>
<i>Preliminares</i>	Limpieza y descapote	15.565
	Replanteo y trazado	1
<i>Proceso de cimentación</i>	Excavación	14.919
	Zapatatas	23.811
	Nivelación de cimentación	11.782
	Concreto ciclópeo	23.811
	Viga de cimentación	23.783
<i>Estructura</i>	Columnas	23.755
	Sobrecimiento en ladrillo	7
	Viga aérea	23.785
	Cubiertas	23.706
<b>Total</b>		<b>184.924</b>

**Fuente:** Esta investigación.

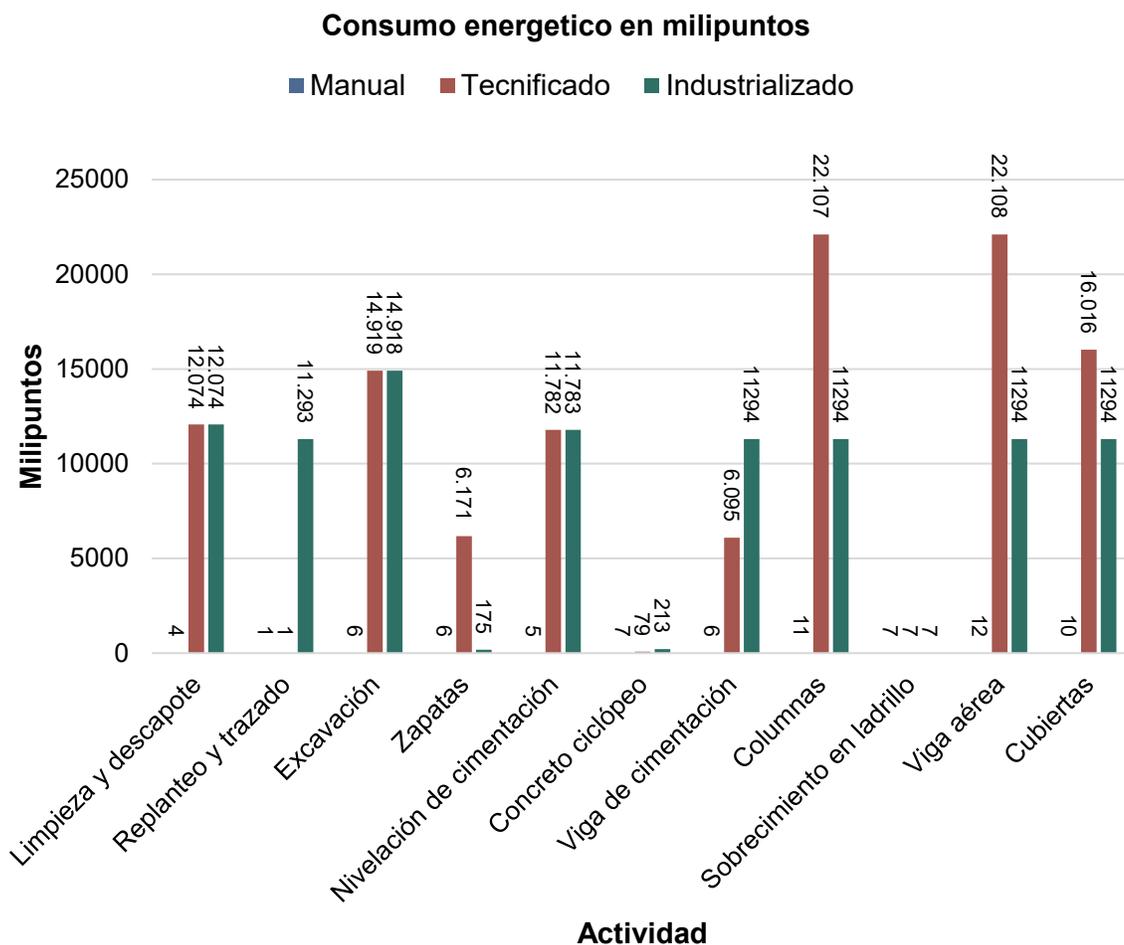
**Cuadro 8.** Cálculo en milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo industrializado.

<b>PROCESO CONSTRUCTIVO INDUSTRIAL</b>		
<b>Categoría</b>	<b>Actividad</b>	<b>Milipuntos</b>
<i>Preliminares</i>	Limpieza y descapote	15.565
	Replanteo y trazado	11.293
<i>Proceso de cimentación</i>	Excavación	14.918
	Zapatatas	112
	Nivelación de cimentación	11.783
	Concreto ciclópeo	192
	Viga de cimentación	11.294
<i>Estructura</i>	Columnas	11.294
	Sobrecimiento en ladrillo	7
	Viga aérea	11.294
	Cubiertas	11.294
<b>Total</b>		<b>99.046</b>

**Fuente:** Esta investigación.

Generalizando los resultados, sin tener en cuenta el gasto energético por tareas específicas repetidas en diferentes actividades de los tres procesos, donde el uso de maquinaria se repite en diferentes actividades y en alguno de los casos, es necesario el trabajo de más de un operario para una tarea, se llega a la conclusión que, el impacto en milipuntos del consumo de energía por actividad corresponde a los valores que se muestra en la siguiente gráfica.

**Figura 13.** Comparación de gasto energético en milipuntos según proceso constructivo/actividad.

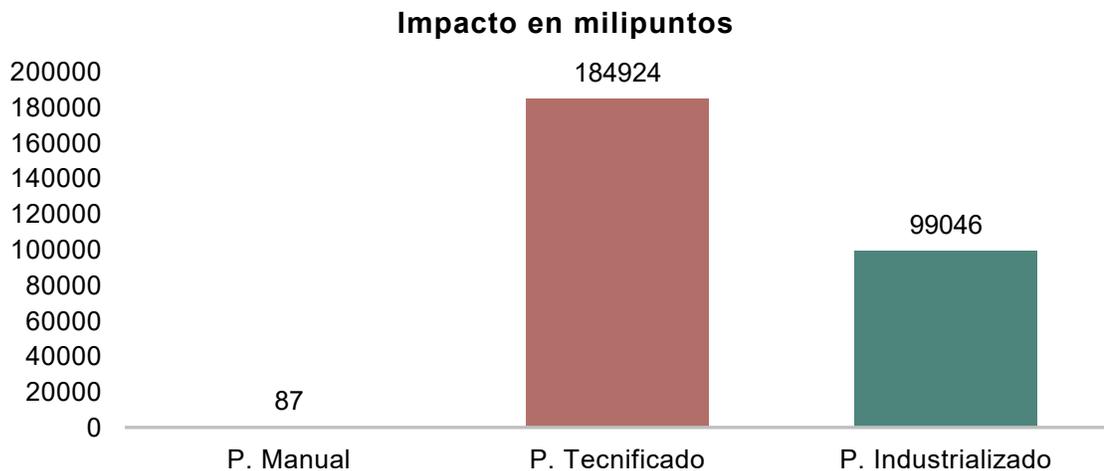


**Fuente:** Esta investigación.

Las actividades que se registran en los cuadros (ver **Cuadro 6**, **Cuadro 7** y **Cuadro 8**) y la gráfica (ver **Figura 13**) contienen el valor total por actividad que resulta de la suma del gasto de energía en milipuntos tanto de los operarios como de la maquinaria en los casos que se requiera.

Apoiado en las gráficas (ver **Figura 13** y **Figura 15**) el proceso constructivo que genera mayor gasto energético es el **proceso tecnificado** con un **65,1%** de impacto en milipuntos, seguido del **proceso industrializado** con el **34,87%** y por último el **proceso manual** con solo un **0,03%**.

**Figura 14.** Comparación de impacto total general en milipuntos según proceso constructivo.



**Fuente:** Esta investigación.

Es importante mencionar que el proceso manual tiene poco peso porcentual en el impacto en milipuntos debido a que no se considera la maquinaria. Cabe resaltar también que, la variable tiempo tampoco se contempla dentro de la evaluación del ciclo de vida. De considerar el tiempo como variable, está tendría una repercusión directa al impacto negativo por consumo energético de los operarios, es decir, a mayor tiempo, mayor impacto. Además de que este estudio tendría un mayor alcance en tiempo y resultados.

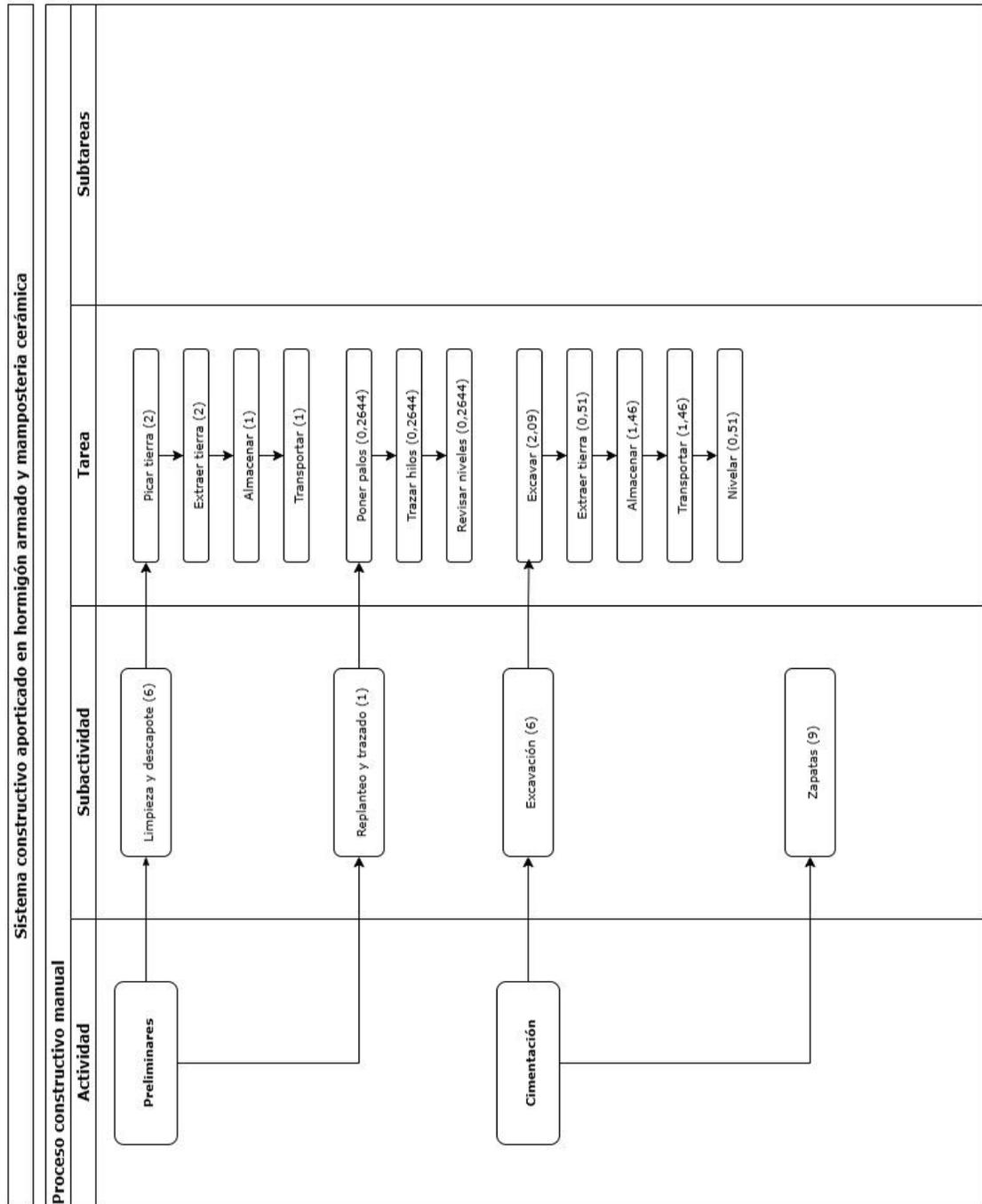
El proceso constructivo tecnificado es el proceso tradicional más usado y que registra un mayor impacto en milipuntos por lo anterior, el proceso industrializado debería considerarse como el proceso óptimo para desarrollar VIS teniendo en cuenta menor consumo energético en función posiblemente del tiempo de ejecución, disminuyendo así, el tiempo de intervención en el ecosistema.

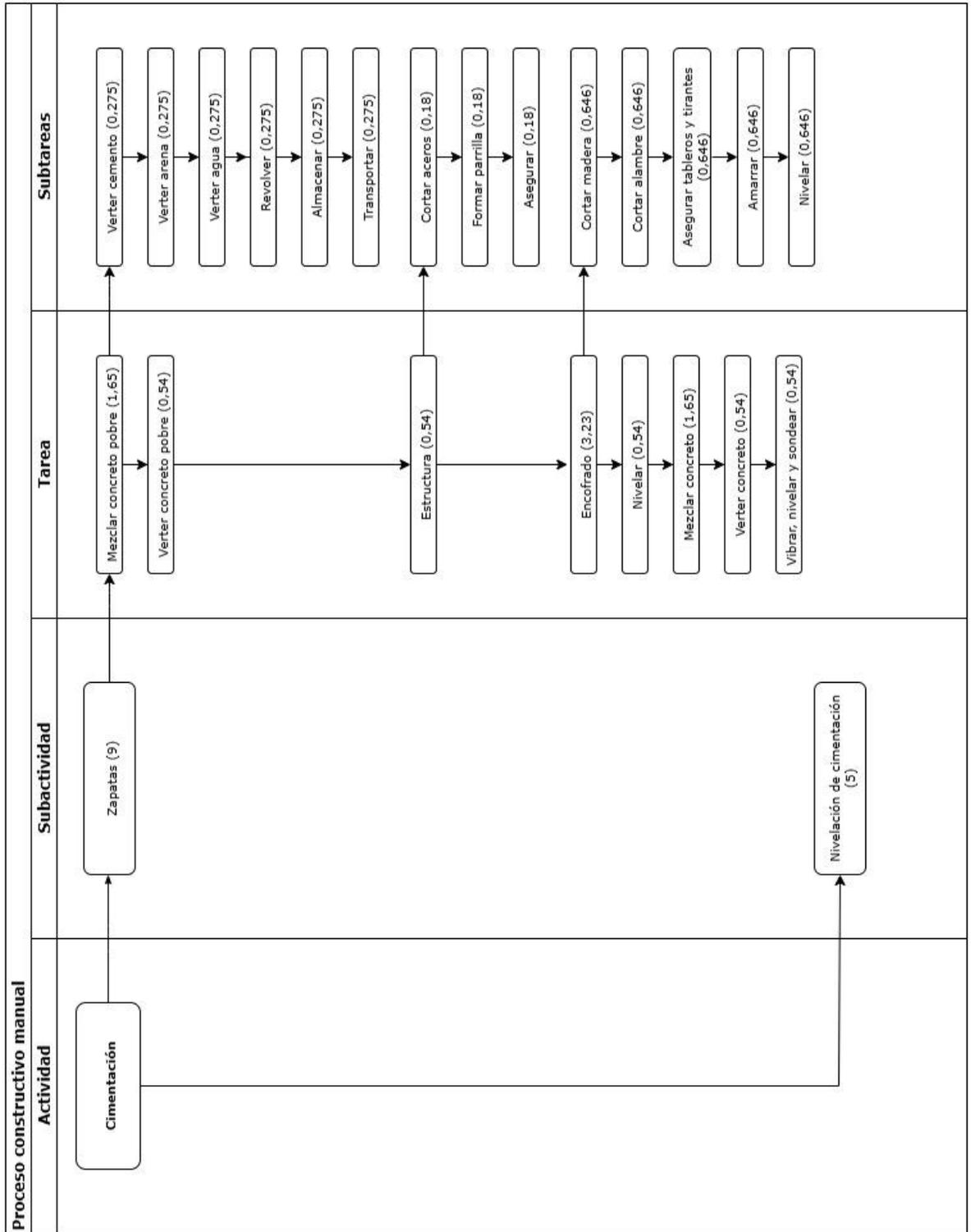
Luego de obtener la cuantificación del gasto energético individual por actividad y total por proceso, se procede a analizar el consumo por subactividad de manera detallada, desglosando aún más las tareas a realizar en cada proceso de los tres sistemas para identificar las actividades y sub actividades en las que el impacto pueda mitigarse.

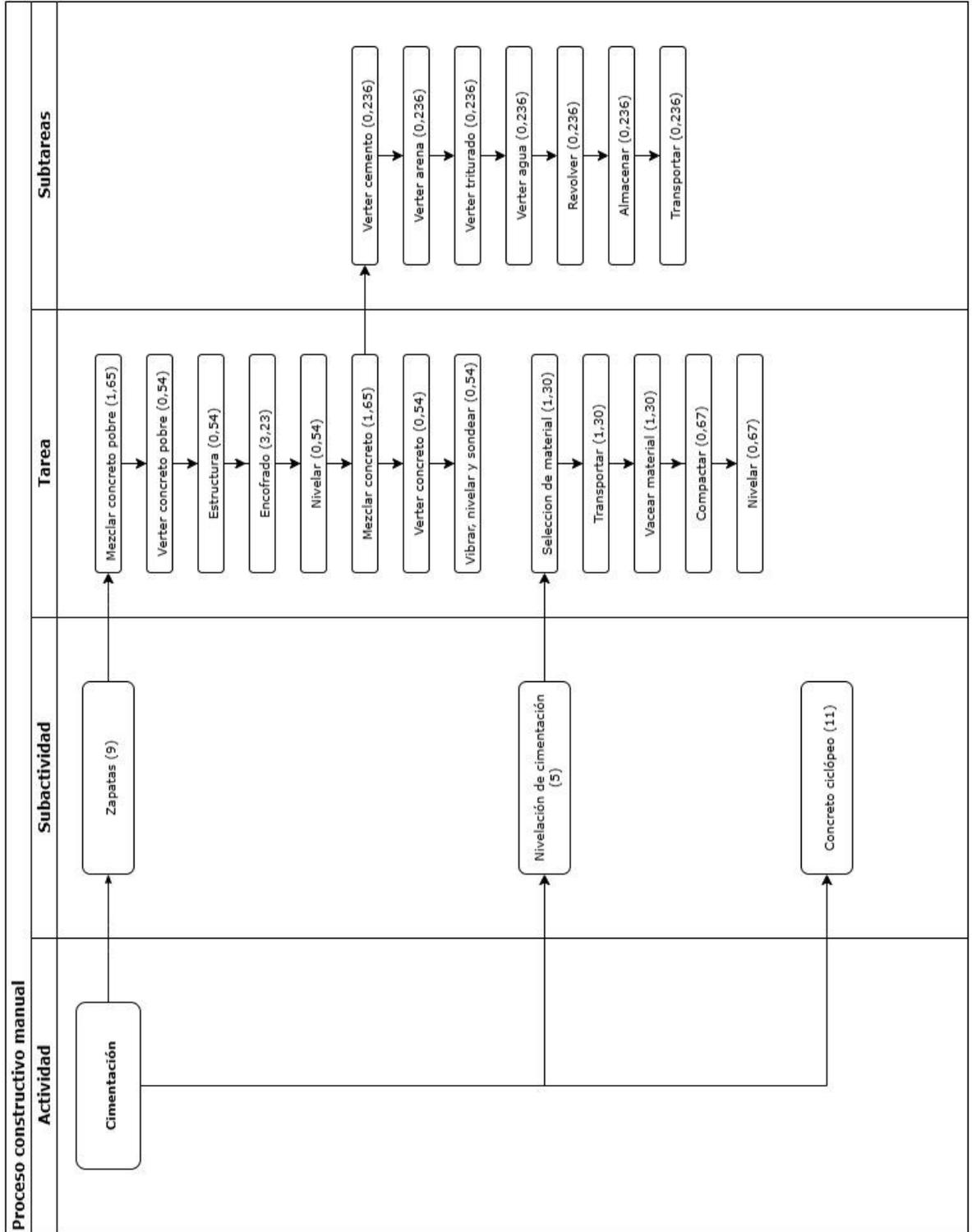
Teniendo en cuenta que se lleva a cabo un estudio detallado, se entiende según la **Figura 12** que, de las actividades se desprenden subactividades, y así mismo, se

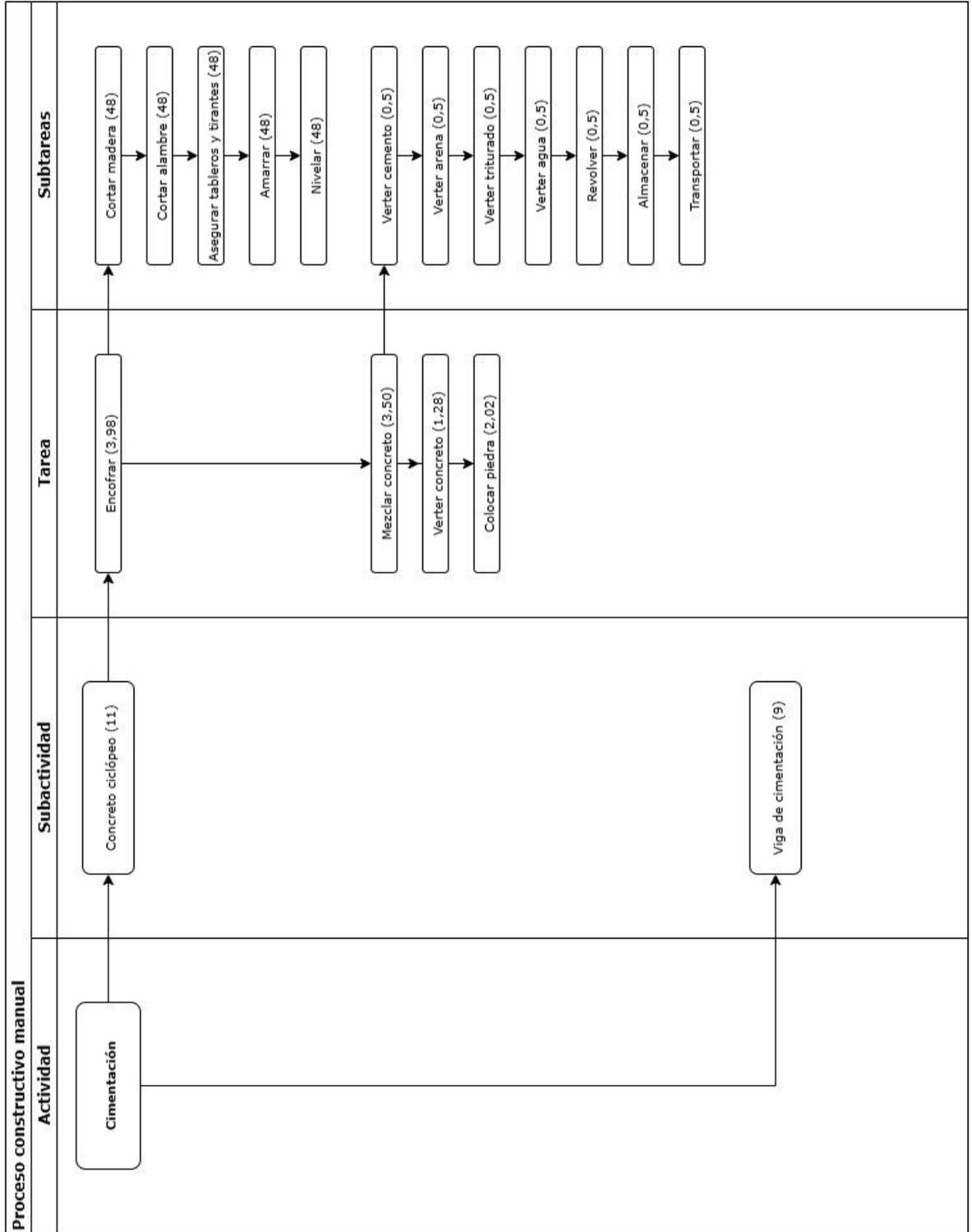
desprenden las tareas a ejecutar. En las siguientes tablas se muestra el flujo de actividades según el sistema constructivo, el valor que está entre paréntesis es el puntaje en milipuntos acumulado de las actividades, sub actividades y el puntaje detallado en milipuntos de las tareas y sub tareas.

