



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado

Facultad de Ingeniería Industrial

Unidad de Posgrado

**Optimización de la tecnología para el aprovechamiento
de neumáticos fuera de uso (NFU) en la provincia del
Guayas enfocado en la reducción de huella de carbono**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctora en Ingeniería
Industrial

AUTOR

Jessica Lucia GUEVARA SÁENZ DE VITERI

ASESOR

Dr. Oscar Rafael TINOCO GÓMEZ

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Guevara, J. (2023). *Optimización de la tecnología para el aprovechamiento de neumáticos fuera de uso (NFU) en la provincia del Guayas enfocado en la reducción de huella de carbono*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jessica Lucia Guevara Sáenz De Viteri
Tipo de documento de identidad	PASAPORTE
Número de documento de identidad	0912623022
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-1148-0014
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Oscar Rafael Tinoco Gómez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08606920
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-7927-931X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Francisco Javier Wong Cabanillas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07564428
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	José Ovidio Flores Gutierrez
Tipo de documento	Cédula de identidad
Número de documento de identidad	CO / 9955249956
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Breezy Pilar Martinez Paredes
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	25222260

Datos de investigación	
Línea de investigación	Área académica C: Ingeniería ODS 7 energía asequible y no contaminante 2 Procesos de producción amigable con el ambiente
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: CORPORACION SEGINUS País: ECUADOR Provincia: GUAYAS Urbanización: LOTIZACION VICENTE FERRER LOTE 27, Manzana y lote: Km 10.5 vía Duran Tambo Latitud: 2.45199 Longitud: -76.81029
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2018 - Diciembre2021
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Industrial https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04



**UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS**

Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA

UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N°14-UPG-FII-2023

**SUSTENTACIÓN DE TESIS VIRTUAL PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO
DE DOCTORA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

En la ciudad de Lima del día catorce del mes de setiembre del dos mil veintitrés, siendo las diez horas, de forma virtual se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **“OPTIMIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA EL APROVECHAMIENTO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS ENFOCADO EN LA REDUCCIÓN DE HUELLA DE CARBONO”**, presentado por la **Mg. JESSICA LUCIA GUEVARA SÁENZ DE VITERI** para optar el Grado Académico de Doctora en Ingeniería Industrial.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido **APROBADA** con la calificación de **DIECINUEVE (19) EXCELENTE**

El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de Doctora en Ingeniería Industrial, a la **Mg. JESSICA LUCIA GUEVARA SÁENZ DE VITERI**.

En señal de conformidad, siendo las **11:13 horas** se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.

Dr. FRANCISCO JAVIER WONG CABANILLAS
Presidente

Dr. JOSÉ OVIDIO FLORES GUTIERREZ
Miembro

Dra. BREEZY PILAR MARTINEZ PAREDES
Miembro



UNMSM

Firmado digitalmente por TINOCO
GOMEZ Oscar Rafael FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 14.09.2023 12:33:51 -05:00

Dr. OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ
Asesor



Yo **OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ** en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal - **DICTAMEN N°286-UPG-FII-2018** de la tesis/monografía/informe de investigación/trabajo académico, cuyo título es “**OPTIMIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA EL APROVECHAMIENTO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS ENFOCADO EN LA REDUCCIÓN DE HUELLA DE CARBONO**” presentado por el bachiller/magíster/egresado/licenciado/estudiante **JESSICA LUCIA GUEVARA SÁENZ DE VITERI** para optar el grado/título/especialidad de **DOCTORA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL, CERTIFICO** que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 16 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Firma del Asesor _____

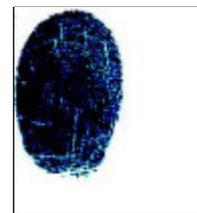
DNI: **08606920**

Nombres y apellidos del asesor: **OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ**



UNMSM

Firmado digitalmente por TINOCO
GOMEZ Oscar Rafael FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.08.2023 13:48:13 -05:00



DEDICATORIA

A Dios

*A mis padres, Ec. Juan Guevara Naranjo y Ab Rosita Sáenz de Viteri de
Guevara MSc*

A mi tía Srta. Fanny Guevara Naranjo

*A los Ing Eduardo Orcès Pareja Msc e Ing. Guillermo Pincay Romero MSc
quienes me formaron profesionalmente*

*A los esposos y amigos: Ing Juan Peralta Jaramillo PhD e Ing. Emérita
Delgado Plaza PhD*

*Al Espíritu vocacional docente, representado por el Ing. Oscar Tinoco Gómez
PhD*

Y a la memoria de:

Sra. Lucía Naranjo Segura de Guevara

Sr. Octavio Guevara Naranjo

Srta. Yolanda Guevara Naranjo

Ing. Ignacio Wiesner Falconi

Ing. Alfredo Barriga Rivera Ph D.

Ing Eduardo Rivadeneira Pazmiño Msc

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, a través de mi tutor Ing. Oscar Rafael Tinoco Gómez PhD quien durante estos años ha sido una lumbrera académica; al Director de Postgrado Ing. Juan Cevallos PhD; al personal docente y administrativo en la Facultad que desde el inicio hasta la culminación del doctorado me direccionaron amablemente.

A la Universidad de Guayaquil, a todos los miembros de la Facultad de Filosofía, Letras y C de la Educación.

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Centro de Desarrollo Sustentable por el uso de espacio y equipamiento.

Al Ing. Rodolfo Paz Mora MSc docente de ESPOL y al Ing. Jacinto Monseratte, Gerente de la Corporación SEGINUS, Consultora Sambito

A la empresa Soluciones Ambientales del Ecuador ECSADE S.A

Al Ing. Xavier Ladines T, Ing Gustavo Aveiga Ulloa, Ing. José Reinoso T; Ing. Juan Calderón Cisneros PhD; Ing. Justo Víctor Arriola Sánchez MSc; Franklin Salas Aular PhD por el soporte técnico durante los tiempos de investigación

A mis colaboradoras académicas durante el tiempo de estudios doctorales: Lcda. Leticia Suárez Astudillo MSc , Ec. Lucrecia Naranjo Valencia Mgter, y Lcda. Edith Mora Burgos MSc.

A mis amigos y asociados: Lcda. Margarita Naranjo Valencia Mgter; Blgo. Roberto Rodríguez Villagómez MSc; Blgo. Marco Rodríguez Villagómez; Ec. Karina Villalta Delgado y Lcdo. Henri Balladares Ramos; quienes contribuyeron desde diversos frentes profesionales.

Finalmente a las familias de mis colaboradores- asociados y a los compañeros de aula del doctorado, quienes estuvieron prestos a tender su mano amiga.

ÍNDICE GENERAL

	PÁG.
CARATULA.....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE CUADROS	xi
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Situación Problemática	1
1.2 Formulación del Problema	12
1.2.1 Problemas Específicos.....	12
1.3 Justificación Teórica.....	13
1.4 Importancia Práctica.....	14
1.5 Importancia Metodológica	15
1.6 Delimitación de investigación Espacial y temporal	16
1.7 Objetivos de la investigación.....	16
1.7.1. Objetivo General	16
1.7.2. Objetivos Específicos	17
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Antecedentes del Problema	18
2.1.1. Internacionales.....	18
2.1.2. Nacionales	22
2.2. Bases Teóricas	25

2.2.1. Epistemología	25
2.2.2. Bases Teóricas Vinculadas a la Variable del Estudio	29
2.2.2.1. Variable Independiente: Optimización de Tecnologías para el triturado.	29
2.2.2.2. Composición de Neumáticos.....	30
2.2.2.3. Tecnologías y métodos de recuperación.....	32
2.2.2.3.1. Termólisis.....	32
2.2.2.3.2. Pirólisis.....	33
2.2.2.3.3. Incineración.....	33
2.2.2.3.4. Trituración criogénica.....	34
2.2.2.3.5. Trituración mecánica.....	34
2.2.2.4. Aplicaciones de los neumáticos.....	35
2.2.2.4.1. Reciclado.....	35
2.2.2.4.2. Obra Civil.....	37
2.2.2.5. Etapas del triturado.....	38
2.2.2.6. Trituradora cortante a construir como prototipo.....	39
2.2.2.7. Alternativas del aprovechamiento del caucho triturado reciclado.....	40
2.2.2.8. Valorización energética.....	41
2.2.2.9. Variable dependiente: Valoración energética y huella de carbono.....	42
2.2.3. La valoración energética en sector industrial y repercusiones frente a consumos nacionales.....	42
2.2.3.1. El factor de emisión de CO2 relacionado a la obtención de la energía eléctrica.....	44
2.2.3.2. El factor de emisión en Ecuador.....	44
2.2.3.3. Importancia y cálculo de la huella de carbono.....	45
2.2.3.4. Procedimiento para el cálculo de la huella de carbono.....	47
2.3. Marco conceptual o glosario.....	48
CAPÍTULO 3: HIPÓTESIS Y VARIABLES	50
3.1 Hipótesis general	50

3.2 Hipótesis específicas	50
3.3 Identificación de Variables	50
3.4 Operacionalización de variables.....	51
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA.....	52
4.1 Tipo y Diseño de Investigación	54
4.2 Unidad de análisis.....	57
4.3 Población de estudio.....	57
4.4 Tamaño de la muestra	57
4.5 Selección de la muestra.....	58
4.6 Técnicas de recolección de datos	58
4.7 Instrumentos para la recolección de datos.....	58
4.8 Procedimiento para el cálculo de la huella de carbono.....	60
4.9 Análisis e interpretación de la información.....	60
CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
5.1. Característica de trituradoras	59
5.1.1. Característica de la trituradora 1 (C0)	64
5.1.2. Características de la trituradora 2 (C1).....	68
5.1.3. Características de la trituradora 3 (C2).....	61
5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	61
5.3. Análisis de normalidad de los datos de la investigación.....	65
5.4. Test de Kolmogorov-Smirnov y modificación de Lillefors.....	66
5.5. Comprobación de pruebas de hipótesis específicas.....	69
5.5.1. Primera hipótesis.....	69
5.5.2. Segunda hipótesis.....	73
5.5.3. Tercera hipótesis.....	75
5.6. Presentación de resultados de cálculo de huella de carbono.....	77

CAPÍTULO 6: IMPACTOS Y ACCIONES RELACIONADAS AL FACTOR DE POTENCIA PARA LA REDUCCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO.....	79
6.1. Beneficios que aporta la propuesta.....	84
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
7.1 Conclusiones	87
7.2 Recomendaciones	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados obtenidos de la aplicación normativas REP	7
Cuadro 2. Recicladoras Zona metropolitana de Guayaquil.MAE2023	9
Cuadro 3. Características de neumáticos de Pasajeros	31
Cuadro 4. Características de neumáticos MCT	31
Cuadro 5. Análisis químico del neumático.....	32
Cuadro 6. Intensidad Energética, consumo energético expresado el KBep ...	43
Cuadro 7. Propiedades de los combustibles utilizados para la producción bruta de electricidad en el Ecuador año 2001-2014	45
Cuadro 8. Operacionalización de Variables... ..	51
Cuadro 9. Descripción de granulometrías alcanzadas en la investigación.....	57
Cuadro 10. Datos del equipo medidor de potencia.....	59
Cuadro 11 Valores obtenidos en la fase 2 durante los dos ensayos 1 y 2.....	65
Cuadro 12 ARO 13.....	66
Cuadro 13 DIENTE_2, GRAN_2	67
Cuadro 14 DIENTE_3 , GRAN_3	67
Cuadro 15 Aro_14.....	68
Cuadro 16 DIENTE_2, GRAN_2	68
Cuadro 17. DIENTE_3 , GRAN_3;	69
Cuadro 18. C0 , GRAN_1;.....	70
Cuadro 19. C1 , GRAN_2;.....	70
Cuadro 20. C2 , GRAN_3;.....	71
Cuadro 21. C0 , GRAN_1;.....	71
Cuadro 22. C1 , GRAN_3;.....	72
Cuadro 23. C2 , GRAN_3;.....	72
Cuadro 24. Estadísticos de prueba ^{a,b}	74

Cuadro 25. Estadísticos de prueba ^{a,b}	74
Cuadro 26. Estadísticos de prueba ^{a,b}	75
Cuadro 27. ARO_13.....	76
Cuadro 28. ARO_14.....	76
Cuadro 29. Valores obtenidos en cálculo de la huella de carbono	77
Cuadro 30. Valores obtenidos en cálculo de la huella de carbono	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación recicladoras	9
Figura 2. Ubicación recicladoras ciudad de Guayaquil	9
Figura 3. Partes de un neumático.....	30
Figura 4. Trituradora de Dos Ejes	40
Figura 5. Composición en porcentaje de la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-2014.....	44
Figura 6. Potencia vs Tiempo - Etapa C0 – 1 - Etapa C0 – 2	62
Figura 7. Potencia vs Tiempo Etapa C1–1 - Etapa C1–2.....	63
Figura 8. Potencia vs Tiempo Etapa C2–1 - Etapa C2–2.....	64
Figura 9. Potencia vs Tiempo de muestreo (primer equipo C0)	79
Figura 10. Potencia vs Tiempo de muestreo (Segundo equipo C1).....	80
Figura 11. Potencia vs Tiempo de muestreo (Tercer equipo C2).....	80
Figura 12. Factor de Potencia vs Tiempo de muestreo (Primer equipo C0).....	81
Figura 13. Factor de Potencia vs Tiempo de muestreo (Segundo equipo C1)	82
Figura 14. Factor de Potencia vs Tiempo de muestreo (Tercer equipo C2)	82

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación Problemática

Sin duda, a nivel global existe una significativa preocupación por la generación de residuos de caucho y su impacto perjudicial en el ambiente y la salud pública. Esta circunstancia, viene acompañada por esfuerzos de autoridades gubernamentales, en todo el mundo, a fin de intensificar requerimientos en materia de legislación ambiental entre fabricantes, comercializadoras y usuarios; que permitan minimizar los efectos producidos por este sector. En este sentido, Peláez Arroyave y otros (2017), destacan esta preocupación manifestando:

Se trata, entonces, de uno de los principales problemas asociados a la gestión de desechos sólidos en la actualidad, debido al efecto negativo directo que pueden traer sobre la salud humana y el medio ambiente, ya que contaminan el suelo, el agua y el aire. Las LLFU no son biodegradables y pueden constituir un ambiente favorable para reproducir plagas, ratas, mosquitos, etc., además de ser una potencial amenaza de incendio con generación de humareda tóxica que puede arder durante meses. (p.28)

Efectivamente, la acumulación de llantas fuera de uso (LLFU) es un grave problema en la gestión de desechos sólidos. Las mismas no biodegradables y tienen potencial de contaminar de manera significativa; a su vez, propician plagas y pueden generar incendios con humo tóxico persistente. Por tanto, la atención de esta situación resulta en un desafío muy importante y de gran relevancia en la actualidad debido a la gran demanda de este producto.

En este sentido, cabe considerar dos aspectos en la evaluación sobre la dimensión de esta problemática: por un lado, la demanda dado que el caucho está presente en la fabricación de productos como llantas, calzado, tuberías, correas de transmisión y piezas de sellamiento de fluidos, debido a su inigualable elasticidad y resistencia química (Peláez y otros, 2017). Por el otro, su impacto en el ambiente.

Así es, dada la creciente demanda global de este producto, el aumento de la generación de residuos por este rubro es inminente, lo cual, de acuerdo con los aportes de Fernández y otros (2022): son significativos en cifras globales: “se estima

que en 2015 la demanda mundial de caucho aumentó un 0.7% respecto a 2014 y que entre 2016 y 2024 el consumo aumentará un 3.1%” (p.28). En torno a esto, destacan los autores, “Se estima que 1000 millones de neumáticos entran en desuso cada año y que para 2030 esta cifra alcanzará 1200 millones, totalizándose 5000 millones de neumáticos desechados de manera irregular” (p.54)

En este sentido, los neumáticos usados representan una importante fuente de residuos de caucho debido a la gran cantidad de caucho utilizado en la fabricación de neumáticos, que representa aproximadamente el 70% de la producción anual de caucho natural en bruto. (Leong y otros, 2023). Cabe destacar que este incremento es reafirmado por Leong y otros (2023) al destacar que “se espera que la demanda de caucho siga siendo fuerte en el futuro cercano, ya que los productos de caucho siguen siendo muy relevantes y necesitan diversas aplicaciones de nicho” (p.37).

Ciertamente, el aumento en la producción y consumo de caucho conlleva a un incremento en la generación de residuos de caucho. Esto reviste una real preocupación y plantea, sin duda, un desafío para lograr el Objetivo 12 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, el cual, se centra en la producción y consumo responsables, buscando una gestión adecuada de los desechos y reducción de su acumulación, mediante la diligencia de prácticas de gestión de residuos conocidas como las 3R (Reducir, Reutilizar, Reciclar). (Leong y otros, 2023)

Por tanto, resulta imperativo abordar esta circunstancia, a fin de asegurar una gestión adecuada de los residuos de caucho y evitar daños ambientales.

Así es, el potencial contaminador de este producto es muy significativo, especialmente los sintéticos (Lantas, entre otros), ya que son bastante resistentes a la degradación natural debido al proceso de vulcanización. En este sentido, Leong y otros (2023) manifiestan que:

Los enlaces cruzados de azufre formados entre las cadenas de polímeros están destinados a mejorar la resistencia mecánica, así como las propiedades físicas y químicas del caucho. Sin embargo, la compleja estructura tridimensional del caucho vulcanizado también hace que sea más difícil que se descomponga por biodegradación. Además, la presencia de aditivos,

antioxidantes y rellenos también fomenta su resistencia a la biodegradación.
(p.37)

Considerando lo expresado por los autores, este hecho, destaca la necesidad de abordar eficazmente la gestión de los neumáticos desechados para reducir su impacto ambiental y promover prácticas sostenibles en el sector. En este sentido, actualmente destacan los esfuerzos por promover a la huella de carbono, entre sectores de pequeña y mediana industria, para que se considere dentro de los indicadores de gestión de procesos en el marco de sus actividades.

Efectivamente, según el Ministerio del medio ambiente de Chile (2022): “nace como una medida de cuantificar y generar un indicador del impacto que una actividad o proceso tiene sobre el cambio climático, más allá de los grandes emisores” (p.2). De la misma manera, acota la institución:

se define como el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos o regiones geográficas, en términos de CO2 equivalentes, y sirve como una útil herramienta de gestión para conocer las conductas o acciones que están contribuyendo a aumentar nuestras emisiones, cómo podemos mejorarlas y realizar un uso más eficiente de los recursos. (Ministerio de medio ambiente de Chile, 2022, p.3)

De esta manera, esta entidad gubernamental explica este enfoque de forma concisa, clara, y de cómo se relaciona con el impacto ambiental y el cambio climático. También, resalta la importancia de cuantificar y comprender estas emisiones para tomar medidas adecuadas y reducir la contribución del aparato productivo, así como de la actividad humana frente al calentamiento global. Por ello, para el presente trabajo de investigación, resulta significativo tomar en consideración este indicador, como aporte de valor en la consolidación de un sector productivo ecuatoriano consciente de la importancia de generar una gestión de procesos vinculada a la disminución de la huella de carbono, que permita coadyuvar en la disminución de los efectos negativos para el planeta y, por ende, a la humanidad.

En torno a ello, todavía existen en el mundo, procesos de gestión de residuos que afectan, de igual forma, al ambiente. Al respecto, Leong y otros (2023) destacan que:

Los métodos tradicionales de gestión de residuos de caucho suelen ser la

eliminación en vertederos o la incineración. Sin embargo, varias implicaciones ambientales negativas pueden resultar de la eliminación de residuos de caucho en vertederos, y esto incluye la lixiviación de sustancias tóxicas y metales pesados en las aguas subterráneas. (p. 39)

Como ya se ha mencionado, las pilas de almacenamiento de residuos de caucho pueden generar incendios difíciles de extinguir, ya que el caucho es un combustible altamente inflamable. Estos incendios resultan en la liberación de contaminantes peligrosos como dióxido de carbono, dióxido de azufre, partículas finas (PM2.5) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), entre otros. (Peláez y otros, 2017). De esta manera, con el este riesgo potencial de incineración incontrolada de residuos de caucho también se contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero, lo que agrava el problema del cambio climático.

Desde este contexto, existen iniciativas que abordan enfoques conceptuales para confrontar esta creciente realidad. En esta materia, por ejemplo, la Unión europea asume una perspectiva que denominan 4R, relacionada al mejoramiento de la gestión de los residuos de caucho y que la categoriza de la siguiente manera: reducir, reutilizar, reciclar y recuperar.

La misma, según Leong y otros (2023) “fue introducida por la Comisión Europea el 19 de noviembre de 2008 para ser adoptada como práctica común en el procesamiento de residuos” (p.37). Esta definición amplía la visión de los objetivos sostenibles que implican las tres primeras R.

Las 4R inician con la reducción, que implica prácticas que disminuyan la generación de estos residuos, mientras, la reutilización ayuda a prolongar la vida útil de los productos de caucho para el mismo propósito. El reciclaje, implica triturar los desechos de caucho en pequeñas partículas o desvulcanizarlos para su reutilización en otras aplicaciones. Por último, la recuperación, que refiere procesos de descomposición de desechos mediante calor para obtener combustibles y/o sustancias valiosas de menor peso molecular. (Leong y otros, 2023)

Es importante destacar que actualmente existen numerosas regulaciones que incentivan a la industria a utilizar caucho reciclado en sus procesos. Taiwán fue pionero en la implementación de este tipo de normativas, seguido por Estados

Unidos, Japón y los países de la Unión Europea, quienes también han incursionado en este campo. Estas regiones se encuentran actualmente en un nivel avanzado en términos de legislación relacionada con el uso de caucho reciclado. Esto muestra una tendencia global hacia el fomento de prácticas más sostenibles en la industria del caucho. (Peláez y otros, 2017).

En América Latina, la contaminación por el impacto ambiental de llantas en desuso es, también, una circunstancia presente. La demanda en todos los países de esta región es similar que la del resto del mundo.

En la nación chilena, se desechan alrededor de 6,6 millones de neumáticos anualmente, lo que equivale a aproximadamente 180 mil toneladas. La generación anual de residuos de neumáticos, considerando su desgaste por el uso, se estima en 140 mil toneladas, y sólo un 17% de estos se maneja de manera ambientalmente adecuada. (Fuentes, 2021)

Otro ejemplo es Colombia, donde se generan anualmente entre 110.000 y 130.000 toneladas de neumáticos, lo que equivale a un aproximado de 7 millones de llantas. La mayoría comúnmente es desechada de la manera más sencilla, la cual, ha sido a través de procesos de incineración (Vegas, 2020). En Bolivia, por ejemplo, se generan anualmente 3 millones de neumáticos residuales, de los cuales solo el 5% se recicla. En los vertederos del eje metropolitano de la ciudad de Cochabamba, se acumulan 16 mil toneladas de neumáticos. (Fernández y otros, 2022)

Sin duda, estas cifras resaltan la necesidad urgente de mejorar la gestión de los neumáticos desechados en el país y promover prácticas de reciclaje más efectivas.

Ecuador, no escapa a esta situación. El aumento de vehículos en circulación conlleva la generación de subproductos derivados, como los desechos del proceso de recauchado de neumáticos. El problema ambiental asociado a los residuos de llantas se debe a la falta de conocimiento sobre la gestión de estos desechos, tanto a nivel cultural como por la falta de políticas gubernamentales que regulen a las empresas privadas. Además, se requiere más investigación sobre la reutilización y disposición adecuada de estos residuos para abordar de manera efectiva esta problemática. (Lara y otros, 2020)

Por ello, la presente intención doctoral centra sus esfuerzos en la nación ecuatoriana que, al igual que el resto de la región latinoamericana, posee situaciones significativas por mejorar en el tratamiento de residuos de llantas en desuso.

En el Ecuador, según cifras de la Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana - CINAE-; para el año 2022 existen 2.704.612 de vehículos, sin considerar motocicletas. (CINAE, 2023). Así mismo, esta institución registra que el 82% de las importaciones de autopartes de vehículos que ingresó al país, sólo en marzo del año 2023, corresponde a neumáticos.

Todo este movimiento, genera situaciones potencialmente contaminantes, en este caso, a la disposición de llantas en desuso, sobre todo en grandes regiones urbanas como la Ciudad de Guayaquil, Provincia del Guayas; donde frecuentemente pueden observarse abandono de neumáticos en las vías causando trastornos paisajísticos e incluyendo otros impactos al entorno que involucran acciones como: quemar y lanzar las llantas al campo, quebradas, botaderos, hasta la propagación de focos infecciosos; coincidiendo con Veloz (2022) cuando expone:

La mala disposición de las llantas usadas en sitios públicos, cuando estas cumplen su vida útil, es uno de los problemas crecientes que enfrenta el mundo, con mayor tendencia en los países en vías de desarrollo, dado que no existen políticas claras con relación a la disposición final de estos materiales, así como los responsables de velar por el control y el cumplimiento de dichas políticas. (p.3)

Efectivamente, diversos investigadores de la materia advierten sobre esta problemática. Tal es el caso de Lara y otros (2020) expresando que en el Ecuador: “El estado considera a los neumáticos como desechos especiales, debido a que su combustión produce nubes tóxicas y además pueden ser fuentes de propagación de epidemias transmitidas por mosquitos” (p.34). Así mismo, Chimborazo y otros (2017) manifiestan: “el mercado automotriz y los dueños de vehículos demanda un gran número de neumáticos, mismos que al culminar su vida útil tienen un tratamiento inadecuado ya que estos terminan quemados, lanzados en vertederos para su destino final” (p.11)

Ahora bien, en Ecuador, para el año 2013, ante la falta de una medida política clara para abordar los neumáticos usados, llevó al Ministerio del Ambiente (MAE) a implementar el Plan de Gestión Integral de Neumáticos Usados conocida como el acuerdo ministerial 020. El objetivo fue reducir la contaminación ambiental causada por estos desechos. En 2015, se realizan modificaciones y se genera el Acuerdo Ministerial 098 (vigente en la actualidad), el cual estipula que los comerciantes de llantas deben recuperar el 30% de su mercado, como parte de las disposiciones para gestionar adecuadamente los neumáticos desechados en el país. (Lara y otros, 2020)

Esta iniciativa, logró incrementos significativos que pueden visualizarse en el último informe vigente del Ministerio del ambiente (2019), como ente regulador de la actividad:

Cuadro 1
Resultados obtenidos de la aplicación normativas REP

Año	Normativa de gestión integral por residuo	AM 098 Neumáticos usados (Unidades)
2013	Meta	N/A
	Recuperación	N/A
2014	Meta	552.434
	Recuperación	578.105
2015	Meta	874.879
	Recuperación	945.442
2016	Meta	871.958
	Recuperación	982.168
2017	Meta	994.704
	Recuperación	1.097.068
2018	Meta	1.239.974
	Recuperación	1.282.842
Total recuperado		4.885.625

Fuente: Ministerio del Ambiente del Ecuador (2019)

Los datos reportados ofrecen un incremento mantenido desde el año 2013, en la recuperación de llantas usadas; aumentando hasta el año 2018 a la cifra de 1.282.842, con una sumatoria desde el inicio del registro hasta 2018 en 4.885.625.

Esta normativa generó condiciones para el surgimiento de entes operativos y pequeñas y medianas empresas dedicadas a la actividad de reciclaje.

Una de estas iniciativas empresariales la constituye el Sistema ecuatoriano de gestión integral de neumáticos usado (Seginus), corporación sin fines de lucro que tiene el respaldo del Ministerio de Ambiente. Son alrededor de 30 empresas, importadoras de neumáticos principalmente, que trabajan para reciclar y reutilizar llantas y sus componentes. Las empresas que integran Seginus representan el 80% del mercado de neumáticos del país y su meta es articular de manera integral toda la cadena de gestión de llantas fuera de uso. (Monserrate, 2018)

Al año 2021, según Farías (2021), esta corporación:

cuenta con 25 proveedores entre gestores de transportadores y de aprovechamiento, así como 2.800 puntos de recolección. De ellos, un 25% corresponde al sector de la economía popular y solidaria. La empresa tiene convenios con productores e importadores a nivel nacional, cubriendo el 75% del mercado del país, con operaciones en Guayaquil y Quito, especialmente. Se estima una comercialización de 4,5 millones de llantas y, desde 2018 al 2021, la empresa ha reciclado más de tres millones de llantas a nivel nacional. En estas operaciones de reciclaje predomina, principalmente, la trituración, como mecanismo para el proceso de reducción de residuos. (p.2)

En este orden de ideas, cabe destacar que, en función de estas más de 4,5 millones de llantas, existe un sector importante de empresas recicladoras, dedicadas a esta actividad, por lo que se hace necesario coadyuvar en el desarrollo de estas y en el mejoramiento de las condiciones que fortalezcan lo previsto en el ordenamiento normativo del Ecuador, considerando la gestión de los procesos implicados en estas operaciones, tal como lo constituyó el presente trabajo de investigación.

Al respecto, existen situaciones por mejorar en cuanto a la infraestructura de reciclaje disponible. En la provincia de Guayas, especialmente en la zona metropolitana de Guayaquil, existen un número significativo de empresas consideradas Gestores Desechos Inorgánicos Aprovechables, designación oficial. (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2023), registradas de acuerdo con el siguiente listado emitido por el ente oficial:

Cuadro 2

Recicladoras Zona metropolitana de Guayaquil. MAE 2023

Denominación	
Seginus/ ECSADE	- Recicladora Ecuarecycling
Recicladora Guayaquil	- Recicladora Álvarez
Recicladora Grupo Mario Bravo	- Reciclamos
Recigrand	- REciclahora
Ecotires	- Reencauchadora Ecuan neumáticos
Renovallanta	- Servicios De Llantas

Fuente: Ministerio del Ambiente de Ecuador (2023)

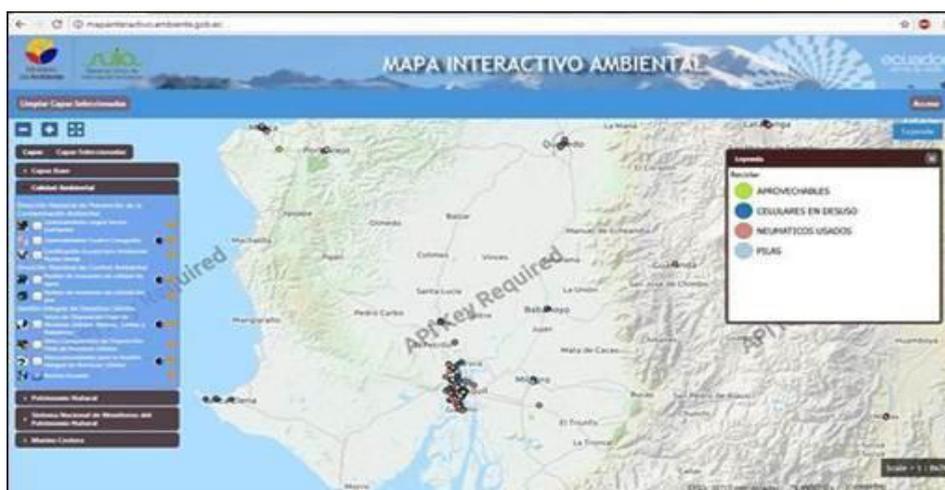


Figura 1. Ubicación Recicladoras Ecuador. Fuente: Ministerio de Ambiente de Ecuador (2018)

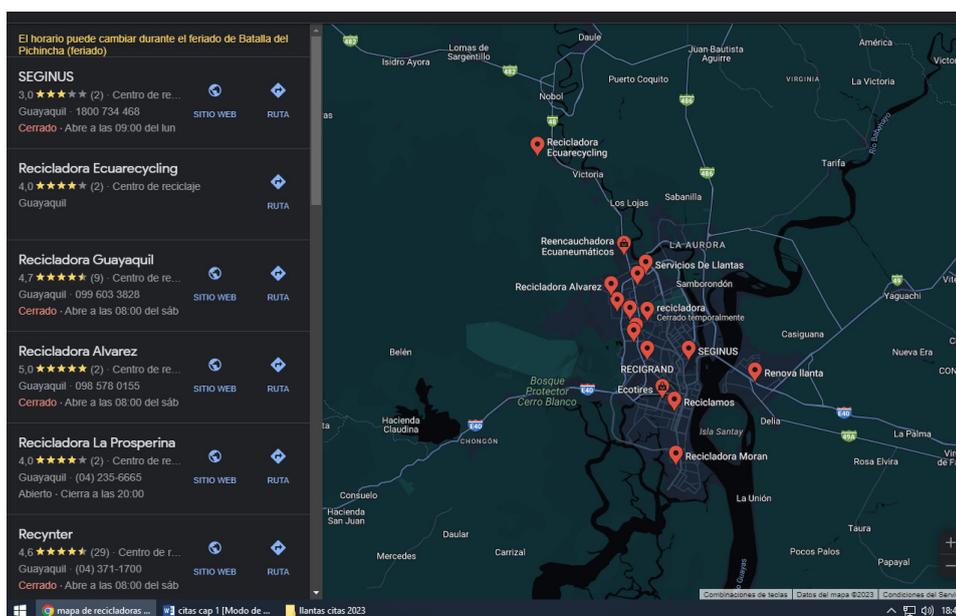


Figura 2. Ubicación Recicladoras Ciudad de Guayaquil. Fuente: google map (2023)

En este orden de ideas, resulta significativo destacar la importancia de coadyuvar con innovaciones técnicas y/o metodológicas que orienten a los operadores sobre las condiciones pertinentes para la optimización de la tecnología en el proceso predominante para el reciclaje, como lo es la trituración. Más aun, en el ámbito de las operadoras recicladoras en la provincia de Guayas, que puedan consolidar, aún más, su responsabilidad social, al considerar los aspectos relacionados al indicador de huella de carbono dentro de su gestión de procesos relacionada a la maquinaria empleada para la trituración.

En correspondencia, los aportes del presente estudio resultan significativos, ya que incluyen a este indicador, como aspecto resaltante, en el marco de las inquietudes que dieron origen a esta iniciativa.

Al respecto, esta consideración viene dada por las premisas trazadas entre los distintos entes gubernamentales de los países de la región latinoamericana. Al respecto, el Ministerio del medio Ambiente de Chile (2022) presenta, entre otros, el protocolo denominado enfoque por evento, del cual, refiere lo siguiente:

Evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero debido al uso de electricidad, transporte de asistentes, preparación de alimentos, insumos de papelería, entre otras fuentes de emisiones generadas durante la planificación y realización de un evento. Este ejercicio contribuye una base para la optimización de recursos y la incorporación de las temáticas ambientales en toda clase de actividades. (p.3)

Efectivamente, el enfoque por evento consiste en la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con el uso de electricidad, transporte de los asistentes y otras fuentes, generadas durante la planificación y ejecución de un evento; proporcionando una base para sensibilizar a sectores productivos, en este caso, en la integración de aspectos ambientales en todo tipo de actividades pertinentes.

Este aspecto resulta significativo, ya que fundamenta las bases para dar respuesta a la inquietud de esta intención doctoral, en función de poder explicar el uso de electricidad empleado por cada máquina trituradora expresado en kwh, partiendo de la premisa que, estos cálculos, podrán coadyuvar con el fortalecimiento de los criterios para la selección tecnológica del recurso y la incorporación de

acciones de mejora en las empresas del sector.

Ello, considerando además que el estudio centra sus esfuerzos en las cuchillas de las máquinas trituradoras, tecnología implementada por las empresas del sector, en la actualidad, y que aún no cuentan con estudios pormenorizados en esta materia. En virtud de esto, el estudio representa un impacto corporativo positivo en el análisis de las distintas acciones que, junto al Estado ecuatoriano, resultan en actividad permanente, dentro del ámbito de la planificación empresarial de las organizaciones que conforman este sector.

Además, en este estudio se considera a las potencias eléctricas y el factor de potencia (FP), las cuales, según Daza y otros (2015) se definen como:

variables eléctricas que inciden a nivel industrial en el cálculo del costo de la energía eléctrica consumida; para su obtención generalmente se utilizan medidores digitales o analizadores de calidad (PQA) que emplean diferentes algoritmos o metodologías para el cálculo de la energía eléctrica, encontrándose diferencias importantes al comparar los registros obtenidos para cada una de las variables medidas. (p.41)

Ciertamente, el factor de potencia (FP) es un indicador relacionado con el correcto aprovechamiento de la energía (uso de kwh suministrado por las redes de distribución eléctrica). Al respecto, puede tomar valores entre 0 y 1, donde 1 es el valor ideal e indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo, y el punto de coincidencia con la huella de carbono es el consumo de kwh.

Por tanto, todo este accionar investigativo, al develar situaciones por mejorar y acciones que orienten al sector, se constituye en un aporte significativo a las empresas, no sólo en función de su voluntad institucional, manifiesta, en mejorar su gestión de procesos operativa, sino, además, que coinciden con lo establecido en la Constitución de la República de Ecuador (2008) cuando expresa en su artículo 313: “El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia”. (p.145).

Este aspecto es muy importante, ya que las empresas recicladoras deben seguir

los postulados y procedimientos que le permitan contar con el aval y apoyo técnico del Ministerio del Ambiente de Ecuador, que se constituye como el ente rector de esta materia en el país y que establece los parámetros de este tipo de actividades, incluida el reciclaje y, por ende, la trituración.

Por tanto, la voluntad institucional de estas empresas por participar e impulsar diagnosis, acciones estratégicas y operativas que cuenten con una perspectiva científica, como la del presente estudio; que a su vez les permita coincidir con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia, reviste carácter, no sólo de buenas prácticas empresariales sino también de orden constitucional, vigente en todo el territorio nacional.

Finalmente, es necesario indicar, que el presente proyecto de investigación no sólo planteó la alternativa del aprovechamiento del residuo, sino que además buscó la relación existente entre el proceso de aprovechamiento y la huella de carbono, lo cual es parte de la gestión ambiental que involucra políticas y actividades, dirigidas a reducir la generación de emisiones de CO₂ en un territorio dado esperando, a su vez, contribuir con el desarrollo sostenible del mismo.

De esta manera y, con base a lo anteriormente mencionado, se pudo inferir que el desarrollo sostenible implica el equilibrio correcto para el desarrollo de la economía, el aumento poblacional, uso racional de los recursos y protección y conservación del medio, potenciando las aspiraciones de Ecuador en materia de ambiente y su contribución a la humanidad.

1.2. Formulación del Problema

¿En qué medida la selección óptima de la tecnología apropiada explica el aprovechamiento de neumáticos fuera de uso en la industria, para reducir huella de carbono, en la Provincia del Guayas?

1.2.1 Problemas Específicos

1. ¿Cómo explican las diferentes alternativas tecnológicas de las etapas de trituración para neumáticos requeridos en los diferentes usos del producto para el

desarrollo de la matriz de evaluación?

2. ¿Qué niveles de consumo de Kwh representa el corte de los NFU según la granulometría?

3. ¿Qué combinaciones tecnológicas de las etapas de trituración de los NFU representan la generación de la menor huella de carbono en la Provincia del Guayas, Ecuador?

1.3 Justificación Teórica

El tema de la huella de carbono ha tomado mayor relevancia, conforme se registra el crecimiento poblacional y sus diversas actividades socio-productivas no sólo a nivel nacional sino global. Así pues, el cálculo de la huella de carbono, en correspondencia a esta circunstancia, verá acrecentada su promoción como práctica significativa en el ámbito productivo de las naciones. (Córdova, Zorio & García, 2018)

Por ello, participar de la vanguardia en el Ecuador, sobre todo, en un sector que por su naturaleza de acción está vinculado al reciclaje, como eje de su modelo de negocio, justifica plenamente, iniciativas como la presente, que fortalezcan la capacidad de respuesta y organizacional, que promueva el cumplimiento de los esfuerzos legales y ejecutivos del Estado ecuatoriano en esta materia.

Ciertamente, las acciones de evaluación de la huella de carbono implican la consideración de una serie de factores que relacionan emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero, las cuales, son consecuencia de las actividades productivas de la empresa y, a su vez, de la producción de energía eléctrica, uso de combustibles fósiles, operaciones de transporte y otros procesos.

A ello, se suma la perspectiva legal, que asume que todas las operaciones de la administración pública, sectores estratégicos y acciones productivas que avala y/o acompaña el Estado ecuatoriano, están regidas por los principios de innovación, transparencia, eficacia, eficiencia y sostenibilidad según los artículos 227 y 327 de la carta magna, plenamente vigente en el territorio ecuatoriano. (Constitución, 2008)

Por supuesto, desde un enfoque ambiental, puede inferirse una creciente preocupación mundial por el Desarrollo Sostenible, por lo cual, se integran modelos de cálculo del comportamiento de la huella de carbono en diversos sectores de la productividad, que permitan evaluar y comparar los valores representativos en eventos que forman parte de sistemas productivos; con miras a dar cumplimiento legal ambiental sea a nivel nacional como internacional. (Córdova y otros, 2018)

Es necesario indicar, que el proyecto de investigación no sólo planteó la alternativa del aprovechamiento del residuo, sino que además buscó la relación existente entre el proceso de aprovechamiento y la huella de carbono, lo cual es parte de la gestión ambiental que involucra políticas y actividades, dirigidas a reducir la generación de emisiones de CO₂ en un territorio dado esperando a su vez contribuir con el desarrollo sostenible del mismo. Con base a lo anteriormente mencionado, se pudo afirmar que el desarrollo sostenible implica el equilibrio correcto para el desarrollo de la economía, el aumento poblacional, el uso racional de los recursos y la protección y conservación del medio ambiente. (UICN, 2012).

1.4. Importancia práctica

Esta iniciativa investigativa, coadyuva a la consolidación de una perspectiva social, ambiental y operativa en las empresas del sector, asumiendo un enfoque donde la humanidad debe asumir complejos desafíos que abordar, siendo entre ellos, su conciliación y accionar frente al cambio climático, por lo cual, estudios como el presente, no sólo pasan por la innovación de perspectivas a ser consideradas dentro de la gestión de procesos en una organización pequeña, mediana o de gran envergadura, sino además, de un proceso de sensibilización hacia prácticas que contribuyan al desarrollo sostenible y la búsqueda de armonizar con el ambiente.

Es decir, buscar alternativas para definir estrategias que organicen las diversas actividades que alcanzarán el mejoramiento de calidad de vida con un acompañamiento apropiado de la gestión de residuos que se generan en las actividades cotidianas, tal como es el caso del sector de la transportación, que requiere neumáticos como uno de sus elementos de trabajo; pero que de no proporcionarse alternativas apropiadas para su re inserción en el sistema productivo, pueden conducir a una problemática mayor en lo referente al tema de daños

paisajísticos y contaminación del entorno.

La aplicación de este cálculo y su análisis comparativo tiene beneficios no sólo ambientales, sino de carácter de competitividad debido a la identificación de oportunidades de ahorro energéticos, acceso a mercados especializados, mejora de rentabilidad por incremento de eficiencia y reducción de costes operacionales, Incorporando el sentido de la Responsabilidad Social Corporativa.

1.5. Importancia Metodológica

Esta propuesta planteó incorporar el conocimiento de la Huella de carbono en la evaluación de las fases del proceso de trituración con el propósito de reducir actividades en el proceso, que se constituyen en puntos de contaminación y de derroche energético, logrando inferir las emisiones de GEI derivadas del proceso de trituración y finalmente aportar con los ejes transversales tales como: elementos ecológicos, cuidado ambiental, cuidado a la salud para lograr la reducción de riesgos y peligros a la salud de pobladores que están expuestos a este tipo de desecho contaminante como lo son los NFU (Andrade, H. ., O. Campo, y M. Segura.2015)

Tal como se menciona en los antecedentes, la generación de Neumáticos Fuera de uso –NFU- se ha convertido en uno de los problemas ambientales debido al crecimiento del parque automotor de la Provincia del Guayas en el Ecuador, tal como se reseñó. Por tanto, el incremento de NFU es considerable y la búsqueda de alternativas de su aprovechamiento se ha vuelto imperativa en el medio; orientada, además, a no provocar daños ambientales por la eliminación de volúmenes de desechos y/o emisiones.

En razón de lo expuesto, se planteó analizar el proceso de trituración de los NFU, que consistió en las siguientes etapas ordenadas en diferentes tipos y número de cuchillas (dientes) en máquinas, puesto que el uso de un solo equipo no posibilita la obtención del tamaño requerido para las diferentes aplicaciones del caucho que lo conforma el NFU. Así, generalmente, el proceso de trituración consta de etapas de triturado primario y secundario, hasta obtener la granulometría deseada.

1.6. Delimitación de investigación Espacial y temporal

En lo correspondiente al espacio de la presente investigación, se planteó abarcar la Provincia del Guayas, específicamente el área metropolitana de Guayaquil, ubicada dentro del territorio ecuatoriano; dado que la mayor parte del mercado de importaciones de neumáticos para automotores y la ubicación de las recicladoras, se encuentran en proporciones significativas, con referencia al mercado ecuatoriano.

En lo temporal, se realizó una investigación durante veintiséis meses, según el cronograma declarado en el presente documento.

Se contempló en lo temporal la investigación del número de empresas en el Guayas, calificadas por el Ministerio de Ambiente del Ecuador destinadas al reciclaje de neumáticos, a través de las cuales se pudo estimar el número de neumáticos fuera de uso que son rechazados y con cifras de la Asociación Nacional de la Industria Automotriz Ecuatoriana, en correspondencia a lo previsto en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente del Ecuador que precisa estos productos como desechos especiales.

De la misma manera, cabe destacar que las actividades se ejecutaron en las instalaciones del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable de la Escuela Superior Politécnica del Litoral en la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción y en Empresas dedicadas al proceso de trituración de neumáticos fuera de uso.

1.7. Objetivos de la Investigación

1.7.1. Objetivo General

Optimizar la selección de la tecnología apropiada para el aprovechamiento de neumáticos fuera de uso, por medio de la metodología de huella de carbono en la Provincia del Guayas.

1.7.2. Objetivos Específicos

-Explicar las combinaciones tecnológicas de las etapas de trituración comparando la huella de carbono.

-Explicar el consumo de Kwh representativos para el corte de los NFU según la granulometría aplicando la metodología de Huella de Carbono

-Discriminar las alternativas tecnológicas para las etapas de trituración en los diferentes usos de los NFU mediante una matriz de evaluación.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Problema

2.1.1 Internacionales

El Convenio Internacional de Basilea, resulta un referente sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación, ello, forma parte de los esfuerzos del Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA) para enfrentar los desafíos actuales en materia ambiental. Este documento define, en sus anexos, lo relativo a desechos peligrosos y norma las instalaciones adecuadas para su eliminación, así como a las personas encargadas del manejo de los desechos. Ello, de manera que adopten las medidas necesarias para que no se produzca contaminación o peligro alguno en el ambiente o la salud humana. (PNUMA, 2014)

Así mismo, los neumáticos usados, de acuerdo con el Convenio de Basilea, no se pueden clasificar en ninguna categoría prevista en las corrientes de desechos, las cuales, van desde la Y1 a Y18, aunque contengan elementos o compuestos incluidos en ese anexo. (PNUMA, 2014)

Por ello, se hace referencia a los componentes de los neumáticos por separado, considerando: Compuestos de cobre Y22, Compuestos de zinc Y23, Cadmio Y 26, Compuestos de plomo Y31, Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida Y34, Compuestos organohalogenados (Castro, 2007), que no sean las sustancias mencionadas en el anexo del Convenio de Basilea Y45. En el anexo VIII los desechos están caracterizados como peligrosos de acuerdo con la Lista A ítem A2 Desechos. (PNUMA, 2014).

A ello, se suman los diferentes mecanismos de coordinación regional, tales como la X reunión de la Conferencia de las Partes (CP10) que se llevó a cabo en Colombia en el año 2011, en la que se trataron aspectos importantes vinculados al control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación como parte del cumplimiento del Convenio de Basilea, mencionado con anterioridad, así como aspectos técnicos referentes a: riesgos de ecotoxicidad

de los neumáticos, efectos en la salud cuando se convierte en desecho, expansión de las prioridades para el manejo de neumáticos usados; incluyendo mecanismos de prevención, minimización, reciclado y recuperación energética de partes. (PNUMA, 2011)

De la misma manera, resultan significativos los aportes de una investigación realizada sobre reutilización, reciclado y disposición final, en la cual destaca que los mecanismos de trituración de corte seccional de los NFU se logran con navajas circulares giratorias de alta resistencia, configurando un triturado de entre 30 y 60 llantas por hora, permitiendo un mejor tratamiento y manejo para, finalmente, destinarlo a diferentes opciones de aprovechamiento tales como: reciclaje y/o material combustible en procesos de combustión. (Castro, 2007)

En este mismo orden de ideas, Cardona (2011), pone de manifiesto diversas consideraciones sobre aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativo. Al respecto, informó en sus conclusiones que: “la trituración mecánica es la mejor alternativa por cuanto permitió obtener arena plástica cuyo uso puede incorporarse en la fabricación de pisos decorativos” (p.18).

Otra investigación reportada sobre trituración aborda un sistema primario en el proceso de trituración de llantas usadas desalambradas realizado en la Facultad de Ingenierías del Programa de Ingeniería Mecánica en Bogotá. En este orden, confirmaron que la producción del proceso se incrementó a una tonelada por hora cuando las llantas están desalambradas, siendo viable y competitivo el sistema de triturado. (Murcia & Romero, 2016)

Así mismo, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), precisó que los neumáticos pueden tardar hasta 500 años en su proceso de degradación; desprendiendo macropartículas plásticas que alcanzan a representar el 30% de los desechos encontrados en los océanos y entradas de mar. (UICN, 2019)

Esta circunstancia es ratificada por Tipan (2019) cuando destaca que: “El continuo crecimiento de bienes y servicios que causan contaminación ambiental en el mundo, cada vez se va proliferando, lo que hace que organizaciones

públicas y privadas buscan medios y formas de proteger el ambiente” (p.5). Efectivamente, en esta investigación destaca la experiencia de las Fuerzas Armadas de Ecuador en relación a una iniciativa para la configuración de un modelo de gestión para el reciclaje de los neumáticos fuera de uso (NFU), como una estrategia organizacional que promueve alternativas en torno a la economía circular y el reciclaje, sino además, junto a prácticas que coadyuvan en el mejoramiento de la armonía entre las actividades humanas y el ambiente. En este sentido, incluye en los procesos de reciclaje de los NFU, mediante actividades de trituración, las cuales, reafirman el predominio de esta práctica en el Ecuador como viable, dentro de las iniciativas que se adelantan en esta materia en el país.