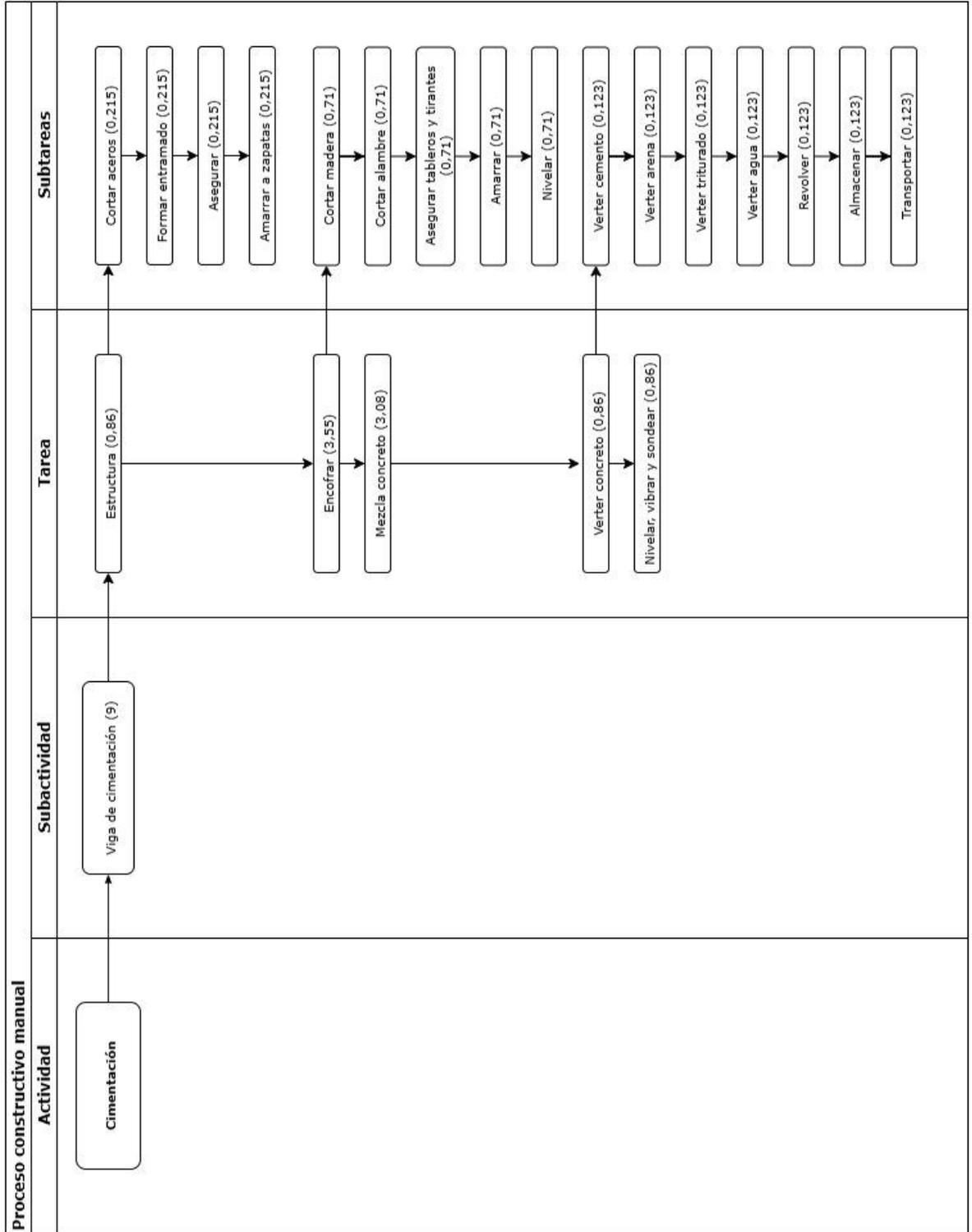
**Figura 15.** Flujo de actividades del proceso constructivo manual.

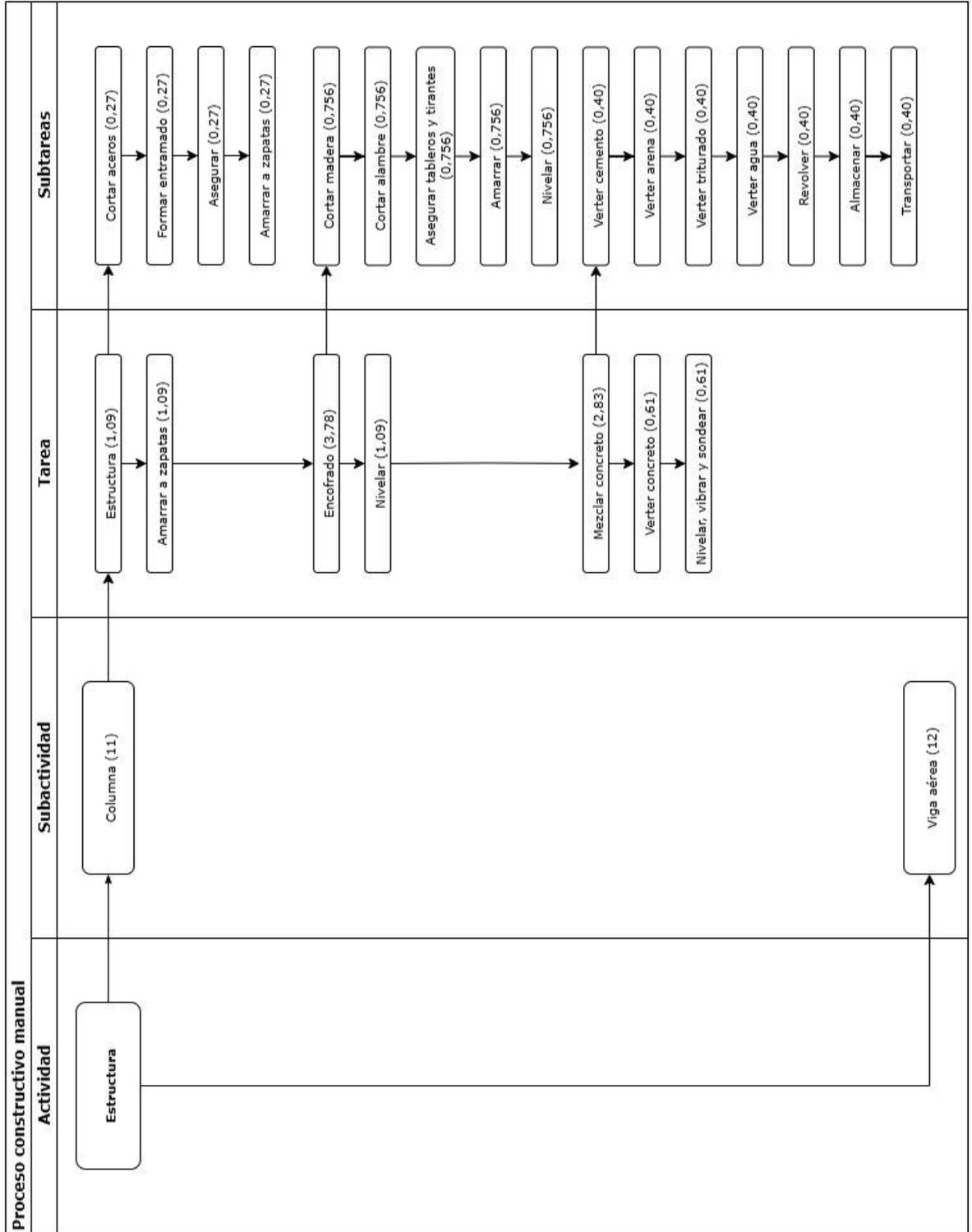


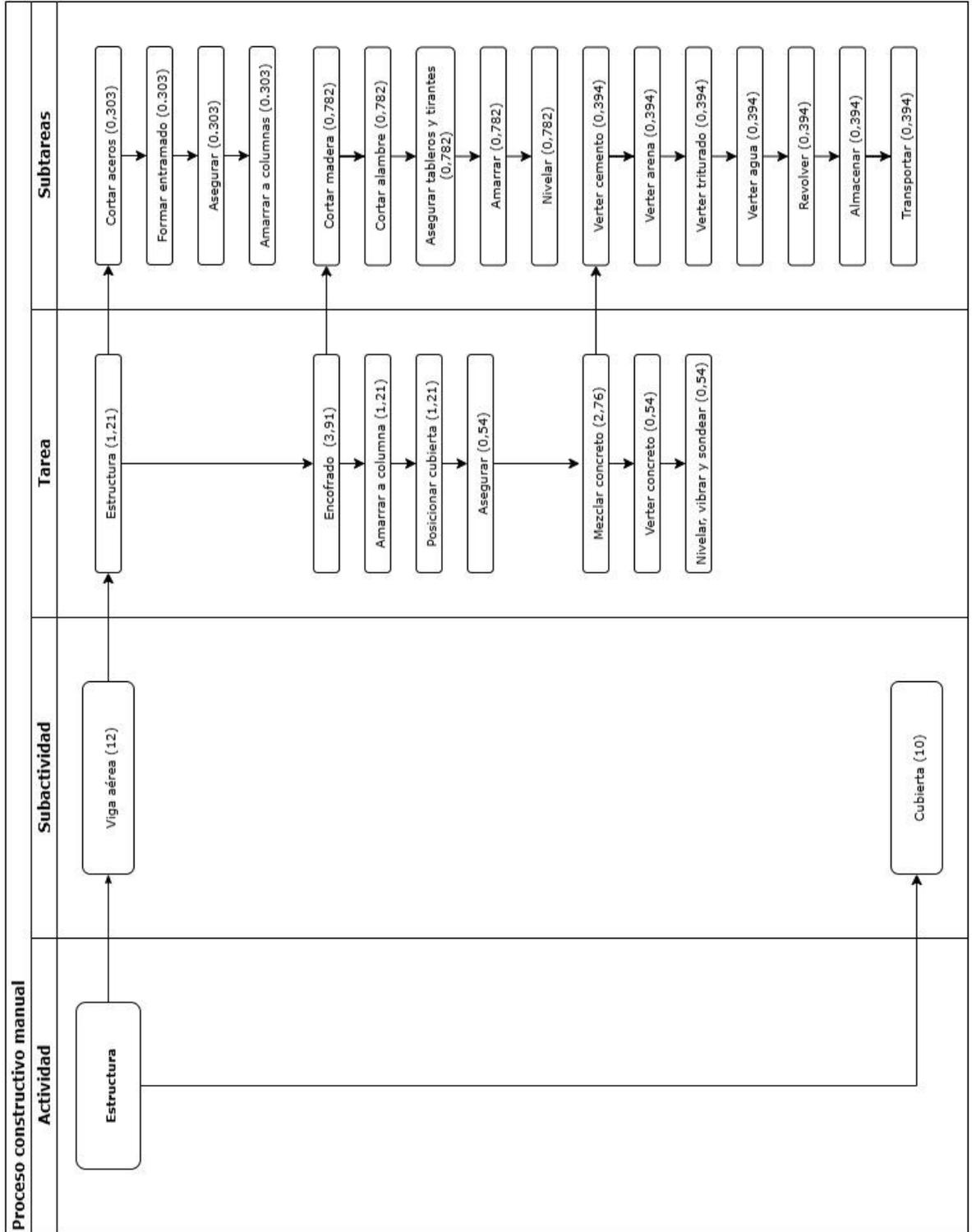


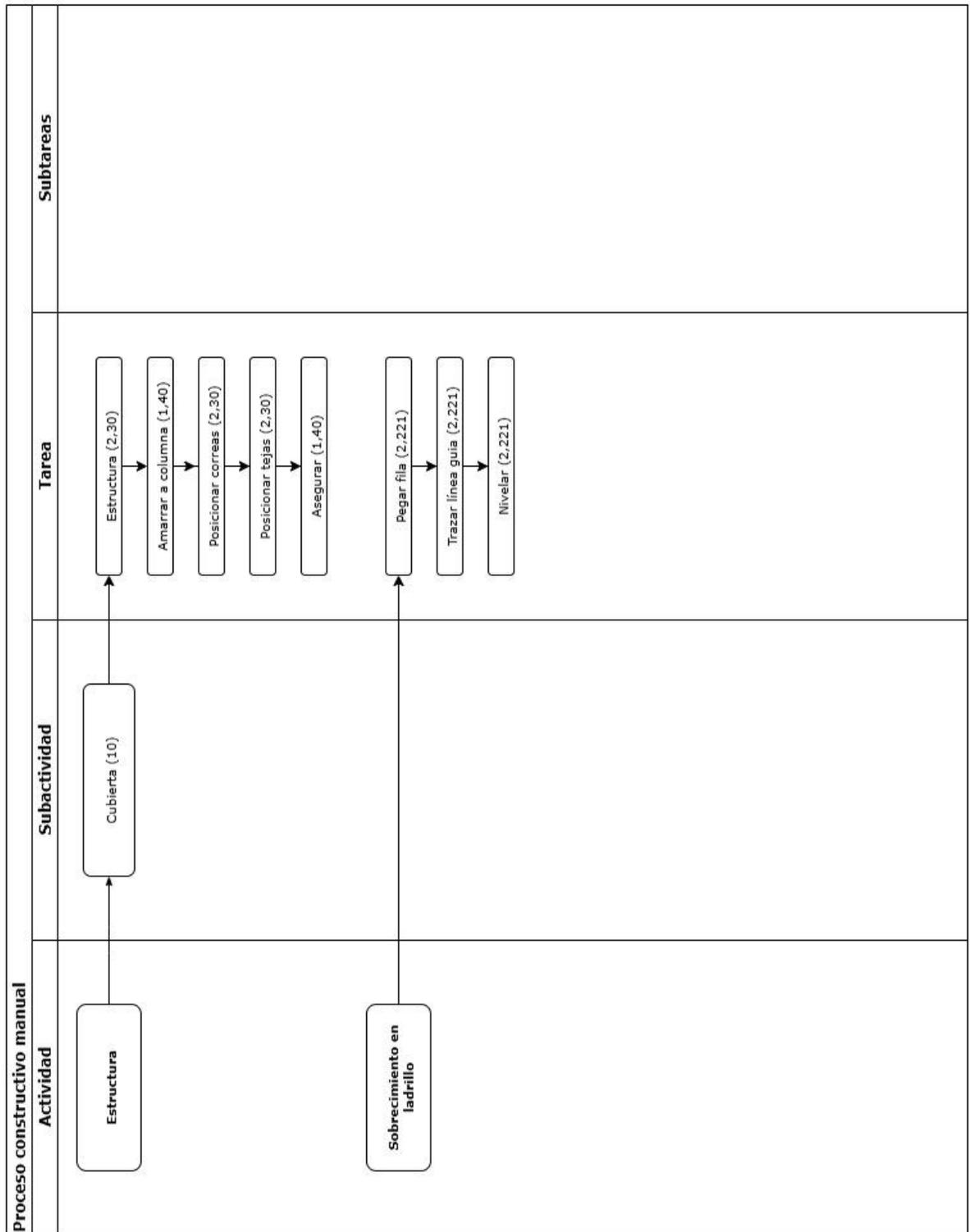






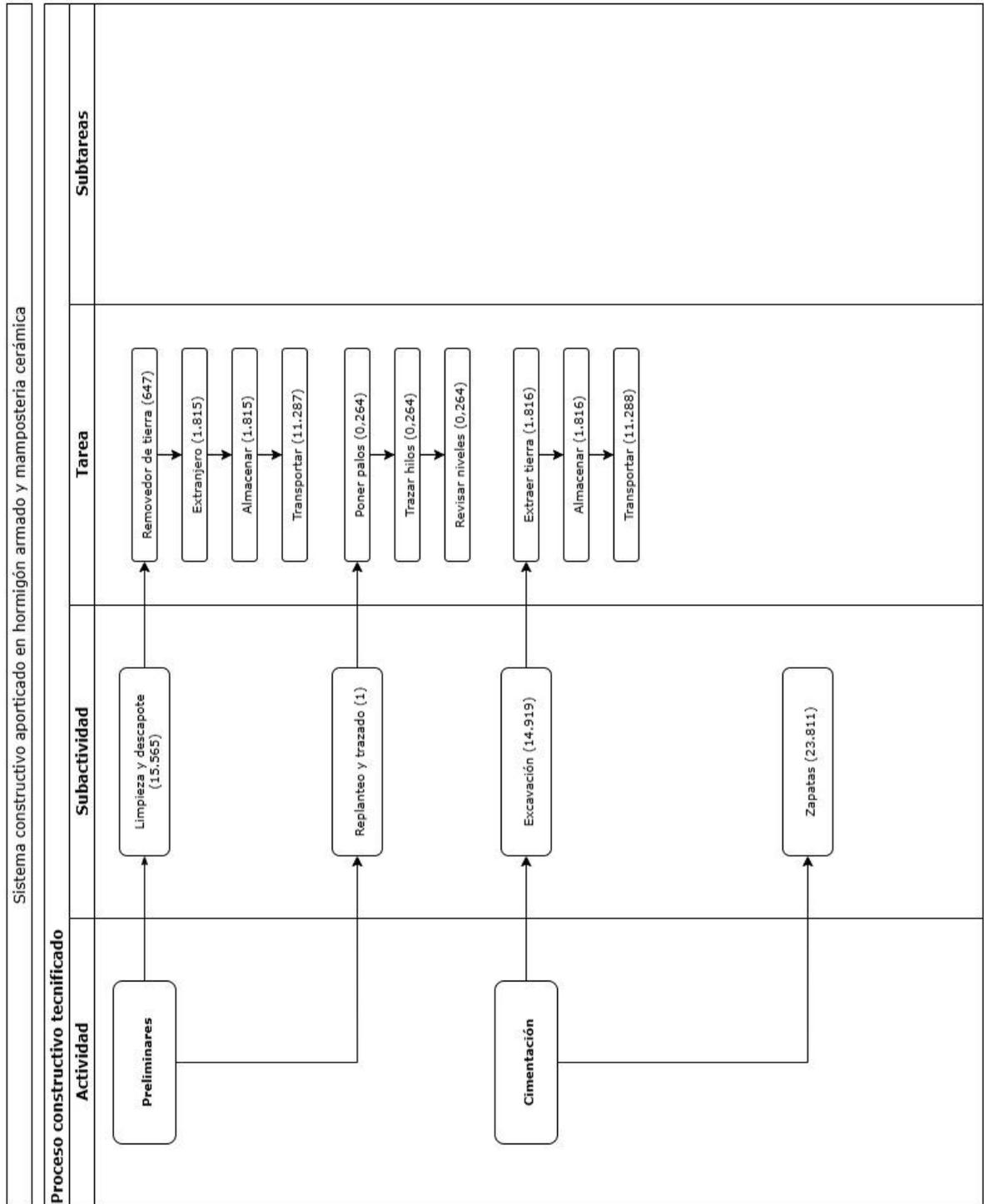


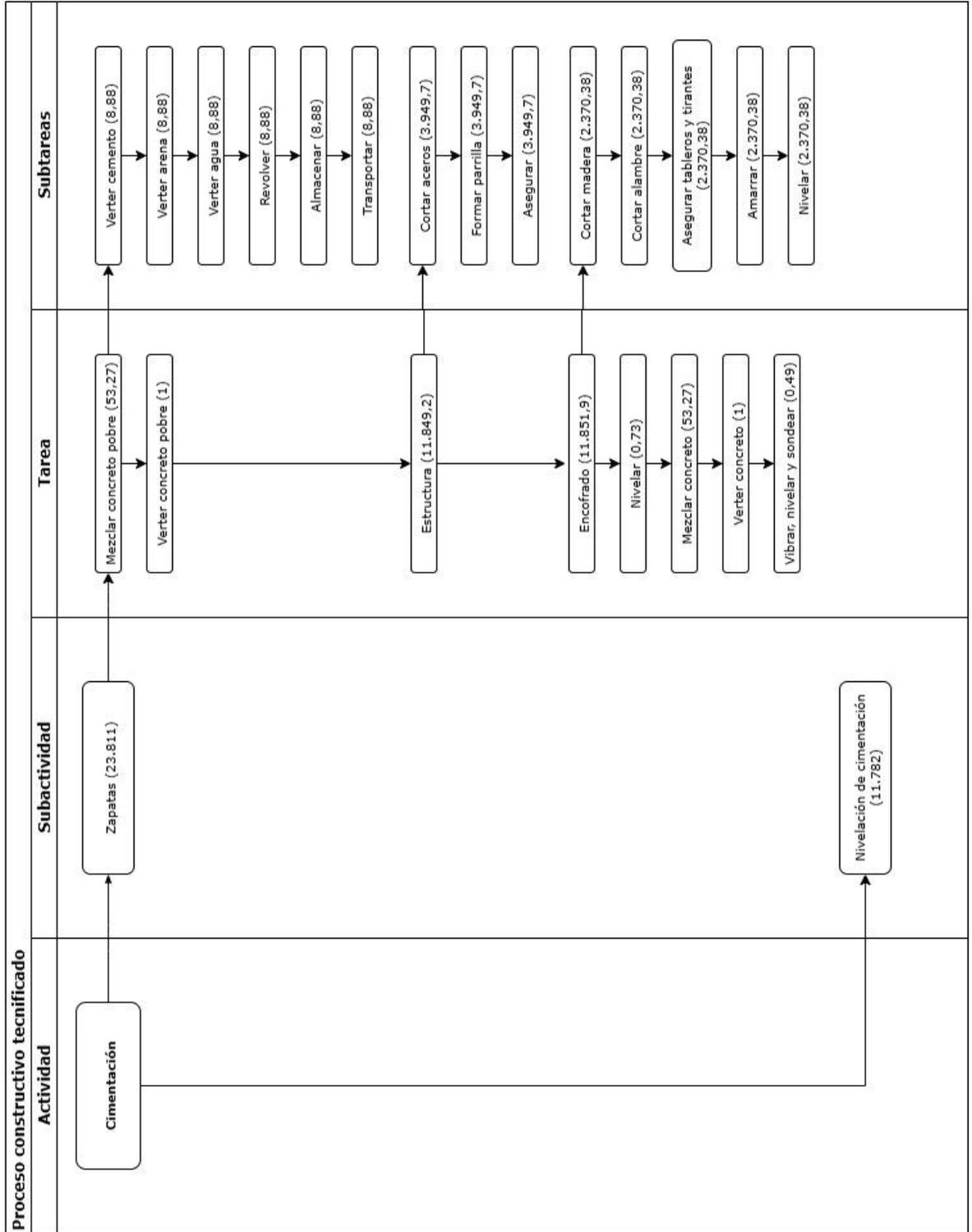


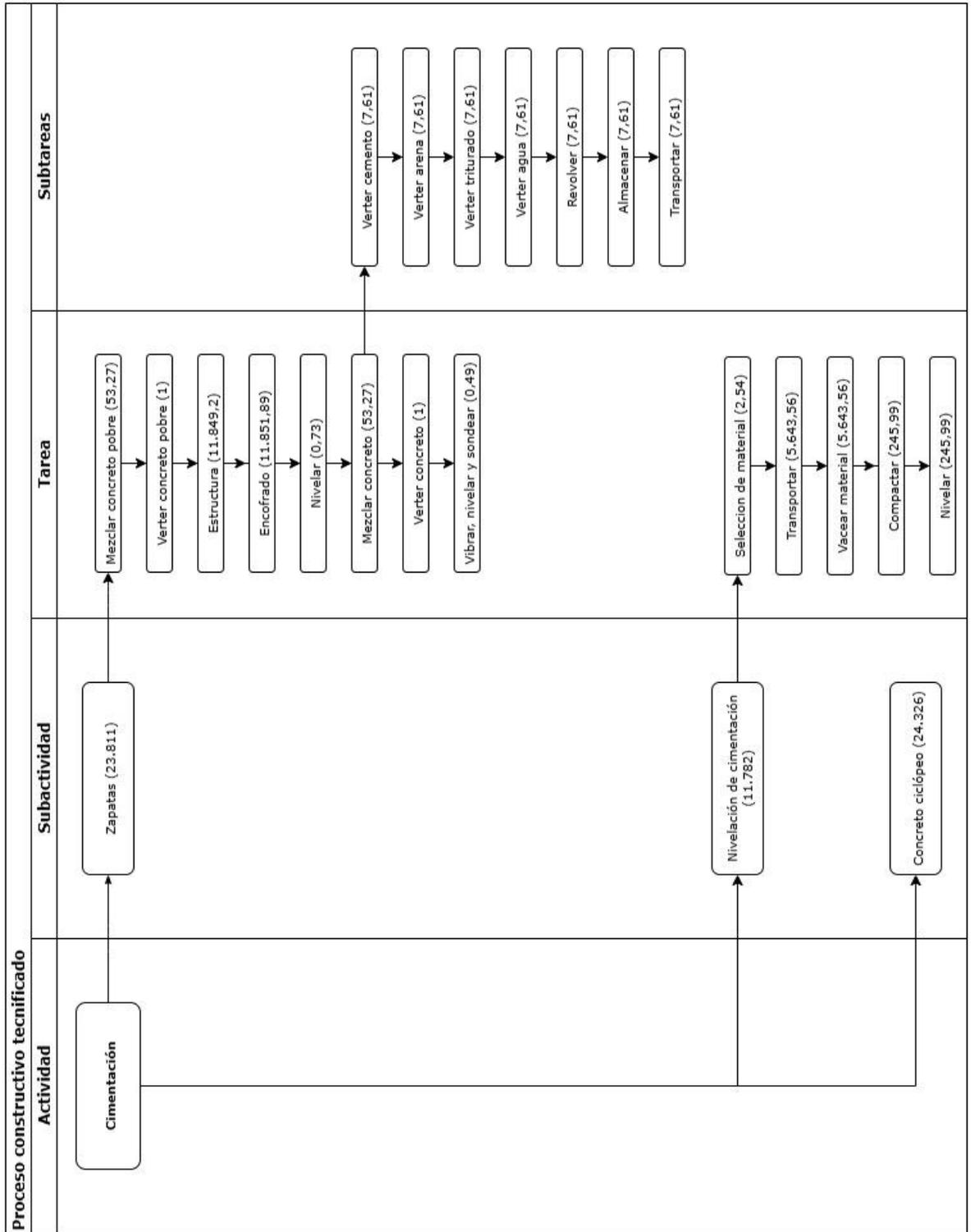


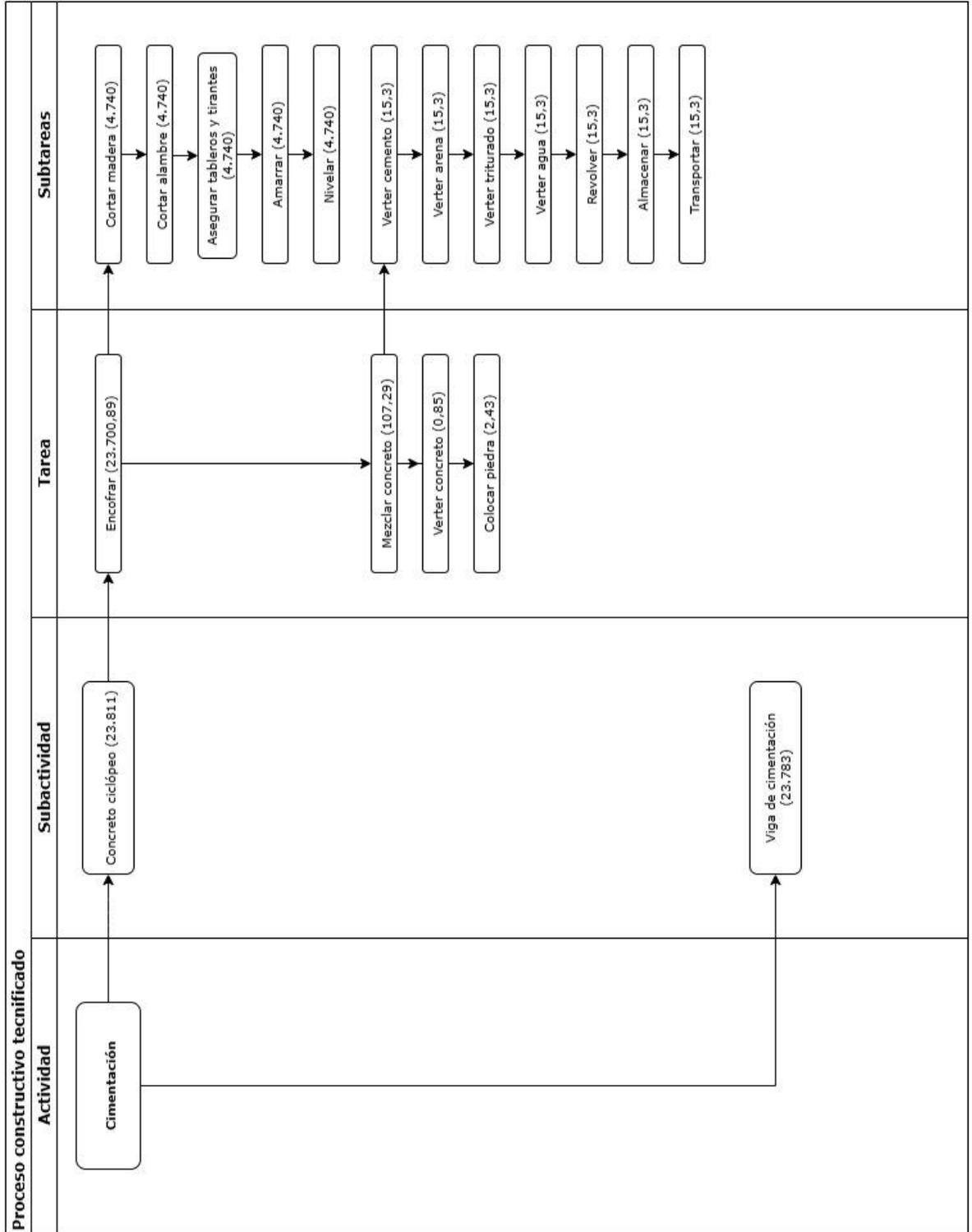
Fuente: Esta investigación.