Seguidamente, Gualancañay (2020), destaca la necesidad del mejoramiento de los procesos de reciclaje de llantas, entre ellos el triturado, que fortalezcan la capacidad de respuesta comunitaria e institucional frente al desafío en el tratamiento de neumáticos usados, tal como lo afirma cuando describe: “son tirados a la intemperie en las vías y terrenos baldíos, provocando la reproducción de mosquitos, transmisores de enfermedades; así como la quema directa de estos produciendo la emisión de gases y partículas nocivas a la atmósfera” (p.1). Ello, resulta relevante, ya que coincide con las premisas que sustentaron a la presente investigación.

Cabe destacar los aportes de Vergara, Mendoza, Bravo y Contreras (2018) cuando resaltan que la trituración destaca, dentro de los procesos de procesamiento de materiales en Brasil, como “una etapa crítica debido a su alto consumo energético” (p.2). Ello, coincide con lo expresado por Ramírez, Orjuela y Angulo (2020), al poder de manifiesto: “La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos” (p.49)

En este sentido, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2022), destaca que la economía circular está siendo ampliamente explorada y aplicada en diferentes contextos, enfatizando herramientas y criterios para medir el uso eficiente de recursos como niveles de consumo, intensidad energética, recuperación de materiales y tasas de reciclaje; exhortando al reuso y extensión de su vida útil de neumático, entre otros, a través de procesos de

reciclaje y coadyuven en el desarrollo de metodologías que promuevan la sostenibilidad y mejores prácticas para el ambiente. (CEPAL, 2022)

Al respecto, estas consideraciones coinciden con lo planteado en la situación problemática reportada por la presente intención doctoral cuando, a pesar del esfuerzo del Estado ecuatoriano en el desarrollo de políticas y el despliegue de planes de acción, continúan reportándose amplios espacios en la geografía nacional que evidencian la poca capacidad en algunas regiones de dar tratamiento a estos desechos, ya que carecen de infraestructura operativa y condiciones que lo permitan, ya que existen principalmente en la provincia de pichincha y guayas, como se menciona en el apartado de la situación problemática.

A esta visión, la presente investigación, incorporó el tema del cálculo de huella de carbono al proceso industrial de trituración de NFU, a través del consumo de kwh considerando que es una actividad o evento que incide sobre el incremento de la huella de carbono local. En este orden de ideas, Lewis & Huang, (2013) desarrollaron una herramienta de software para el cálculo de Gases de Efecto Invernadero generado por fabricación de piezas estándar y enfatizaron la importancia del uso de herramientas como el EMVC que vinculaba la producción con la emisión de gases de efecto invernadero dentro de la gestión para el análisis de ciclo de vida de un producto, enfocando datos de emisión basados en los eventos tales como consumos energéticos. (Lewis & Huang, 2013)

Esta premisa, fue considerada en la presente investigación la cual, a su vez, coincide con lo propuesto por Andrade (2017) cuando describen, en su investigación, los procesos de estimación de la “huella de carbono generada por el parque automotor y el consumo energético en las instalaciones de una organización, utilizando la metodología del mecanismo de mitigación voluntaria de emisiones de GEI”. (p.4). De la misma manera, cabe considerar lo establecido en el Protocolo de Kyoto (1998) de la convención en el marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático que, en su artículo 5, estableció “el uso de las concentraciones de dióxido de carbono equivalente” (p.34); debido a que este gas de efecto invernadero está reconocido como uno de los de mayor relevancia aceptados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio

Climático en su tercera sesión. (ONU, 1998)

En este sentido, los acuerdos establecidos en el Protocolo son revisados periódicamente durante las reuniones de la Conferencia de las Partes y se analizan los efectos potenciales de cada uno de los gases de efecto invernadero y según lo establecido en el Art 3 del Protocolo, se adoptan compromisos hasta posteriores revisiones. (WRI, 2004). Al respecto, se enlista como GEI: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido de Nitrógeno (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HCFs), Perfluorocarbonos (PCFs), Hexafluoruro de Azufre (SF₆) (ONU, 1998)

Considerando lo anterior, hay que resaltar lo expuesto por la ONU (2021) al poner de manifiesto que: “La concentración de dióxido de carbono (CO₂), el gas de efecto invernadero más importante, alcanzó en 2020 las 413,2 partes por millón (ppm) y se sitúa por encima del 149 % sobre los niveles preindustriales”. (p,1). Es decir, pese a la pandemia por COVID-19, las cifras van en aumento. La organización destaca las consecuencias de no frenar las emisiones de gases. Es decir, los esfuerzos aún son insuficientes. (ONU, 2021)

En particular, se menciona que, al no detenerse estas emisiones, la temperatura mundial continuará en aumento. Se hace énfasis en el dióxido de carbono, un gas con una larga duración en la atmósfera. Esto significa que, incluso si se logra reducir rápidamente las emisiones hasta llegar a un nivel neto cero, el nivel de temperatura actual persistirá durante varias décadas. Así pues, resulta imperativa la importancia de tomar medidas urgentes para frenar las emisiones y evitar un aumento continuo de la temperatura global, con propuestas como la presente intención doctoral.

2.1.2. Nacionales

En el orden nacional, Sampedro et al., (2021), desarrolla una investigación que conlleva el propósito de concientizar sobre el impacto ambiental por consumo de energía eléctrica en los Data Centers y a partir de estos resultados se establece la huella de carbono generada. Al respecto, destaca que las medidas de restricción implementadas durante la pandemia por el COVID-19, han llevado a un

aumento significativo en las actividades virtuales. Sin embargo: “pocos son conscientes de que este aumento en el uso de Internet y sus servicios ha incrementado la carga de trabajo de los Centros de Procesamiento de Datos, lo que a su vez ha resultado en un aumento en el consumo de energía eléctrica” (p.34).

Esta situación también se ha observado a nivel mundial en el sector de Tecnologías de la Información y Comunicación, y se estima que ha generado entre el 2.5% y el 3% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Además, se proyecta que este porcentaje aumente hasta un 14% para el año 2040. Por ello, se hace necesario incorporar procesos de estimación de huella de carbono en establecimientos de diversa índole, que permitan tomar medidas que coadyuven en mitigar el impacto. Por ello, se considera este proceso en el caso del proceso de trituración, en el marco de reciclaje de los NFU, como un aspecto destacado dentro de los propósitos investigativos. (Sampedro et al., 2021)

En esta misma línea temática, se evidencian los aportes desarrollados por Mayorga [et al.]. (2020) al reafirmar la problemática presente en la ciudad de Machala en Ecuador, referida a la disposición y tratamiento de neumáticos en desuso, considerando “la relación entre las variables: crecimiento poblacional y el número de automóviles matriculados anualmente en esta ciudad y la afectación de este residuo especial al medio natural y a la salud humana”. (p.9).

En razón de lo anterior los NFU terminan en los bordes de las carreteras, botaderos a cielo abierto y cuerpos hídricos existentes en la Provincia del Guayas y en algunos casos son quemados al aire libre liberando CO₂, aportando a la generación de los gases de efecto invernadero y por ende al calentamiento global.

Así mismo, se reporta el estudio de Rodríguez et al., (2022) donde resaltan conceptos vinculados a la economía circular como una alternativa para la generación de propuestas que, por un lado, promuevan la sostenibilidad económica y, por otro, permitan abordar situaciones ligadas a la convivencia adecuada de las actividades del ser humano con el ambiente.

Tal es el caso, cuando los autores destacan lo siguiente: “los neumáticos usados pertenecen a un grupo especial de residuo porque constituyen problemas de salud y ambientales, porque pueden llegar a ser fuente de diversas enfermedades, que con el tiempo tendrán que requerir tratamientos especiales para su erradicación”. (p.135). de esta manera, dentro de los procesos de uso frecuentes para la reducción de este tipo de materiales destaca a la trituración.

También resultan significativos los aportes de Garabiza, Prudente y Quinde (2020), al destacar la importancia de atender la problemática de los NFU:

Tarda un aproximado de 1.000 años en degradarse, si no se le da el tratamiento adecuado a este tipo de desechos pueden resultar altamente contaminantes; el almacenaje de estos NFU permite la propagación de plagas y enfermedades; además, de existir riesgo de incendio, en dónde su combustión emite gases altamente peligrosos que atentan contra la salud y el medio ambiente, debido a los componentes con los que están fabricados. (p.231)

Como alternativa de solución a la problemática, el Sistema Ecuatoriano de Gestión Integral de Neumáticos Usados (SEGINUS) durante el año 2018 bajo aprobación y supervisión del Ministerio de Ambiente implementó un sistema en dos fases que cubrió el 80 % del mercado comercializador de neumáticos con el propósito de dar un manejo sustentable a los NFU del Ecuador, y en razón de ello se cobrará un ecovalor reflejado en las facturas de los usuarios al momento de adquirir neumáticos nuevos. (Diario " El Universo", 2018) La primera fase corresponde a los neumáticos de vehículos livianos y la segunda fase integrará a los neumáticos de vehículos pesados. Es conocido en Ecuador que el 90% del mercado de importación de neumáticos corresponde para vehículos livianos según Reporte de Ecuador en Cifras (INEC, 2016)

El programa Sistema Ecuatoriano de Gestión Integral de Neumáticos Usados (Seginus) desde el año 2018, impulsado por el gobierno central ecuatoriano, se ha ocupado de brindar transporte para la recolección, almacenamiento y disposición final a través del aporte de 1 Usd (ecovalor) por cada llanta nueva de vehículos livianos. Los usuarios deben de dejar sus llantas usadas en los establecimientos comerciales por el eco valor que pagaron al comprar llantas.

La normativa actual según el Acuerdo Ministerial 191 fechado el 29 de enero de 2013 con Registro Oficial No. 881 “Instructivo de aplicación del principio de responsabilidad extendida establecido en el reglamento para la prevención y control de la contaminación por sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales, para equipos celulares en desuso”, exige que los importadores y productores de neumáticos reciclen el 35%.

Por esta razón surgen los Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que contemplan iniciativas y herramientas canalizando propuestas de mitigación y adaptación; tal como es el caso de la “estimación del factor emisión de CO₂” como base para el cálculo de la línea base en proyectos que involucran el uso de energía relacionándolo con la Huella de Carbono. Estos proyectos tienen como fin último la eficiencia energética en cualquier proceso existente en los diversos mercados.

Por otro lado, como parte de la adopción de los MDL, el Ecuador, a través de la Comisión Técnica de Determinación de Factores de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a partir del año 2010, viene actualizando el valor del factor: y en el año 2013 con base a los años anteriores, empleando herramientas de cálculo versión V4.0.0 para sistemas eléctricos (Tool to calculate the emission factor for an electricity system) informan sobre los resultados obtenidos sobre la estimación del Factor de Emisión, el cual es F-E diésel (kg CO₂/TJ) 74100

Este resultado es actualmente usado para estimación de reducciones de emisiones de CO₂ en los proyectos asociados a MDL en el Ecuador por parte de las empresas tanto del sector público como privado. Con el propósito de promover la conservación de los ecosistemas y su relación con el cambio climático con fines de alcanzar la sostenibilidad y el buen vivir planteado en la Constitución.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Epistemología

La aplicación de la corriente filosófica del pragmatismo perfila a que las investigaciones científicas fusionen la teoría con la práctica a través de las

pruebas experimentales planteadas durante el transcurso de la investigación, y para el caso de la presentes tesis doctoral se propone la evaluación de la huella de carbono generado por las alternativas de procesos de trituración de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU), incluyéndose la evaluación del impacto ambiental a través de los consumos energéticos propios de estas alternativas tecnológicas.

En este sentido, se coincide con Moreno (2013) cuando ofrece una perspectiva, citando a Laudan, al referir que: “las tradiciones de investigación generalmente constan de al menos estos dos componentes: 1) Un conjunto de creencias acerca de las clases de entidades y procesos que conforman el dominio de indagación (al ontología)” (p.10). Así mismo, destaca el autor: “2) un conjunto de normas epistemológicas y metodológicas acerca de cómo investigar ese dominio, cómo comprobar las teorías, cómo recoger los datos, y cosas similares” (op cit).

De la misma manera, uno de los exponentes de la corriente pragmática es Friedrich Nietzsche quien postuló conceptos naturalista y voluntarista tal como se cita a continuación en un texto referente: “a partir de su concepto naturalista y voluntarista del ser humano, enseñó: la verdad no es un valor teórico, sino sólo una expresión para designar la utilidad, aquella función del juicio que conserva la vida y sirve a la voluntad de poder”. (Silverman, et al., 2011, pp. 312-343)

De acuerdo con ello, la presente investigación planteó la incorporación del conocimiento de la huella de carbono en la evaluación de los procesos de trituración con el propósito de identificar aquellos mecanismos que generaron mayor gasto energético que por ende se transformó mediante cálculos en Ton de CO₂, lo que implicó un efecto importante sobre el incremento de Gases de Efecto Invernadero.

Por otra parte, vale mencionar los aportes de Morín, en su teoría educativa, acerca de los ejes transversales tales como: elementos ecológicos, cuidado ambiental, cuidado a la salud que alcanzan la reducción de riesgos y peligros a la salud de pobladores que están expuestos a desechos contaminantes; elementos que están inmersos a lo largo de la presente investigación como efectos importantes que justificaron el desarrollo del presente tema.

Así mismo, la corriente del racionalismo se aplicó al raciocinio de los resultados de las experiencias planteadas como parte del diseño experimental desarrollado en las pruebas de trituración de los NFU, el cual se ejecuta con libertad de pensamiento porque se realizó con diferentes modelos de cuchillas de corte con el objetivo de alcanzar trituración fina que permitió incorporarse a un nuevo proceso existente en el mercado del aprovechamiento de los NFU, procesos como fabricación de alfombras, mezclas botuminosas asfálticas y otros adaptables al producto final de triturado.

Así mismo, destaca hay que considerar al racionalismo (de ratio, razón) a la posición epistemológica que ve en el pensamiento; esto es, en la razón, la fuente principal del conocimiento humano. De acuerdo con ella, un conocimiento en realidad sólo amerita esta denominación cuando es necesario desde el punto de vista lógico y su validez es universal. Los juicios fundados en el pensamiento, los procedentes de la razón, poseen necesidad lógica y validez universal; los demás no. (Romero, 2016)

Por lo anteriormente expuesto, la corriente del racionalismo fue considerada durante todo el análisis de los niveles productivos implicados para la aplicabilidad de los mecanismos trituración, los cuales adicionalmente se evaluaron para conocer los factores que permitieron calcular la Huella de Carbono, y finalmente hacer una matriz comparativa que conllevó al análisis exhaustivo de los consumos energéticos transformados en emisiones de carbono. La importancia justamente radicó en que actualmente se requiere el reforzamiento de la cultura ambiental por la humanidad. (Mirabella & Allackera, 2017)

Hay que destacar que el individuo o el hombre es un ser complejo por lo tanto todo lo que se propone realizar es producto de su condición. El holismo (enfoque relativamente moderno) toma en cuenta la verdadera dimensión del hombre; por lo tanto, cuando de la gestión del conocimiento se trata, se hace necesario un modelo integrador que los autores de esta investigación lo identificaron como modelo holístico. (Martínez Cardana, 2014)

De esta manera, la temática de la presente tesis doctoral mostró al ser vivo desde la perspectiva multidimensional, incluyendo la conciencia del cuidado del

entorno que actualmente se ve afectado por el aumento de desechos sólidos peligrosos como lo son los NFU que en muchos casos son abandonados en quebradas, vías, desagües, y otros similares sin darle opciones claras como valor agregado dentro de la cadena productiva local; siendo este un enfoque holístico que permite al ser vivo construir conocimientos empleando experiencias que alcanzan significados en el acto de vivir y su desarrollo humano; transformando con este conocimiento, las distintas vías para el aprendizaje continuo a favor del cuidado del entorno y del aprovechamiento de residuos, como un contexto general que puede, estratégicamente, incorporarse en el mercado local a través de medianos emprendimientos.

Finalmente, se habló de un todo que llega a la científicidad holística y reflexiva. Para ello, hay que considerar los aportes de la epistemología, como forma integral y holística de la base científica de sus ramas en la ciencia. (Yucra y Bernedo, 2020), asumiendo la integralidad sistémica de los procesos, que para el caso de los NFU implicaría alcanzar la Sostenibilidad, lo cual, se convierte en un tema pertinente a la holística debido a que es un problema actual que involucra la reflexión de la sociedad como parte de la solución y quienes finalmente escogen las alternativas tecnológicas a través de sus prácticas empresariales, que en ocasiones pudieren no ser eficientes, ni óptimas e incluso poco objetivas dentro del marco de la sostenibilidad.

Ello, considerando una reflexión sobre las variables que inciden en los cortes y los beneficios sociales- económicos replicables que contribuyen al desarrollo social.

Se trata de la búsqueda Reflexiva de la verdad sobre el consumo energético relacionado a la huella de carbono al momento de transformar un Neumático Fuera de Uso y su incidencia en el calentamiento global de la tierra, atendiendo a criterios que, según Yucra y Bernedo (2020) asumen que: “la epistemología es parte del estudio de la filosofía, cuya tarea es describir, orientar y criticar la existencia de la ciencia, a través del método científico, a lo que hoy denominamos el conocimiento científico”(p.116)

2.2.2 Bases Teóricas Vinculadas a la Variable del Estudio.

2.2.2.1 Variable Independiente: Optimización de Tecnologías para el triturado

En la actualidad existe la necesidad de establecer proyectos sostenibles que involucren cambios en las actividades antropogénicas siendo el caso del Aprovechamiento de los NFU, debido a que si se continúa con la misma cantidad de generación de desechos sin darle un tratamiento que incluya valores agregados continuaremos generando un problema ambiental para el entorno en el mundo.

Por lo anteriormente mencionado, a través de la presente investigación, se planteó desarrollar alternativas de selección de mecanismos de trituración de los NFU que estén ligados al gasto energético como proceso productivo y su posterior representación como Huella de Carbono.

Finalmente se planteó la búsqueda de alternativas que no sólo mejoren la calidad de vida, sino que se mitigue el problema ambiental que es una de las causas del Calentamiento Global.

En este orden de ideas, los neumáticos, de acuerdo con Ramírez, Orjuela y Angulo (2020): “es una cubierta de caucho o goma junto con otros agregados como el acero, óxido de zinc, textil, azufre, aditivos entre otros con el fin de soportar altas temperaturas y gran fricción con el pavimento”. (p.45).

Uno de sus principales componentes lo es el caucho, que según los citados autores: “se conoce como una sustancia elástica, impermeable y resistente utilizada en la construcción de neumáticos” (op cit).

A continuación, se detalla la composición de los neumáticos como parte de la investigación que permitió identificar la tecnología de trituración adecuada. Véase Figura 3.

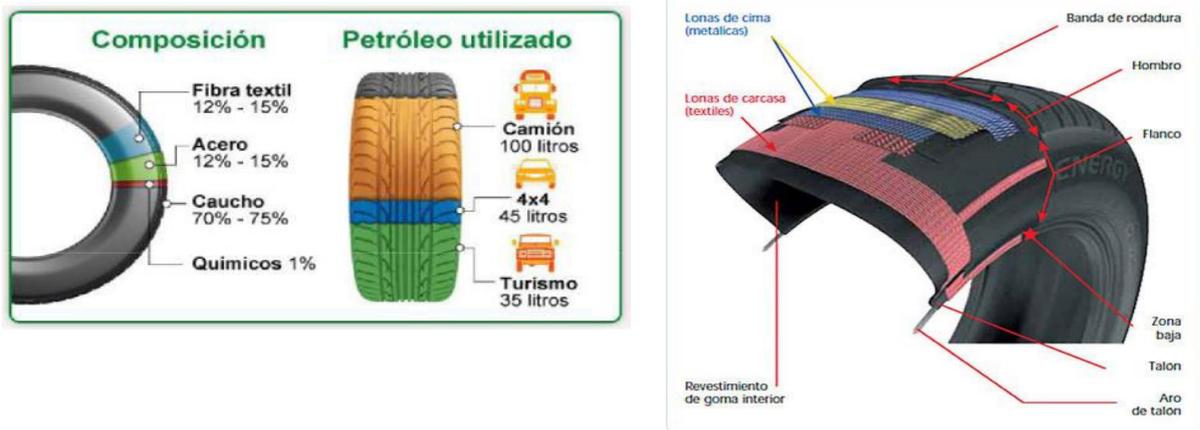


Figura 3. Partes de un neumático. Fuente: Ramírez, Orjuela y Angulo (2020) y Rodríguez (2017)

De esta manera, se precisan, según Rodríguez (2017):

- Banda de Rodamiento: compuesta generalmente de hule, interface entre la estructura del neumático y el asfalto, cuyo principal objetivo es brindar tracción y frenado.
- Cinturón de acero que proporcionan resistencia y estabilidad a la banda de rodamiento, protegiendo de pinchaduras.}
- Capa radial: que contiene la presión de aire además de transmitir todas las fuerzas producidas por la carga y cambios de dirección.
- Flancos de caucho: fabricado para resistir la flexión y sellante que son capas de hule que se encargan de resistir la difusión de aire.
- Carcasa: Proporciona transición suave entre el área rígida del talón al área flexible de la pared.
- Talón: cuerpo conformado por alambres de acero de alta resistencia y el Refuerzo es la capa exterior a la radial que estabiliza y refuerza el relleno en la zona de transición.

2.2.2.2. Composición de Neumáticos

Entre los polímeros más usados en la fabricación de neumáticos son el estireno-butadieno, poli-isopreno y polibutadieno, que contiene óxido de zinc, azufre y negro de carbono (20-30% combustión incompleta de hidrocarburos) y otros compuestos metálicos. La presencia de metales pesados es menor del 0.1%

en peso exceptuando al zinc.

Cuadro 3
Características de neumáticos. Neumáticos de Pasajeros (automóviles y camionetas)

COMPOSICIÓN	PORCENTAJE %
Caucho natural	14
Caucho Sintético	27
Negro Humo	28
Acero	14-15
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16-17
Peso promedio	8.6 Kg
Volumen	0.06 m ³

Fuente: (Castro, 2008)

Cuadro 4

Características de los Neumáticos MCT (camiones y microbuses)

COMPOSICIÓN	PORCENTAJE %
Caucho natural	27
Caucho Sintético	14
Carbón Negro	28
Acero	14-15
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc	16-17
Peso promedio	45.4 Kg
Volumen	0.36 m ³

Fuente: (Castro, 2008)

Aunque suelen variar según el tipo de neumáticos y el país de fabricación, los diferentes elementos químicos que componen un neumático (Castro, 2008) se muestran en la tabla 2 y 4 junto a sus porcentajes respectivos:

Cuadro 5

Análisis químico del neumático

ELEMENTO	PORCENTAJE
Carbono (C)	70
Hidrógeno (H)	7
Azufre (S)	1.3
Cloro (Cl)	0.2 -0.6
Hierro (Fe)	15
Óxido de Zinc (Zn O)	2
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	5
Cromo (Cr)	97 ppm
Niquel (Ni)	77 ppm
Plomo (Pb)	60-760 ppm
Cadmio	5-10 ppm
Talio	0.2-0.3 ppm

Fuente: Ramos A, edición Holderbank (1997). Combustibles alternativos.

2.2.2.3. Tecnologías y métodos de recuperación

En la actualidad se pueden utilizar diversos métodos para la recuperación de neumáticos y la destrucción de sus componentes peligrosos.

2.2.2.3.1. Termólisis

Según Rodríguez (2017), la termólisis es “un proceso térmico en ausencia de oxígeno que se emplea generalmente para la recuperación de los compuestos que forman los neumáticos”. (p.41). Efectivamente, se trata de un sistema en el que se somete a los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos, aparecen entonces cadenas de hidrocarburos. Es la forma de obtener, de nuevo, los compuestos originales del neumático, por lo que es el método que consigue la recuperación total de los componentes del neumático. Se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de

producción de neumáticos u otras actividades. (Rodríguez, 2017)

2.2.2.3.2 Pirólisis

En la actualidad, se enfoca en gran medida en la valorización de residuos al recuperar la mayor cantidad posible de los compuestos presentes en su estructura, o al menos, al producir productos químicos intermedios que puedan ser utilizados como precursores de nuevas materias primas. Este enfoque es esencial para implementar modelos basados en la economía circular. En este sentido, la pirólisis, implica un proceso de reciclaje químico que requiere un poco de energía para llevarse a cabo, tiene la capacidad de separar una gran cantidad de compuestos de los neumáticos, generando compuestos más pequeños, simples y versátiles que pueden ser incorporados en nuevos procesos. (Sanchís et al., 2022)

En general, la pirólisis de neumáticos fuera de uso (NFU) produce tres fracciones principales: una corriente gaseosa rica en hidrocarburos ligeros, incluyendo el hidrógeno, que puede utilizarse para abastecer la energía requerida por el propio proceso de pirólisis; una corriente líquida de hidrocarburos con características similares a un tipo de gasoil intermedio, que contiene una cantidad significativa de compuestos aromáticos de un solo anillo y, dependiendo de cómo se lleve a cabo el proceso de limpieza, todos estos compuestos resultan de gran interés para aplicaciones industriales. (Sanchís et al., 2022)

2.2.2.3.3 Incineración

Vega (2020) precisa que la incineración implica “la quema o combustión del neumático (hay presencia de Oxígeno). Se produce calor que puede ser utilizado como energía y en adición a esto, los neumáticos pueden quemarse sin llevar a cabo trituración; pero este proceso emite gases peligrosos al ambiente”. (p.48) Ciertamente, constituye un proceso por el que se produce la combustión de los materiales orgánicos del neumático a altas temperaturas en hornos con materiales refractarios de alta calidad. Muy costoso y que presenta el inconveniente con respecto a la velocidad de combustión de los diferentes

componentes y la necesidad de depuración de los residuos por lo que no resulta fácil de controlar contribuyendo a la contaminación. El calor generado puede ser usado como energía, ya que se trata de un proceso exotérmico. Con este proceso, los productos contaminantes que se producen en la combustión son muy perjudiciales para la salud humana. Además, el hollín producido contiene cantidades importantes de hidrocarburos aromáticos policíclicos, altamente cancerígenos. Y el zinc, es particularmente tóxico para la fauna acuática. (vega, 2020)

Otro peligro que hay que destacar es que muchos de estos compuestos son solubles en el agua, por lo que pasan a la cadena trófica bioacumulándose. Sin embargo, esta alternativa se direcciona al aprovechamiento de los neumáticos fuera de uso como combustible en incineradores. (Vega, 2020)

2.2.2.3.4 Trituración criogénica

La complejidad de las instalaciones necesarias para este proceso dificulta su viabilidad económica, y el mantenimiento tanto de la maquinaria como del proceso resulta complicado. Además, la baja calidad de los productos obtenidos y los desafíos técnicos y económicos asociados a la purificación y separación del caucho, el metal y los materiales textiles presentes en los neumáticos hacen que esta opción sea poco recomendable (Vega, 2020). En el caso de Ecuador, esta alternativa estaría descartada.

2.2.2.3.5 Trituración mecánica

Se trata de un proceso exclusivamente mecánico, lo que garantiza que los productos obtenidos sean de alta calidad y estén libres de impurezas, lo que facilita su uso en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración mediante sistemas mecánicos suele ser el primer paso en diversos procesos de recuperación y aprovechamiento de residuos de neumáticos. En Ecuador, actualmente se utiliza en la industria de baldosas y pisos, así como en el uso de neumáticos fuera de uso triturados como combustible. (Vega. 2020)

De acuerdo con Ekos (2014), en Ecuador se producen 18 toneladas de

caucho como materia prima para uso de canchas sintéticas, adoquines y otros; ocupando el caucho el segundo lugar en cantidades de residuos gestionados (18,246 Ton/año), el primer lugar lo ocupan las baterías y desechos electrónicos. Así mismo el Ministerio de Ambiente desde el año 2014 en conjunto con el Ministerio de Transporte y Obras Públicas trabajan en la aplicación del polvo del caucho para uso vial (mezclas botuminosas asfalto-caucho). Dentro del marco establecido de la matriz productiva del país (Pallo, 2016)

2.2.2.4. Aplicaciones de los neumáticos

2.2.2.4.1. Reciclado

Según Garabiza, Prudente y Quinde (2020), varias son las alternativas para aprovechar al máximo los NFU, entre ellos se destacan la creación de combustibles, asfalto, productos artesanales, su uso en áreas como parques, canchas y demás:

a. **Rellenos de césped artificial:** Los campos de césped artificial representan una de las aplicaciones de mayor consumo de granza de caucho, dotando a las instalaciones de un mayor confort y seguridad durante el juego y una considerable reducción del consumo de agua (utilizado actualmente). (Garabiza, Prudente y Quinde, 2020)

b. **Suelos de seguridad y parque infantiles:** La construcción de áreas de juego infantiles está sometida a reglamentaciones de construcción que implican el cumplimiento de parámetros de seguridad establecidos en la norma UNE en 1177. El empleo de granulados evita lesiones de los más pequeños y da seguridad a personas de avanzada edad. En su elaboración se utiliza una mayoría de granulados junto con aglomerantes y pinturas especiales que convierten a estas zonas de juego en lugares llamativos y seguros. Esta es otra alternativa que posee mayor aceptación en el mercado de usos de granulados a partir de caucho proveniente de neumáticos. (Peláez , Velásquez & Giraldo, 2017)

c. Mezclas bituminosas: c. Las mezclas bituminosas experimentan mejoras

significativas en sus propiedades y rendimiento cuando se modifican con polvo de neumático, ya sea directamente o a través de betunes que contienen polvo de neumático en su formulación. Estas mejoras se reflejan en la reducción de las grietas en las carreteras y el aumento de su vida útil, así como en mejoras en la seguridad al utilizar mezclas abiertas o drenantes. El polvo de neumático utilizado tiene un tamaño de partícula inferior a 0,8 mm, y se agrega entre el 1% y el 3% de gránulos de caucho en relación al peso de la mezcla. Esto garantiza que la mezcla sea flexible para su aplicación en las capas de rodadura (Carpio & Medina, 2013).

d. **Aplicación ornamental:** En jardines o rotondas también podemos encontrar material procedente del neumático. El material empleado se trata del producto CHIP, al que se ha sometido a un proceso de pigmentación especial. En esta aplicación además de su fin ornamental, reduce el consumo de agua de riego. (Castro, 2015)

e. **Suelas de calzados:** La fabricación de suelas de calzado se lleva utilizando desde hace tiempo en la fabricación tradicional, por la incorporación de polvo fino en las formulaciones del caucho, aunque limitado a mezclas oscuras debido al negro de carbono. (Garabiza, Prudente y Quinde, 2020)

f. **Fabricación de piezas de caucho:** Existen en el mercado numerosas piezas de goma que utilizan caucho en su formulación. El caucho reciclado obtenido del neumático, en forma de polvo, puede utilizarse como carga de refuerzo en mezclas de caucho o bien para fabricar piezas completas con este material. (Garabiza, Prudente y Quinde, 2020)

g. **Pantallas acústicas:** Las barreras acústicas o pantallas acústicas son una solución correctora que permite reducir los ruidos emitidos por fuentes principales. La gran capacidad de absorción de vibraciones del granulado de NFU así como su alta estabilidad ante agentes atmosféricos hace que se pueda utilizar como láminas de aislamiento acústico. (Garabiza, Prudente y Quinde, 2020)

h. **Barreras de protección en circuitos de seguridad:** El neumático presenta una gran capacidad de absorción de energía, además de gran resistencia a la intemperie. Es por ello, que su utilización en la construcción de barreras de protección de barcos, muelles y en muros de protección para circuitos automovilísticos es una realidad. (Garabiza, Prudente y Quinde, 2020)

i. **Reductores de altura de ola:** La combinación de varios efectos derivados de la forma, disposición y estructura del neumático sobre una estructura apropiada permite la construcción de sistemas de reducción de la altura de la ola en ubicaciones de aguas interiores o marítimas de exigencias moderadas. (Garabiza, Prudente y Quinde, 2020)

2.2.2.4.2. Obra civil

Según Garabiza, Prudente y Quinde (2020), también pueden tener las siguientes aplicaciones:

a. **Relleno ligero de terraplenes:** El triturado procedente del NFU se puede utilizar como material ligero para rellenar terraplenes construidos sobre suelos de baja capacidad portante. Para este tipo de aplicación, se utiliza como referencia la Norma ASTM D6270-08 ASTM D6270–08 “Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications” en la que se describen las condiciones de utilización del triturado procedente del NFU en aplicaciones de obra civil. Principalmente, se establecen los siguientes parámetros de diseño y calidad:

– La geometría del terraplén, la distribución de los NFU y el suelo. Calidad del triturado del NFU en cuanto a granulometría, contenido máximo de acero libre y expuesto y contenido de impropios. (Norma ASTM D6270-08)

– Aprovechamiento de superficie para balsas de almacenamiento e infiltración: El NFU entero puede utilizarse para la construcción de balsas, tanto de infiltración para mantener el ciclo hidrológico del agua como de retención para la reutilización del agua almacenada para otros usos. El elemento estructural de base es el neumático entero dispuesto en capas homogéneas de modo que no se produzcan asientos y que exista un reparto de las cargas sobre el conjunto de la estructura.

– Construcción de taludes: La construcción de taludes a base de NFU entero para evitar la erosión de agua puede sustituir materiales de construcción convencional (hormigón, piedras). La clave para el buen funcionamiento es la homogeneidad o regularidad de la construcción. Los neumáticos utilizados evitan el desmoronamiento del terreno con la ventaja de permitir el crecimiento vegetal y su integración en el entorno, además de simplificar su puesta en obra y la

reducción de costes de construcción.

b. **Aplicaciones en ingeniería de vertederos:** La ley permite la utilización de neumáticos en vertederos cuando se trata de aplicaciones de ingeniería civil. Tanto los neumáticos enteros como triturados se pueden utilizar en los vertederos.

c. **Relleno de trasdós de muros:** De aplicación en numerosos países, la utilización de NFU como relleno de trasdós reduce el empuje soportado por este muro. Como ventaja adicional, incrementa la capacidad de evacuación material de las aguas de escorrentía.

2.2.2.5. Etapas del triturado

Según Vásconez (2021), consta de varias series de etapas ordenadas en diferentes tipos y tamaños de máquinas, puesto que el uso de una sola máquina generalmente es insuficiente para obtener el tamaño requerido, el proceso de trituración puede contemplar varias etapas, dependiendo del tamaño de granulometría logrado por cada una de las máquinas, siempre se denomina a la primera etapa “trituración primaria” y si este requiere el paso por otra máquina trituradora se lo denominará “trituración secundaria”.

a. **Fase del desprendimiento del alambre** se tendrá como primer paso la extracción del talón de las llantas la cual contiene los cordones de acero que dan rigidez necesaria para mantener el neumático acoplado al rin de acero, este paso del proceso se hace con una máquina que asegura la llanta por sus talones mediante dos pistones que hacen un movimiento en dirección contraria hasta obtener el cordón de acero. (Vásconez, 2021).

b. **Fase de trituración.** Esta fase, empieza por la trituración primaria la cual toma el material en su tamaño original habiéndose separado los hilos de alambre en paso anterior para luego empezar el proceso de reducción en partes más pequeñas. Obteniendo diferentes tamaños dependiendo de la máquina y las veces que se recircule se pasara a una trituración secundaria y terciaria si es necesario hasta obtener tamaño de 1 pulgada. (Vásconez, 2021).

c.Fase del granulado. En esta fase se procesan partes de tamaños inferiores a 1 pulgada, generalmente se disminuyen las partes hasta una granulometría inferior a 15 m.m. dependiendo de la maquinaria que se utilice, entre menor sea el tamaño requerido para continuar con el proceso, generalmente medido en Ton/h. (Vásconez, 2021).

d.Etapa de refinación. Se logra que el material obtenga tamaños desde 3 a 5 m.m., facilitando el proceso de extracción de partículas metálicas, esto se lleva a cabo por medios magnéticos. (Vásconez, 2021).

e.Fase de pulverizado. La fase final opcional de este proceso es llamada pulverización en la cual se obtiene como producto polvo de caucho de aproximadamente 400 micras, este producto final es menos común y menos utilizado en la industria en comparación con el que se obtiene en la fase anterior, ya que este caucho pulverizado se procesa para ser usado como materia prima de procesos más especializados. (Vásconez, 2021)

2.2.2.6. Trituradora cortante a construir como prototipo

El mecanismo de corte opera muy semejante a unas tijeras, en el cual las cuchillas rotan en sentido opuesto sobre ejes. Se conoce que las velocidades de operación de estos sistemas corresponden a los rangos entre 60-120 rev/min.

Este tipo de trituradora utiliza motores que son operados bajo encendido expreso y accionan marcha atrás en caso de que al momento de cortar el residuo se atasque. Este mecanismo de trituración puede ser diseñado por varios ejes giratorios según la necesidad. En el caso de la presente investigación, se trata del diseño de dos ejes paralelos que giran en sentido opuesto. (Fig. 4).

Si bien es cierto que la construcción de una trituradora de dos ejes representa una mayor complejidad en el diseño comparado con las de un eje, así como mayor costo de fabricación, para efectos del trabajo de investigación, se ha seleccionado por: su alta capacidad de trituración, mayor fuerza de corte, capacidad de trituración y menor mantenimiento (Andino J, 2018)

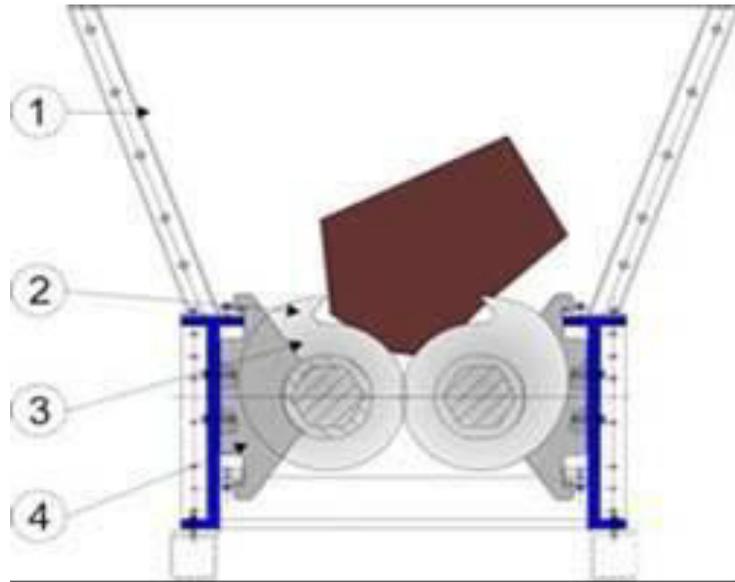


Figura 4. Trituradora de Dos Ejes. Fuente: Tchobanoglous George, *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, 1994

El detalle de la numeración corresponde a: 1) La Tolva, 2) Dientes: La función que cumplen es la de agarrar el neumático, arrastrarlo y cortarlo. 3) Ejes cortantes con discos de corte caracterizados por dientes que varían según el diseñador. Los ejes son contragiratorios. 4) Distanciadores que facilitan descarga del material triturado. (Tchobanoglous, 1994)

2.2.2.7. Alternativas del aprovechamiento del caucho triturado reciclado

Existen varias alternativas para el aprovechamiento del caucho proveniente del producto de la trituración de los neumáticos fuera de uso, y como anteriormente se mencionó existe diferente granulometría del tamaño del caucho, la cual puede destinarse a la producción de suelas de zapato, alfombras, baldosas plásticas para pisos, maceteros, césped sintético y aditivo para mezclas botuminosas con asfalto.

Es importante mencionar que para el caso puntual de las mezclas botuminosas el caucho actúa como un mejorador de características, tales como resistencia a temperaturas, plasticidad, cohesión, impermeabilidad, elasticidad en la construcción de caminos. Adicionalmente se aplica como sello de riego asfáltico tipo membrana de absorción de tensiones en grietas (Camargo, 2010, págs. 31-

32) Con respecto al rango requerido de la granulometría del caucho triturado reciclado para ser agregado a la mezcla asfáltica en caliente (proceso de vía seca) este debe tener 595 micras a 2 m.m. (Ocampo, Caicedo, & González, 2015)

Otra de las aplicaciones del caucho triturado reciclado, es en la construcción de pisos para canchas deportivas e instalación de césped artificial debido a la capacidad de absorción de impacto (Cardona L, 2011) Sin embargo existen rangos granulométricos para la fabricación de la capa amortiguante inferior de las pistas atléticas, el cual se encuentra desde 3 a 6 m.m., mientras que para la capa superior de las pistas se establece un rango desde 1 hasta 4 m.m. Bogotá (2018). Por otro lado, para fabricar césped sintético la granulometría requerida se encuentra en un rango desde 2 a 4 m.m. (Méndez y Solano, 2010)

2.2.2.8. Valorización energética

Combustible de sustitución: El alto poder calorífico (7.500 Kcal/kg), superior al del carbón, le convierte en un buen combustible para instalaciones industriales de grandes consumos energéticos como la industria cementera. La utilización del neumático fuera de uso como combustible aprovecha la energía térmica del combustible sólido recuperado (CSR) producido a partir de los mismos. Además de energía, en este proceso en concreto se aporta hierro para la composición del clínker. El NFU utilizado puede ser triturado o entero dependiendo del tipo de instalación de consumo.

La composición de NFU resulta ser muy ventajosa, tanto para la industria cementera como para el medio ambiente por las siguientes razones:

- Bajo contenido de humedad respecto a otro tipo de combustibles, por lo que no es necesario un sistema de secado previo a la entrada del horno.
- Contenido en azufre bajo, lo que supone una reducción de las emisiones de SO_x respecto a los combustibles convencionales.
- Disminución de las emisiones de CO₂ computables debido al origen renovable del contenido de caucho natural del neumático. Entre un 22% y 34% del carbono contenido en el neumático procede de fuentes biogénicas neutras desde

un punto de vista de emisiones de CO₂.

2.2.2.9. Variable dependiente: Valoración energética y huella de carbono

Por lo anteriormente mencionado, a través de la presente investigación se planteó desarrollar una matriz de selección de mecanismos de trituración de los NFU que están ligados al gasto energético como proceso productivo y su posterior representación como Huella de Carbono. Dicho de otro modo, se planteó una estrategia mediante la cual se organizaron las actividades antropogénicas productivas del aprovechamiento que gravan valores representativos de kwh como Huella de Carbono, siendo el fin último la búsqueda de alternativas que no sólo aportan al sistema productivo de la trituración, sino que se mitigue el problema ambiental que es una las causas del calentamiento global. (Infante & Valderrama, 2019)

Hoy en día se desarrollan una serie de escenarios conocidos como bajos y altos en carbono y por ende las sociedades se plantea como objetivo la reducción de los GEI y en particular las emisiones de carbono sin sacrificar la economía ni el crecimiento significativo del aparataje económico. Y esto a su vez está ligado al uso mínimo de energía usando eficientemente los recursos. Otra alternativa es el uso de energías renovables y la corrección de hábitos que causan derroche de energía asociados al concepto de malas prácticas de manufactura. (Infante & Valderrama, 2019)

La concepción de una sociedad baja en carbono en definitiva es la respuesta al calentamiento global para alcanzar la sostenibilidad, esto induce a pensar en establecer nuevos modelos de desarrollo de la sociedad con la incorporación de planes de acción para mitigación y adaptación al cambio climático. (Infante & Valderrama, 2019)

2.2.3.. La valoración energética en sector industrial y repercusiones frente a consumos nacionales

La energía como tal es el motor del desarrollo a nivel nacional y mundial, sin

embargo, se le atribuye los mayores efectos sobre los problemas ambientales enfocándose al macro efecto del calentamiento global. Así, los países en desarrollo en su afán de crecimiento han elevado sus niveles tecnológicos, así como los niveles de contaminación y por ende dichos controles se han tornado un proyecto complejo. Los actuales estándares de la economía indican una estrecha relación con los consumos energéticos, así como la posibilidad de ahorro y la mitigación del cambio climático. (Prado & Castro, 2017)

Uno de los principales indicadores es la eficiencia energética de la economía, la cual logra definir los consumos energéticos según cada actividad antropogénica, detectando aquellos puntos críticos para posteriormente emprender actividades que alcancen la eficiencia del sistema analizado. Inclusive se habla de medir el consumo de energía por unidad de producto interno bruto.

A continuación, se muestra la tabla 5 sobre Intensidad Energética concebida por (Prado-Castro & Castro Armijos, 2017) en la que se visualizan los consumos energéticos por sectores productivos del Ecuador y ha sido elaborada según la presión ejercida sobre los recursos naturales por las fuentes de energía utilizadas relacionando estos valores con el producto interno bruto. Estos valores corresponden a un análisis durante los años 2000, 2011 y 2012.

Cuadro 6

Intensidad Energética, consumo energético expresado el KBep

Consumo	Año de estudio		
	2000	2011	2012
Energético sector transporte	1367.87	569.16	525.49
Energético sector industrial	626.18	196.43	193.49
Diesel	867.85	340.88	323.61
Gasolinas y naftas	589.51	257.87	242.82
GLP	282.70	99.93	91.85

Fuente: Prado-Carpio, E., Castro, C. J. (2017)

Tal como se observa, los mayores valores son los provenientes del consumo energético sector transporte, seguido del consumo de diésel.

2.2.3.1. El factor de emisión de CO₂ relacionado a la obtención de la energía eléctrica.

Se conoce que durante el año 2014 el Ecuador generó 24307.2 GWh de energía eléctrica y se importó 836.7 GWh, la cual se genera en parte a partir del uso de combustibles fósiles liberando Gases de Combustión que contribuyen al incremento de los Gases de Efecto Invernadero debido a los procesos de combustión convencionales asociado a los bajos rendimientos energéticos que suelen variar entre 0.3 y 0.35. (Parra, 2015). En la Figura 5 se apreció la composición en porcentaje de la generación de electricidad en el Ecuador, donde el 49.1 % corresponde a las fuentes no renovables o fósiles durante el año 2014, lo cual significa que existe una contribución importante de generación de emisiones debido al consumo de combustible. Parra René (2015)

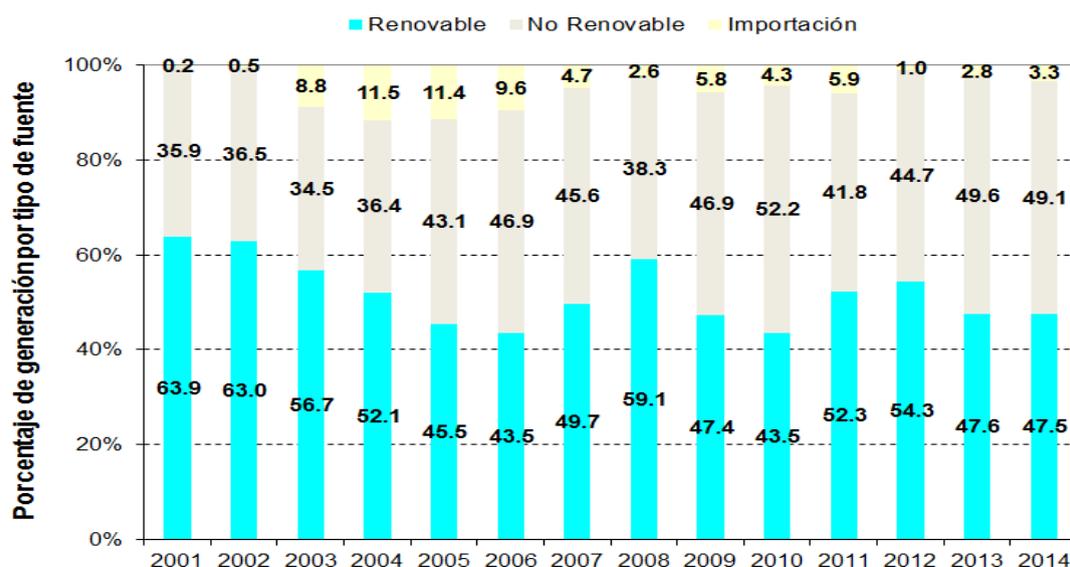


Figura 5. Composición en porcentaje de la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 - 2014 por tipo de fuente. Fuente: Parra René (2015)

2.2.3.2. El factor de emisión en Ecuador

Identificado según estudios recopilados en el Consejo Nacional de Electrificación y la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, la existencia de una tabla que evalúa el poder calorífico según el combustible y el factor de

emisión eléctrica correspondiente a las cantidades de emisiones de CO₂; cuyo propósito es encontrar formas de control de emisiones de GEI asociada al consumo eléctrico. (Cuadro 7)

Cuadro 7

Propiedades de los combustibles utilizados para la producción bruta de electricidad en el Ecuador año 2001-2014

Combustible	Poder calorífico			Factor de emisión de CO ₂			Densidad			Observaciones
	Valor	Unidad	Fuente	Valor	Unidad	Fuente	Valor	Unidad	Fuente	
Fuel oil	40.4	TJ Gg ⁻¹	[6]	77 400	kg TJ ⁻¹	[4]	944	kg m ⁻³	[7]	
Diesel 2	43	TJ Gg ⁻¹	[6]	74 100	kg TJ ⁻¹	[4]	845	kg m ⁻³	[7]	
Nafta	44.5	TJ Gg ⁻¹	[6]	73 300	kg TJ ⁻¹	[4]	739	kg m ⁻³	[7]	Se asume la densidad de la gasolina
Gas natural	48	TJ Gg ⁻¹	[6]	56 100	kg TJ ⁻¹	[4]	0.042	Lb pie ⁻³	[7]	
Residuo	40.4	TJ Gg ⁻¹	[6]	77 400	kg TJ ⁻¹	[4]	944	kg m ⁻³	[7]	
Crudo	42.3	TJ Gg ⁻¹	[6]	73 300	kg TJ ⁻¹	[4]	874	kg m ⁻³	[7]	
Gas licuado de petróleo	47.3	TJ Gg ⁻¹	[6]	63 100	kg TJ ⁻¹	[4]	528.6	kg m ⁻³	[7]	70% propano + 30% butano
Bagazo de caña	2220	kcal kg ⁻¹	[8]	780	kg Mg ⁻¹	[6]				

Fuente: Parra René (2015)

A partir del cuadro 7 es posible determinar el factor de emisión de CO₂ (gkWh⁻¹), para el año 2014 se estimó el factor de emisión de 342.5 g CO₂ kWh⁻¹ en correspondencia con el 49.1 % visualizado en la Figura 5.