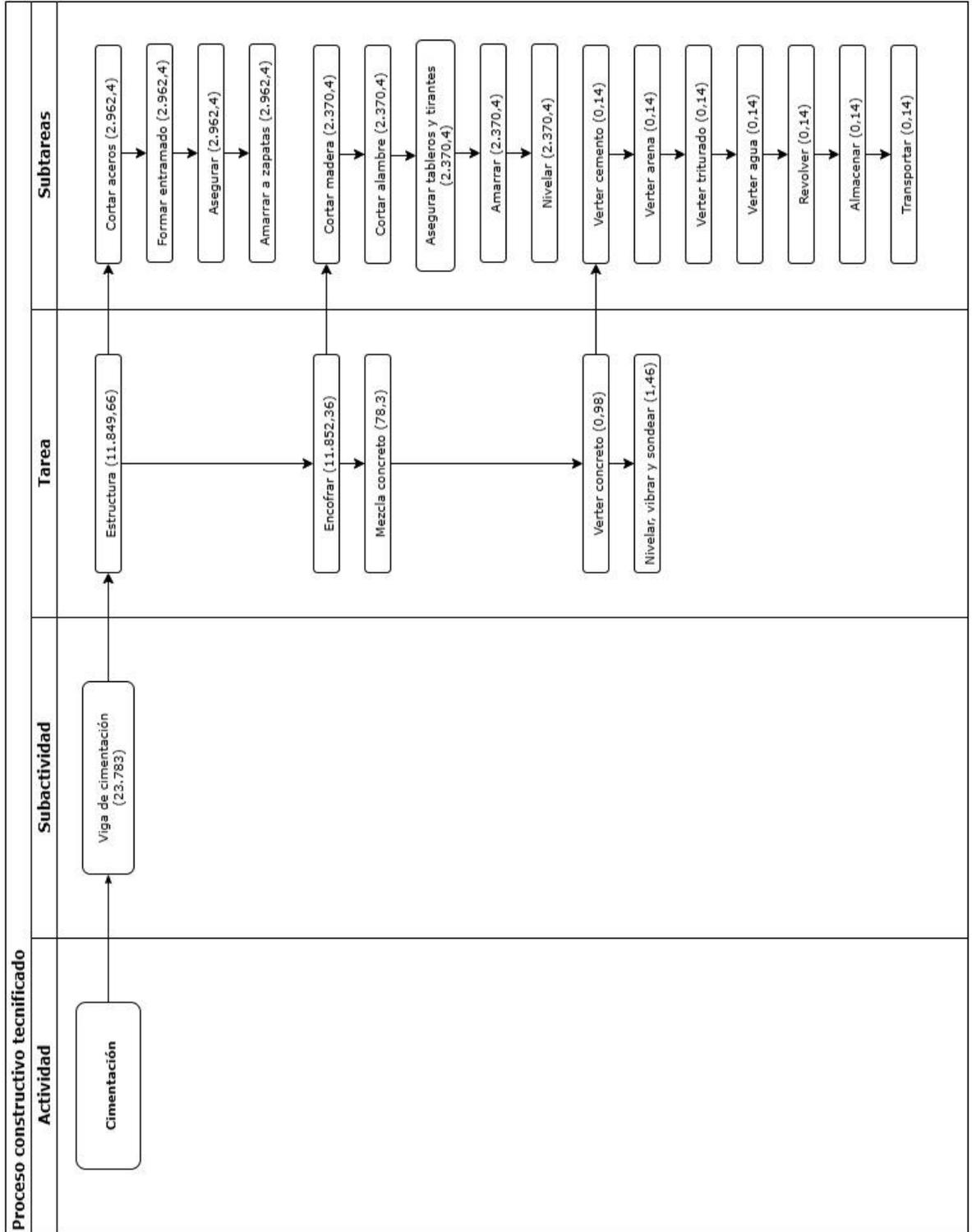
Figura 16. Flujo de actividades del proceso constructivo tecnificado.