Uno de los propósitos de este tipo de análisis y estudio es justamente establecer acciones futuras para la reducción del factor de emisión, en conjunto con cambios tecnológicos de los procesos de obtención de energía.

Dentro de este marco técnico analítico, se enlaza el presente proyecto de investigación sobre la búsqueda de alternativas tecnológicas que permitan el aprovechamiento de los NFU cuidando del gasto energético durante el proceso de triturado. Cabe recalcar que el factor de emisión de CO₂ es un elemento importante para calcular la huella de carbono.

2.2.3.3. Importancia y cálculo de la huella de carbono

La huella de carbono es la representación de las emisiones generadas por las fuentes de emisión, a través de los datos de consumo provenientes de una actividad multiplicado por el factor de emisión correspondiente según el alcance

que se establezca para el cálculo. Se hace notar que el cálculo corresponde al periodo anual de la actividad o evento a cuantificar. (Chacón, Pinzón, Ortegón, & Rojas , 2016)

La huella de carbono es un concepto cuyas interpretaciones señalan que es la correspondencia con la cantidad de concentración de gases de efecto invernadero, cuya expresión son las toneladas equivalentes de CO₂. (Ghaffar , Sawaid , & Faisal Mueen Qamer, 2010)

(Bárcena, Prado, Samaniego, & Pérez, 2015) Precisan que: El reto del cambio climático se asocia a la presencia de patrones productivos y de consumo insostenible, dependientes del uso de energías fósiles con altas emisiones de carbono. En consecuencia, el cambio climático impone límites y restricciones y obliga a reorientar el paradigma productivo y los patrones de consumo. El reto simultáneo de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas e instrumentar los procesos de mitigación, reconociendo al mismo tiempo las responsabilidades comunes por diferencias y las capacidades heterogéneas, es ciertamente extraordinario y condicionará las características del desarrollo del siglo xx (p. 7).

La metodología para evaluar la huella de carbono es una visión holística necesaria dentro de las actividades de las ciudades cuya aplicación sigue siendo deficiente en las escalas urbanas. En efecto, existen pocas formas de medición para su evaluación e implementación de actividades en las ciudades. Consecuentemente, debería de considerarse como aporte a los problemas relacionados al cambio climático y escasez del agua. (Espíndola & Valderrama, 2012)

La huella de carbono es uno de los métodos para evaluar el desempeño ambiental de las ciudades, a partir de la tendencia de los valores límites establecidos. Se conoce por investigaciones previas que la huella de carbono generada por cada individuo en el Ecuador es de 0.004 KgCO₂/ Ind/año de dióxido de carbono.

Una de las formas de evaluar más amplia es el modelo del metabolismo urbano (UM) que se basa en el flujo de energía empleado en las ciudades, que va desde su aprovechamiento, análisis del flujo de materia y energía (MEFA), analizando

entradas y salidas (I/O)

Carbon Trust (CT, 2007) es mucho más amplia, definir e incluir “las emisiones totales de gases de efecto invernadero en toneladas equivalentes de un producto a lo largo de su ciclo de vida desde la producción de las materias primas empleadas en su producción, incluso la eliminación del producto acabado”. (National Audit Office, 2007)

Otros autores la definen como concentraciones equivalentes de CO₂ (Dómenech, 2004; CT, 2007; POST 2008; BSI, 2008); Por otra parte autores como (Wiedman & Christoph Minx, 2007) prefieren limitarse exclusivamente a un único gas, el CO₂.

Al enfocarse el cálculo de la Huella de Carbono para empresas, se recomienda incluir a los bienes y servicios mientras se estima la producción de emisiones directas e indirectas. Sin embargo, existen casos en los cuales se podría especificar el alcance del cálculo de acuerdo a la conveniencia de lo que se desea mejorar en los procesos con sus respectivas actividades.

2.2.3.4 Procedimiento para el cálculo de la huella de carbono

Es necesario especificar que la metodología del cálculo de huella de carbono establece en términos generales los siguientes alcances:

- **Alcance 1.** Emisiones directas. Para lo cual considera el consumo de combustibles, uso de gases refrigerantes, consumos de combustibles en vehículos empleados durante las actividades o eventos
- **Alcance 2:** Emisiones indirectas según el consumo de electricidad.
- **Alcance 3:** Otras emisiones considerando: viajes usando transporte externo, servicios subcontratados (gestión de limpieza, residuos, entre otros y compras de otros productos

Para el cálculo fue necesario implementar un sistema de registro de información DATALOGER que registró Kwh, amperaje, y voltaje con el propósito de continuar con el registro los siguientes años. Una consideración especial fue la verificación del factor de emisión a emplearse durante el cálculo, ya que puede

variar según los factores referenciales de cada país.

Lo anterior, permitió identificar donde actuar para generar un Plan de Reducción que conllevó al establecimiento de medidas que se incluyeron acciones relacionadas a la reducción de consumo energético, se estableció el alcance 1 para dicho análisis del evento de triturado de NFU.

2.3 Marco conceptual o glosario

Carcasa: La carcasa de una llanta es la parte que se encuentra ubicada por debajo de la banda de rodadura y los costados; es la estructura que da soporte a la llanta. Esta estructura de refuerzo y tiene como función soportar el aire a presión contenido en la llanta; así como los esfuerzos derivados de la tracción y dirección

Emisiones de gases de efecto invernadero: Masa total de un GEI liberado a la atmósfera en un periodo determinado.

Equivalente de dióxido de carbono CO₂e : Unidad para comparar la fuerza de radiación de un GEI con el dióxido de carbono. El equivalente de dióxido de carbono se calcula utilizando la masa de un GEI determinado, multiplicada por su potencial de calentamiento global.

Factor de emisión: Es un factor que permite el cálculo de la huella de carbono; basado en las emisiones calculadas a partir de los nuevos factores si es que difieren significativamente de las estimaciones de años anteriores, se recalcula toda la serie histórica de emisiones a partir del año base.

Factor de Emisión de CO₂: es la masa estimada de toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera por cada unidad de MWh de energía eléctrica generada. FE unidades (kg CO₂/TJ)

GHG Protocol- Protocolo de Gases de Efecto Invernadero Es la herramienta internacional empleada para para calcular el inventario de emisiones.

Gases de efecto invernadero: Componente gaseoso de la atmósfera, tanto natural como antropogénico que absorbe y emite radiación de longitudes de ondas específicas, dentro del espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Los principales Gases de Efecto Invernadero son: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Perfluorocarbonos (PFCS), Hidrofluorocarbonos (HFCS), Óxido nitroso (N₂O) y Hexafluoruro de Azufre (SF₆).

Huella de carbono: Medida del impacto de las actividades humanas sobre el ambiente, influyen en el cambio climático, son las cuantificaciones de las emisiones de Gases de efecto invernadero que son liberadas a la atmósfera como consecuencia de las actividades de empresas, organizaciones o eventos

Organización: Compañía, corporación, firma, empresa, autoridad, institución, o una combinación de ellas, que está constituida formalmente, sea pública o privada y que tenga funciones y administración.

Trituración: Proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda. (Andino Bolaños & Oviedo Yagual, 2018)

CAPÍTULO 3: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis general

Mediante la metodología de huella de carbono, se puede optimizar la tecnología apropiada para el aprovechamiento de neumáticos fuera de uso en la industria, para su implementación en la Provincia del Guayas.

3.2 Hipótesis específicas

- a. Existen diferencias en los niveles operativos que involucran alternativas tecnológicas para las fases de trituración requeridos en los diferentes usos del producto para el desarrollo de la matriz de evaluación.
- b. Existen diferentes niveles de consumo de Kwh representativos en el corte de los NFU, según la granulometría.
- c. Existen diferencias en el cálculo de la huella de carbono según las combinaciones tecnológicas de las fases de trituración, en la Provincia del Guayas en el Ecuador

3.3 Identificación de Variables

- **Variable Independiente:** Optimización de tecnología (Triturado) que se define como las variaciones en el diseño de cuchillas empleadas para la trituración que causan el consumo de energía
- **Variable Dependiente:** Valoración energética y huella de carbono que es el cálculo de Ton CO₂ equivalente empleando factor de emisión (Kg de CO₂ eq/kWh) del Ecuador, usado durante el proceso de Trituración

3.4 Operacionalización de variables

Cuadro 8

Operacionalización de Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADORES
Optimización de Tecnología (Triturado)	Variaciones en el diseño de cuchillas empleadas para la trituración que causan el consumo de energía	<p>TECNOLÓGICA</p> <p>Tipo y Selección de Cuchillas para molino pulverizador de Caucho</p> <p>AMBIENTAL</p> <p>NFU que no se Reencauchan, que representan Desechos Especiales según la Normativa Ambiental Ecuatoriana TULSMAN.</p>	<p>Número de dientes de la cuchilla de corte.</p> <p>Número de discos ensamblados en eje</p> <p>Tamaño de grano de caucho pulverizado</p> <p>Consumos de kwh por máquina trituradora vs lote llantas Aro 13 triturada</p> <p>Consumos de kwh con dos fases de trituración vs lote llantas aro 14 pulverizada.</p> <p>Acciones de operación asociadas a factor de potencia con fines de reducir emisiones.</p>
VARIABLE DEPENDIENTE Valoración energética Huella de carbono	Cálculo de Ton CO ₂ equivalente empleando Factor de emisión (Kg de CO ₂ eq/kWh) del Ecuador	<p>TECNOLÓGICA</p> <p>Factor de Emisiones CO₂ eq en Ecuador</p> <p>AMBIENTAL</p> <p>Proceso Sostenible con uso de energía racional y adecuado manejo del residuo según lo planteado en el Convenio de Basilea</p>	<p>Ton CO₂ equivalente / lote NFU pulverizado</p> <p>Valor comparativo de Ton CO₂ eq del proceso trituración vs Ton CO₂ eq de una empresa local</p>

Fuente: Elaboración propia (2023)

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

El abordaje metodológico se compuso de varios procesos, en los cuales se recopiló y analizó la información que recabó la investigadora, en correspondencia al fenómeno objeto de estudio, interrogantes de la investigación y propósitos previstos. Ello, es coincidente con lo propuesto por Romero (2016) cuando estima que la selección de estrategias en el diseño de la investigación juega un rol significativo que determina el carácter de la investigación.

En este orden de ideas, Arias (2016) estima que el diseño de investigación refiere la estrategia que el investigador empleó, con el propósito de resolver los problemas planteados durante la investigación, así como los hallazgos y situaciones colaterales que aparecen durante la ejecución de las actividades de investigación. Otro de los propósitos considerados lo constituye la identificación del diseño experimental para la transferencia didáctica del conocimiento.

Es por ello que, cuando se realiza una investigación, se requiere ubicar la situación problemática a tratar en un esquema postura definida, con el objeto de orientarse en una de las tantas visiones filosóficas que guiará la búsqueda de acuerdo a las acciones planteadas. Estas acciones llevarán a la selección de un enfoque y este permitirá escoger un método de investigación con el propósito de tener un soporte filosófico, el cual está apoyado en un rigor científico basado en autores e investigadores.

En torno a esto, existen muchas maneras de percibir la realidad y cada investigador(a) se debe a un modelo o paradigma específico con el cual enfoca su estudio, con relación a esto Moreno, citado en Salas (2021) expresa que:

Un paradigma vendría a ser una estructura coherente constituida por una red de conceptos a través de los cuales ven su campo los científicos, una red de creencias teóricas y metodológicas entrelazadas que permiten la selección, evaluación y crítica de temas, problemas y métodos, y una red de compromisos entre los miembros de una comunidad científica, todo lo cual implica una definición específica del campo de la ciencia correspondiente, y se expresa en una tradición orgánica de investigación científica (p. 53).

Por otra parte, la escogencia de un determinado paradigma permite en la

investigación compartir un determinado enfoque junto a otros que, al igual, observan una misma postura y los unirá cierta empatía, en relación a ello Rivas Balboa, citado en Salas (2021) refiere que: “un paradigma es una red de creencias teóricas y metodológicas entrelazadas que permiten la selección, evaluación y crítica de temas, problemas y métodos, y establece una red de compromisos entre los miembros de una comunidad”. (p. 17).

En este orden, Finol & Vera (2020) expresan del paradigma cuantitativo lo siguiente: “el cuantitativo es de amplia aplicación en las ciencias naturales y ciencias exactas, surge en el siglo XIX y primeras décadas del siglo XX”. (p.5). Entre los exponentes más destacados se encuentran Augusto Comte (1844) y Emile Durkeim (1895) (Finol & Vera, 2020). Al respecto, Cisterna (2007) destaca:

El método científico de Augusto Comte, traspasa al campo de las ciencias sociales en el siglo XIX, con sus secuencias operativas, vale decir planteamiento del problema, interrogantes y formulación anticipados de hipótesis, las cuales son sometidas a contrastación, experimentación, replicabilidad, extracción de conclusiones y generalización de resultados en leyes y teorías. (p.21)

Ciertamente, Comte aborda su propuesta iniciando con el planteamiento del problema, lo que significa identificar y definir claramente el tema de investigación que se va a abordar. Luego, se establecen interrogantes o preguntas específicas que guiarán la investigación y ayudarán a obtener respuestas concretas en relación con el problema planteado. Posteriormente, se procede a la "formulación anticipada de hipótesis". En esta etapa, se proponen supuestos o predicciones sobre los posibles resultados de la investigación, con base en el conocimiento previo y las teorías existentes en el área de estudio. Una vez formuladas las hipótesis, estas son sometidas a contrastación, experimentación, replicabilidad, extracción de conclusiones y generalización de resultados en leyes y teorías. Es decir, se llevan a cabo investigaciones y experimentos para poner a prueba las hipótesis, y los resultados se analizan y comparan con el objetivo de obtener conclusiones basadas en la evidencia obtenida.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos y las conclusiones extraídas, se busca lograr la teorización. Esto implica establecer principios generales que puedan aplicarse a diferentes situaciones o contextos dentro del campo objeto de

estudio. Efectivamente, en esto coinciden Finol y Vera (2020) cuando expresan:

El paradigma cuantitativo, positivista sigue una secuencia lineal, sistemática, se plantea un problema, revisión de la literatura, teorías formales, formulación de hipótesis, se define una metodología con sus respectivos diseño, población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, instrumentos que deben cumplir con un proceso técnico de validez y confiabilidad, se analizan los resultados mediante el uso de estadística descriptiva, inferencial entre otros aspectos, basados en el método hipotético-deductivo e inductivo. (p.6)

De la misma manera, en correspondencia con estas ideas, Rodríguez (2003) indica que: “el positivismo tiene una posición ontológica totalmente realista” (p.25). además, agrega: “La realidad es objetiva, existe al margen de la razón y la conciencia humana sobre su existencia” (op. cit).

En correspondencia a este orden de ideas, la presente intención doctoral, planteó recopilar información del estado de arte del aprovechamiento de los neumáticos fuera de uso en la Provincia del Guayas a través de consultas a las diferentes instituciones nacionales como el Ministerio de Ambiente, Ministerio de Industria y Productividad, Cámaras de Industrias (mediana y pequeñas) y empresas locales vinculadas a esta actividad. Los datos recopilados facilitaron la selección de los elementos relevantes a utilizarse en el diseño de investigación. Efectivamente, para el desarrollo del presente trabajo sobre la optimización de la tecnología para el aprovechamiento de neumáticos fuera de uso (NFU) en la Provincia del Guayas enfocado a la reducción de huella de carbono, se consideró el enfoque cuantitativo para el análisis de datos y la obtención de resultados que permitieron el abordaje del fenómeno objeto de estudio.

4.1 Tipo y Diseño de Investigación

Toda investigación debe estar provista de un modo o forma que debe seguir para su desarrollo, de manera que siga los procedimientos establecidos por el enfoque seleccionado. Al respecto, Arias (2016) estima que el “método es la vía o camino que se utiliza para llegar a un fin o para lograr un objetivo” (p. 18).

Para efectos de esta investigación, el tipo de Investigación es de carácter

explicativa. La misma, busca el conocer, para hacer, para actuar, para construir, para modificar y generar alternativas tecnológicas en función de su aplicación con fines identificados.

En este sentido, Mousalli (2015) la define de la siguiente manera: “En muchas oportunidades el investigador puede estar interesado en establecer las relaciones de causa – efecto entre las variables características de los fenómenos, situaciones o eventos”. (p. 21). Así mismo, agrega: “La meta de toda la investigación explicativa es responder a la pregunta de por qué. La investigación explicativa intenta ir más allá de lo exploratorio y descriptivo de investigación para determinar las causas reales que producen un fenómeno”. (op cit)

Efectivamente, el nivel explicativo va un paso más allá de lo exploratorio o descriptivo. Su finalidad implica el precisar las razones y causas detrás del fenómeno observado. Busca establecer relaciones causales y entender los factores que contribuyen a la aparición del fenómeno en cuestión.

A ello, reviste importancia sumar lo planteado por Palella & Martins (2012) cuando destacan sobre la investigación experimental aplicada, la cual, es empleada con el fin de controlar variables e identificar factores que intervinieron durante la validación de hipótesis, planteadas al inicio de la investigación, incorporando los sujetos de estudio en la ejecución experimental como muestra.

Cabe destacar, además, que una parte de los datos fueron recopilados a través de una fase de revisión documental hermenéutica, la cual, estuvo presente a lo largo de toda la investigación y permitió reflexionar sistemáticamente en base a la observación de la realidad plasmada en documentos de diversas fuentes. La misma estuvo relacionada con el estado del arte de la realidad de estudio incluyendo investigaciones precedentes y estudios afines, así como las posiciones de los teóricos que han abordado los elementos presentes en la temática seleccionada.

En este caso, se procedió al levantamiento de la información necesaria para el desarrollo de esta investigación, utilizando para ello diversas fuentes de información, iniciando con una revisión documental que se desarrolló en diferentes

Centros de Documentación digitales, y otras casas de estudios superiores, así como bibliotecas. Igualmente se procedió a la búsqueda de información utilizando para tal fin los medios telemáticos con lo cual se obtuvo documentación on line de procedencia nacional e internacional. Efectivamente, esta acción corresponde a los aspectos relacionados a la recolección de datos de fuentes de información documental, constituida por estudios previos, documentos estadísticos, censos, entre otros. (Mousalli, 2015)

Este accionar investigativo se aplicó consecuentemente al estudio del estado de arte en el cual se localizó la existencia de información bibliográfica, hemerográfica en sitios web y papers relacionados con: el marco legal local, los procesos de trituración de los NFU, aplicaciones industriales del producto a partir de trituración, conceptualizaciones de la aplicabilidad de la Metodología de Huella de Carbono en procesos industriales y otras fuentes relativas al consumo energético vinculables a la generación de huella de carbono. (Tritotutto, 2008)

Así mismo se desarrolló una investigación de campo que definió variables dependiente e independiente relacionadas a las hipótesis de la investigación, cuyas condiciones son controladas durante el proceso de experimentación con el fin de evitar situaciones particulares que impidan aceptar o rechazar las hipótesis planteadas. Con respecto al diseño de la investigación doctoral planteada, se seleccionó el diseño experimental. (Mousalli, 2015)

Para la ejecución de este tipo de investigación conocido como investigación in situ se monitoreó un sistema destinado a la trituración gruesa y fina del caucho que representó el 80% de componente en los neumáticos fuera de uso (aro 13 y aro 14). Se identificaron como variables el consumo de los kwh/lote NFU, el número de dientes en las cuchillas usadas en el proceso, lo que finalmente, permitió el conocimiento a fondo de la relación existente con la generación de Ton CO₂ eq que representó el proceso usando un factor de conversión y a su vez, la selección tecnológica con la mejor alternativa del proceso de trituración que generó la menor huella de carbono.

4.2 Unidad de análisis

En virtud de que la presente investigación realizó mediciones del proceso de trituración de los NFU, se desarrolló un protocolo para la experimentación del proceso de corte y a su vez estimó la huella de carbono a través del consumo energético del proceso en función de lotes de llantas aro 13 y aro 14.

4.3 Población de estudio

Apuntes de la definición establecida por Mirabal (2014) indica que: “Una población está determinada por sus características definitorias. Por lo tanto, el conjunto de elementos que posea esta característica se denomina población” (p.23). Es decir, se entendió por población al conjunto de seres que compartieron un lugar geográfico y poseen características en común.

Durante el proceso experimental de la investigación se trabajó con muestras de neumáticos de aro 13 y aro 14 que correspondieron a los estándares de auto móviles.

4.4 Tamaño de la muestra

Las muestras fueron establecidas como lotes que correspondieron a 37 llantas, con el propósito de evaluar el consumo energético generado por la trituración. Se conoció la granulometría alcanzada por la trituración según los modelos de cuchillas. Véase cuadro 9:

Cuadro 9

Descripción de granulometrías alcanzadas en la investigación

MODELO DE CUCHILLAS	DESCRIPCIÓN DE GRANULOMETRÍA FINAL
C0 19 DIENTES	20-30 cm
C1 31 DIENTES	14-18 mm
C2 16 DIENTES	6 - 10 mm

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.5 Selección de la muestra

Las muestras aleatorias fueron tomadas de recintos de gestores autorizados por el Ministerio de Ambiente para el acopio y disposición final de los neumáticos fuera de uso considerados como desechos especiales en el Ecuador. Siendo la característica de estas muestras la aleatoriedad.

4.6 Técnicas de recolección de datos

El proceso experimental tuvo el siguiente protocolo secuencial:

- Recolección de llantas usadas y la muestra se limitó a la recolección de las llantas usadas Aro 13 y Aro 14 trabajándose en lotes constituidos por 10 llantas.
- Se trituraron con juegos de 19, 31 y 16 cuchillas y posteriormente se dio a conocer la granulometría que fue registrada en la tabla 8
- La Evaluación de parámetros fueron detallados en el cuadro 10
- El análisis estadístico se realizó a través del Programa SPSS, usando pruebas no paramétricas y correlación de variables, consideradas como técnicas de diseño experimental.
- Se Identificó el juego de cuchillas (dientes) que generó menor huella de carbono por uso de electricidad (kwh).

4.7. Instrumentos para la recolección de datos

A continuación, se enlistan elementos e instrumentos que se utilizaron para la ejecución de la investigación.

- DATA LOGGER con medidor de consumo de kwh.
- 03 máquinas trituradoras C0, C1 y C2 con eje para ensamblaje de discos con cuchillas.

- Cuchillas maquinadas con 19 dientes.
- Cuchillas maquinadas con 31 dientes.
- Bandejas recolectoras.
- Software SPSS para análisis de datos.
- Calibrador para medir granulometría.

Cuadro 10.

Datos del equipo medidor de potencia:

Equipo	Medidor de potencia Netpify
Marca	Zensor
Rango de voltaje	680 V
Rango de amperaje	1000 A
Error	2%

Fuente: Elaboración propia (2023)

Para el análisis del consumo energético de las trituradora de neumáticos se empleó un medidor de potencia no invasivo, marca Netpify, el cual permitió almacenar los datos voltaje y corriente cada 30 segundos, de la siguiente manera:

Primero se procedió a conectar los cables lagartos en el breaker de la trituradora, los cuales permitieron medir el voltaje; la conexión empezó por el cable neutro y posteriormente en cada una de las fases.

Posteriormente, se usó el sensor de corriente no invasivo (bobina de Rogowsky), el cual se colocó en cada una de las fases en el sentido correcto indicado por la marca en la bobina. Terminada la etapa de las conexiones se encendió el equipo para proceder a calibración por medio del tiempo de muestreo, después de esto se dejó operar el equipo por 5 minutos para que este se calibre, luego de las calibraciones empezó el registro de datos por un tiempo de dos horas por cada trituradora. Culminada la medición se apagó el equipo y desconectó tanto los cables lagartos como los sensores de corriente. Este proceso se repitió con cada trituradora.

Las llantas que se suministran a la trituradora ingresaron en un tiempo aproximado de cada 30 segundos.

4.8. Procedimiento para el cálculo de la huella de carbono

La huella de carbono es la representación de las emisiones generadas por las fuentes de emisión, a través de los datos de consumo provenientes de una actividad (evento) multiplicado por el factor de emisión correspondiente según el alcance que se establezca para el cálculo. Se hace notar que el cálculo correspondió al periodo mensual de la actividad o evento a cuantificar.

Es necesario especificar que la metodología del cálculo de huella de carbono se estableció el siguiente alcance:

a. Emisiones directas según el consumo de electricidad.

Para el cálculo de las pruebas fue necesario implementar un sistema de registro de información DATALOGGER que registró Kwh, amperaje, y voltaje con el propósito de continuar con el registro los siguientes años. Una consideración especial fue la verificación del factor de emisión a emplearse durante el cálculo, ya que puede variar según los factores referenciales de cada país. Lo anterior, permitió identificar donde actuar para generar "Acciones de Reducción de Huella de Carbono" lo que conllevó al establecimiento de acciones que se incluyeron en las conclusiones de trabajo.

4.9. Análisis e interpretación de la información

El análisis estadístico se realizó a través del Programa SPSS, usando correlación de variables, test de Kolmogorov-Smirnov , y para las pruebas de hipótesis Kruskal Wallis ; consideradas como técnicas de diseño experimental estadísticas.

La interpretación de los datos se complementará con el cálculo de la huella de carbono, a través del factor de emisiones correspondiente aplicado durante las pruebas experimentales.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas fueron realizadas en tres trituradoras secuenciales, cuyas características correspondieron a cuchillas voladoras que cortan la llanta y las cuchillas estáticas sostienen la llanta para cortarla. Su producto final granulométrico puede variar. A continuación, se describen las características de las trituradoras:

5.1. Característica de trituradoras

5.1.1, Característica de la trituradora 1 (C0)

- Tiene 2 motores, posee 12 cuchillas voladoras, y 7 cuchillas estáticas.
- Luego los pedazos entre 20-30 cm pasan a una banda número 2, estos pedazos tienen hierro y nylon.

5.1.2 Características de la trituradora 2 (C1)

- Posee 15 cuchillas voladoras más 16 cuchillas estáticas. Tiene 1 motor más un magneto que separa el acero.
- Tiene una criba en la parte de abajo con orificios de 14 ò 18 mm y un sistema de succión que conecta al filtro que tiene su propio motor. El subproducto son pelusas de nylon, gránulos de caucho de 14 ò 18 mm, esquirlas de acero.

5.1.3. Características de la trituradora 3 (C2)

- Tiene 1 motor y posee 12 cuchillas voladoras y 4 cuchillas estáticas, con una criba curva para seleccionar gránulos de 6, 8 y 10 mm. Usa transporte aéreo para caer al PC10 que es otra máquina tipo zaranda clasificadora y mallas de 5, 6, 7, 8, 10 y 14 mm

5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

Las curvas de potencia de las trituradoras se muestran a continuación, en donde la trituradora inicial se la denomina C0, Véase Figura 6; la posterior a

esta C1 Figura 7 y la final C2 Figura 8; en donde las primeras muestras utilizadas fueron las del aro 13 y la segunda aro 14

Trituradora inicial, en donde la etapa C0 – 1 correspondió al ensayo con la muestra de aro 13 y la etapa C0 – 2 correspondió al ensayo con la muestra aro14. Estas curvas permitieron ver los picos de potencia que se producen durante el trabajo, debido a que no se le suministra una tasa constante y periódica de materia prima (NFU) a triturar, en ocasiones se introducían simultáneamente varias llantas, lo que se reflejó en los picos altos que correspondieron a esfuerzos mayores de la máquina, y en otros momentos en los cuales la máquina estuvo trabajando en vacío.

El dispositivo colocado nos ha permitido recopilar la data para crear una curva y visualizar este comportamiento de modo que se pueda proponer soluciones para optimizar el uso de la trituradora.

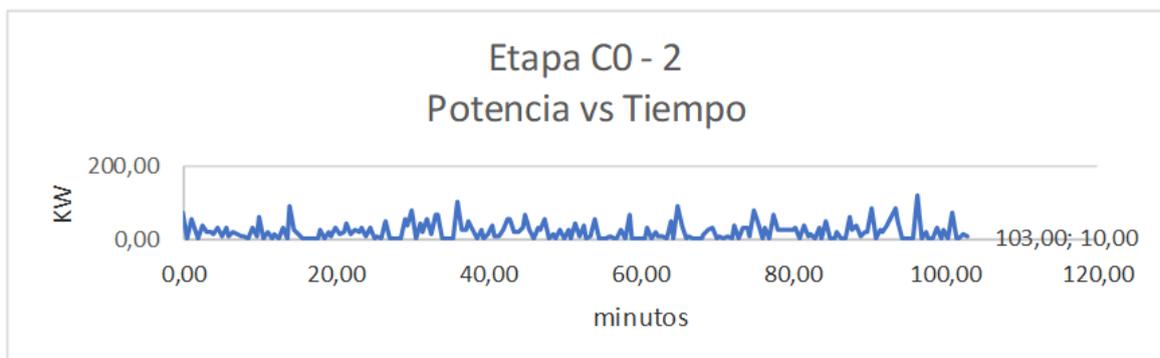
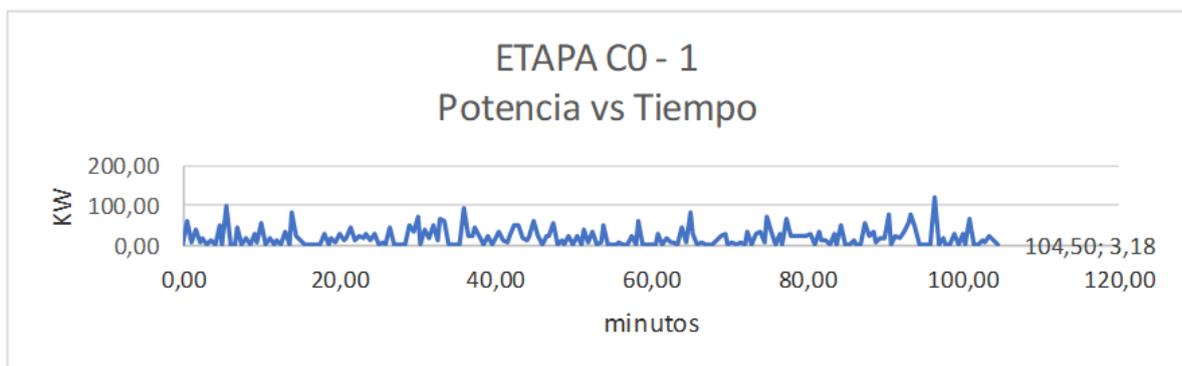


Figura 6. Potencia vs Tiempo - Etapa C0 – 1 - Etapa C0 – 2. Fuente: Elaboración propia (2023)

Segunda trituradora, esta etapa correspondió a un trabajo de trituración de granulometría más pequeños, y se pudo visualizar un comportamiento más

homogéneo de la curva de potencia en donde la etapa C1 – 1 correspondió al ensayo con la muestra de aro 13 y la etapa C1– 2 correspondió al ensayo con la muestra aro14. Véase la figura 7:

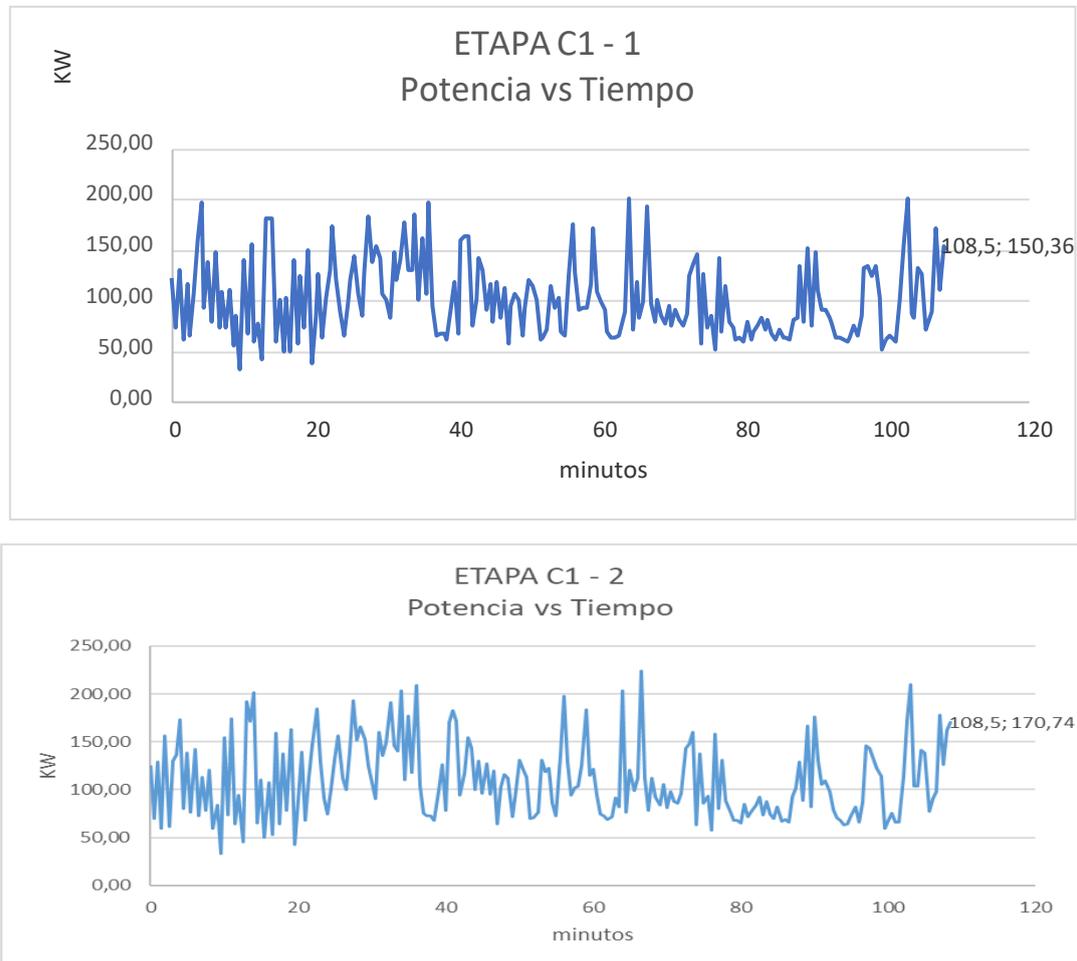


Figura 7. Potencia vs Tiempo Etapa C1–1 - Etapa C1–2. Fuente: Elaboración propia (2023)

Tercera trituradora, en donde la etapa C2 – 1 correspondió al ensayo con la muestra de aro 13 y la etapa C2 – 2 correspondió al ensayo con la muestra de aro 14. Véase Figura 8. El dispositivo de medición permitió recopilar la data de los ensayos en las tres etapas, visualizando en el tiempo el comportamiento, de modo que se pudo conocer que existe en este caso una operación desequilibrada al menos reflejada mucho más en la etapa de la primera trituradora, como solución a esto se planteó establecer una planificación para hacer más eficiente el uso de la trituradora con un mejor rendimiento productivo y energético

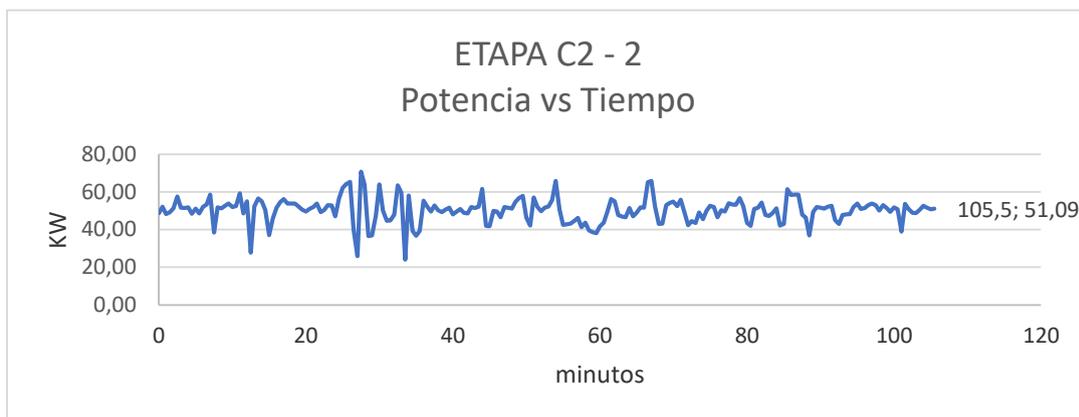
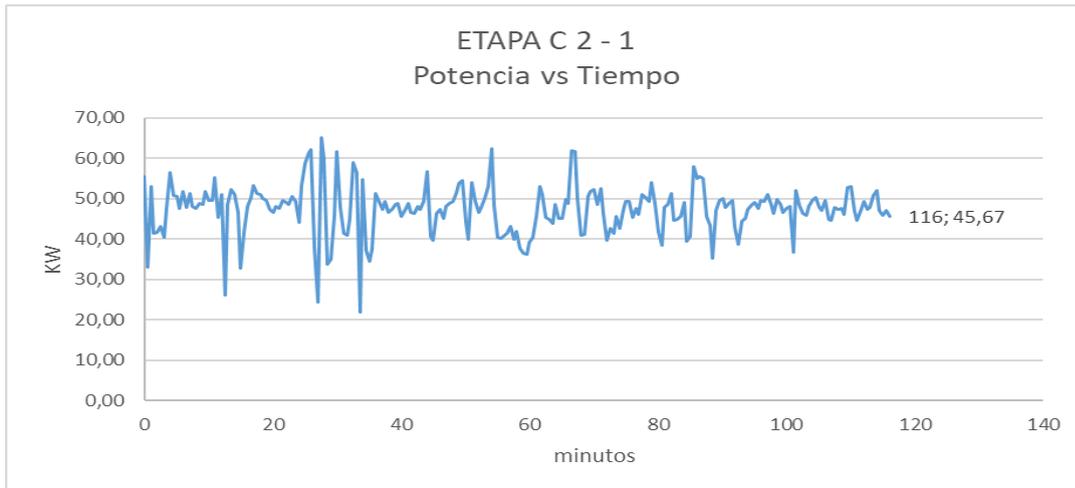


Figura 8. Potencia vs Tiempo Etapa C2–1 - Etapa C2–2.
Fuente: Elaboración propia (2023)

Con los datos adquiridos se observó que en la fase 2 los valores de corriente son mayores, por lo tanto, se les tomó mayor interés a estos, en base a la fase dos se analizaron: la potencia, factor de potencia, corriente y voltaje, los valores promedios fueron comparados en el cuadro 11 a continuación.

Cuadro 11

Valores obtenidos en la fase 2 durante los dos ensayos 1 y 2

	C0 - 1	C0 - 2
Potencia	10919.27 W	11557.15 W
Factor de potencia	0.88	0.86
Corriente	44.55 A	48.96 A
Voltaje	269.14 V	265.82 V
	C1 - 1	C1 - 2
Potencia	33017.77 W	39288.31 W
Factor de potencia	0.73	0.72
Corriente	192.97 A	205.77 A
Voltaje	267.79 V	265.97 V
	C2 - 1	C2 - 2
Potencia	18680.13 W	19567.62 W
Factor de potencia	0.74	0.75
Corriente	92.77 A	96.87 A
Voltaje	269.28 V	269.25V

Fuente: Elaboración propia (2023)

5.3. Análisis de normalidad de los datos de la investigación

Los análisis de normalidad, también llamados contrastes de normalidad tuvieron como objetivo analizar cuánto difiere la distribución de los datos observados respecto a lo esperado y si procedían de una distribución normal con la misma media y desviación típica, por lo cual se estableció varios métodos con las variables que se consideraron.

Las Variables tratadas fueron: por tipo de aro, consumo de KW/h, y granulometría

ARO 13, C0 DIENTE_1, C1 DIENTE_2, C2 DIENTE_3, GRANULOMETRIA_1, GRANULOMETRIA_2, GRANULOMETRIA_3;

ARO 14, C0 DIENTE_1, C1 DIENTE_2, C2 DIENTE_3, GRANULOMETRIA_1, GRANULOMETRIA_2, GRANULOMETRIA_3

5.4. Test de Kolmogorov-Smirnov y modificación de Lillefors

El test de Kolmogorov-Smirnov permitió estudiar si la muestra procedió de una población con una determinada distribución (media y desviación típica), no está limitado únicamente a la distribución normal. Se ejecutó a pesar de que continuamente se alude al test *Kolmogorov-Smirnov* como un test válido para contrastar la normalidad, lo que no es del todo cierto. El *Kolmogorov-Smirnov* asume que se conoce la media y varianza poblacional, lo que en la mayoría de los casos no es posible.

Esto hace que el test sea muy conservador y poco potente. Para solventar este problema, se desarrolló una modificación del *Kolmogorov-Smirnov* conocida como test *Lilliefors*. El test *Lilliefors* asume que la media y varianza son desconocidas, estando especialmente desarrollado para contrastar la normalidad. Es la alternativa al test de *Shapiro-Wilk* cuando el número de observaciones es mayor de 50.

A continuación, se muestran las tablas obtenidas en SPSS donde se evaluó la variable de carga vs su granulometría, aplicándose la prueba de normalidad de Kolmogorov y Shapiro-Wilk, de acuerdo con cada Aro (13 y 14).

Cuadro 12

ARO 13

C0 DIENTE_1, GRANULOMETRIA_1

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk	
	Estadísticosgl	Sig.	Estadísticosgl	Sig.
C0_(kWh)	,191	,218	,816	,218
GRANULOMETRIA_1	,057	,218	,983	,218

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los valores para la etapa C0 diente 1 la prueba determinó un nivel de significancia menor a 0.05 tanto para Kolmogorov como Shapiro Wilk, lo cual permitió afirmar que su distribución NO fue normal. Caso contrario se aprecia en

la granulometría 1 para la prueba Shapiro Will que tiene un nivel de significancia de 0,01, menor a 0.05 donde se pudo decir que la distribución NO era normal. Sin embargo, en la Prueba Kolmogorov Smirov, se apreció que el nivel de significancia fue de 0.084, siendo mayor a 0.05; por lo que en este caso fue normal. Véase cuadro 12

Cuadro 13

C1 DIENTE_2, GRANULOMETRÍA_2

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
C1_(kWh)	,104	218	,000	,939	218	,000
GRANULOMETRIA_2	,304	218	,000	,839	218	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los valores para la etapa C1 diente 2 registraron un nivel de significancia 0.00 que fue menor a 0.05 tanto para Kolmogorov como Shapiro Wilk, lo cual permitió afirmar que su distribución NO es normal, además se apreció en la GRANULOMETRÍA 2 para la prueba Kolmogorov y Shapiro Wilk que tienen un nivel de significancia de 0,00, menor a 0.05 donde se pudo decir que la distribución NO es normal. Véase cuadro 13

Cuadro 14

C2 DIENTE_3, GRANULOMETRIA_3

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
C2_(kWh)	,102	218	,000	,952	218	,000
GRANULOMETRIA_3	,148	218	,000	,930	218	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los valores para la etapa C2 Diente 3 registraron un nivel de significancia 0.00 el cual fue menor a 0.05 tanto para la prueba Kolmogorov como Shapiro Wilk, lo cual permitió afirmar que su distribución NO es normal. Además, se apreció en

la GRANULOMETRÍA 3 para la prueba para Kolmogorov y Shapiro Will, cuyo nivel de significancia fue de 0,00, menor a 0.05 donde se pudo afirmar que la distribución NO es normal. Véase cuadro 14

Cuadro 15

Aro_14

C0 DIENTE_1, GRANULOMETRIA_1

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
C0_(kWh)	,187	227	,000	,825	227	,000
GRANULOMETRIA_1	,072	227	,007	,965	227	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los valores para la etapa C0 DIENTE 1 presentaron un nivel de significancia 0.00 que fue menor a 0.05 tanto para Kolmogorov como Shapiro Wilk, lo cual permitió afirmar que su distribución NO es normal, además se apreció que en la GRANULOMETRIA 1 para la prueba Kolmogorov y Shapiro Wilk, presentó un nivel de significancia de 0,007 y 0.00 respectivamente siendo ambos, valores menores a 0.05 y se pudo afirmar que la distribución NO es normal. Véase cuadro 15

Cuadro 16

C1 DIENTE_2, GRANULOMETRIA_2

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
C1_(kWh)	,091	227	,000	,953	227	,000
GRANULOMETRIA_2	,351	227	,000	,760	227	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los valores para la etapa C1 DIENTE 2 registraron un nivel de significancia 0.00 el cual fue menor a 0.05 tanto para Kolmogorov como Shapiro Wilk, lo cual permitió afirmar que su distribución NO es normal, además se apreció en la

GRANULOMETRIA 2 para la prueba Kolmogorov y Shapiro Wilk, que tienen un nivel de significancia de 0,00, menor a 0.05; pudiéndose decir que la distribución NO es normal. Véase cuadro 16.

Cuadro 17

C2 DIENTE_3 , GRANULOMETRIA_3;

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk		
	Estadísticogl	Sig.	Estadísticogl	Sig.	
C2_(kWh)	,100	227	,950	227	,000
GRANULOMETRIA_3,158		227	,938	227	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los valores para la etapa C2 DIENTE 3 registraron un nivel de significancia 0.00 que fue menor a 0.05 tanto para la prueba de Kolmogorov como Shapiro Wilk, lo cual permitió afirmar que su distribución NO es normal, además se apreció en GRANULOMETRIA 3 para la prueba para Kolmogorov y Shapiro Wilk, que tuvo un nivel de significancia de 0,00, menor a 0.05 pudiéndose decir que la distribución NO es normal. Véase cuadro 17

Se hace notar que los datos de las muestras reflejaron en las pruebas de normalidad que no fueron normales y se puede atribuir a la calidad de las llantas trituradas, las cuales presentaron alma de acero y otras no. Adicionalmente existieron variaciones en los tiempos de ingreso a la rampa de la tolva trituradora y atascos debido a materiales metálicos incrustados en las llantas.

5.5. Comprobación de pruebas de hipótesis específicas

5.5.1. Primera hipótesis

Se estableció que Ho: No existen diferencias en los niveles operativos que involucran alternativas tecnológicas para las fases de trituración requeridos en los diferentes usos del producto para el desarrollo de la matriz de evaluación; por

otro lado, la H1: Existen diferencias en los niveles operativos que involucran alternativas tecnológicas para las fases de trituración requeridos en los diferentes usos del producto para el desarrollo de la matriz de evaluación.

A continuación, se detallan las pruebas Kruskal Wallis de acuerdo con los ARO 13 y ARO 14

Cuadro 18

ARO_13

C0 , GRANULOMETRIA_1

	Estadísticos de prueba ^{a,b}	
	C0_(kWh)	GRANULOMETRIA_1
H de Kruskal-Wallis	2,947	13,958
gl	1	1
Sig. asintótica	,086	,000

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: DIA_1_2

Fuente: Elaboración propia (2023)

El cálculo se estimó con la variable etapa C0 que representó la cuchilla con su consumo en kwh comparando la granulometría 1 mediante la prueba Kruskal Wallis siendo la variable de agrupación los días 1 y 2 del muestreo.

El análisis indicó que la hipótesis para C0 con un alfa de 0.086 que fue mayor que 0.05 concluyó en que se acepta la hipótesis nula. Véase cuadro 18

Cuadro 19

C1 , GRANULOMETRIA_2

	Estadísticos de prueba ^{a,b}	
	C1_(kWh)	GRANULOMETRIA_2
H de Kruskal-Wallis	6,691	3,550
gl	1	1
Sig. asintótica	,010	,060

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: DIA_1_2

Fuente: Elaboración propia (2023)

El cálculo se estimó con la variable etapa C1 que representó la cuchilla con su consumo en kwh comparando la granulometría 2 mediante la prueba Kruskal Wallis siendo la variable de agrupación los días 1 y 2 del muestreo. El análisis indicó que la hipótesis para C1 con un alfa de 0.010 que fue menor a 0.05 concluyó en que se rechaza la hipótesis nula. Véase cuadro 19

Cuadro 20

C2 , GRANULOMETRIA_3

Estadísticos de prueba^{a,b}

	C2_(kWh)	GRANULOMETRIA_3
H de Kruskal-Wallis	3,664	,020
gl	1	1
Sig. asintótica	,056	,886

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: DIA_1_2

Fuente: Elaboración propia (2023)

El análisis indicó que la hipótesis para etapa C2 que representó la cuchilla con su consumo en kwh con un alfa de 0.056 y para la Granulometría 3 que correspondió a 0,886 siendo ambos valores mayores que 0.05 , . Véase cuadro 20 se concluyó que fue aceptada la hipótesis nula. En general para el análisis del aro 13 se pudo señalar de la Hipótesis nula fue aceptada y eso implicó que No existen diferencias en los niveles operativos que involucraron alternativas tecnológicas para las fases de trituración requeridos en los diferentes usos del producto para el desarrollo de la matriz de evaluación

Cuadro 21.

ARO_14

C0, GRANULOMETRIA_1

Estadísticos de prueba^{a,b}

	C0_(kWh)	GRANULOMETRIA_1
H de Kruskal-Wallis	1,697	,025
gl	1	1
Sig. asintótica	,193	,876

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: DIA_1_2

Fuente: Elaboración propia (2023)

El cálculo se estimó con la variable etapa C0 que representó la cuchilla con su consumo en kwh comparando la granulometría 1 mediante la prueba Kruskal Wallis siendo la variable de agrupación los días 1 y 2 del muestreo.

El análisis indicó que para C0 con un alfa de 0.193 y para Granulometría 1 con un alfa 0.875, ambos valores fueron mayores que 0.05 concluyéndose que se acepta la hipótesis nula. Véase cuadro 21

Cuadro 22.