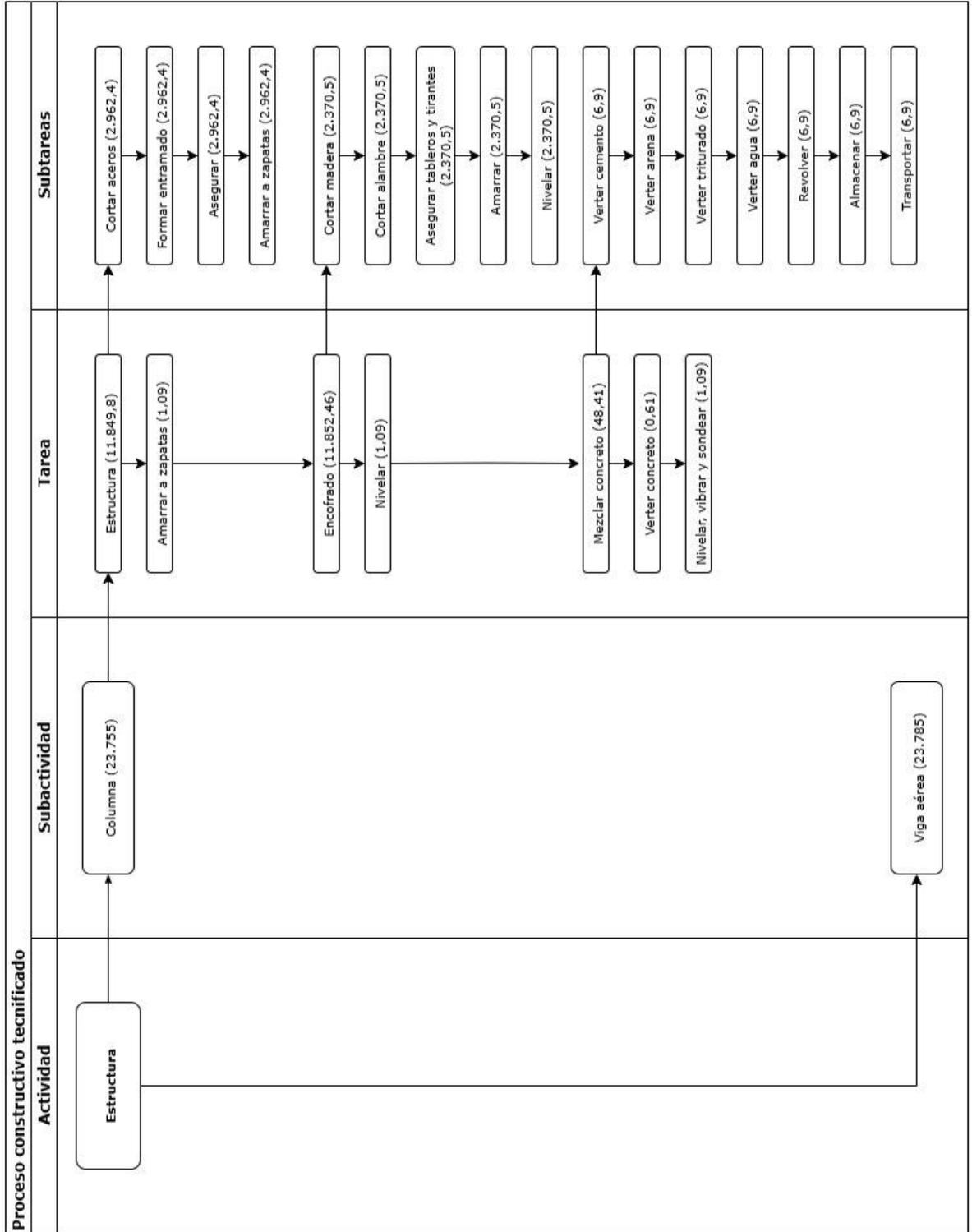


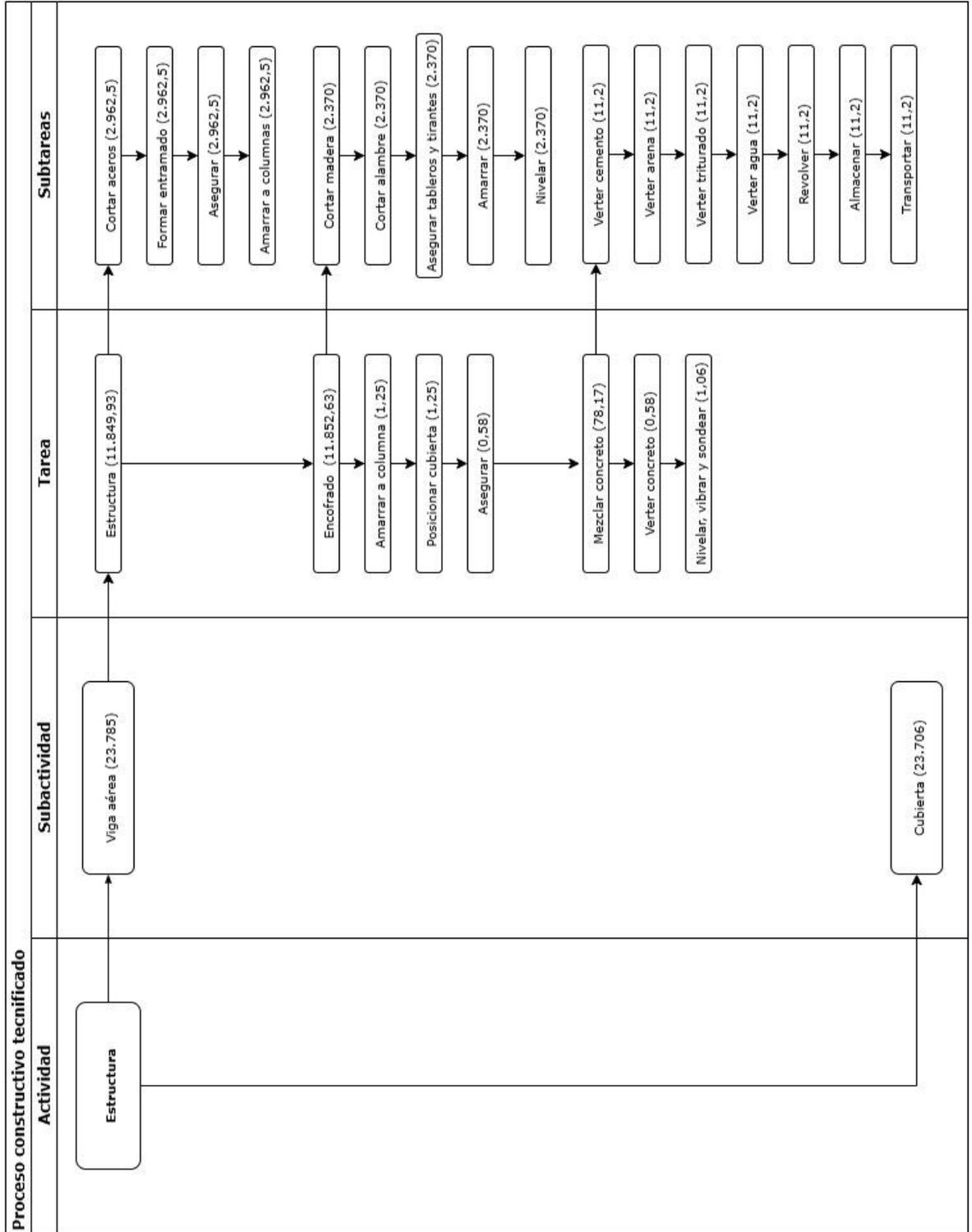


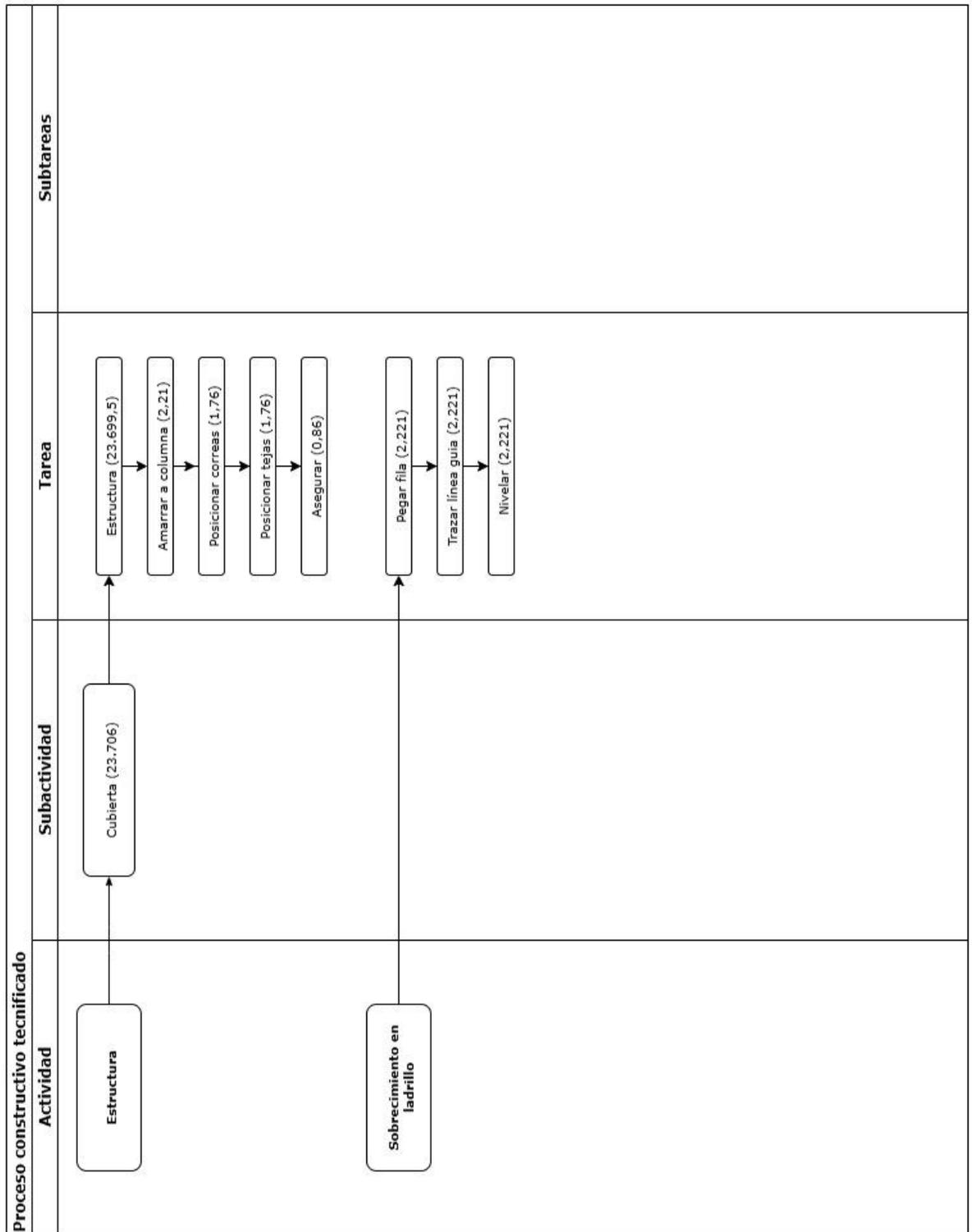






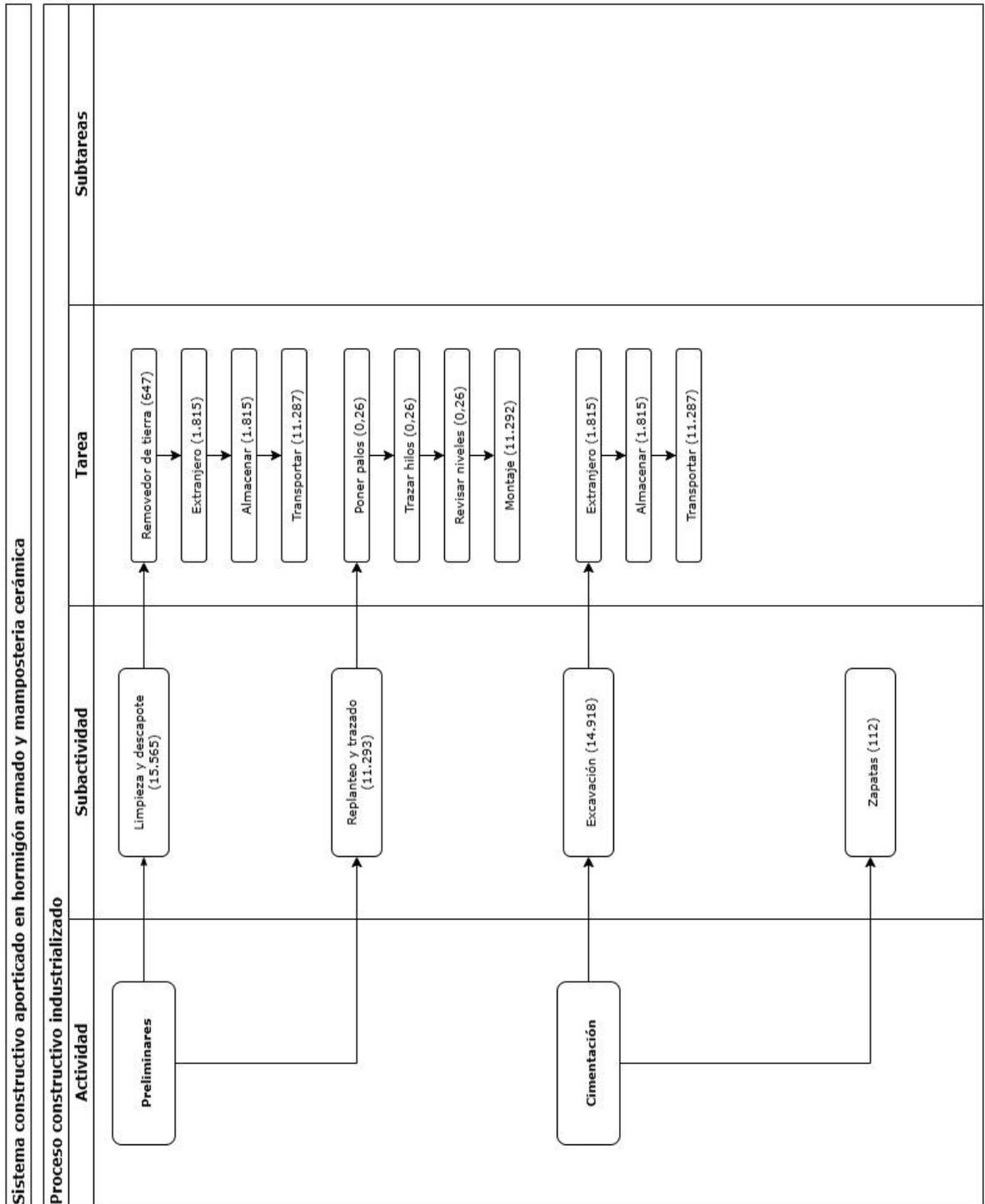


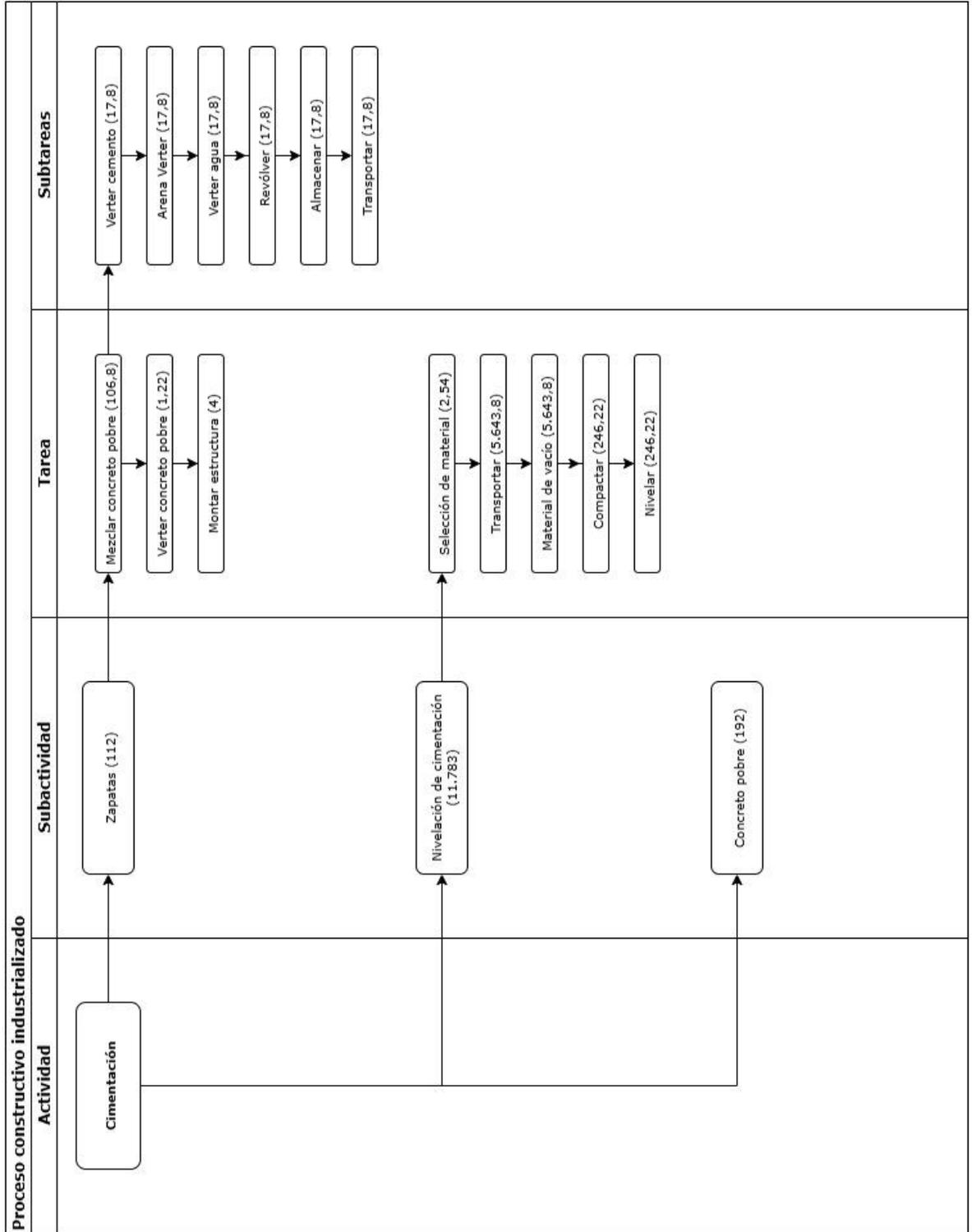


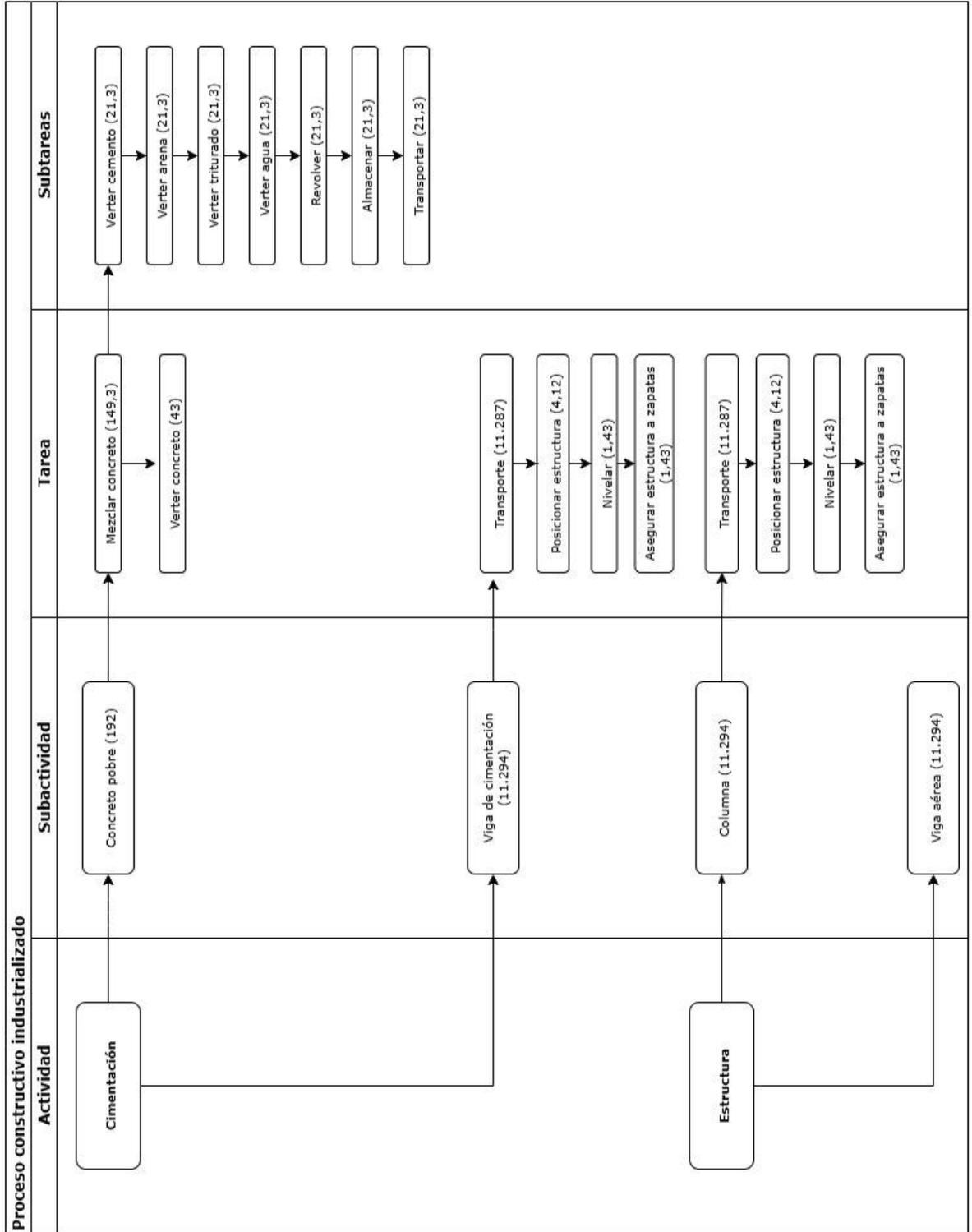


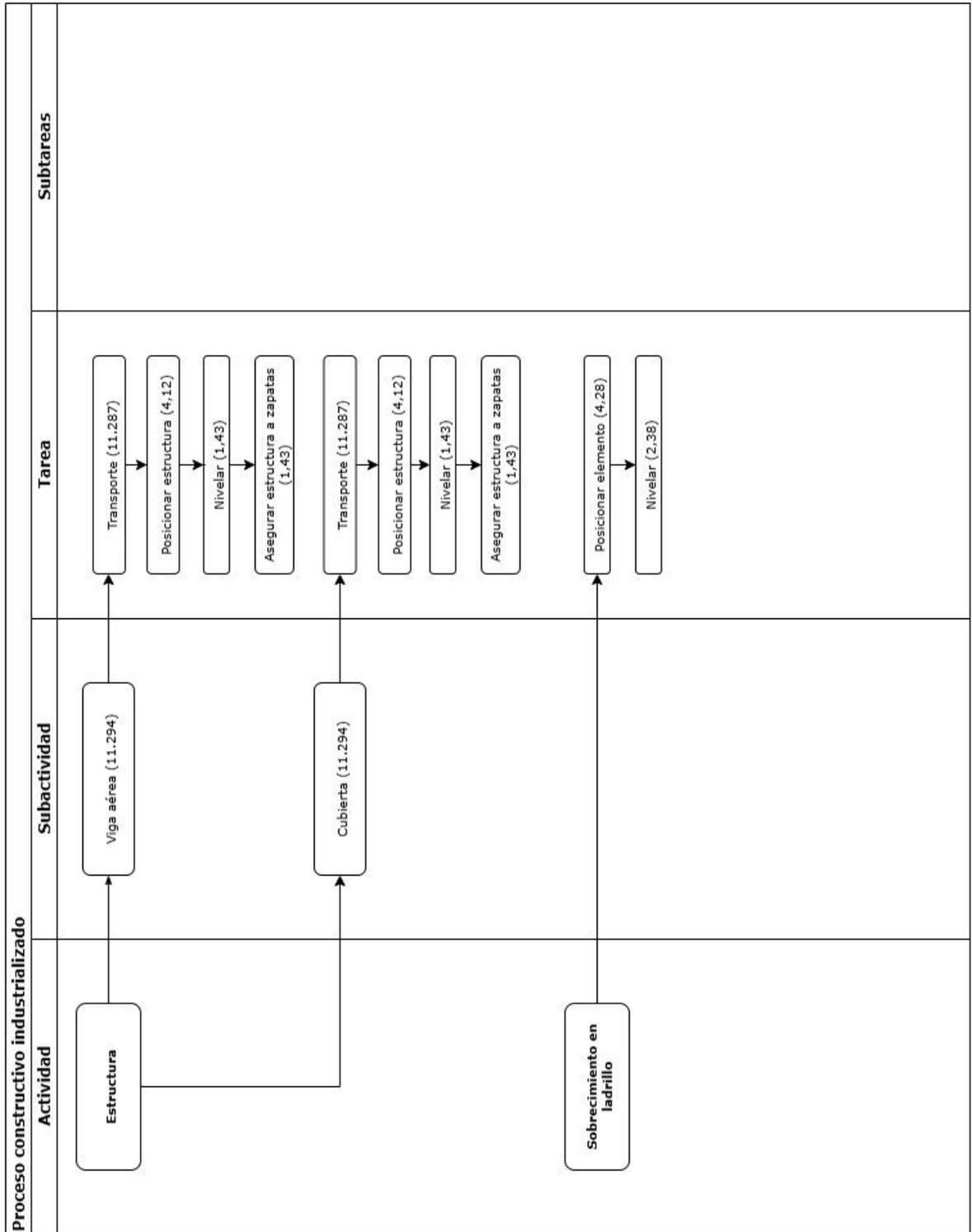
Fuente: Esta investigación.

Figura 17. Flujo de actividades del proceso constructivo industrial.









Fuente: Esta investigación.

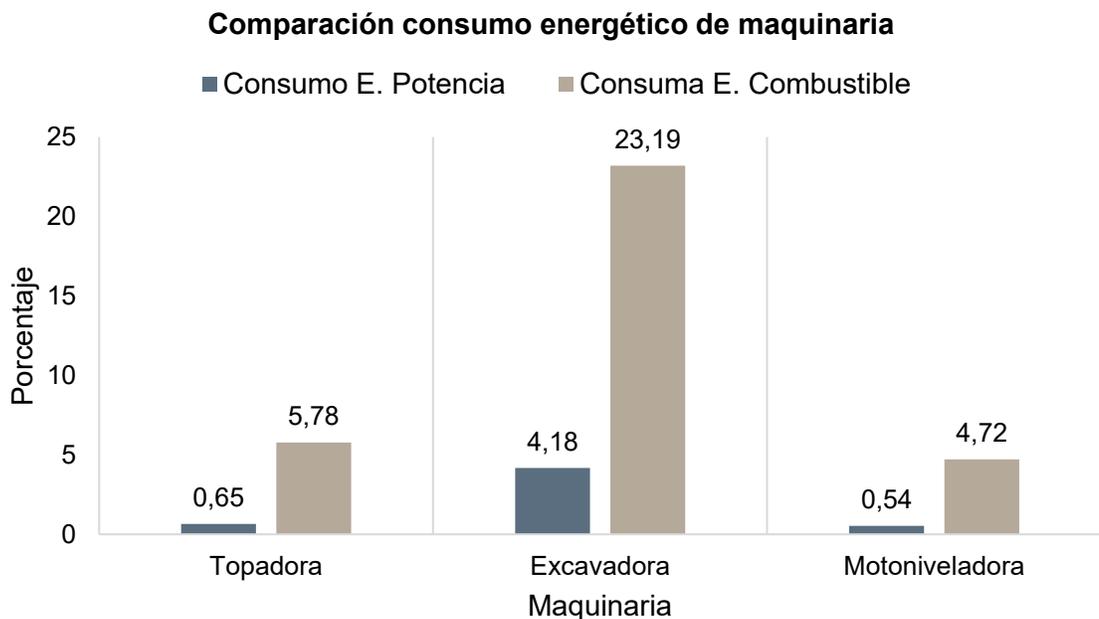
## 5 LINEAMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN PROPUESTOS PARA LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL NEGATIVO

Para reducir el gasto energético de los operarios y de las maquinarias se buscan varias alternativas, entre ellas cambiar la herramienta o la maquinaria con el fin de que se puedan hacer dos o más subactividades en una, de manera eficiente.

Se realiza el **Anexo 10**. Cálculo de maquinaria topadora una opción de sustitución para la maquinaria, ya que puede realizar operaciones de las maquinarias (excavadora y motoniveladora) en una sola.

Identificando el gasto energético de la topadora se procede a realizar una representación en gráfica del consumo en comparación con las dos maquinarias a reemplazar.

**Figura 18.** Comparación de consumo de energía de topadora, excavadora, motoniveladora en términos de potencia y combustible.



**Fuente:** Esta investigación.

Se evidencia en la **Figura 18** el consumo energético por parte de la maquinaria excavadora y motoniveladora las cuales, suman una totalidad de 4,72 kWh en términos de potencia y 27,91 litros en términos de combustible.

Con la sustitución de maquinaria, la topadora al realizar las dos actividades de las dos maquinarias en una, se reduce el 86.23% de consumo energético en términos de potencia y un 79.3% en términos de combustible.

Otra de las opciones para reducir el gasto energético es omitir las actividades que son prescindibles, como el encofrado en algunos procesos y gestionar las actividades que pueden realizarse en una sola etapa optimizando tiempo y energía.

Luego de realizar las observaciones pertinentes para reducir el consumo, se procede a verificar la factibilidad y la reducción de gasto energético en los procesos, los resultados son los siguientes:

**Cuadro 9.** Puntaje final de milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo manual.

<b>PROCESO CONSTRUCTIVO MANUAL</b>		
<b>Categoría</b>	<b>Actividad</b>	<b>mPts</b>
<i>Preliminares</i>	Limpieza y descapote	4
	Replanteo y trazado	1
<i>Cimentación</i>	Excavación	6
	Zapatas	6
	Nivelación de cimentación	5
	Concreto ciclópeo	7
	Viga de cimentación	6
<i>Estructura</i>	Columnas	11
	Sobrecimiento en ladrillo	7
	Viga aérea	12
	Cubiertas	10
<b>Total</b>		<b>73</b>

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 10.** Puntaje final de milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo tecnificado.

<b>PROCESO CONSTRUCTIVO TECNIFICADO</b>		
<b>Categoría</b>	<b>Actividad</b>	<b>Milipuntos</b>
<i>Preliminares</i>	Limpieza y descapote	12.074
	Replanteo y trazado	1
<i>Cimentación</i>	Excavación	14.919
	Zapatas	6.171
	Nivelación de cimentación	11.782
	Concreto ciclópeo	79
	Viga de cimentación	6.095
<i>Estructura</i>	Columnas	22.107
	Sobrecimiento en ladrillo	7
	Viga aérea	22.108
	Cubiertas	16.016
<b>Total</b>		<b>111.359</b>

**Fuente:** Esta investigación.

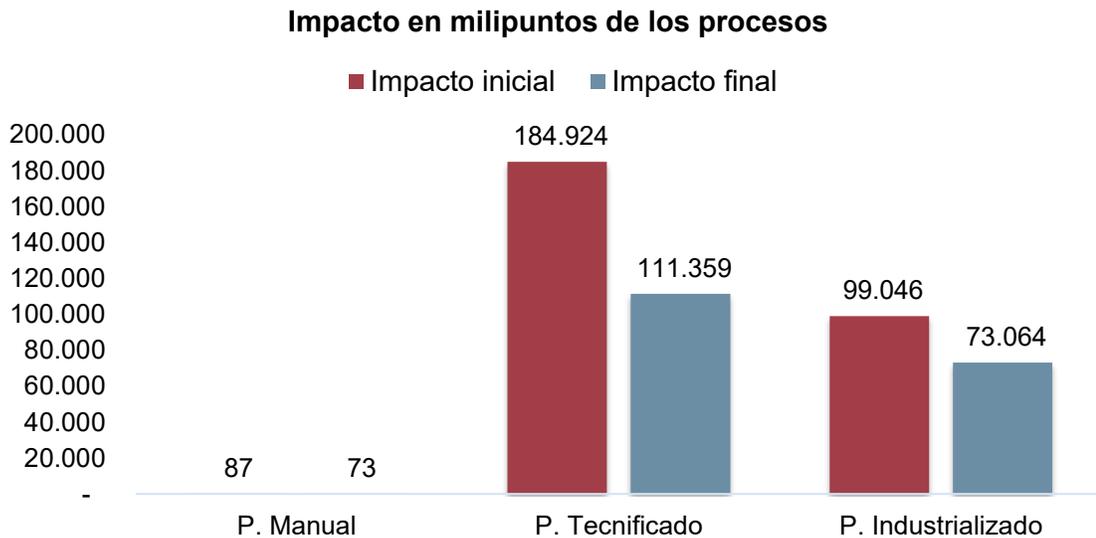
**Cuadro 11.** Puntaje final de milipuntos del gasto energético por actividad del proceso constructivo industrializado.

<b>PROCESO CONSTRUCTIVO INDUSTRIALIZADO</b>		
<b>Categoría</b>	<b>Actividad</b>	<b>Milipuntos</b>
<i>Preliminares</i>	Limpieza y descapote	12.074
	Replanteo, trazado y montaje	11.293
<i>Cimentación</i>	Excavación	14.918
	Zapatas	175
	Nivelación de cementación	11.783
	Concreto pobre	213
	Viga prefabricada	5.650
<i>Estructura</i>	Columnas	5.650
	Bloques prefabricados	7
	Viga prefabricada	5.650
	Cubiertas	5.650
	<b>Total</b>	<b>73.064</b>

**Fuente:** Esta investigación.

Se realiza una gráfica en comparación del puntaje de milipuntos obtenidos en el cálculo del impacto inicial y el impacto final.

**Figura 19.** Comparación del impacto inicial y el impacto final del gasto energético en milipuntos según proceso constructivo.



**Fuente:** Esta investigación.

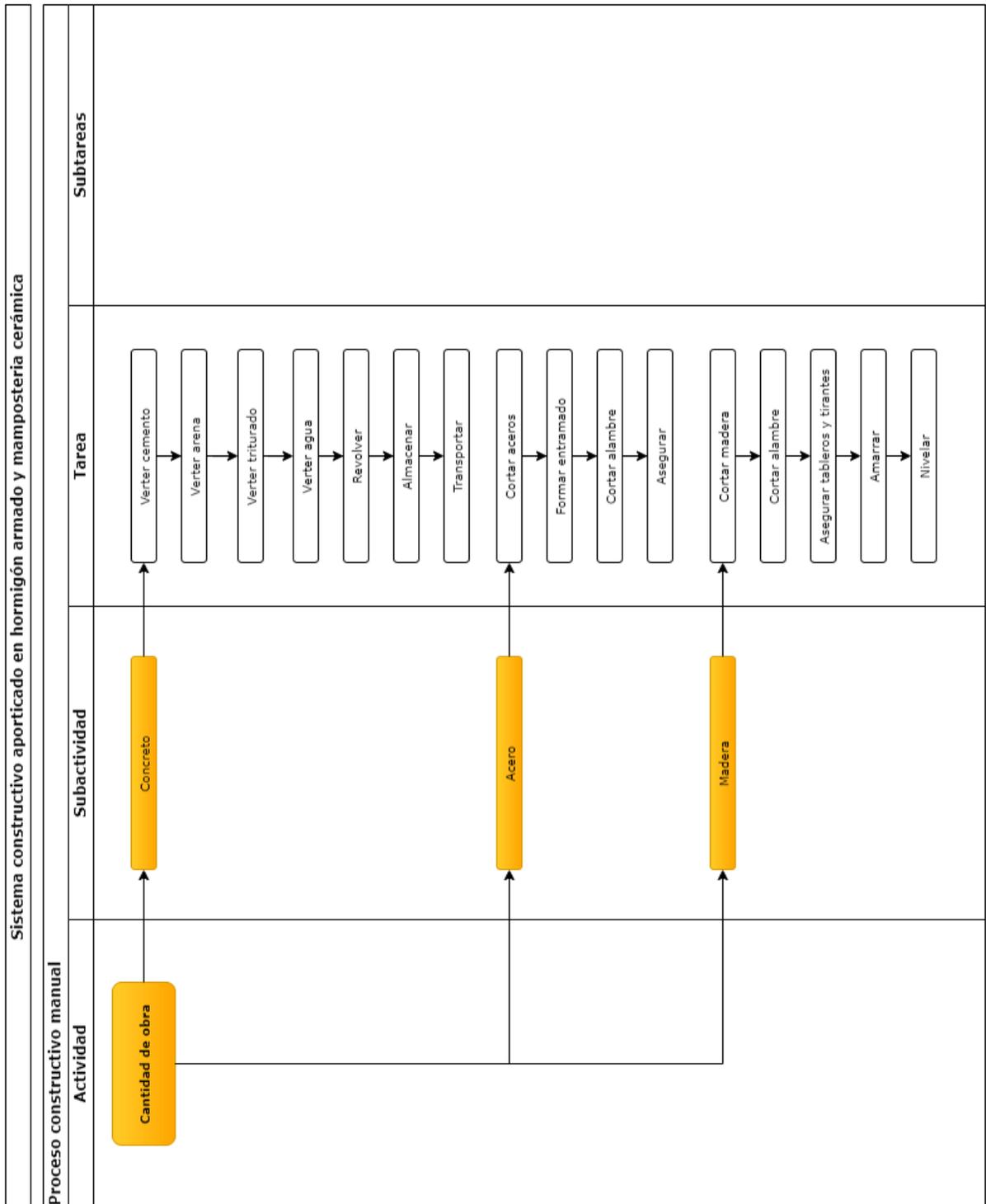
Los resultados muestran que el proceso constructivo manual logra una reducción del 16 % en el impacto ambiental (medido en milipuntos), el proceso tecnificado

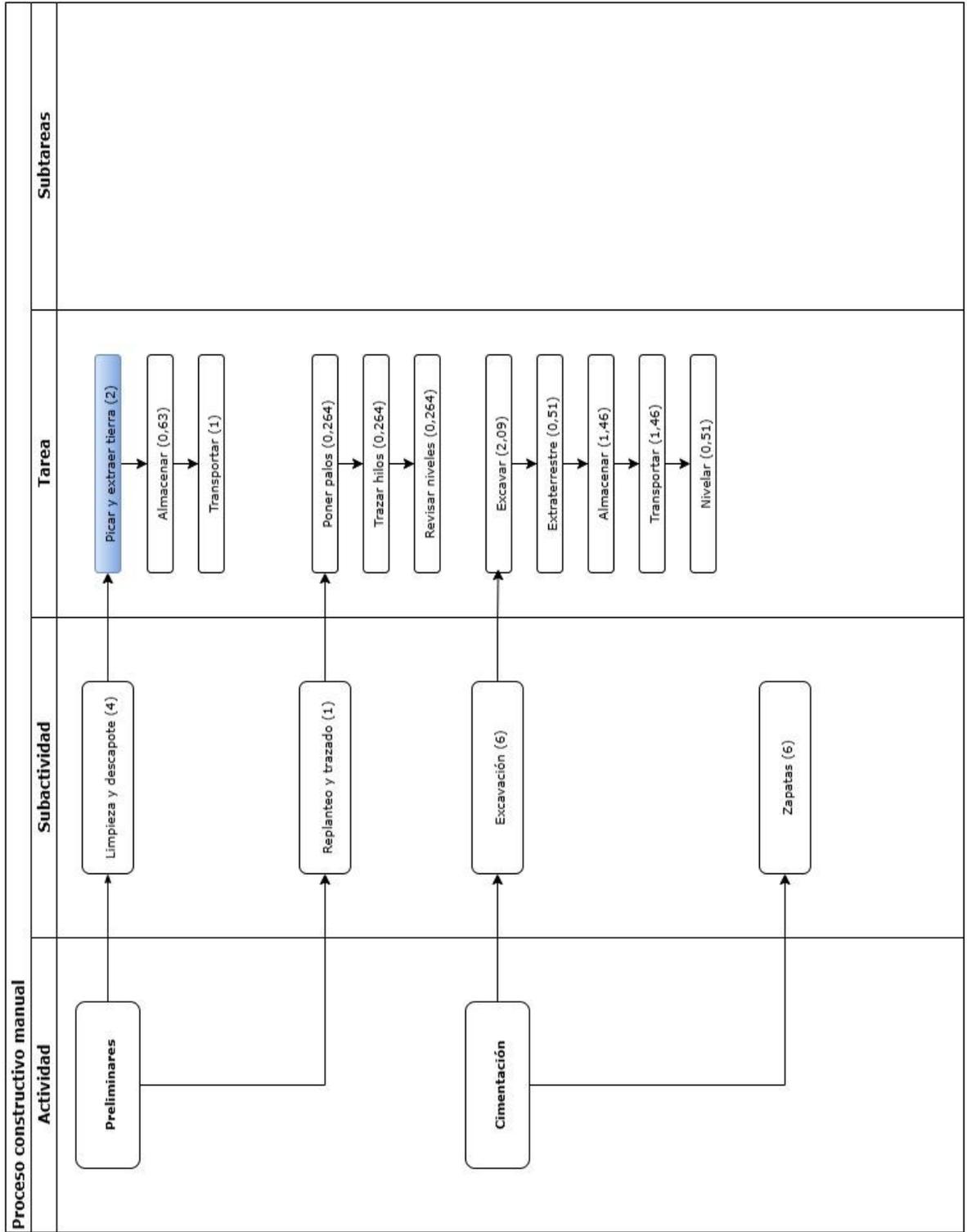
alcanza una disminución del 39,78 %, mientras que el industrializado presenta una reducción del 26,23 % con respecto al impacto inicial.