C1, GRANULOMETRIA_2

Estadísticos de prueba^{a,b}		
	C1_(kWh)	GRANULOMETRIA_2
H de Kruskal-Wallis	4,886	22,216
gl	1	1
Sig. asintótica	,027	,000

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: DIA_1_2

Fuente: Elaboración propia (2023)

El cálculo se estimó con la variable C1 que representó la cuchilla con su consumo en kwh comparando la granulometría 2 mediante la prueba Kruskal Wallis siendo la variable de agrupación los días 1 y 2 del muestreo. El análisis indicó que para C1 con un alfa de 0.027 y para Granulometría1 con un alfa 0.00, ambos valores fueron menores que 0.05 concluyéndose que se rechaza la hipótesis nula. Véase cuadro 22

Cuadro 23.

C2 , GRANULOMETRIA_3

Estadísticos de prueba^{a,b}		
	C2_(kW)	GRANULOMETRIA_3
H de Kruskal-Wallis	,506	1,376
gl	1	1
Sig. asintótica	,477	,241

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: DIA_1_2

Fuente: Elaboración propia (2023)

El cálculo se estimó con la variable etapa C2 que representó la cuchilla con su consumo en kwh comparando la granulometría 3 mediante la prueba Kruskal Wallis siendo la variable de agrupación los días 1 y 2 del muestreo.

El análisis indicó que para C2 con un alfa de 0.477 y para Granulometría3 con un alfa 0.24, ambos valores fueron mayores que 0.05 concluyéndose que se acepta la hipótesis nula. Véase cuadro 23

La conclusión correspondió a que las pruebas realizadas a los NFU del ARO 14 aceptaron la hipótesis nula y eso implicó que No existen diferencias en los niveles operativos que involucraban alternativas tecnológicas para las fases de trituración requeridos en los diferentes usos del producto para el desarrollo de la matriz de evaluación.

5.5.2. Segunda hipótesis

Como segunda hipótesis se estableció la H_0 : No existen diferentes niveles de consumo de Kwh representativos en el corte de los NFU, según la granulometría, mientras que la H_1 : Existen diferentes niveles de consumo de Kwh representativos en el corte de los NFU, según la granulometría.

a. Pruebas kruskal wall

En virtud de que las muestras analizadas tanto del ARO 13 como del ARO14 no estaban distribuidas normalmente con varianzas iguales, se empleó una técnica alternativa no paramétrica para el análisis de las varianzas con un solo criterio de clasificación para probar la hipótesis

La prueba de Kruskal comparó las muestras de Aro 13 con las del Aro 14, analizando variables de consumo de energía según las etapas C0, C1, C2 versus la Granulometría.

La hipótesis nula implicó que las observaciones en los tres tipos de etapas C0, C1 y C2 constituyeron una sola muestra donde los rangos estuvieron bien

distribuidos entre los tres grupos. Las desviaciones respecto a estas condiciones se reflejaron en la magnitud del estadístico H. La hipótesis nula se rechazó cuando el valor calculado de alfa fue menor igual a 0,05.

Cuadro 24

Estadísticos de prueba^{a,b}

	C0_(kWh)	GRANULOMETRIA_1
H de Kruskal-Wallis	1,492	41,562
gl	1	1
Sig. asintótica	,222	,000

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: ARO_13_14

Fuente: Elaboración propia (2023)

Para la agrupación de las variables etapa C0 (Kwh) y GRANULOMETRÍA 1 se demostró en la prueba de Kruskal un nivel de significancia de 0,222 mayor a 0,05 y de 0,000 que fue menor a 0,05 Véase cuadro 24

Cuadro 25

Estadísticos de prueba^{a,b}

	C1_(kWh)	GRANULOMETRIA_2
H de Kruskal-Wallis	5,361	,612
gl	1	1
Sig. asintótica	,021	,434

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: ARO_13_14

Fuente: Elaboración propia (2023)

Para la agrupación de las variables etapa C1 (Kw) y GRANULOMETRÍA2 se demostró en la prueba de Kruskal, un nivel de significancia nivel de 0,021 menor a 0.05 y de 0,434, el cual fue mayor a 0,05 Véase cuadro 25

Cuadro 26

Estadísticos de prueba^{a,b}

	C2_(kWh)	GRANULOMETRÍA_3
H de Kruskal-Wallis	30,088	13,257
gl	1	1
Sig. asintótica	,000	,000

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: ARO_13_14

Fuente: Elaboración propia (2023)

Para la agrupación de las variables etapa C2 (Kwh) y Granulometría 3 se demostró en la prueba de Kruskal, un nivel de significancia de 0,000 en ambos casos los cuales fueron menor a 0,05. Por lo cual H_0 se rechazó. Véase cuadro 26. Con respecto a los cuadros, basados en los análisis de pruebas Kruskal para el cuadro 23 existió diferencia con respecto al cuadro 24, debido a que la granulometría tuvo un alfa de 0.434 que fue mayor a 0.222 y ambos fueron mayores al alfa 0.05 por lo cual se aceptó la H_0 . En este sentido, se infiere que No existen diferencias entre consumos de energía respecto a la granulometría. en la etapa C0 que posee 19 dientes con granulometría promedio entre 20y 30 cm; así como en la etapa C1 con 31 dientes con granulometría entre 14 a 18 mm con respecto a la etapa C2 con 16dientes con granulometría entre 6 a 10 mm.

5.5.3. Tercera hipótesis

Como tercera hipótesis se estableció la H_0 : No existen diferencias en el cálculo de la Huella de Carbono según las combinaciones tecnológicas de las fases de trituración, en la Provincia del Guayas en el Ecuador, mientras que la H_1 : existen diferencias en el cálculo de la huella de carbono según las combinaciones tecnológicas de las fases de trituración, en la Provincia del Guayas en el Ecuador. La prueba de Kruskal comparó las muestras de Aro 13 con las del Aro 14, analizándose como variables: el cálculo de Huella de carbono según la GRANULOMETRIA 1, GRANULOMETRIA 2, GRANULOMETRIA 3 siendo el factor de correlación día 1 y día 2 de muestreo de llantas Aro 13 y Aro 14. Las desviaciones respecto a estas condiciones reflejaron en la magnitud del estadístico H, cuando H_0 se rechazó, respondió a que el valor alfa fue mayor igual a 0,05

Cuadro 27.**ARO_13****Estadísticos de prueba^{a,b}**

	HUELLA DE CARBONO_1	HUELLA DE CARBONO_2	HUELLA DE CARBONO_3
H de Kruskal-Wallis	2,947	6,691	3,664
gl	1	1	1
Sig. asintótica	,086	,010	,056

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: DIA_1_2

Fuente: Elaboración propia (2023)

Para el cálculo de Huella de carbono en muestreo de Aro 13 la agrupación del día 1 y día 2 de muestreo de las variables Huella de Carbono2 y Huella de Carbono3 se demostró en la prueba de Kruskal, un nivel designificancia de 0,010 y 0.05 respectivamente en ambos casos los cuales fueron menor igual a 0,05. Por lo cual Ho se rechazó. Véase cuadro 27 por lo cual se rechazó la H0

Cuadro 28.**ARO_14****Estadísticos de prueba^{a,b}**

	HUELLA DE CARBONO 1	HUELLA DE CARBONO 2	HUELLA DE CARBONO_3
H de Kruskal-Wallis	1,697	4,886	,506
gl	1	1	1
Sig. asintótica	,193	,027	,477

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: DIA_1_2

Fuente: Elaboración propia (2023)

Para el cálculo de Huella de carbono en muestreo de Aro 14 la agrupación del día 1 y día 2 de muestreo de las variables Huella de Carbono2 se demostró en la prueba de Kruskal, un nivel de significancia de 0,027 el cual fue menor a 0,05. Por lo cual H_0 se rechazó. Véase cuadro 28. por lo cual se rechazó la H_0 .

Con respecto a la tercera hipótesis se puede decir que al menos existen valores en el cálculo de Huella de Carbono que rechazan la hipótesis nula y que hace posible expresar que existen diferencias en el cálculo de la huella de carbono según las combinaciones tecnológicas de las fases de trituración, en la Provincia del Guayas en el Ecuador.

5.6. Presentación de resultados de cálculo de huella de carbono.

Cuadro 29.

Valores obtenidos en Cálculo de la Huella de Carbono.

ARO 13

Etapa C0_19		Etapa C1_31		Etapa C2_16		
Kwh/mes	Factor de Emisión	HC (g CO2e)	Factor de Emisión	HC (g CO2e)	Factor de Emisión	HC (g CO2e)
1527,195	319,300	170933,486	319,300	18200,100	319,300	921182,258
		Huella de carbono	Huella de carbono	Huella de carbono		921182,258

Fuente: Elaboración propia (2023)

Cuadro 30.

Valores obtenidos en Cálculo de la Huella de Carbono.

ARO 14

Etapa C0_19		Etapa C1_31		Etapa C2_16		
Kwh/mes	Factor de Emisión	HC (g CO2e)	Factor de Emisión	HC (g CO2e)	Factor de Emisión	HC (g CO2e)
1354,417	319,300	181374,207	319,300	18200,100	319,300	999671,745
		Huella de carbono	Huella de carbono	Huella de carbono		999671,745

Fuente: Elaboración propia (2023)

Tal como se pudo apreciar en los cuadros anteriores para aceptar la H_1 de la

tercera hipótesis existieron valores menores de desviación estándar reflejados en la Máquina trituradora (etapa C2-16), en los que se evidencia que la presencia de picos y por lo tanto la Huella de Carbono es evaluada como la más alta; a diferencia de C0-19 y C1-31 que presentan diferencias en los valores de dispersión reflejando un valor menor de Huella de Carbono. Véase Cuadros 29 y 30.

CAPÍTULO 6: IMPACTOS Y ACCIONES RELACIONADAS AL FACTOR DE POTENCIA PARA LA REDUCCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO

El control de la variable factor de potencia se realizó con el fin de mejorar la eficiencia energética del sistema de tal manera que se redujese la posibilidad de calentamiento de conductores y mantenimiento recurrente. Esto podría tener repercusión evidente en el aumento de cargas para la empresa y a su vez podría recibir sanciones o amonestaciones monetarias por parte de la empresa de distribución eléctrica, por tal razón se sugirió la instalación de un banco de capacitores o la optimización y mejoramiento del banco de capacitores existente para los procesos de trituración.

Los datos recopilados de las diferentes etapas del proceso de trituración mostraron a priori que:

Existió un ligero desbalance en las líneas, esto se evidenció en las lecturas de potencia por fase tal como se demostró en las siguientes gráficas de las etapas C0, C1 y C2 del proceso. Véase figura 9, figura 10 y figura 11 Siendo la etapa C2 la que registró el mayor desbalance. Véase figura 11

Por lo cual se planteó balancear las líneas, esto se logrará repartiendo de manera equitativa el consumo eléctrico entre cada fase.

Primera Etapa C0 (Ingreso de llantas a la primera trituradora)

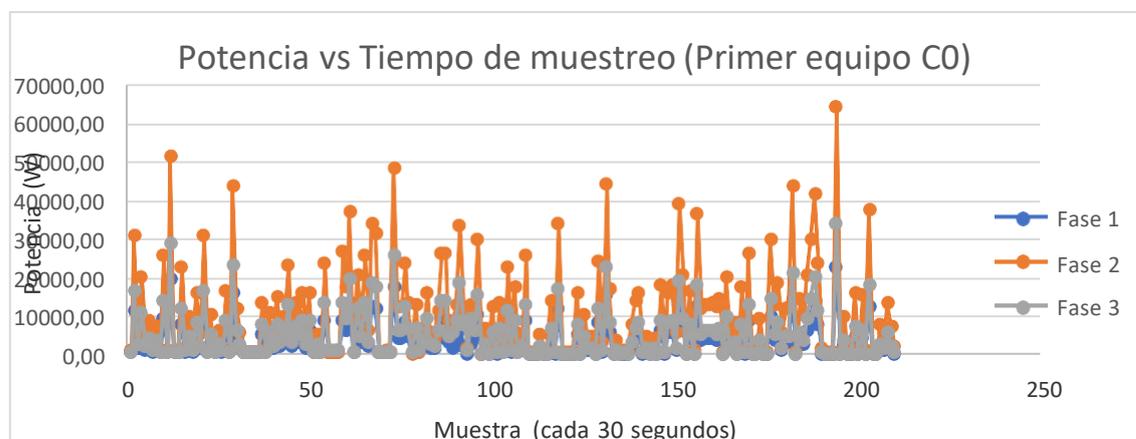


Figura 9. Potencia vs Tiempo de muestreo (primer equipo C0)
Fuente: Elaboración propia (2023)

Segunda Etapa C1 (Ingreso de llantas trituradas en la primera trituradora)

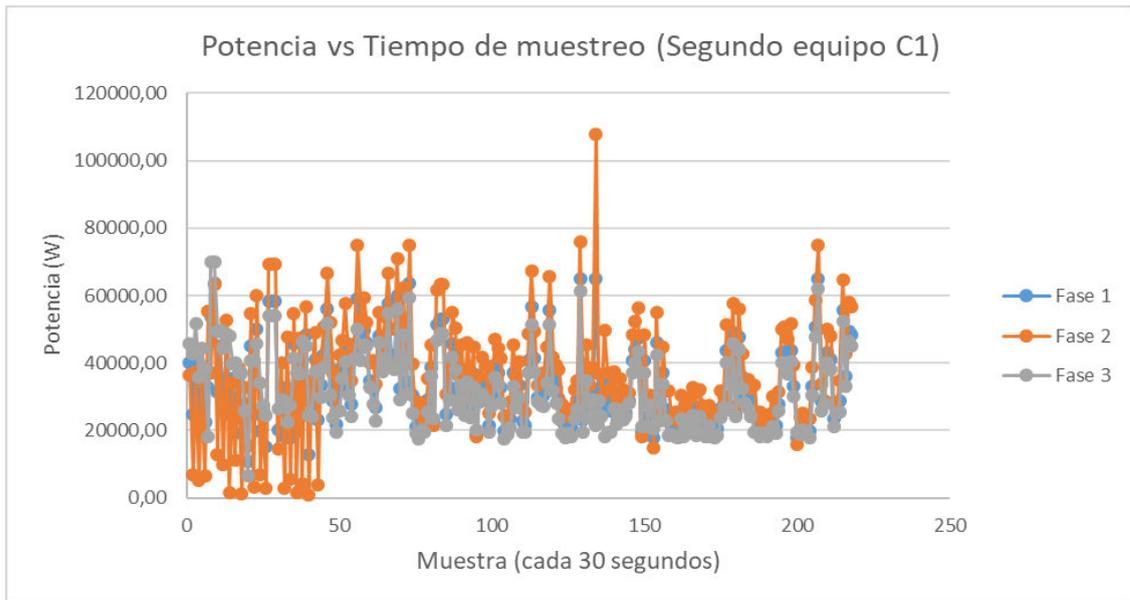


Figura 10. Potencia vs Tiempo de muestreo (Segundo equipo C1)
Fuente: Elaboración propia (2023)

Tercera Etapa C2 (Ingreso de llantas trituradas en la segunda trituradora)

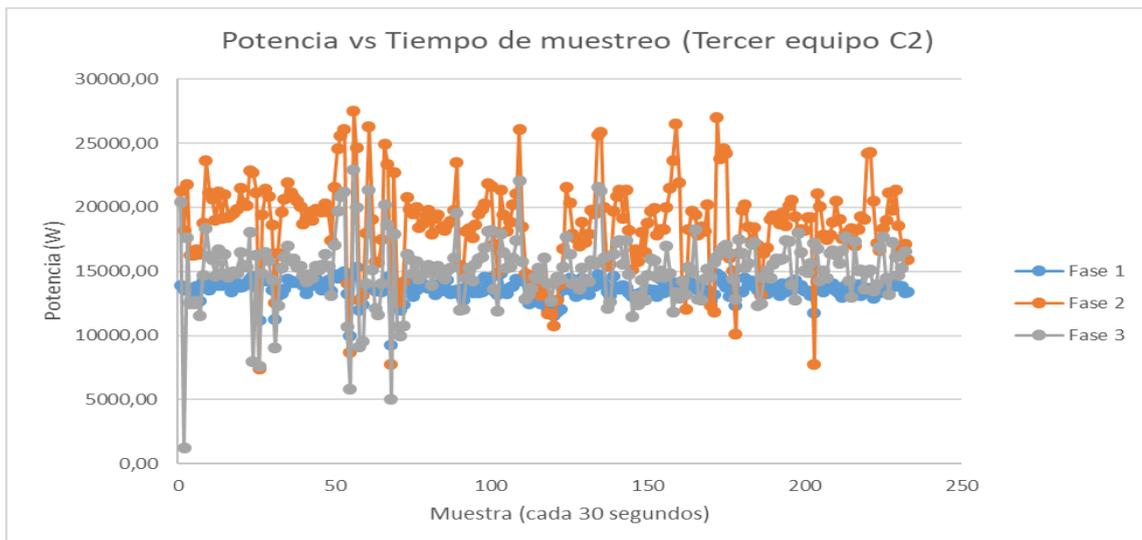


Figura 11. Potencia vs Tiempo de muestreo (Tercer equipo C2)
Fuente: Elaboración propia (2023)

El factor de potencia actual se encontró por debajo de la línea de potencia deseada (color anaranjado) lo que significó una baja eficiencia en el consumo de energía. Tal como se demostró en las gráficas a continuación detalladas donde se graficó la potencia promedio vs tiempo por cada etapa. Véase figura 9, figura 10 y figura 11.

Se observó que en la tercera etapa C2 la diferencia fue más notoria, pues los valores registrados estaban muy por debajo de 0.85 Kw. Véase figura 14

Primera Etapa C0 (Ingreso de llantas a la primera trituradora)

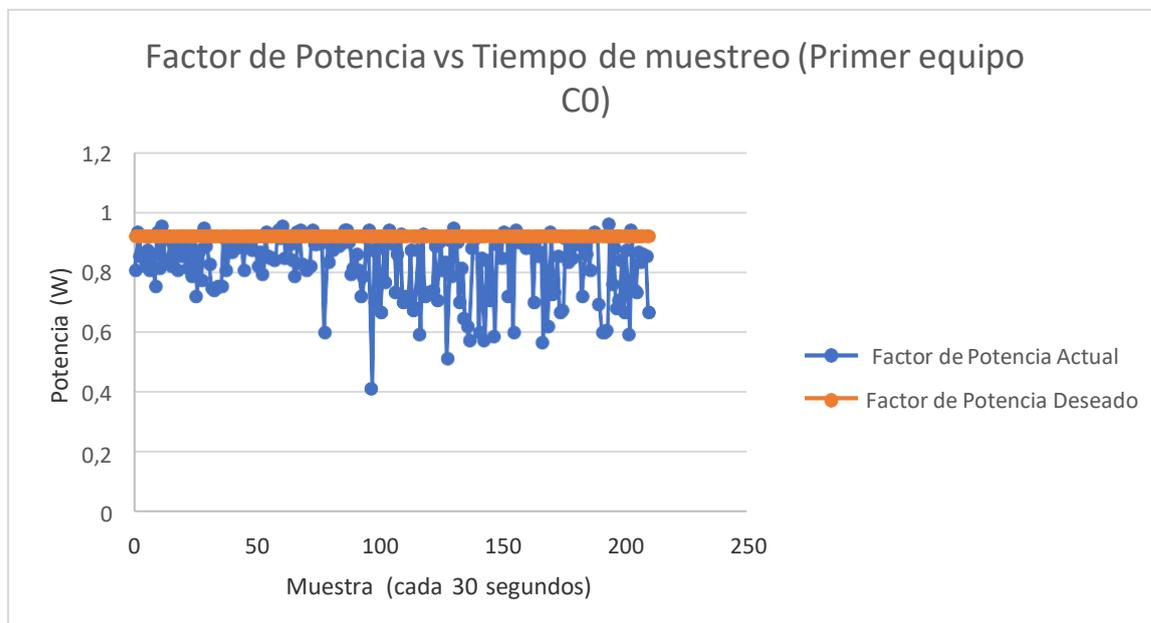


Figura 12. Factor de Potencia vs Tiempo de muestreo (Primer equipo C0) Fuente: Elaboración propia (2023)

Nótese en la Figura 12 el comportamiento del factor de potencia tomado cada 30 segundos demostró que existieron valores de 0.4; 0.5 y valores cercanos por debajo de los 0.6 lo cual reflejó que el indicador de aprovechamiento de energía de la trituradora C0 estuvo operando con valores que no fueron óptimos según la norma establecida por ARCONEL en Ecuador.

Las razones obedecieron a los atascamientos que se produjeron por presencia de materiales incrustados en los neumáticos que ingresaron en la rampa, por otra parte se notó que existieron retrasos en tiempos de ingreso y esto también influyó

Segunda Etapa C1 (Ingreso de llantas trituradas en la primera trituradora)

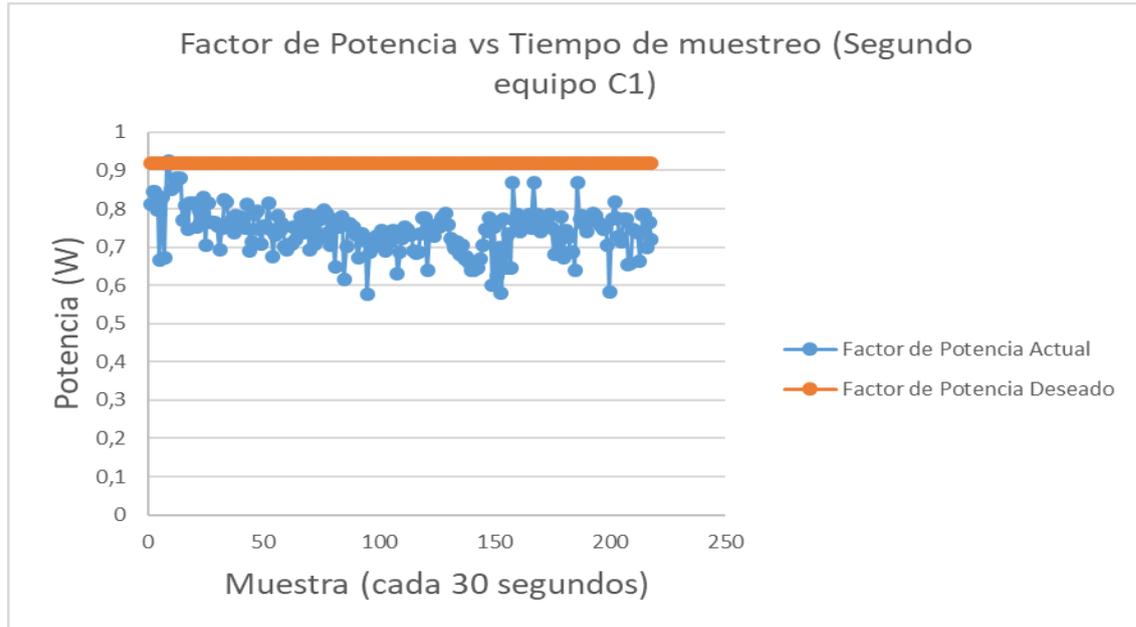


Figura 13. Factor de Potencia vs Tiempo de muestreo (Segundo equipo C1)
Fuente: Elaboración propia (2023)

Con respecto a la Figura 13 el comportamiento del factor de potencia tomado cada 30 segundos demostró que existieron valores de 0.58; 0.57 y valores más próximos por debajo de los 0.6 lo cual reflejó que el indicador de aprovechamiento de energía de la trituradora C1 estuvo operando con valores que no fueron óptimos según la norma establecida por ARCONEL(2019) en Ecuador. Sin embargo, el indicador se refleja más cercano al cumplimiento de la normativa en comparación con la Figura 12 correspondiente a la Trituradora C0

Tercera Etapa C2 (Ingreso de llantas trituradas en la segunda trituradora)

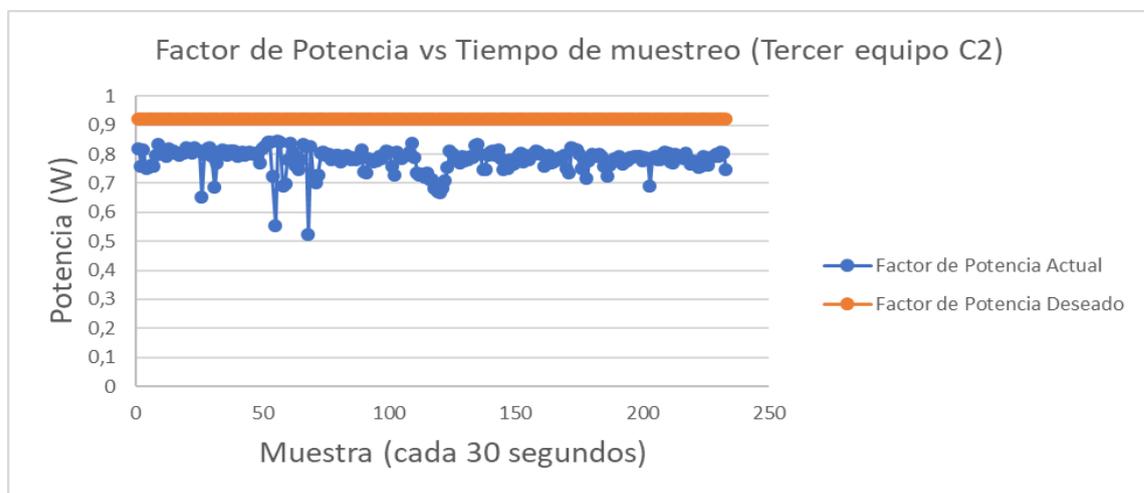


Figura 14. Factor de Potencia vs Tiempo de muestreo (Tercer equipo C2) Fuente: Elaboración propia (2023)

Con respecto a la Figura 14, el comportamiento del factor de potencia tomado cada 30 segundos reflejó que existieron valores sólo dos valores de 0.52; 0.55 por debajo de los 0.6 lo cual reflejó que el indicador de aprovechamiento de energía de la trituradora C2 estuvo operando de forma más óptima según la norma establecida por ARCONEL (2019) en Ecuador, en comparación con la trituradora C0 y Trituradora C1

Los efectos de tener un factor de potencia menor al estipulado por la Agencia Nacional de regulación y control de electricidad en Ecuador incurren en:

- Puede llegar a recibir sanciones por parte del proveedor de energía.
- Aumento de temperatura por el calentamiento debido a la mayor corriente que circula por el circuito necesitando sistemas de ventilación más robustos.
 - Reducción de la vida útil del tendido eléctrico.
 - Mayores pérdidas eléctricas en los conductores

Ello, en correspondencia a lo establecido por ARCONEL (2019) cuando expresa: “Cuando el valor del factor de potencia registrado o calculado en el periodo de consumo sea inferior a 0,60, para cualquier tipo de consumidor de categoría general con medición de energía reactiva”. (p.19). Así mismo, destaca el citado organismo: “previa notificación, podrá suspender el servicio público de energía eléctrica hasta que el consumidor adecue sus instalaciones a fin de superar dicho valor límite” (op cit)

Las penalizaciones por bajo factor de potencia corresponden según la siguiente ecuación para el cálculo del factor:

$$BPF = \frac{0.92}{FP_r} - 1, \text{ donde:}$$

BPF = Factor de Penalización por Bajo Factor de Potencia.