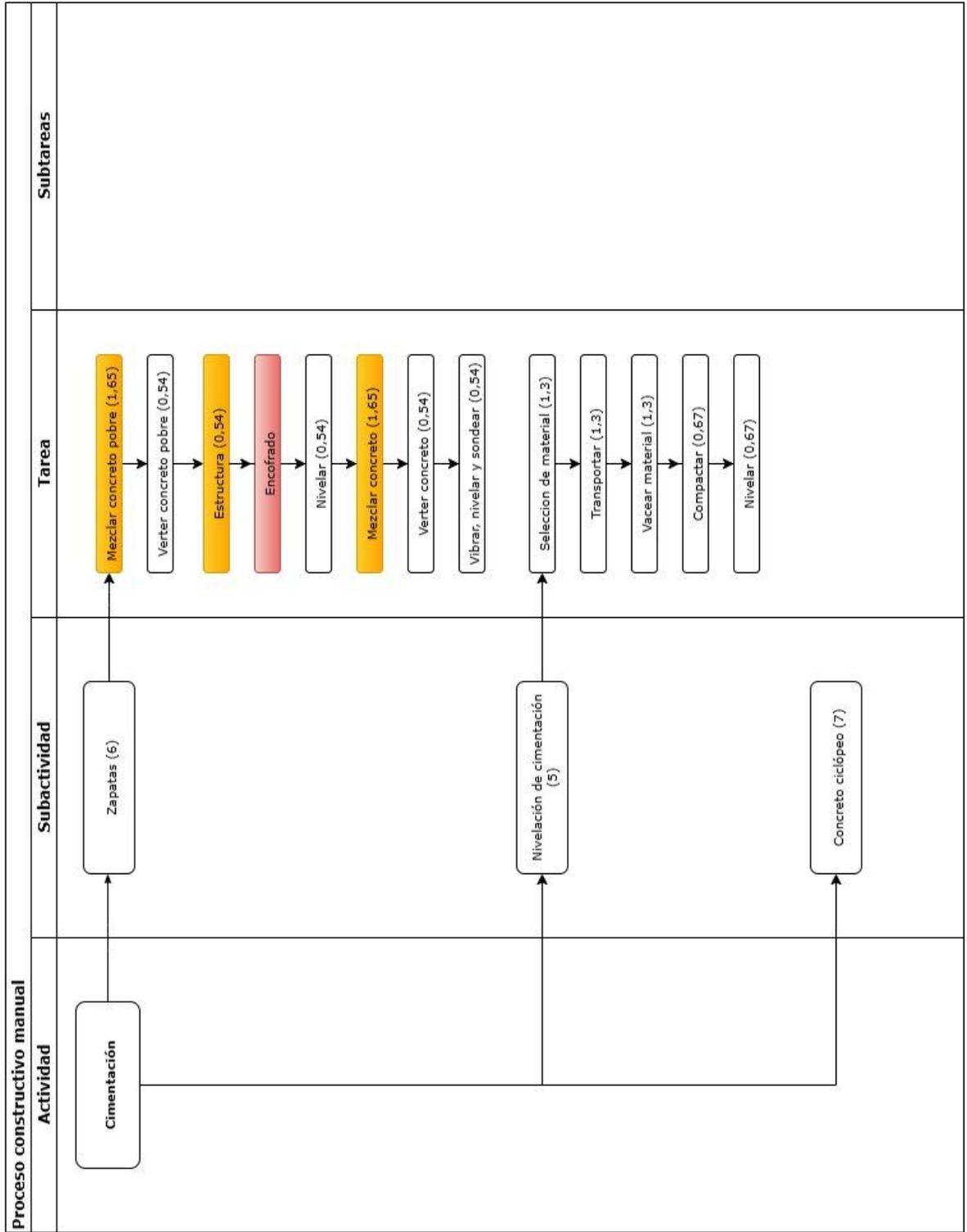
Sin embargo, el proceso industrializado continúa siendo el más recomendable para la construcción de edificaciones de tipo VIS, debido a que, pese a su menor porcentaje de reducción en esta etapa específica, parte de una carga ambiental inicial significativamente más baja. Esto sugiere una mayor eficiencia ambiental acumulada a lo largo del ciclo constructivo considerado. Cabe destacar que, si bien cada proceso muestra variaciones en su impacto, el objetivo principal de esta investigación no es seleccionar el proceso con el menor impacto absoluto, sino reducir significativamente el impacto ambiental en todos los sistemas constructivos evaluados, dentro de las posibilidades y limitaciones del sector.

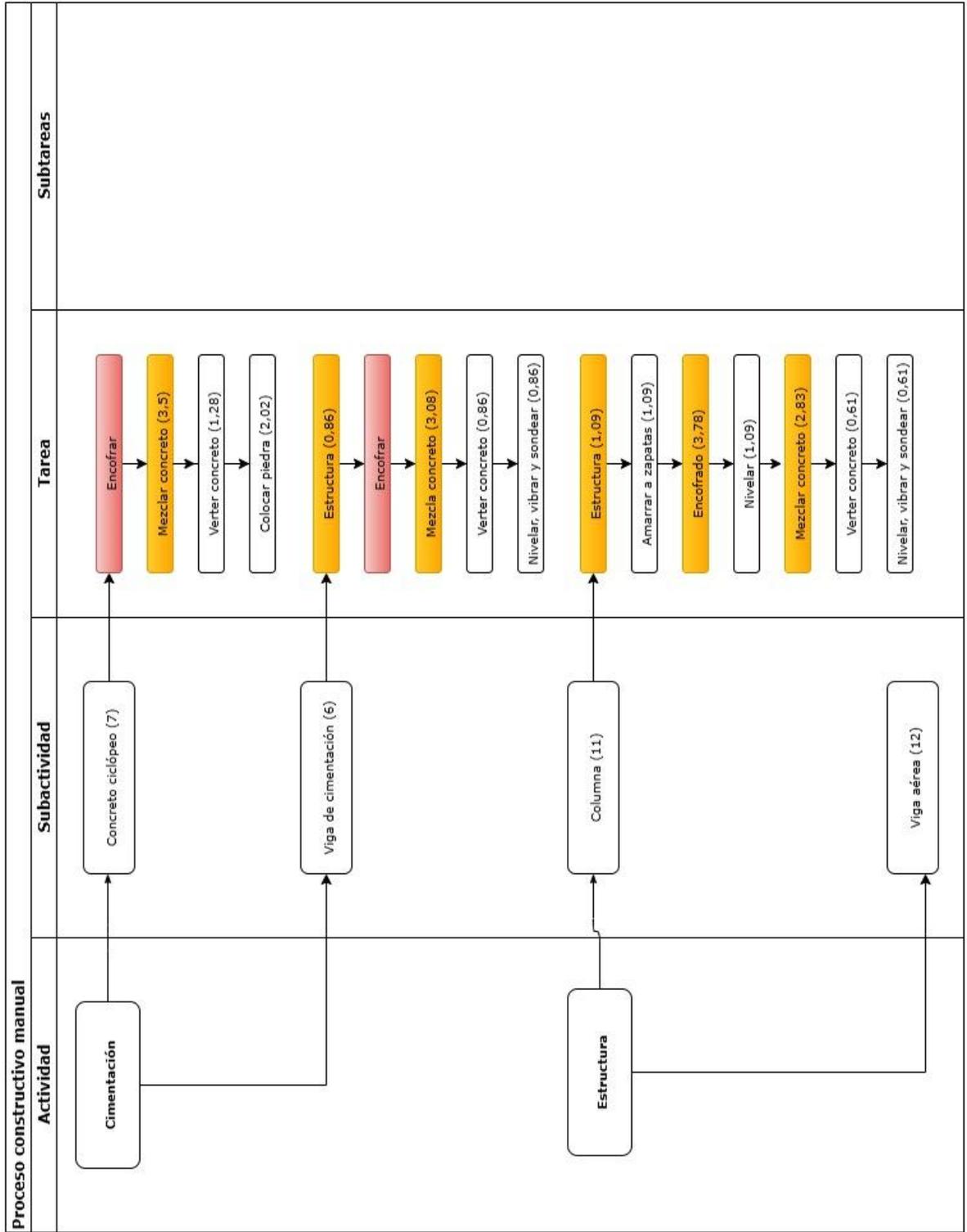
A continuación, se muestran las actividades y sub actividades en las que se han implementado cambios, algunas actividades han sido fusionadas (se muestran en color azul), han sido eliminadas (se muestran de color rojo) y otras actividades han sido modificadas desde la gestión del flujo de actividades agregando una nueva etapa para optimizar el proceso (se muestran de color amarillo).

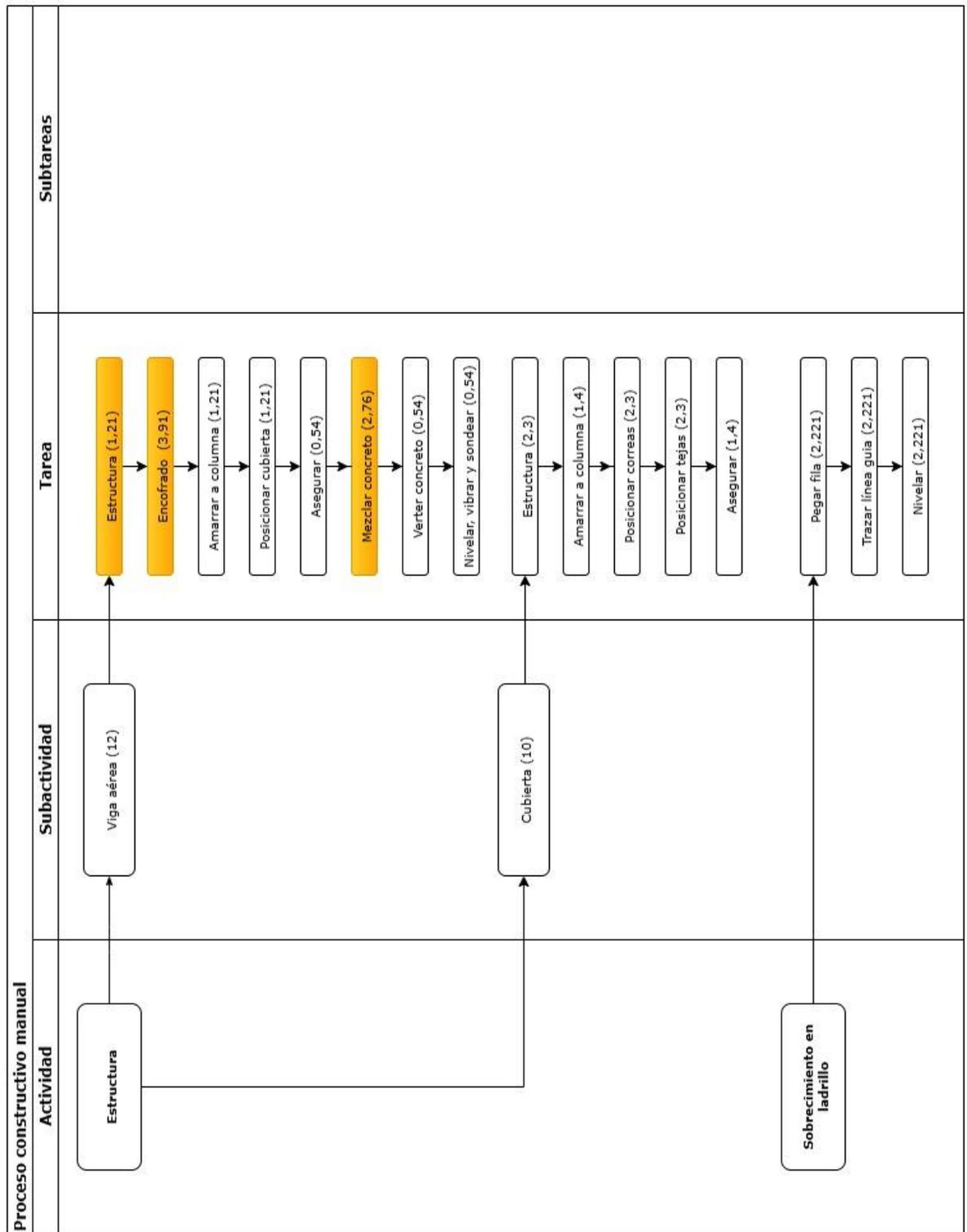
**Figura 20.** Flujo de actividades modificado del proceso constructivo manual.





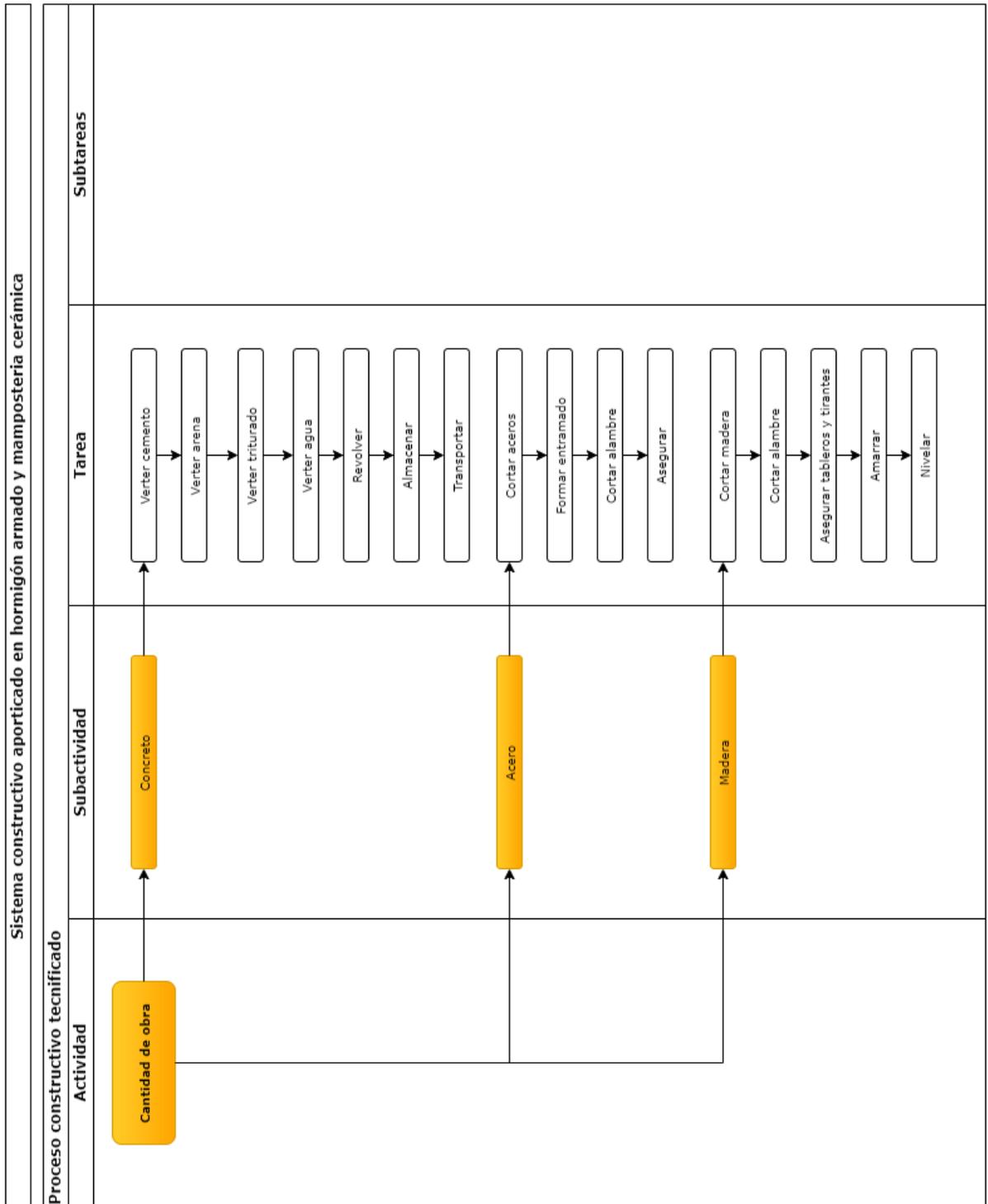


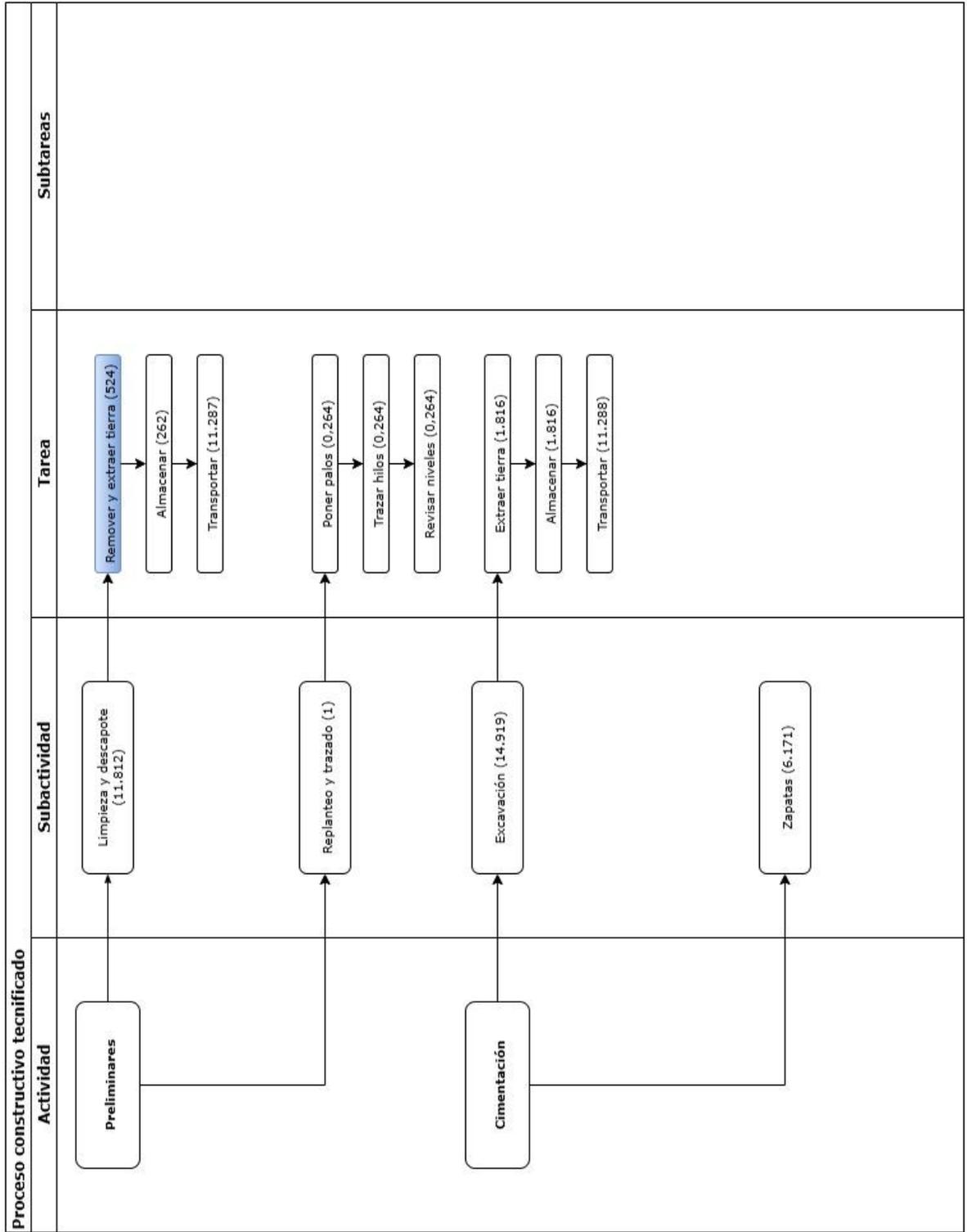


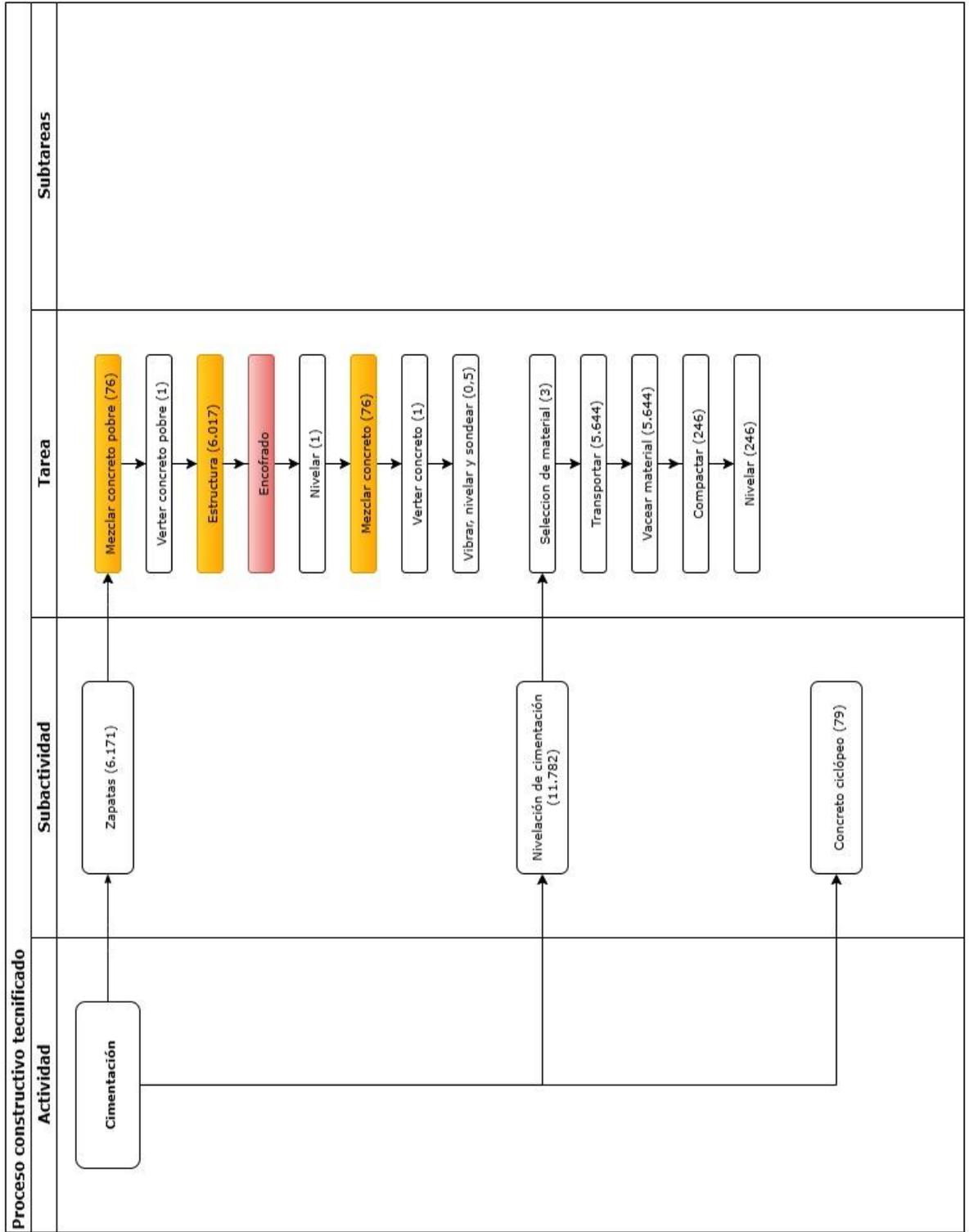


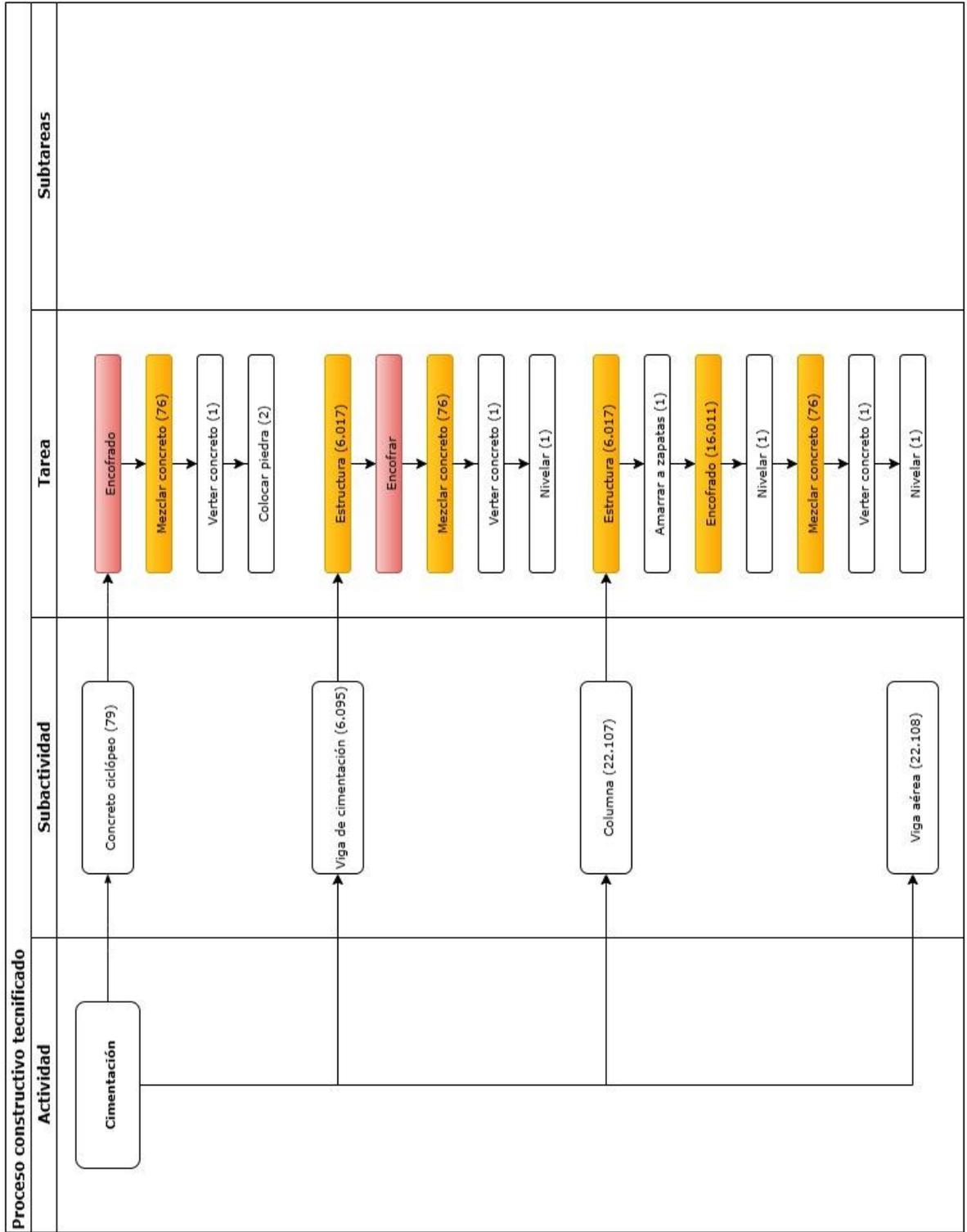
Fuente: Esta investigación.

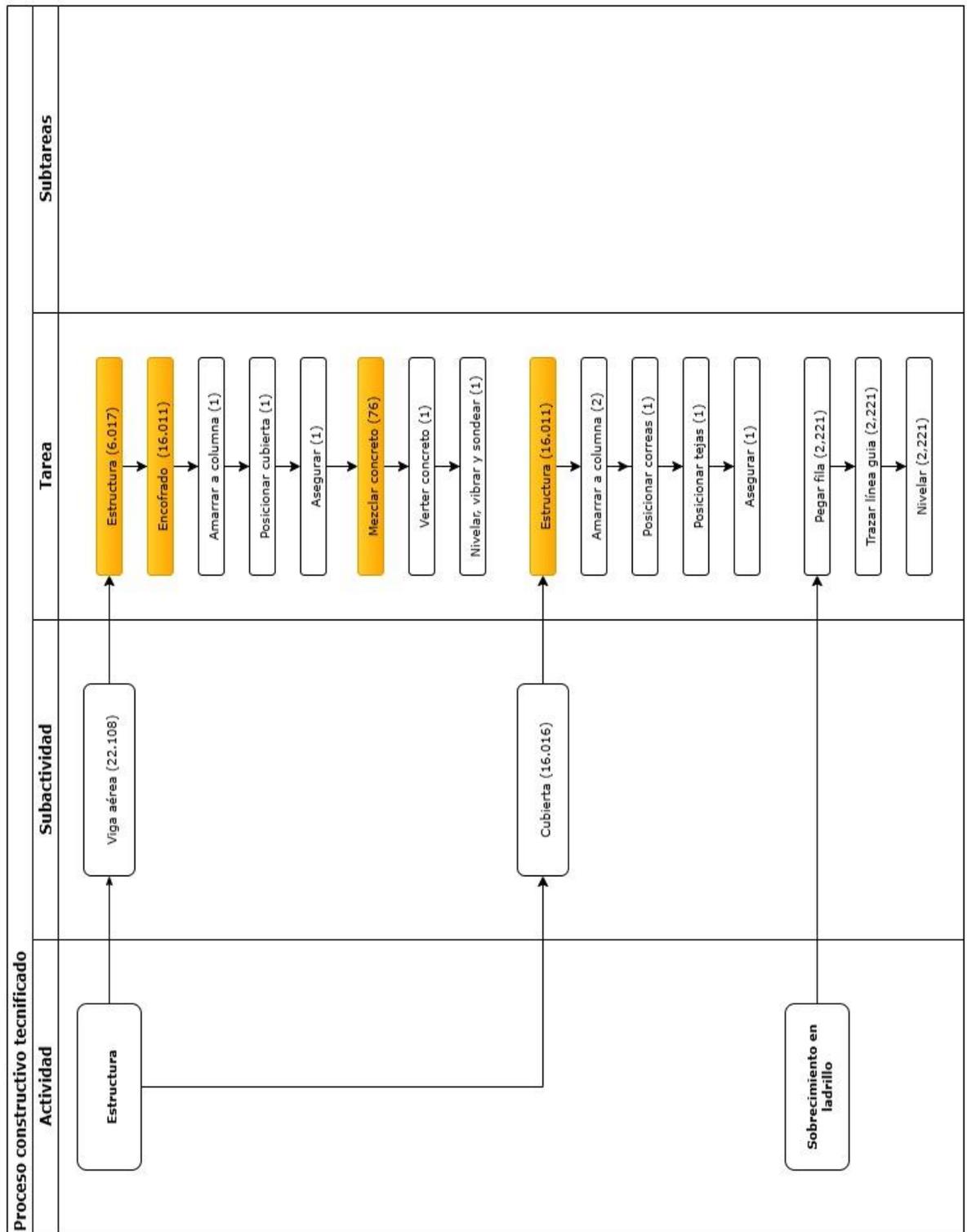
**Figura 21.** Flujo de actividades modificado del proceso constructivo tecnificado.





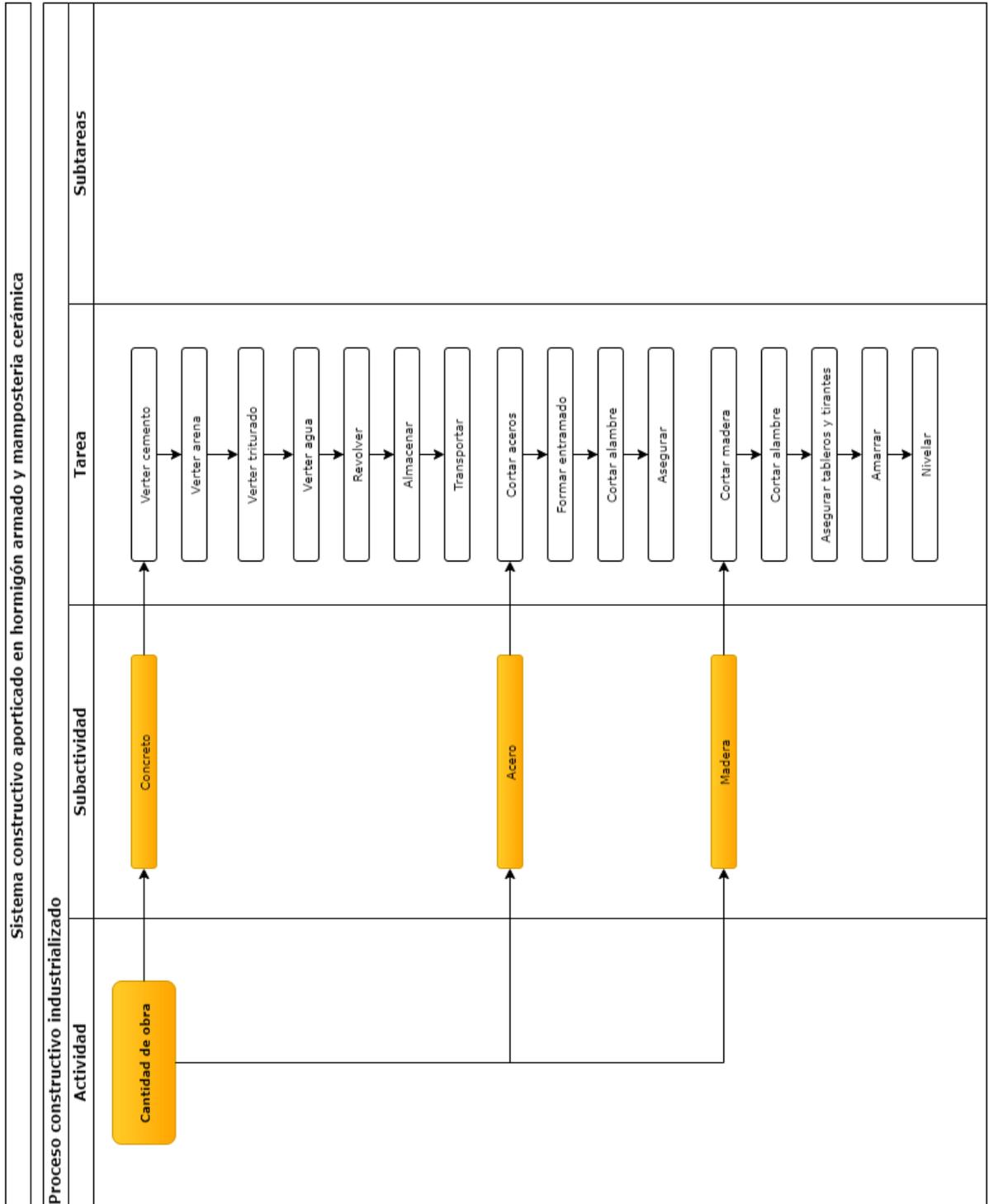


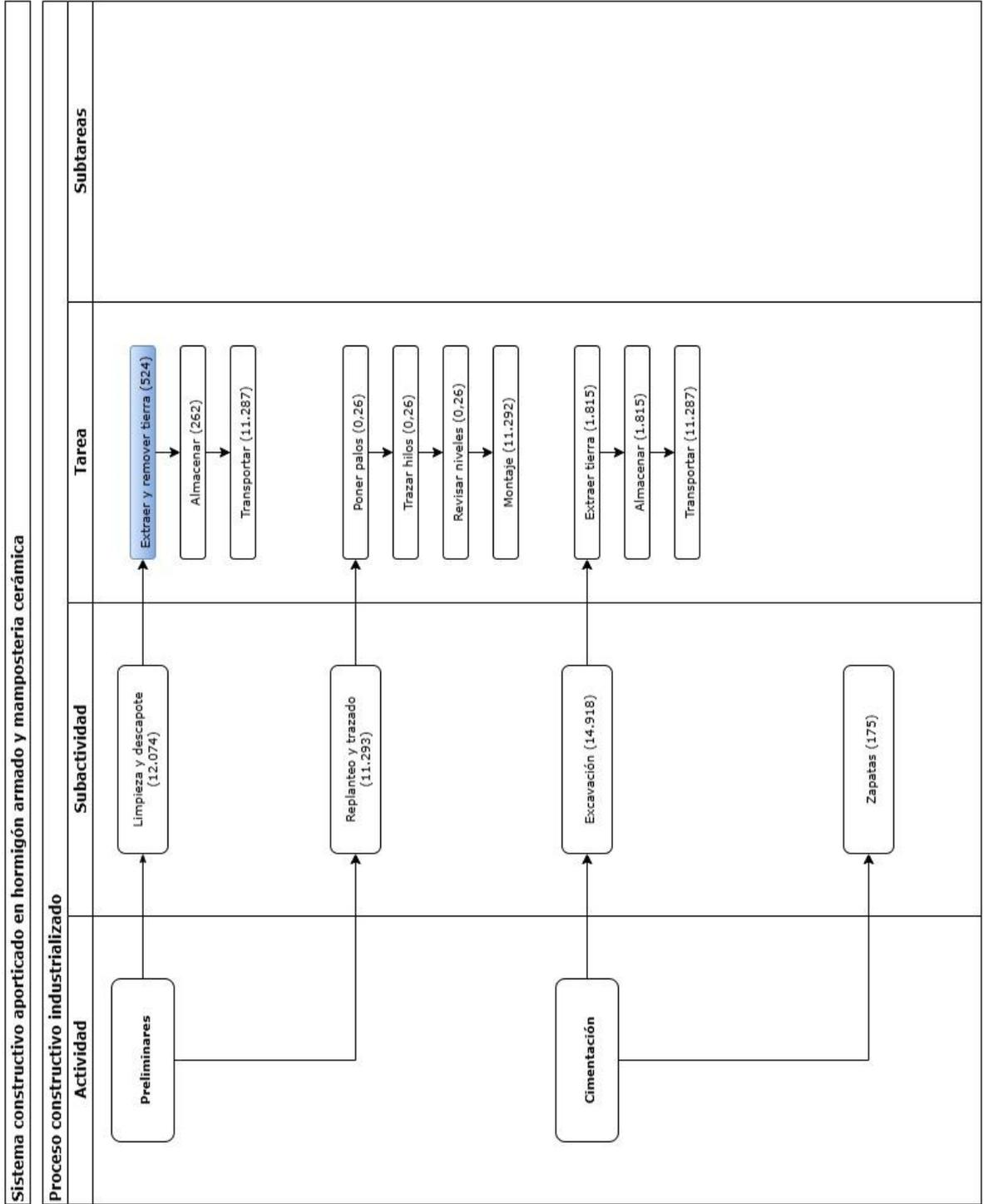


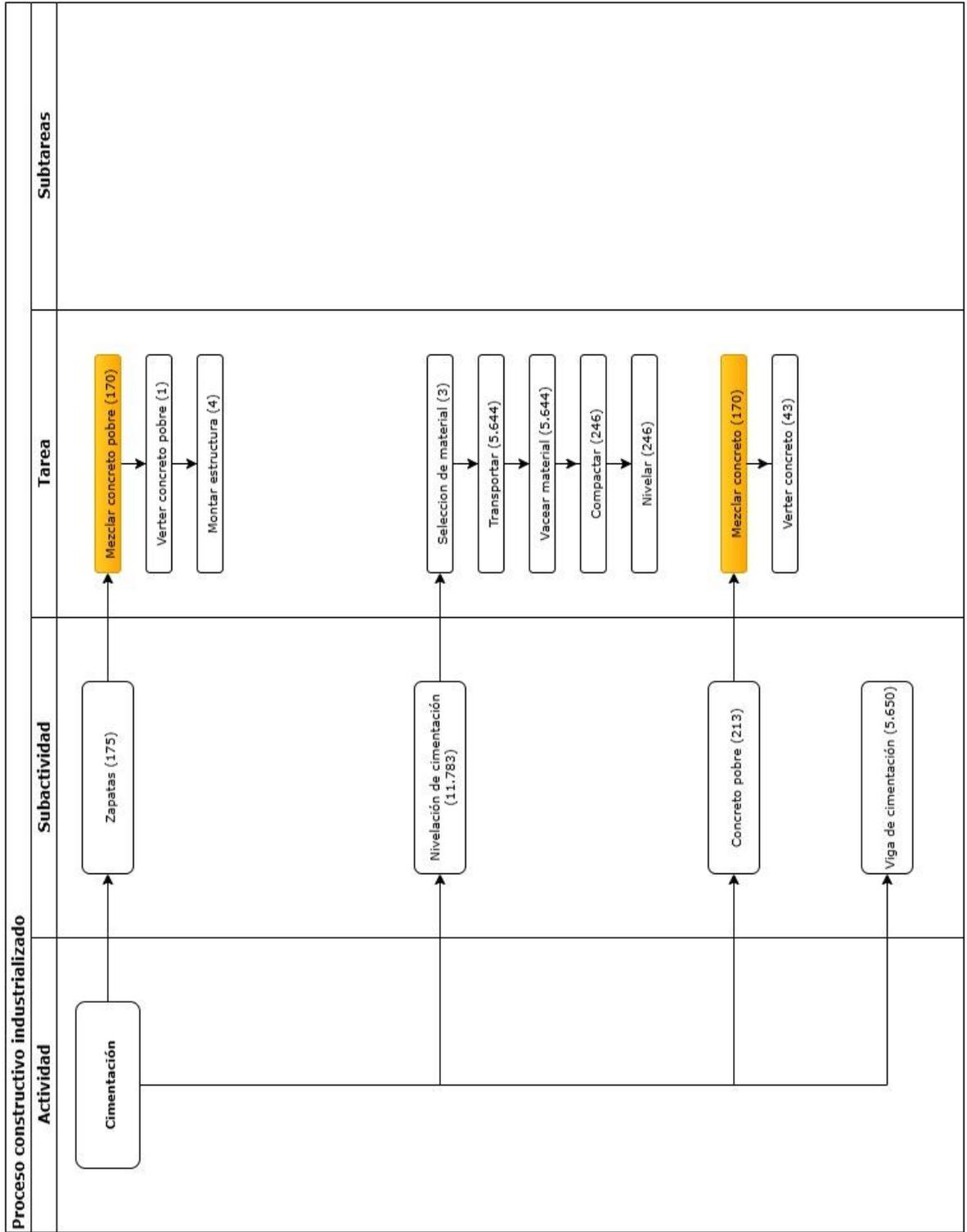


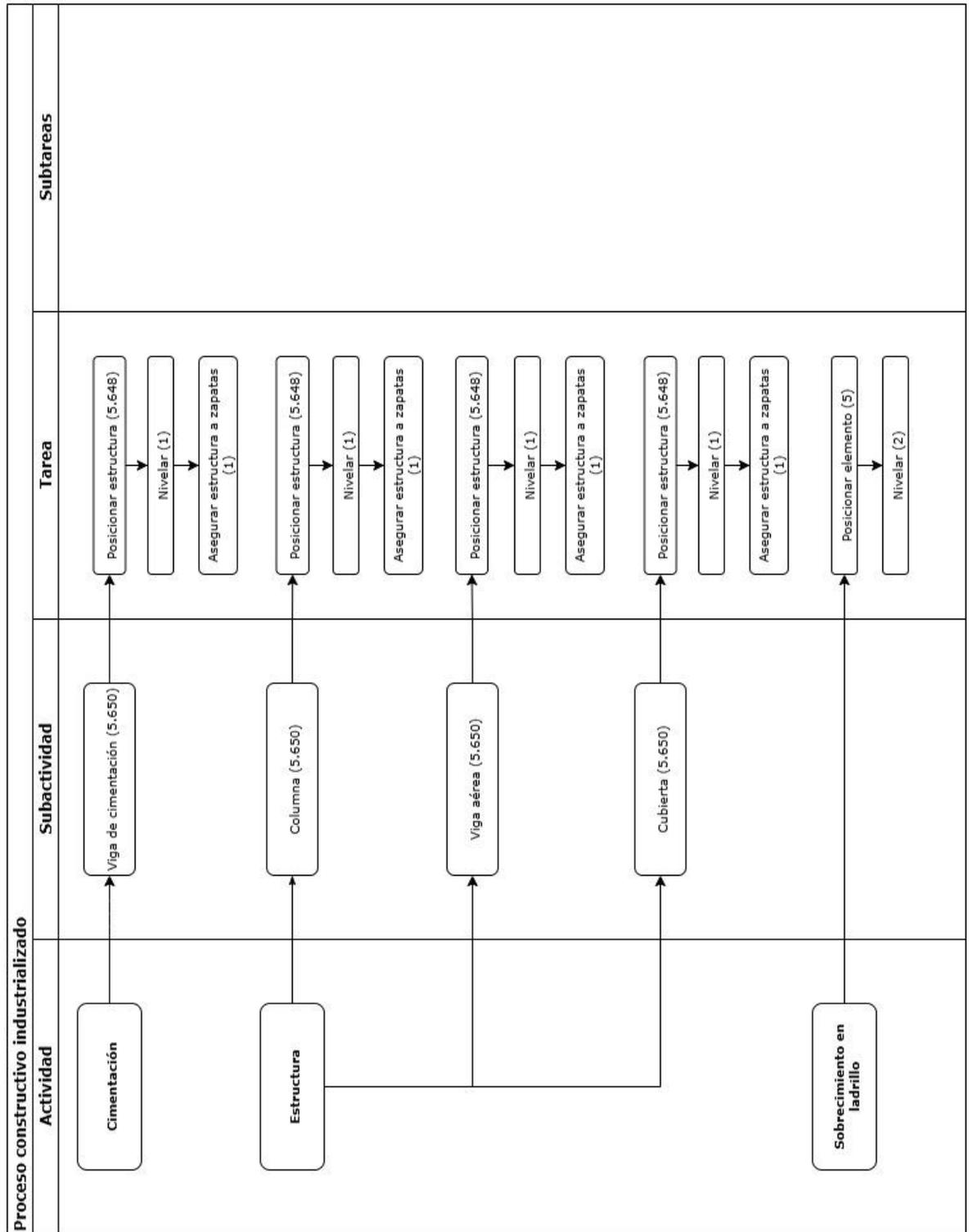
Fuente: Esta investigación.

**Figura 22.** Flujo de actividades modificado del proceso constructivo industrial.









Fuente: Esta investigación.

## CONCLUSIONES

Respondiendo a cada uno de los objetivos planteados, se presentan las principales conclusiones obtenidas en el desarrollo de esta investigación:

Respecto al objetivo general, se identificó el proceso del sistema constructivo aporticado en hormigón armado y mampostería cerámica en la vivienda de interés social (VIS) del barrio Juan Pablo II, evaluando su impacto ambiental mediante la aplicación de la metodología ISO 14040 y el método de medición del eco indicador 99. Este análisis permitió evidenciar los puntos críticos del proceso constructivo asociados al mayor consumo energético y, por tanto, al impacto ambiental negativo, aportando una base técnica para plantear lineamientos más sostenibles para futuras construcciones VIS.

Como se ha mencionado, el objeto de análisis en este estudio corresponde a una vivienda de interés social. La importancia de este análisis radica en que el sistema constructivo se repite en las viviendas seleccionadas como muestra dentro del barrio, lo que permite evaluar el impacto ambiental negativo de todo el proceso constructivo. Esta condición es fundamental, ya que contar con viviendas de características idénticas dentro de la muestra posibilita que la evaluación se pueda replicar y los resultados obtenidos tengan un mayor alcance y representatividad.

La aplicación de la metodología ISO 14040 y del eco indicador 99 en el análisis del impacto ambiental del sistema constructivo VIS representa un aporte significativo e innovador para el contexto nacional y regional, dado que, como se evidencia en los antecedentes, el uso de estas herramientas en Latinoamérica aún es limitado en el ámbito de la construcción de vivienda de interés social.

En el primer objetivo, se determinó el inventario detallado de materiales y componentes estructurales de la VIS analizada, identificando las características y cantidades propias de los elementos del sistema constructivo aporticado. Este inventario incluyó la cuantificación de obra, así como la recopilación de datos estandarizados de METs y kilocalorías para estimar el gasto energético de los operarios, y el consumo de maquinaria —en términos de potencia y combustible— asociado a cada actividad. Esta base de datos, organizada bajo un mismo criterio de análisis, fue esencial para realizar los cálculos del análisis de ciclo de vida (ACV) y garantizar una evaluación consistente y representativa del impacto ambiental durante el proceso constructivo.

Además, se evaluaron tres sistemas constructivos: manual, tecnificado e industrializado, identificando para cada uno el aporte energético de operarios y maquinaria y su correspondiente carga ambiental, lo que permitió establecer comparaciones y plantear recomendaciones orientadas a la mitigación del impacto.

En el segundo objetivo se estableció el impacto ambiental derivado del gasto energético de los procesos constructivos mediante la metodología del análisis del

ciclo de vida y el uso del eco indicador 99. Los resultados evidenciaron que el consumo energético varía significativamente según el tipo de sistema constructivo empleado, lo que refuerza la necesidad de optimizar los recursos y replantear las prácticas tradicionales en la construcción de vivienda de interés social.

Respecto al tercer objetivo, se compararon los resultados de evaluación del impacto del gasto energético entre los sistemas constructivos estudiados, identificando las diferencias y los elementos de mayor incidencia ambiental.

En el caso del proceso constructivo manual, se identificó un alto gasto energético asociado principalmente al esfuerzo físico de los operarios en actividades de alta exigencia, como en la ejecución de **vigas aéreas, columnas, concreto ciclópeo, cubiertas, vigas de cimentación y zapatas, las cuales generan el mayor impacto ambiental dentro de este sistema.**

Por su parte, el proceso constructivo tecnificado resultó ser el que presentó el mayor gasto energético global, debido a la combinación de un alto consumo de kilocalorías por parte de los operarios y el uso intensivo de maquinaria, ya que sus operaciones se realizan en sitio, lo que incrementa la demanda energética total. En contraste, el proceso industrializado, aunque depende en gran medida de la maquinaria, mostró un gasto energético más eficiente, dado que gran parte de sus componentes se fabrican fuera del sitio de obra, lo que reduce el consumo energético in-situ.

De este modo, aunque el proceso manual evidenció el menor gasto energético entre los tres sistemas analizados, es importante considerar que este resultado no incorpora el factor tiempo, el cual, al ser proporcional al impacto, podría alterar significativamente las conclusiones si se integrara en un análisis más amplio.

No obstante lo expuesto, el propósito de la investigación no se limitó únicamente a identificar el gasto energético de cada sistema constructivo, sino que, como objetivo final, se orientó a proponer lineamientos que permitan reducir el impacto ambiental negativo en cualquiera de los sistemas evaluados. Así, se plantearon recomendaciones basadas en la optimización de los procesos y la selección adecuada de maquinaria y métodos constructivos, con el fin de mitigar los efectos adversos sin importar el nivel de tecnificación del sistema implementado.

Para entender el impacto negativo ambiental de las construcciones es necesario realizar la siguiente analogía: EMAS Pasto<sup>26</sup> en el informe de gestión del 2022, para ese mismo año menciona que se recogieron 23.013,15 toneladas de desechos sólidos correspondientes a 23.013.000 kilogramos de desechos. Se estima que mensualmente se recogen 1.917,75 toneladas de desechos sólidos equivalentes a

---

<sup>26</sup> EMAS PASTO by Veolia. Informe de gestión enero - diciembre 2022 (en línea). En: EMAS Pasto. Publicación electrónica (Pasto): 2022 (consultada: mayo, 2024). Disponible en la dirección electrónica: [https://www.emaspasto-putumayo.com.co/sites/default/files/public/Emas%20Pasto%20Informe%20Gesti%C3%B3n%202022\\_compressed.pdf](https://www.emaspasto-putumayo.com.co/sites/default/files/public/Emas%20Pasto%20Informe%20Gesti%C3%B3n%202022_compressed.pdf)

1.917.750 kilogramos. Siguiendo la analogía, el cálculo realizado a lo largo de este estudio se realizó por un módulo de vivienda, tomando los resultados por los 203 módulos de vivienda el resultado final, sin la propuesta de mitigación de impacto, por el proceso constructivo manual equivale a 17.661 kg de desechos sólidos correspondientes al 0,077 %, el proceso constructivo tecnificado equivale a 34.539.572 kg de desechos sólidos correspondientes al 150,1 % y el proceso constructivo industrializado equivale a 20.106.338 kg de desechos sólidos correspondientes al 87,39 % en relación a los desechos generados anualmente en la ciudad de Pasto.

En línea con los objetivos propuestos, el estudio permitió formular recomendaciones dirigidas a la mitigación del impacto ambiental negativo identificado en los distintos sistemas constructivos analizados. Entre estas propuestas se destaca el reemplazo de ciertas maquinarias por equipos más eficientes, así como la optimización de actividades y métodos de ejecución que contribuyan a la reducción del consumo energético. No obstante, se reconoce que existen procesos propios de los sistemas manual, tecnificado e industrializado que, no admiten una eliminación o modificación sustancial, por lo cual el impacto ambiental negativo, aunque mitigado, no puede ser completamente erradicado.

Finalmente, esta investigación abre un camino para futuros estudios que, a partir de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicada, permitan profundizar en el análisis de los procesos constructivos, integrando variables aún no consideradas, como el factor tiempo real, para evaluar la efectividad de los lineamientos planteados. Asimismo, se plantea la posibilidad de avanzar en el estudio de las etapas siguientes del ciclo de vida con el propósito de lograr una evaluación más integral de su impacto ambiental.

Cabe resaltar que el alcance de este estudio se centró exclusivamente en la evaluación del impacto ambiental negativo asociado al consumo energético durante el proceso constructivo de la vivienda de interés social, sin abordar los ámbitos económico ni social. Estos aspectos, igualmente relevantes para un análisis integral, quedan abiertos como oportunidades para futuras investigaciones. En ese sentido, se invita a ampliar la mirada hacia un enfoque de sostenibilidad más completo, que en trabajos posteriores contemple no solo los impactos ambientales, sino también las dimensiones económicas y sociales, fundamentales para comprender de manera sistémica las implicaciones de la construcción de viviendas de interés social en el marco de la arquitectura sostenible.

## RECOMENDACIONES

En atención a los resultados obtenidos y con el propósito de contribuir a la reducción del impacto ambiental negativo en la construcción de viviendas de interés social, se plantean las siguientes recomendaciones.

Durante el desarrollo del estudio se identificaron diversas oportunidades de mejora que pueden fortalecer futuras investigaciones y desarrollos relacionados. En este sentido, se sugiere que próximos trabajos de carácter multidisciplinario integren especialistas en áreas como la salud, la ingeniería y la gestión energética, lo que permitirá una mayor precisión y profundidad en la obtención y análisis de datos sobre el gasto energético de los operarios y el rendimiento de la maquinaria. Esta recomendación responde a las dificultades enfrentadas en la presente investigación, donde fue necesario acudir a fuentes externas al campo de la arquitectura, tales como compendios y ecuaciones del ámbito de la salud (tablas de gasto energético y tasas metabólicas basales en METs de la FAO) y estudios e información técnica de ingeniería (fichas técnicas y cálculos de rendimiento de maquinaria pesada).

Respecto a los METs, kilocalorías y los valores de la maquinaria, la estimación tomada para los cálculos fue estandarizada con el propósito de optimizar el análisis del consumo energético. Por ejemplo, para estimar el gasto energético de los operarios, donde se consideran características fenotípicas como el peso corporal, se utilizó un valor de referencia de 75 kg como promedio para todos los cálculos. Es importante reconocer que estos valores podrían variar en función de las características reales de los trabajadores, por lo que se recomienda que futuros estudios evalúen si dichas variaciones constituyen una variable relevante dentro del modelo de ciclo de vida, a fin de obtener resultados más precisos y contextualizados. De igual forma, se sugiere que futuras investigaciones profundicen en el desarrollo de bases de datos locales sobre consumo energético en procesos constructivos, tanto para operarios como para maquinaria, lo que contribuiría a reducir la dependencia de información estandarizada internacional y aumentaría la pertinencia de los análisis ambientales en el contexto nacional y regional.

Siguiendo la línea de la investigación, se sugiere optimizar el uso de maquinaria en los procesos constructivos tecnificados e industrializados, priorizando equipos de mayor eficiencia operaria (como se muestra en **Anexo 8. Factores de rendimiento de maquinaria. Anexo 8**), energética y menor consumo de combustible. Esto permitirá mitigar la carga ambiental asociada al uso intensivo de equipos durante las actividades constructivas. Además, se recomienda evaluar la posibilidad de sustituir ciertas máquinas por versiones más modernas o adaptadas al tipo de obra, de manera que se logre un equilibrio entre rendimiento y sostenibilidad.

Por otra parte, se considera pertinente gestionar de manera más eficiente las actividades que requieren alta demanda física por parte de los operarios,

especialmente en procesos manuales, mediante la gestión de obra, incluyendo la planificación adecuada de las actividades y la incorporación selectiva de herramientas, que reduzcan el gasto energético humano sin comprometer la calidad de la construcción.

Asimismo, se recomienda fortalecer la planificación de las actividades constructivas, identificando las etapas críticas en cuanto a consumo energético y planteando alternativas que permitan reducir tiempos sin comprometer la integridad estructural de la obra. Esto contribuirá a disminuir el impacto ambiental asociado a la prolongación innecesaria de ciertas labores.

Por otra parte, a partir de la evaluación realizada y los resultados obtenidos, se considera fundamental que las entidades gubernamentales comiencen a atender de manera prioritaria el impacto ambiental generado por el sector de la construcción. En este sentido, se recomienda promover la realización de estudios que analicen y evalúen el diseño de las edificaciones bajo el enfoque del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), con el propósito de identificar y cuantificar los impactos negativos asociados y, de este modo, proyectar estrategias eficaces de mitigación y compensación ambiental. De igual manera, es importante crear conciencia sobre el impacto que genera el sector de la construcción, de modo que las entidades competentes ejecuten normativas basadas en lineamientos estratégicos orientados a la mitigación ambiental, promoviendo un desarrollo sostenible en las nuevas edificaciones proyectadas dentro del tejido urbano. Se recomienda que, en el ámbito ambiental, se consideren los impactos negativos asociados a los materiales y al sistema constructivo empleados en las construcciones actuales, con el propósito de migrar hacia propuestas de menor impacto, como las planteadas en este estudio u otras alternativas que favorezcan la sostenibilidad del entorno.

Para lograr un resultado de gran alcance, se recomienda replicar la evaluación de impacto en varios casos de estudio siguiendo la metodología ACV de esta investigación, a fin de obtener resultados que cooperen con este estudio para corroborar la tendencia de impacto. Los casos de estudio en los que se replique el estudio deben tener en cuenta las características que se establecen en el caso de estudio; barrio Juan Pablo II, como: la tipología de vivienda (a un piso), vivienda unifamiliar, proceso constructivo aporticado en hormigón armado y mampostería cerámica, debido a que las viviendas deben ser homogéneas para que el estudio realizado sea factible y colabore en la obtención de resultados de la tendencia de impacto negativo ambiental. De lo contrario, de no seguir las mismas características de las viviendas el estudio se alteraría.

Estas recomendaciones se formulan como resultado directo de los hallazgos de la investigación y buscan aportar al desarrollo de prácticas constructivas más responsables con el medio ambiente, sin importar el nivel de tecnificación del sistema empleado. Se espera que sirvan de referencia para la implementación de lineamientos de sostenibilidad aplicables a la construcción de viviendas de interés social en contextos similares.

## BIBLIOGRAFÍA

Área metropolitana del Valle de Aburrá, secretaria del Medio Ambiente de Medellín, Empresas Públicas de Medellín, Manual de Gestión socio. Ambiental para obras de construcción (en línea). En: Metropol.gov. Publicación electrónica (Medellín): 2010 (consultada: 2023). Disponible en la dirección electrónica: <https://www.metropol.gov.co>

Ministerio de Ambiente. Gestión Ambiental Urbana. Construcción Sostenible (En línea). En: MinAmbiente. Publicación electrónica Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana. (consultada: 2023) Disponible en la dirección electrónica: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/construccion-sostenible/>

BRUNDTLAND, G. H. Our Common Future: Brundtland Report. N.Y. Oxford University Press. 1987.

MARTÍNEZ CAICEDO, M. G. Arquitectura homeostática, desarrollo metodológico para la evaluación ambiental de procesos constructivos en edificaciones. Tesis de maestría en construcción. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes, 2012.

HERNÁNDEZ SANCHEZ, J. M. Metodología basada en el ACV para la evaluación de sostenibilidad en edificios. Tesis doctoral. Catalunya: UPC Universidad politécnica. Departamento de Proyectos de Ingeniería, 2013.

SUSUNAGA MONROY, José Mario. Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario. Trabajo de grado. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Programa de Ingeniería Industrial, 2014.

VELASCO PANTOJA, Santiago. Tendencia de impacto ambiental en viviendas de interés social: caso de estudio barrio Juan Pablo II – Pasto. Trabajo de grado. Pasto: Universidad CESMAG. Programa de Arquitectura, 2022.

MUÑOZ, C. ZAROR, C. SAELZER, G. CUCHÍ, A. Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción caso estudio: vivienda tipología social. Región del Biobío, Chile. Revista de la construcción, volumen 11 N.º 3, 2012.

GOEDKOOOP, Mark; EFFTING, Suzzane y COLLINGNO, Marcel. Anexo eco indicador 99: Método para evaluar el impacto ambiental a lo largo del Ciclo de Vida. Tercera edición. Lugar de publicación: Amersfoort-Países Bajos. PRé Consultans B.V. 1999. Pág. 29. Consultado: 25 de mayo de 2024. Disponible en la dirección electrónica: [https://proyectaryproducir.com.ar/public\\_html/Seminarios\\_Posgrado/Herramientas/Eco%20indicador%2099%20ca.pdf](https://proyectaryproducir.com.ar/public_html/Seminarios_Posgrado/Herramientas/Eco%20indicador%2099%20ca.pdf).

FERNANDEZ QUINTELA, Alfredo. Nutrición y dietética. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. Facultad de Farmacia, 2013.

HENRY, C J K. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. Public health nutrition. Estados Unidos. vol. 8,7A (2005): 1133-52.

VARGAS Z, Melier. LANCHEROS P, Lilia. BARRERA P, María del Pilar. Gasto energético en reposo y composición corporal en adultos: gasto energético en reposo relacionado con la composición corporal en adultos (en línea). En: Revista SciELO. Facultad de Medicina. Universidad Nacional de Colombia. (Bogotá): 2011 (consultada: 2023) Disponible en la dirección electrónica: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-00112011000500006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-00112011000500006)

AINSWORTH BE, HASKELL WL, WHITT MC, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. Med Sci Sports Exerc. 2000;32(9 Suppl):S498-S504. doi:10.1097/00005768-200009001-00009

Eléctricos vs combustión: diferencias de consumo, rendimiento y coste por kilómetro (en línea). En: ABC Motor. Publicación electrónica: 2020 (consultada: 2024). Disponible en la dirección electrónica: [https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-electricos-combustion-diferencias-consumo-rendimiento-y-coste-kilometro-202006020150\\_noticia.html#vca=comparrirrss&vso=abc&vmc=rrss&vli=fixed-link](https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-electricos-combustion-diferencias-consumo-rendimiento-y-coste-kilometro-202006020150_noticia.html#vca=comparrirrss&vso=abc&vmc=rrss&vli=fixed-link)

ZAPETER, Carlos. Determinación del rendimiento de una retroexcavadora marca Caterpillar 420e de 94hp para el movimiento de tierras (en línea). Ingeniería civil. Machala, Ecuador: Universidad técnica de Machala. Facultad de ingeniería civil, 2017. Disponible en la dirección electrónica: [https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11008/1/TUAIC\\_2017\\_IC\\_CD\\_0065.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11008/1/TUAIC_2017_IC_CD_0065.pdf)

TIKTIN, Juan. Procedimientos generales de construcción. Movimiento de tierras. Responsabilidad subordinada. Tercera edición. Madrid-España: E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1997. Colección. 84-7493-204-1. Disponible en la dirección electrónica: [https://oa.upm.es/67524/1/movimiento\\_tiemras.pdf](https://oa.upm.es/67524/1/movimiento_tiemras.pdf)

CHAMORRO DE LA ROSA, V. G., NARVAEZ, L. E., RODRIGUEZ, D. F., PEREZ, J. B., QUINTERO, J. C. et al. EMAS PASTO by Veolia. Informe de gestión enero - diciembre 2022 (en línea). En: EMAS Pasto. Publicación electrónica (Pasto): 2022 (consultada: mayo, 2024). Disponible en la dirección electrónica: [https://www.emaspasto-putumayo.com.co/sites/default/files/public/Emas%20Pasto%20Informe%20Gesti%C3%B3n%202022\\_compressed.pdf](https://www.emaspasto-putumayo.com.co/sites/default/files/public/Emas%20Pasto%20Informe%20Gesti%C3%B3n%202022_compressed.pdf)









## Anexo 5. Tablas de AF del proceso del sistema constructivo manual.

PROCESO CONSTRUCTIVO MANUAL		
<b>PRELIMINARES</b>		
Limpieza y descapote		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
5,0	Limpieza del terreno	52,5
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
6,0	Acarrear escombros	63
<b>Total</b>		<b>199,5</b>
Replanteo y trazado		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
2,5	Caminar	26,25
<b>Total</b>		<b>26,25</b>
<b>CIMENTACION</b>		
Excavacion		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
5,0	Excavacion / cavar	52,5
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
6,0	Acarrear escombros	63
<b>Total</b>		<b>199,5</b>
Zapatas		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
5,5	Construccion	57,75
7,0	Hormigon	73,5
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
<b>Total</b>		<b>304,5</b>
Nivelacion de cimentacion		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
6,0	Acarrear escombros	63
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
2,5	Caminar	26,25
<b>Total</b>		<b>173,25</b>
Concreto ciclopeo		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
5,0	Colocar piedra triturada	52,5
5,5	Construccion	57,75
7,0	Hormigon	73,5
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
<b>Total</b>		<b>357</b>
Viga de cimentacion		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
5,5	Construccion	57,75
7,0	Hormigon	73,5
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
<b>Total</b>		<b>304,5</b>
<b>ESTRUCTURA</b>		
Columns		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
6,0	Llevar una carga de 16 a 24 libras	63
5,5	Construccion	57,75
7,0	Hormigon	73,5
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
<b>Total</b>		<b>367,5</b>

Sobrecimiento en ladrillo		
Mets	AF	Kcal/dia
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
6,0	Llevar una carga de 16 a 24 libras	63
7,0	Mamposteria	73,5
<b>Total</b>		<b>220,5</b>

Viga aerea		
Mets	AF	Kcal/dia
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
8,5	Cargar objetos de aprx. 100 libras / Trabajar	89,25
5,5	Construccion	57,75
7,0	Hormigon	73,5
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
<b>Total</b>		<b>393,75</b>

Cubiertas		
Mets	AF	Kcal/dia
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
8,5	Cargar objetos de aprx. 100 libras / Trabajar	89,25
5,5	Construccion	57,75
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
<b>Total</b>		<b>320,25</b>
<b>TOTAL por proceso</b>		<b>2866,5</b>

**Fuente:** Esta investigación.

## Anexo 6. Tablas de AF del proceso del sistema constructivo tecnificado.

PROCESO CONSTRUCTIVO TECNIFICADO		
<b>PRELIMNARES</b>		
Limpieza y descapote		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
3,0	Conducir camion pesado	31,5
		<b>Total</b>
		<b>31,5</b>
Replanteo y trazado		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
2,5	Caminar	26,25
		<b>Total</b>
		<b>26,25</b>
<b>CIMENTACION</b>		
Excavacion		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
6,0	Conducir maquinaria pesada	63
		<b>Total</b>
		<b>63</b>
Zapatas		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
6,0	Uso de herramientas pesadas electricas	63
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
5,5	Construccion	57,75
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
		<b>Total</b>
		<b>294</b>
Nivelacion de cimentacion		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
3,0	Conducir camion pesado	31,5
		<b>Total</b>
		<b>115,5</b>
Concreto ciclopeo		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
6,0	Uso de herramientas pesadas electricas	63
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
5,0	Colocar piedra triturada	52,5
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
		<b>Total</b>
		<b>288,75</b>
Viga de cimentacion		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
6,0	Uso de herramientas pesadas electricas	63
5,5	Construccion	57,75
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
		<b>Total</b>
		<b>294</b>
<b>ESTRUCTURA</b>		
Columnas		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
6,0	Uso de herramientas pesadas electricas	63
6,0	Llevar una carga de 16 a 24 libras	63
5,5	Construccion	57,75
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
		<b>Total</b>
		<b>357</b>

Sobrecimiento en ladrillo		
Mets	AF	Kcal/dia
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
6,0	Llevar una carga de 16 a 24 libras	63
7,0	Mamposteria	73,5
<b>Total</b>		<b>220,5</b>

Viga aerea		
Mets	AF	Kcal/dia
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
6,0	Uso de herramientas pesadas electricas	63
8,5	Cargar objetos de aprx. 100 libras / Trabajar	89,25
5,5	Construccion	57,75
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
<b>Total</b>		<b>383,25</b>

Cubiertas		
Mets	AF	Kcal/dia
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
8,5	Cargar objetos de aprx. 100 libras / Trabajar	89,25
5,5	Construccion	57,75
5,0	Transportar madera	52,5
3,5	Carpinteria general	36,75
<b>Total</b>		<b>320,25</b>
<b>TOTAL por proceso</b>		<b>2394</b>

**Fuente:** Esta investigación.

## Anexo 7. Tablas de AF del proceso del sistema constructivo industrial.

PROCESO CONSTRUCTIVO INDUSTRIALIZADO		
<b>PRELIMINARES</b>		
Limpieza y descapote		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
3,0	Conducir camion pesado	31,5
<b>Total</b>		<b>31,5</b>
Replanteo, trazado y montaje		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
2,5	Caminar	26,25
8,5	Cargar objetos de aprx. 100 libras / Trabajar	89,25
6,5	Conducir camion, carga y descarga	68,25
<b>Total</b>		<b>157,5</b>
<b>CIMENTACION</b>		
Excavacion		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
3,0	Conducir camion pesado	31,5
<b>Total</b>		<b>31,5</b>
Zapatatas		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
8,5	Cargar objetos de aprx. 100 libras / Trabajar	89,25
6,0	Uso de herramientas pesadas electricas	63
5,5	Construccion	57,75
<b>Total</b>		<b>210</b>
Nivelacion de cimentacion		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
3,0	Conducir camion pesado	31,5
<b>Total</b>		<b>115,5</b>
Concreto pobre		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
6,0	Uso de herramientas pesadas electricas	63
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
<b>Total</b>		<b>147</b>
Viga prefabricada		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
5,5	Construccion	57,75
8,5	Cargar objetos de aprx. 100 libras / Trabajar	89,25
<b>Total</b>		<b>231</b>
<b>ESTRUCTURA</b>		
Columnas		
<b>Mets</b>	<b>AF</b>	<b>Kcal/dia</b>
8,5	Cargar objetos de aprx. 100 libras / Trabajar	89,25
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
5,5	Construccion	57,75
<b>Total</b>		<b>231</b>

Bloques prefabricados		
Mets	AF	Kcal/día
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
6,0	Llevar una carga de 16 a 24 libras	63
7,0	Mampostería	73,5
<b>Total</b>		<b>220,5</b>

Viga prefabricada		
Mets	AF	Kcal/día
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
5,5	Construcción	57,75
8,5	Cargar objetos de aprx. 100 libras / Trabajar	89,25
<b>Total</b>		<b>231</b>

Cubiertas		
Mets	AF	Kcal/día
8,0	Uso de herramientas pesadas no electricas	84
8,5	Cargar objetos de aprx. 100 libras / Trabajar	89,25
5,5	Construcción	57,75
<b>Total</b>		<b>231</b>

<b>TOTAL por proceso</b>		<b>1837,5</b>
--------------------------	--	---------------

**Fuente:** Esta investigación.

**Anexo 8.** Factores de rendimiento de maquinaria.

**Factor de eficiencia horaria:**

Este factor representa en porcentaje la eficiencia de la maquinaria sin interrupciones en una duración de tiempo de una hora.

**Cuadro 12.** Factor de eficiencia horaria de la maquinaria.

Tiempo real trabajado en una	Factor de eficiencia horaria	Condiciones
60	$60/60 = 100\%$	Ideales
50	$50/60 = 83\%$	Optimas
40	$40/60 = 67\%$	Medias
30	$30/60 = 50\%$	Pobres

**Fuente:** TIKTIN, Juan. Procedimientos generales de construcción. Movimiento de tierras. Responsabilidad subordinada. Tercera edición. Madrid-España: E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1997. P. 31. Colección. 84-7493-204-1. Disponible en la dirección electrónica: [https://oa.upm.es/67524/1/movimiento\\_tierras.pdf](https://oa.upm.es/67524/1/movimiento_tierras.pdf)

**Factor de llenado:**

Este factor representa en porcentaje la capacidad de colmada del cucharón.

**Cuadro 13.** Factor de llenado de cucharón de la maquinaria.

Material		Factor de llenado en % sobre la capacidad colmada del cucharón
Agregados húmedos mezclados		95 – 100%
Agregados uniformes	Hasta 3 mm	95 – 100%
	3 – 9 mm	85 – 90%
	12 – 20 mm	90 – 95%
	24 mm y más	85 – 90%
Marga o arcilla húmeda		100 – 110%
Tierra, piedras, raíces		80 – 100%
Materiales cementados		85 – 95%
Roca volada	Muy bien	80 – 95%
	Normal	75 – 80%
	Deficiente	60 – 65%

**Fuente:** TIKTIN, Juan. Procedimientos generales de construcción. Movimiento de tierras. Responsabilidad subordinada. Tercera edición. Madrid-España: E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1997. P. 612. Colección. 84-7493-204-1. Disponible en la dirección electrónica: [https://oa.upm.es/67524/1/movimiento\\_tiemras.pdf](https://oa.upm.es/67524/1/movimiento_tiemras.pdf)

Para la información dada en los dos factores siguientes, la tabla se resume al material identificado.

**Factor de carga:**

Es la facilidad de trabajo que tiene la maquinaria al momento de realizar una operación en el suelo, este factor dependerá del tipo de material<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> ZAPETER, Carlos. Determinación del rendimiento de una retroexcavadora marca Caterpillar 420e de 94hp para el movimiento de tierras (en línea). Ingeniería civil. Machala, Ecuador: Universidad

**Cuadro 14.** Factor de carga de la maquinaria por material específico.

Peso de material	Suelto		En banco		F. de carga
	Kg/m <sup>3</sup>	Lb/yd <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Lb/yd <sup>3</sup>	
Tierra	1510	2550	1900	3200	0,8

**Fuente:** TIKTIN, Juan. Procedimientos generales de construcción. Movimiento de tierras. Responsabilidad subordinada. Tercera edición. Madrid-España: E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1997. Colección. 84-7493-204-1. Disponible en la dirección electrónica: [https://oa.upm.es/67524/1/movimiento\\_tierras.pdf](https://oa.upm.es/67524/1/movimiento_tierras.pdf)

Factor de esponjamiento:

Cuando se realiza una excavación, el volumen del material aumenta y de acuerdo al tipo de material hay un factor establecido.

**Cuadro 15.** Factor de esponjamiento según material específico.

Material		D <sub>s</sub> (T/m <sup>3</sup> )	D <sub>g</sub> (T/m <sup>3</sup> )	Sw (%)	Fw
Tierra y grava	Seca	1,72	1,93	13	0,89
	Húmeda	2,02	2,23	10	0,91

**Fuente:** TIKTIN, Juan. Procedimientos generales de construcción. Movimiento de tierras. Responsabilidad subordinada. Tercera edición. Madrid-España: E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1997. Colección. 84-7493-204-1. Disponible en la dirección electrónica: [https://oa.upm.es/67524/1/movimiento\\_tierras.pdf](https://oa.upm.es/67524/1/movimiento_tierras.pdf)

**Factor de operación y mantenimiento:**

Este factor representa en porcentaje dos factores: la eficiencia del operario para manipular la máquina y realizar los trabajos dispuestos y, el estado físico mecánico de la maquinaria.

**Cuadro 16.** Factor de eficiencia del operador y mantenimiento de la maquinaria.

Condiciones de Operación	Mantenimiento de los equipos			
	Excelente	Buena	Normal	Pobre
Excelente	0,83	0,81	0,76	0,63

técnica de Machala. Facultad de ingeniería civil, 2017. Disponible en la dirección electrónica: [https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11008/1/TUAIC\\_2017\\_IC\\_CD0065.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11008/1/TUAIC_2017_IC_CD0065.pdf)

<b>Buena</b>	0,76	0,75	0,71	0,60
<b>Normal</b>	0,72	0,69	0,65	0,54
<b>Pobre</b>	0,52	0,50	0,47	0,32

**Fuente:** TIKTIN, Juan. Procedimientos generales de construcción. Movimiento de tierras. Responsabilidad subordinada. Tercera edición. Madrid-España: E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1997. P. 33. Colección. 84-7493-204-1. Disponible en la dirección electrónica: [https://oa.upm.es/67524/1/movimiento\\_tierras.pdf](https://oa.upm.es/67524/1/movimiento_tierras.pdf)

**Anexo 9.** Cálculo de rendimiento y consumo energético de la maquinaria.

Las fórmulas correspondientes a los cálculos se encuentran en “*Procedimientos generales de construcción: Movimiento de tierras*”<sup>28</sup>

**Actividad: Cimentación**

**Maquinaria: Excavadora**

a) Rendimiento:

Para calcular el rendimiento estándar de la excavadora por hora de trabajo, se tendrá en cuenta los factores que correspondan y las especificaciones técnicas de la maquinaria.

**Fórmula:**

$$R = C * F_c * E * FO * FG * FE * \frac{1}{\text{CICLO (seg)}}$$

Donde:

**C:** capacidad de cucharón.

**Fc:** factor de carga.

**E:** eficiencia horaria.

**FO:** factor de operación y mantenimiento.

**FG:** factor de llenado.

**FE:** factor de esponjamiento.

**Ciclo (seg):** tiempo de ciclo (segundos).

Despejando:

$$R = 0,044 * 0,8 * 0,83 * 0,75 * 0,8 * 0,8 * \frac{1}{0,004 \text{ seg}} = 3,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

<sup>28</sup> TIKTIN, Juan. Procedimientos generales de construcción. Movimiento de tierras. Responsabilidad subordinada. Tercera edición. Madrid-España: E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1997. Colección. 84-7493-204-1. Disponible en la dirección electrónica: [https://oa.upm.es/67524/1/movimiento\\_tierras.pdf](https://oa.upm.es/67524/1/movimiento_tierras.pdf)

El volumen total de material a excavar en la actividad es de 18,04 m<sup>3</sup>. El tiempo de duración de la actividad se obtiene realizando la siguiente ecuación:

$$18,04 \text{ m}^3 / 3,5 \text{ m}^3/\text{h} = 5,15 \text{ h}$$

**b) Consumo de energía en términos de potencia**

Se calcula el gasto energético de la excavadora por horas de trabajo con la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia del motor (kW)} * \text{eficiencia de equipo} * \text{tiempo de operación (hora)} * \text{carga de trabajo.}$$

Despejando:

$$15,57 \text{ kW} * 0,75 * 5,15 \text{ h} * 0,80 = 48,1 \text{ kW/h}$$

**c) Consumo de energía en términos de combustible**

**Cuadro 17.** Consumo de combustible por hora de trabajo según maquinaria específica.

Modelo	Bajo		Medio		Alto	
	Litros	Gal. EE. UU	Litros	Gal. EE. UU	Litros	Gal. EE. UU
301.5	2,1 –	0,55 –	2,5 –	0,66 –	2,9 –	0,77 –
	2,5	0,66	2,9	0,77	3,3	0,87

**Descripción de las aplicaciones típicas**

(respecto a la aplicación de trabajo)

**Bajo** Principalmente zanjas de poca profundidad para obras publicas urbanas en que la excavadora tiende la tubería y excava en la tierra arenosa o material de baja densidad fácil de remover. Pocos viajes y sin cargas de choque o muy pocas.

**Medio** Aplicaciones principalmente de canalización y cableado residencial. Excavación continua de masa y zanjas en lecho arcilloso natural. Algunos viajes de operación continua a plena aceleración del motor.

**Alto** Excavación continua de zanjas o carga de camiones en suelos de roca o roca de voladura. La mayoría del trabajo en aplicaciones de tendido de tubos en suelos duros de roca. Recorridos frecuentes en suelos escabrosos. Factor constante de carga alta y grande impactos.

**Fuente:** Tablas de consumo horario de combustible CATERPILLAR

Tomando la información anterior, se define que la aplicación de trabajo para esta actividad es media y, se procede a realizar el cálculo para determinar la cantidad de combustible que gasta la maquinaria en el proceso:

$$2,9 \text{ L/h} * 2,88 \text{ h} = 8,35 \text{ L}$$

**Actividad: Concreto ciclópeo**  
**Maquinaria: Mezcladora**

a) Rendimiento

Las especificaciones técnicas de fábrica de la maquinaria establecen el rendimiento de la maquinaria por hora de trabajo:

$$3 \text{ a } 4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se requiere conocer el tiempo de producción el cual, se obtendrá de la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen} / \text{rendimiento}$$

Despejando:

Volumen:  $4,39 \text{ m}^3$

$$4,39 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}^3/\text{h} = 1,097 \text{ h}$$

b) Consumo de energía en términos de potencia

Se calcula el gasto energético por hora de trabajo de maquinaria con motores eléctricos con la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo energético (kW/h)} = \text{Potencia (W)} * \text{tiempo de uso (h)} / 1000$$

Despejando:

5 HP =  $3728,5 \text{ W}$

$$\text{Consumo energético (kW/h)} = 3.728,5 * 1,097 / 1.000 = 4,09 \text{ kW/h.}$$

**Actividad: Zapatas**  
**Maquinaria: Mezcladora**

a) Rendimiento

Las especificaciones técnicas de fábrica de la maquinaria establecen el rendimiento de la maquinaria por hora de trabajo:

$$3 \text{ a } 4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se requiere conocer el tiempo de producción el cual, se obtendrá de la siguiente ecuación:

***Volumen / rendimiento***

Despejando:  
Volumen: 4,39 m<sup>3</sup>

$$4,39 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}^3/\text{h} = 1,09 \text{ h}$$

- b)** Consumo de energía en términos de potencia  
Se calcula el gasto energético por hora de trabajo de maquinaria con motores eléctricos con la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo energético (kW/h)} = \text{Potencia (W)} * \text{tiempo de uso (h)} / 1.000$$

Despejando:  
5 HP = 3.728,5 W

$$\text{Consumo energético (kW/h)} = 3.728,5 \text{ W} * 1,09 \text{ h} / 1.000 = 4,06 \text{ kW/h.}$$

**Actividad: Vigas de cimentación**

**Maquinaria: Mezcladora**

- a)** Rendimiento  
Las especificaciones técnicas de fábrica de la maquinaria establecen el rendimiento de la maquinaria por hora de trabajo:

$$3 \text{ a } 4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se requiere conocer el tiempo de producción el cual, se obtendrá de la siguiente ecuación:

***Volumen / rendimiento***

Despejando:  
Volumen: 3,22 m<sup>3</sup>

$$3,22 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}^3/\text{h} = 0,80 \text{ h}$$

- b)** Consumo de energía en términos de potencia  
Se calcula el gasto energético por hora de trabajo de maquinaria con motores eléctricos con la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo energético (kW/h)} = \text{Potencia (W)} * \text{tiempo de uso (h)} / 1.000$$

Despejando:  
5 HP = 3.728,5 W

$$\text{Consumo energético (kW/h)} = 3.728,5 \text{ W} * 0,80 \text{ h} / 1.000 = 2,98 \text{ kW/h.}$$

**Actividad: Columnas**

**Maquinaria: Mezcladora**

**a) Rendimiento**

Las especificaciones técnicas de fábrica de la maquinaria establecen el rendimiento de la maquinaria por hora de trabajo:

$$\mathbf{3 \text{ a } 4 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Se requiere conocer el tiempo de producción el cual, se obtendrá de la siguiente ecuación:

**Volumen / rendimiento**

Volumen: 0,166 m<sup>3</sup> por columna

El volumen corresponde a 0,166 m<sup>3</sup> por columna, en el plano se identifican 12 columnas por cada módulo de vivienda.

$$\mathbf{0,166 \text{ m}^3 * 12 = 1,99 \text{ m}^3}$$

Despejando formula:

$$\mathbf{1,99 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}^3/\text{h} = 0,49 \text{ h}}$$

**b) Consumo de energía en términos de potencia**

Fórmula para calcula de rendimiento para motores eléctricos:

$$\text{Consumo energético (kW/h)} = \text{Potencia (W)} * \text{tiempo de uso (h)} / 1.000$$

Despejando:

$$5 \text{ HP} = 3.728,5 \text{ W}$$

$$\text{Consumo energético (kW/h)} = 3.728,5 \text{ W} * 0,49 \text{ h} / 1.000 = 1,82 \text{ kW/h.}$$

**Actividad: Vigas aéreas**

**Maquinaria: Mezcladora**

**a) Rendimiento**

Las especificaciones técnicas de fábrica de la maquinaria establecen el rendimiento de la maquinaria por hora de trabajo:

$$\mathbf{3 \text{ a } 4 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Se requiere conocer el tiempo de producción el cual, se obtendrá de la siguiente ecuación:

### **Volumen / rendimiento**

Despejando:  
Volumen: 3,22 m<sup>3</sup>

$$3,22 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}^3/\text{h} = 0,80 \text{ h}$$

- b) Consumo de energía en términos de potencia  
Fórmula para calcula de rendimiento para motores eléctricos:

$$\text{Consumo energético (kW/h)} = \text{Potencia (W)} * \text{tiempo de uso (h)} / 1.000$$

Despejando:  
5 HP = 3.728,5 W

$$\text{Consumo energético (kW/h)} = 3.728,5 \text{ W} * 0,80 \text{ h} / 1000 = 2,98 \text{ kW/h.}$$

**Actividad: Relleno de cimentación**  
**Maquinaria: Motoniveladora**

- a) Rendimiento  
En el siguiente formula, se obtiene el rendimiento de la maquinaria por hora de trabajo:

$$R = (A * V * EF) / (T)$$

Donde:

**R** es el rendimiento estándar de la maquinaria en unidades por hora.

**A** es el área de la superficie a nivelar en metros cuadrados.

**V** es la velocidad de avance de la maquinaria de metros por minuto.

**EF** es el factor de eficiencia.

**T** es el tiempo de operación en minutos.

Para obtener la velocidad de avance de la maquinaria por minuto se realiza la conversión:

$$48 \text{ km} = 48.000 \text{ metros}$$

Se procede con el cálculo:

$$48.000 \text{ metros} / 60 \text{ minutos} = 800 \text{ m/min}$$

Despejando formula:

$$R = (77 \text{ m}^2 * 800 \text{ m/min} * 0,75) / 60 \text{ min} = 770 \text{ m}^2/\text{h}$$

Cantidad de tiempo requerido por actividad:

$$77 \text{ m}^2 / 770 \text{ m}^2/\text{h} = 0,1 \text{ h}$$

b) Consumo de energía en términos de potencia

Se calcula el gasto energético de la excavadora por horas de trabajo con la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia del motor (kW)} * \text{eficiencia de equipo} * \text{tiempo de operación (hora)} * \text{carga de trabajo.}$$

Despejando:

$$104,3 \text{ kW} * 0,75 * 0,1 \text{ h} * 0,80 = 6,25 \text{ kW/h.}$$

c) Consumo de energía en términos de combustible

**Cuadro 18.** Consumo de combustible por hora de trabajo según maquinaria específica.

Modelo	Bajo		Medio		Alto	
	Litros	Gal. EE. UU	Litros	Gal. EE. UU	Litros	Gal. EE. UU
120 H	9,0 – 13,0	2,5 – 3,5	13,0 – 17,0	3,5 – 4,5	15,0 – 19,0	0,77 – 0,87

**Descripción de las aplicaciones típicas**

(respecto a la aplicación de trabajo)

**Bajo** Trabajos ligeros de conservación de caminos. Trabajos de acabado. Trabajos de mezcla en la planta y en la carretera. Gran cantidad de viajes. Limpieza ligera de nieve.

**Medio** Conservación de caminos de acarreo. Conservación media de caminos, trabajos de mezcla en la carretera, escarificación. Zanjas y construcción de carreras, esparcimiento de relleno suelto. Conformación, nivelación y uso de niveladoras autoelevadoras. Despejo pesado y mediano de nieve.

**Alto** Mantenimiento pesado de caminos apisonados y con piedras incrustadas. Esparcimiento de relleno pesado, esparcimiento de material base y zanjas. Uso desgarrador/escarificador en asfalto u hormigón. Factor alto de carga continua. Cargas de alto impacto. Limpieza pesada de nieve.

**Fuente:** Tablas de consumo horario de combustible CATERPILLAR.

Tomando la información anterior, se define que la aplicación de trabajo para esta actividad es media y, se procede a realizar el cálculo para determinar la cantidad de combustible que gasta la maquinaria en el proceso:

$$17,0 \text{ L/h} * 0,1 \text{ h} = 1,7 \text{ L}$$

**Actividad: Relleno de cimentación**

**Maquinaria: Rodillo vibratorio**

**a) Rendimiento**

En el siguiente formula, se obtiene el rendimiento de la maquinaria por hora de trabajo:

$$R = (A * V * EF) / (T)$$

Donde:

**R** es el rendimiento estándar de la maquinaria en unidades por hora.

**A** es el área de la superficie a nivelar en metros cuadrados.

**V** es la velocidad de avance de la maquinaria de metros por minuto.

**EF** es el factor de eficiencia.

**T** es el tiempo de operación en minutos.

Para obtener la velocidad de avance de la maquinaria por minuto se realiza la conversión: 8,9 km = 8.900 metros

Se procede con el cálculo:

$$8.900 \text{ m} / 60 \text{ min} = 148,3 \text{ m/min}$$

Despejando:

$$R = 77 \text{ m}^2 * 148,3 \text{ m/min} * 0,83 / 12 = 789,8 \text{ m}^2/\text{h}$$

Para obtener el tiempo de trabajo de la maquinaria para cubrir los m<sup>2</sup> requeridos, se realiza el siguiente calculo:

$$77 \text{ m}^2 / 789,8 \text{ m}^2/\text{h} = 0,097 \text{ h}$$

**b) Consumo de energía en términos de potencia**

Se calcula el gasto energético de la excavadora por horas de trabajo con la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia del motor (kW)} * \text{eficiencia de equipo} * \text{tiempo de operación (hora)} * \text{carga de trabajo.}$$

Despejando:

$$52,2 \text{ kW} * 0,75 * 0,097 \text{ h} * 0,80 = 3,03 \text{ kW/h}$$

c) Consumo de energía en términos de combustible

**Cuadro 19.** Consumo de combustible por hora de trabajo según maquinaria específica.

Modelo	Bajo		Medio		Alto	
	Litros	Gal. EE. UU	Litros	Gal. EE. UU	Litros	Gal. EE. UU
CP-323C	8,0 –	2,0 –	11,0 –	3,0 –	11,0 –	3,0 –
	13,0	3,5	15,0	4,0	19,0	5,0

### Compactadores de suelo vibratorios

#### Descripción de las aplicaciones típicas

(respecto a la aplicación de trabajo)

Bajo Suelo granular no compactado a alta densidad (<Proctor). Suelo a nivel.

Medio Suelo granular no compactado a alta densidad (<Proctor). Suelo cohesivo con tambor de pata de cabra y contenido de humedad baja/media. Explanación de <25%. Pendiente de <3:1 de suelo montuoso.

Alto Suelo cohesivo con tambor de pata de cabra y alto contenido de humedad. Explanación de <25%. Pendiente de <3:1.

**Fuente:** Tablas de consumo horario de combustible CATERPILLAR.

Tomando la información anterior, se define que la aplicación de trabajo para esta actividad es media y, se procede a realizar el cálculo para determinar la cantidad de combustible que gasta la maquinaria en el proceso:

$$15,0 \text{ L/h} * 0,097 \text{ h} = 1,45 \text{ L}$$

**Actividad:** Transporte

**Maquinaria:** Camión articulado

a) Rendimiento

Para obtener el rendimiento de la maquinaria por hora de trabajo, se calcula con la siguiente formula:

$$R = (V * PAG * FE) / (C)$$

Donde:

**R** es el rendimiento del camión articulado en unidades por hora.

**V** es la velocidad de viaje del camión en kilómetros por hora.

**PAG** es la capacidad de carga del camión en toneladas.

**FE** es el factor de eficiencia de la maquinaria.

**C** es el ciclo de carga y descarga del camión en minutos.

Despejando:

$$R = (55 \text{ km/h} * 28 \text{ ton} * 0,83) / 0,33 \text{ min} = 3.873,3 \text{ ton/h}$$

**b) Consumo de energía en términos de potencia**

Se calcula el gasto energético del camión por horas de trabajo con la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia del motor (kW)} * \text{eficiencia de equipo} * \text{tiempo de operación (hora)} * \text{carga de trabajo.}$$

Despejando:

$$276 \text{ kW} * 0,75 * 1 \text{ h} * 0,80 = 165,6 \text{ kW/h}$$

**c) Consumo de energía en términos de combustible**

**Cuadro 20.** Consumo de combustible por hora de trabajo según maquinaria específica.

Modelo	Bajo		Medio		Alto	
	Litros	Gal. EE. UU	Litros	Gal. EE. UU	Litros	Gal. EE. UU
730 con Ex.	12,3 – 17,1	3,3 – 4,5	17,1 – 24,5	4,5 – 6,4	24,2 – 34,9	6,4 – 9,2

**Compactadores de suelo vibratorios**

**Descripción de las aplicaciones típicas**

(respecto a la aplicación de trabajo)

**Bajo** Trabajos de movimiento y apilamiento de tierra con equipo de carga bien combinado, material fácil de manejar. Períodos frecuentes de funcionamiento en vacío, distancia de acarreo cortas a medianas en caminos de acarreo a nivel bien mantenidos. Resistencia total mínima, pocas cargas de impacto.

**Medio** Típicamente, empleo para construcción de caminos, presas y en minas a cielo abierto, etc. Tiempos normales de carga y acarreo, condiciones diversas del camino de acarreo con algunas pendientes adversas. Algunas cargas de impacto.

Alto Equipo deficientemente adaptado con sobrecarga continua. Tiempo largo de acarreo y utilización continua en caminos de acarreo deficientemente mantenidos con pendientes adversas frecuentes. Resistencia alta de rodamiento, baja tracción, cargas altas de impacto.

**Fuente:** Tablas de consumo horario de combustible CATERPILLAR.

**Actividad: Acero**  
**Maquinaria: Amoladora**

**a) Rendimiento**

Para obtener el rendimiento de la maquinaria por hora de trabajo, se calcula con la siguiente formula:

$$R = RPM * L * EF / T$$

Donde:

**R** es el rendimiento de corte en unidades específicas.

**RPM** es la velocidad de corte de la amoladora en revoluciones por minuto.

**L** es el diámetro.

**EF** es el factor de eficiencia de la amoladora, expresado como un decimal.

**T** es el tiempo total de operación en minutos.

Despejando:

Varillas de 3/8:

$$R = 6000 \text{ RPM} * \frac{3}{8} \text{ pulgada} * 0,83 / 60 \text{ min} = 31,1 \text{ pulgada/min.}$$

Cuantificando el número total de piezas a cortar en varillas de N.º 3, resultan 1.007 piezas.

$$1.007 / 31,1 \text{ pulgadas/min} = 32,37 \text{ min.}$$

Varillas de 1/2:

$$R = 6000 \text{ RPM} * \frac{1}{2} \text{ pulgada} * 0,83 / 60 \text{ min} = 41,5 \text{ pulgada/min.}$$

Cuantificando el número total de piezas a cortar en varillas de N.º 4, resultan 89 piezas.

$$89 / 41,5 \text{ pulgada/min} = 2,14 \text{ min.}$$

Varillas de 5/8:

$$R = 6000 \text{ RPM} * \frac{5}{8} \text{ pulgada} * 0,83 / 60 \text{ min} = 51,87 \text{ pulgada/min.}$$

Cuantificando el número total de piezas a cortar en varillas de N.º 4, resultan 40 piezas.

$$40 / 51,87 \text{ pulgada/min} = 0,77 \text{ min.}$$

- b) Consumo de energía en términos de potencia  
Se calcula el gasto energético de la maquina por tiempo de trabajo con la siguiente fórmula:

$$\text{Energía consumida (kWh)} = \text{potencia (w)} * \text{tiempo de uso (h)}$$

Despejando:

$$\text{Energía consumida} = 1550 \text{ vatios} * 0.588 \text{ h} = 911,4 \text{ kWh}$$

Anexo 10. Cálculo de maquinaria topadora

Maquinaria: Topadora

- a) Rendimiento:  
Para calcular el rendimiento estándar de la topadora por hora de trabajo se tendrá en cuenta los factores que correspondan y las especificaciones técnicas de la maquinaria.

**Fórmula:**

$$R = (A * V * EF) / (T)$$

Donde:

**R** es el rendimiento estándar de la maquinaria en unidades por hora.

**A** es el área de la superficie a nivelar en metros cuadrados.

**V** es la velocidad de avance de la maquinaria de metros por minuto.

**EF** es el factor de eficiencia.

**T** es el tiempo de operación en minutos.

Despejando:

Área: 77 m<sup>2</sup>

$$R = (77 \text{ m}^2 * 150 \text{ m/min} * 0,75) / 60 = 144,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Profundidad de descapote: 0,30 m.

$$77 \text{ m}^2 * 0,30 \text{ m} = 23,1 \text{ m}^3$$

La cantidad a descapotar en la actividad es de 23,1 m<sup>3</sup> por módulo.

Tiempo de duración de tarea:

$$23,1 \text{ m}^3 / 144,3 \text{ m}^3/\text{h} = 0,16 \text{ h}$$

- b) Consumo de energía en términos de potencia  
Se calcula el gasto energético de la topadora por horas de trabajo con la siguiente fórmula:

**Potencia del motor (kW) \* eficiencia de equipo \* tiempo de operación (hora) \* carga de trabajo.**

Despejando:

$$77,6 \text{ kW} * 0,75 * 0,16 \text{ h} * 0,80 = 7,44 \text{ kW/h}$$

Existen diferentes factores para determinar el consumo de combustible como la clase de trabajo, el factor de carga, entre otros.

El consumo por cada máquina está dado en tablas por los fabricantes, los valores representan el consumo en litros dependiendo de la aplicación en una hora de trabajo y varían según la maquinaria.

c) Consumo de energía en términos de combustible

**Cuadro 21.** Consumo de combustible por hora de trabajo según maquinaria específica.

Modelo	Bajo		Medio		Alto	
D3C	Litros	Gal. EE. UU	Litros	Gal. EE. UU	Litros	Gal. EE. UU
	4 – 7½	1 – 2	7½ - 11	2 – 3	9½ - 13	2½ - 3½

### Guía del factor de carga

- Alto Desgarramiento continuo, empuje y carga entre operaciones y empuje cuesta abajo. Trabajo agrícola con la barra de tiro a plena aceleración, sobrecarga máxima del motor casi todo el tiempo; muy poco o nada, trabajo en baja en vacío en retroceso.
- Medio Producción con la hoja, tiro de traíllas, pero más empuje y carga. Trabajo agrícola con la barra de tiro a plena aceleración, pero no siempre sobrecargado el motor. Un poco de baja en vacío y algo de desplazamiento sin carga.
- Bajo Largos periodos de baja en vacío o de desplazamiento sin carga.

**Fuente:** Tablas de consumo horario de combustible CATERPILLAR

Tomando la información anterior, se define que la aplicación de trabajo para esta actividad es alta y, se procede a realizar el cálculo para determinar la cantidad de combustible que gasta la maquinaria en el proceso:

$$13 \text{ L/h} * 0,16 \text{ h} = 2,08 \text{ L}$$

 <p>UNIVERSIDAD <b>CESMAG</b> NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	<b>CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)</b>	<b>CÓDIGO:</b> AAC-BL-FR-032
		<b>VERSIÓN:</b> 1
		<b>FECHA:</b> 09/JUN/2022

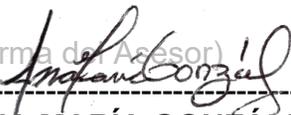
San Juan de Pasto, 13 de agosto de 2025

Biblioteca  
**REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.**  
Universidad CESMAG  
Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado **LINEAMIENTOS EFICIENTES DE CONSTRUCCIÓN PARA REDUCIR LA TENDENCIA DE IMPACTO AMBIENTAL NEGATIVO EN LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL BARRIO JUAN PABLO II- PASTO**, presentado por el (los) autor(es) IVON LORENA JURADO BENAVIDES del Programa Académico ARQUITECTURA al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,

(Firma del Asesor)  


**ANA MARÍA GONZÁLEZ BASTIDAS**

1.085.323.263

Programa de Arquitectura

3046315109

agonzalezbastidas@hotmail.com

 <b>UNIVERSIDAD CESMAG</b> <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</small>	<b>AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>CÓDIGO:</b> AAC-BL-FR-031
		<b>VERSIÓN:</b> 1
		<b>FECHA:</b> 09/JUN/2022

<b>INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)</b>	
<b>Nombres y apellidos del autor:</b> IVON LORENA JURADO BENAVIDES	<b>Documento de identidad:</b> 1.004.534.241
<b>Correo electrónico:</b> IVONJURADO2621@GMAIL.COM	<b>Número de contacto:</b> 3212340866
<b>Nombres y apellidos del autor:</b>	<b>Documento de identidad:</b>
<b>Correo electrónico:</b>	<b>Número de contacto:</b>
<b>Nombres y apellidos del asesor:</b> ANA MARÍA GONZÁLEZ BASTIDAS	<b>Documento de identidad:</b> 1.085.323.263
<b>Correo electrónico:</b> <a href="mailto:agonzalezbastidas@hotmail.com">agonzalezbastidas@hotmail.com</a>	<b>Número de contacto:</b> 3046315109
<b>Título del trabajo de grado:</b> LINEAMIENTOS EFICIENTES DE CONSTRUCCIÓN PARA REDUCIR LA TENDENCIA DE IMPACTO AMBIENTAL NEGATIVO EN LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL BARRIO JUAN PABLO II- PASTO	
<b>Facultad y Programa Académico:</b> FACULTAD DE ARQUITECTURA Y BELLAS ARTES – PROGRAMA DE ARQUITECTURA	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve (mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje (mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.
- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.

 <b>UNIVERSIDAD CESMAG</b> <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</small>	<b>AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>CÓDIGO:</b> AAC-BL-FR-031
		<b>VERSIÓN:</b> 1
		<b>FECHA:</b> 09/JUN/2022

- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

**NOTA:** En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 13 días del mes de Agosto del año 2025

 Firma del autor	Firma del autor
Nombre del autor: IVON L JURADO BENAVIDES CC. 1.004.534.241 PASTO	Nombre del autor:
Firma del autor	Firma del autor
Nombre del autor:	Nombre del autor:
 Firma del asesor Nombre del asesor: ANA MARÍA GONZÁLEZ	