FP_r = Factor de Potencia Registrado.

El factor de potencia se encontró entre los valores de 0.77 y 0.85 lo que significó que la demanda del proveedor estuvo entre el 17% y 30 % más de energía para realizar el trabajo de la planta.

Esto implicó que se encontró entre el 8% y 19% de recargo de valor en la planilla de luz.

Con el consumo de 311 kWh del primer ensayo y cuya tarifa fue de 0,085 USD/kWh con recargo por bajo factor, el recargo final se determinó entre 2.11 USD y 5.022 USD. Lo cual al final del mes implicaría un recargo entre 42.2 y 100.44 USD.

Para corregir este factor de potencia se sugirió instalar un banco de capacitores posterior al medidor de energía eléctrica, para lo cual se requeriría la compra de los siguientes capacitores con su respectivo costo:

Un capacitor de 1.5 KVA, cuyo costo es de 65 USD.

Un capacitor de 47 KVA con un costo de 106 USD y;
uno de 17 KVA con costo de 167 USD.

Estos costos incluyeron el costo de instalación del banco de capacitores, cuyo costo final sería de 338 USD.

6.1. Beneficios que aporta la propuesta

Con base a las evidencias que se presentó durante las mediciones y propuestas expresadas para la solución del problema correspondiente a valores de voltaje.

En este sentido, la investigación de la tesis doctoral se planteó como propuesta innovadora lo que correspondió al establecimiento de un procedimiento de evaluación del consumo de los kWh en las etapas del proceso de trituración de los neumáticos fuera de uso. Su resultado final no sólo apuntó al cálculo de la huella de carbono, bajo la perspectiva de un evento, sino que permitió evaluar cada etapa del proceso, demostrando el nivel de cumplimiento de la normativa establecida por el ARCONEL (2019) lo que en este caso permitió inferir que de no tomarse acciones correctivas inmediatas implicaría el pago de multas.

Así mismo, se estableció el método de monitoreo de un evento en tiempo real,

siendo el más común para la recopilación de datos energéticos, así como la revisión de la facturación y la aplicación de preguntas directas a las personas a cargo de los procesos en la industria.

Cabe destacar que la presente propuesta fue financiada con fondos propios de la investigadora e incluyó la implementación de un sistema de monitoreo de medida del evento, a través de un dispositivo electrónico diseñado para el registro de los consumos de kwh. El mismo, proporcionó un registro inmediato de datos con los cuales se determinó la huella de carbono.

A su vez, esto permitió programar seguimientos, una vez implementado el cambio en el sistema de trituración por parte de los operarios que controlaron el proceso en tiempos reales, generando informes y registros con el propósito de lograr mejoras en la operatividad de las máquinas trituradoras, con relación al aprovechamiento energético reflejado en el factor de potencia evaluado en cada una.

Finalmente, en la presente investigación, destaca que la gestión y evaluación de la huella de carbono, en el evento de la trituración, generó beneficios significativos a los establecimientos de reciclaje tales como:

- Sensibilización y establecimiento de un compromiso, por parte de la gerencia, a través de acciones concretas direccionadas a las inversiones como la compra de banco de capacitores y lo que se conoce como: socialización de acciones correctivas operativas, que se adoptaron en los manuales de procedimientos de las empresas mediante el involucramiento de todos los responsables del proceso.
- Permitted la definición de metas de eficiencia energética, dentro de los objetivos que se establecieron, como parte de la política de reducción de emisiones y acciones a seguir en el entorno del ahorro energético implicando costos de producción.
- Identificación de oportunidades para implementar la gestión energética, así como la reducción de costos, mediante el control del recurso energético que se

relacionó con la eficiencia del evento a través del factor de potencia.

- Relacionar las mediciones de consumo de kwh, no sólo con la huella de carbono, sino con la evaluación del factor de potencia; con el propósito de evitar sobrecalentamiento en líneas de entrada de energía, reducción de vida útil en los equipos de trituración y evitar recargas en pagos de consumo eléctrico acompañado de multas o cortes del servicio.
- Incremento de las posibilidades de mejoramiento del proceso mediante el acceso a sistemas electrónicos (dispositivos) de bajo costo para el control del consumo de kwh con proyecciones de innovación para otros eventos específicos.
- Implementación de un procedimiento para el cálculo de la huella de carbono como herramienta orientada a la competitividad de mercado en materia ambiental local e internacional,

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

1. La primera hipótesis la conclusión correspondió a que las pruebas estadísticas realizadas en las muestras de los NFU del ARO 13 y ARO 14 aceptaron la hipótesis nula y eso implicó que No existen diferencias en los niveles operativos que involucraban alternativas tecnológicas para las fases de trituración requeridos en los diferentes usos del producto para el desarrollo de la matriz de evaluación.

2. En la Segunda hipótesis se concluyó que No existen diferencias entre consumos de energía respecto a la granulometría. en la etapa C0 que posee 19 dientes con granulometría promedio entre 20y 30 cm; así como en la etapa C1 con 31 dientes con granulometría entre 14 a 18 mm con respecto a la etapa C2 con 16 dientes con granulometría entre 6a 10 mm.

3. Con respecto a la tercera hipótesis se puede decir que al menos existen valores en el cálculo de Huella de Carbono que rechazan la hipótesis nula y que hace posible expresar que existen diferencias en el cálculo de la huella de carbono según las combinaciones tecnológicas de las fases de trituración, en la Provincia del Guayas en el Ecuador.

4. Se hace notar que los datos de las muestras reflejaron en las pruebas de normalidad que no fueron normales y se pudo atribuir a la calidad de las llantas trituradas, las cuales presentaron alma de acero y otras no. Adicionalmente existieron variaciones en los tiempos de ingreso a la rampa de la tolva trituradora y atascos debido a materiales metálicos incrustados en las llantas.

5. En las gráficas de potencia figuras 6, 7 y 8; al comparar la etapa C1 con respecto a las etapas C0 y C2 se observó un mayor número de valores pico, esto se debe a que en esta etapa existieron atascamientos debidoa que algunos neumáticos tenían alma de acero.

6. En las etapas posteriores se recibió el triturado de la etapa o máquina anterior

por ejemplo: C1 recibió el triturado de C0 y ; C2 el triturado de C1; por ello los valores picos de potencia disminuyeron a medida que recibían un proceso de triturado, notándose que en la etapa C2 tuvo un comportamiento más estable que en todas las anteriores, sin embargo, implicó durante el análisis que se reflejó el valor más alto de Huella de Carbono debido a que en esta parte del proceso se incorporó un sistema de extracción de polvo con 2 motores. Además, que se incorporó el multievacuador con un motor conectado al filtro, lo cual influyó en la presencia de picos.

7. En la figura 6, al comparar la etapa C0 - 1 (muestra de neumáticos de auto y camioneta) con la etapa C0 - 2 (muestra de neumáticos de camión) se pudo observar que no existió gran diferencia de potencia al variar el tipo de muestra, debido a que las muestras empleadas estuvieron dentro de los rangos operacionales establecidos por el fabricante. Esto ocurrió de igual manera en las figuras 7 y 8.

8. Se observó los promedios de voltaje y amperaje en la segunda etapa C1 del triturado existiendo un incremento en el valor de corriente con respecto a las otras etapas, lo que indicó que es necesario realizar un balance de cargas, pese a que los valores de voltaje se encontraron dentro de lo aceptable. Véase tabla 10. Sin embargo, el desbalance de cargas afectó a los cables conductores y componentes eléctricos cuando se estuvo operando en valores muy cercanos a los máximos operacionales. Se observó que los factores de potencia de las trituradoras se encontraron por debajo de 0.92 (valor mínimo recomendado).

9. El factor de potencia se encontró entre los valores de 0.77 y 0.85 lo que significó que la demanda del proveedor fue entre el 17% y 30 % más de energía para realizar el proceso de trituración en la planta.

7.2. Recomendaciones

1. Debido a que los factores de potencia de las trituradoras se encontraron por muy por debajo de 0.6 se recomendó la revisión del factor de potencia al ingreso del transformador.

2. Se incorporaron procedimientos de revisión de neumáticos antes de ingresar a la rampa de los alimentadores para evitar atascamientos ocasionados por ingreso de materiales indeseables tales como alambres, cables metálicos

3. Se socializó y sensibilizó, con los operarios, acciones orientadas al mantenimiento de equipos como: rampas alimentadoras, limpieza de tolvas de recepción, mantenimiento de imanes, limpieza de filtros para material particulado que influyen en tiempos adicionales durante el proceso implicando mayores consumos energéticos

4. Se propone la instalación de un banco de capacitores o la optimización y mejoramiento el banco de capacitores existente para mejorar el factor de potencia, de forma tal que se eviten multas a futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo Ministerial 191 del 29 de enero 2013, Reg Oficial 881. (31 de Enero de 2013). <https://www.derechoecuador.com/>.
- Ademe. (10 de junio de 2010). <http://www.avnir.org>. Obtenido de www.ademe.fr
- AEADE. (2017). <http://www.aeade.net>.
- Andino Bolaños, J., & Oviedo Yagual, A. (12 de Diciembre de 2018). Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/45847>
- Andino J, O. A. (2018). <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/45847>
- Andrade, H. ., O. Campo, y M. Segura.(2015) «Huella De Carbono Del Sistema De producción De Arroz (Oryza Sativa) En El Municipio De Campoalegre, Huila, Colombia». Ciencia & Tecnología Agropecuaria, vol. 15, n.º 1, diciembre de 2015, pp. 25-31, doi:10.21930/rcta.vol15_num1_art:394.
- ARCONEL (2019) Pliego tarifario para las empresas eléctricas de Distribución servicio público de energía eléctrica. Resolución Nro. ARCONEL – 035/19 (23 de diciembre de 2019)
- Arias F (2016) El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 7ª Edición. Editorial Episteme.
- Bárcena, Prado, Samaniego, & Pérez. (18 de Febrero de 2015). cepal.org/. Obtenido de <http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle>
- Camargo, S. (12 de Julio de 2010). <https://repository.unimilitar.edu.co>. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/3654>
- Cardona L, & S. (Martes de Agosto de 2011). <https://repository.udem.edu.co>. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11407/375>
- CARMEN RAQUEL CÓRDOVA - ANA ZORIO-GRIMA MARÍA GARCÍA-BENAU Carpio, & Medina. (18 de Septiembre de 2013). <https://dspace.ups.edu.ec>. doi:<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8971>
- Carrillo y Córdova. (Jueves de Junio de 2012). <https://bibdigital.epn.edu.ec>. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec>: bibdigital.epn.edu.ec
- Castro, G. (2008). [http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material Complementario/Materiales Compuestos para la Industria del Neumático.pdf](http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material%20Complementario/Materiales%20necesarios%20para%20la%20industria%20del%20neumático.pdf)
- Chacón, Pinzón, Ortegón, & Rojas . (26 de Agosto de 2016). Diseño de una línea de proceso para la obtención de polvo de caucho a base de neumáticos fuera de uso (NFU), Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Septiembre 2013. Estudios gerenciales, 278-289. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.estger.2016.08.004>
- Chimborazo, L., Caisa, E. y, Miranda, R. (2017) Trituración de neumáticos reciclados como desencadenantes en los procesos industriales en la Provincia de Tungurahua. Revista Publicando, 4 No 12. (2). 2017, 427-439. ISSN 1390-93. [file:///C:/Users/acven/Downloads/715-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2852-1-10-20170926%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/acven/Downloads/715-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2852-1-10-20170926%20(1).pdf)
- CINAE (2022) Boletín Parque Automotor Circulante diciembre 2022 de la Cámara Nacional de la Industria Automotriz Ecuatoriana CINAE . [https://www.cinae.org.ec/wp-content/uploads/2023/02/Parque automotor dec22-2.pdf](https://www.cinae.org.ec/wp-content/uploads/2023/02/Parque%20automotor%20dec22-2.pdf)
- Cisterna, F (2007) Manual Metodología Investigación Cualitativa para la Educación y Ciencias Sociales. Disponible en [es.scrib.com>document>francisco-cisterna-cabrera-ubbmanual](http://es.scrib.com/document/francisco-cisterna-cabrera-ubbmanual)

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2022). Metodología para la evaluación de avances en la economía circular en los sectores productivos de América Latina y el Caribe.
- Comité de Medio Ambiente Asociación Española para la Calidad. (Martes de Septiembre de 2012).
- Conesa, J. (1996) Estudio de la Pirólisis de residuos plásticos de polietileno y neumáticos usados. <file:///C:/Users/acven/Downloads/Conesa-Ferrer-Juan-Antonio.pdf>
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR (2008). Registro Oficial 449 de 20-oct.-2008. Recuperado: https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Cordona L & Sánchez L. (Jueves de Junio de 2011). <https://repository.udem.edu.co>. Obtenido de <https://repository.udem.edu.co/>: repository.udem.edu.co
- Córdova A., Zorio, A., García, M. (2018) Nuevas formas de reporting corporativo: información sobre la huella de carbono en España. Artículo. Rev. adm. empres. 58 (6) <https://doi.org/10.1590/S0034-759020180603>
- Daza Urrego, Alexander, Buriticá Arboleda, Clara Inés, & Garzón Rodríguez, Yaqueline. (2015). Estudio experimental de potencias, factor de potencia y energía eléctrica en cargas industriales tomando como referencia la norma IEEE Std 1459-2010. Tecnura, 19(spe), 41-54. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a03>
- De la Cruz Leiva José, C. J. (15 de Marzo de 2009). <https://www.ambialia.es>. Obtenido de https://www.ambialia.es/registro-huella-de-carbono-en-ministerio?gclid=CjwKCAiAhc7yBRAdEiwAplGxXwf1MRQaYVWE8wVaV4HceGNTNGMkMh72TZf-nM4hDm6p_5QCJHWv9xoCTdYQAvD_BwE
- De la Cruz y Chao. (jueves de julio de 2009). <http://www.comunidadism.es>. Obtenido de <http://www.comunidadism.es/>: www.comunidadism.es Diario " El Universo". (22 de Julio de 2015). www.eluniverso.com.ec.
- Diario " El Universo". (1 de junio de 2018). www.eluniverso.com.ec. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/06/01/nota/6787862/reciclaje-se-cobrar-dolar-adicional-cada-llanta-nueva-julio>
- Diario "El Comercio". (12 de Septiembre de 2016).
- Diario "El Comercio". (5 de julio de 2016). www.elcomercio.com. doi:www.elcomercio.com
- El Cacho, Joaquín. (11 de Marzo de 2016). El gas que está cambiando el clima bate un récord histórico. La vanguardia. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/natural/20160311/40361263861/noaa-aumento-concentración-co2-mauna-loa-html>
- Espíndola , C., & Valderrama , J. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos y Estimación y Complejidades Metodológicas. Información tecnológica, Vol.23(1), 163-176. doi:10.4067/S0718- 07642012000100017
- Farías, M. (2021) SEGINUS, empresa ecuatoriana que promueve y lidera el reciclaje de los neumáticos fuera de uso (NFU). Artículo. <https://conexionnoticiasec.com/seginus-empresa-ecuatoriana-reciclaje-llantas/>
- Fernández Torrez, Luz Adriana, Aquino-Rocha, Joaquin Humberto, & Cayo Chileno, Nahúm Gamalier. (2022). ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL RESIDUO DE CAUCHO DE NEUMÁTICO COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO EN EL HORMIGÓN. Revista hábitat sustentable, 12(2), 52-65. <https://dx.doi.org/10.22320/07190700.2022.12.02.04>

- Fidias , G., & Arias. (12 de Julio de 2012). <https://ebevidencia.com> (Vol. sexta edición). (EPISTEME, Ed.) Caracas, Venezuela: EPISTEME. Recuperado el 2018, de <https://ebevidencia.com/wp-content/uploads>
- Finol, M y Vera, J. (2020) Paradigmas, enfoques y métodos de investigación: análisis teórico. Revista mundo recursivo. Vol. 3 – Núm. 1. Enero – Junio – 2020. <https://atlantic.edu.ec/ojs/index.php/mundor/article/view/38>
- Fuentes Gaete, A. (2021) Evaluación de factibilidad estratégica, técnica y económica de elaborar un plan de comercialización de gránulo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos en la región metropolitana. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/183988/Evaluacion-de-factibilidad-estrategica-tecnica-y-economica-de-elaborar-un-plan-de-comercializacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garabiza, B. Prudente, E.; Quinde, K. (2020) La aplicación del modelo de economía circular en Ecuador: Estudio de caso. Revista espacios. ISSN: 0798-1015. DOI: 10.48082/espacios-a21v42n02p17
- George, T. (1996). Gestión Integral de Residuos Sólidos (Vol. 2). (I. d. España, Ed.) España: McGraw-Hill. doi:10:8448117662
- Ghaffar , A., Sawaid , A., & Faisal Mueen Qamer. (2010, Mayo 13). The importance of the integrity and completeness of the scholarly record to researchers and librarians and attaches the highest importance to maintaining trust in the authority of its electronic archive. ELSEVIER. doi:doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.042
- Gualancañay Guachamin, B. H. . (2020). MAQUINA PROTOTIPO GRANULADORA DE CAUCHO DE NEUMATICOS. REVISTA MULTIDISCIPLINARIA DE DESARROLLO AGROPECUARIO, TECNOLÓGICO, EMPRESARIAL Y HUMANISTA., 2(2), 5. Recuperado a partir de <https://dateh.es/index.php/main/article/view/45>
<https://es.slideshare.net>.
- IDRD. (2018). www.idrd.gov.co. Obtenido de www.idrd.gov.co/especificaciones/index.php
- INEC. (4 de Enero de 2016). <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>. INEC. (10 de Febrero de 2016). <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>. INEN. (5 de Julio de 1996). <https://www.normalizacion.gob.ec>.
- INEN. (20 de Junio de 2011). <https://www.normalizacion.gob.ec>.
- Infante-Alcalde, Josefina, & Valderrama-Ulloa, Claudia. (2019). Technical, Economic and Environmental Analysis of the manufacture of concrete blocks with Recycled Terephthalate Polyethylene (PET). Información tecnológica, 30(5), 25-36. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500025>
- La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [IUCN] (2019) Islas libres de residuos plásticos Plan maestro para un viaje hacia cero residuos plásticos. https://www.iucn.org/sites/default/files/2023-05/3-iucn_blue-print-report_finales-plan-maestro-para-un-viaje-hacia-cero-residuos-plasticos.pdf
- Lara, E., Guerrero, D y Altamirano, B. (2020) Influencia de las partículas de caucho en la resistencia a la compresión de bloques de concreto Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, vol. 43, núm. 3, pp. 134-141. <https://www.redalyc.org/journal/6057/605766264004/html/>
- Leong, SY., Lee, SY., Koh, TY. et al. 4R de la gestión de residuos de caucho: actualidad y perspectivas. J Mater Cycles Waste Manag 25 , 37–51 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01554-y>
- Lewis & Huang. (20 de Julio de 2013). Method and Calculation Tool for Carbon Footprint Assessment of Machine Tool, Department of Mechanical Engineering National Cheng Kung University Tainan, Taiwan. Elsevier.

- doi:https://doi.org/10.1007/978-981-4451-48-2_35
- Martínez Cardana. (3 de noviembre de 2014). <https://e-archivo.ucm.es>. Recuperado el 15 de Septiembre de 2018, de <http://hdl.handle.net/10016/20241>
- Mayorga, M. [et al.]. (2020) Responsabilidad social y ambiental: tratamiento y disposición final de llantas usadas en la ciudad de Machala. "Gestión en el Tercer Milenio", 16 Octubre 2020, vol. 23, núm. 45, p. 39-48. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/346873>
- Mendez y Solano. (Abril de 2010). dspace.ups.edu.ec.
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (31 de Enero de 2013). <https://www.ambiente.gob.ec>.
- Ministerio de Ambiente del Ecuador . (25 de Febrero de 2019). www.ambiente.gob.ec. Obtenido de www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (Jueves de Julio de 2002). www.ambiente.gob.ec. Obtenido de www.ambiente.gob.ec: [ambiente.gob.ec](http://www.ambiente.gob.ec)
- Ministerio de medio ambiente de Chile (2022). Huella de carbono. Sitio wen Ministerio de medio ambiente Chile. <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (jueves de Junio de 2012). <https://www.produccion.gob.ec>. Obtenido de <https://www.produccion.gob.ec>: www.produccion.gob.ec
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (15 de Agosto de 2012). <https://www.produccion.gob.ec>.
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (25 de Febrero de 2020). www.produccion.gob.ec/comex/.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (2019) Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/5.PROYECTO-PNGIDS.pdf>
- Mirabella , N., & Allackera , K. (2017). The Enviromental Footprint of cities: Insiggths in the steps forward to a new Methodological Approach. ScienceDirect, 635-642. doi:10.1016/j.proenv2017.03.143
- Montoya-Torres, Gutierrez-Franco y Blanco. (2015). Conceptual framework for measuring carbo footprint in supply chains. (Production Planning & Control, Ed.) 265-279. doi:10.1080/09537287.2014.894215
- Moreno, A. (2013) Entendimiento y naturaleza de la científicidad geotecnológica: una aproximación desde el pragmatismo epistemológico. Nº 60, julio- diciembre de 2013, pp. 05-36. Investigaciones Geográficas. ISSN: 0213- 4691. eISSN: 1989-9890. Instituto Interuniversitario de Geografía. DOI: 10.14198/INGEO2013.60.01
- Moserrate, J. (2018) Un grupo de empresas que recicla llantas. Artículo. Revista Líderes. <https://www.revistalideres.ec/lideres/grupo-empresas-recicla-llantas-estrategias.html>.
- Mousalli, G. (2015) Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa. https://www.researchgate.net/profile/Gloria-Mousalli/publication/303895876_Metodos_y_Disenos_de_Investigacion_Cuantitativa/links/575b200a08ae414b8e4677f3/Metodos-y-Disenos-de-Investigacion-Cuantitativa.pdf
- Municipio de Distrito Metropolitano de Quito. (2013). www.quitoambiente.gob.ec.
- Murcia & Romero. (25 de Julio de 2016). <http://repository.uamerica.edu.co>.
- National Audit Office. (13 de Noviembre de 2007). www.nao.org. Obtenido de www.nao.org.uk/wp-content/uploads/2007/11/07087.pdf

- Norma ASTM D6270-08. (s.f.). Obtenido de <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/astm?c=013346>
- Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/569/1/4101253-2016-2-IM.pdf>
- Ocampo , M., Caicedo, B., & Gonzalez , D. (25 de Mayo de 2015).
- ONU (1998) Protocolo de Kyoto (1998) de la convención en el marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático [file:///C:/Users/acven/Downloads/protocolo de kyoto sp.pdf](file:///C:/Users/acven/Downloads/protocolo%20de%20kyoto%20sp.pdf)
- ONU. (18-29 de Octubre de 2010). www.cbd.int. Obtenido de www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-es.pdf
- Palella, & Martins. (6 de Septiembre de 2012). Metodología de la investigación cuantitativa 3ra Edición, Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (Vol. Tercera). (F. E. Libertador, Ed.) Caracas, Venezuela: FEDUPEL.
- Pallo. (15 de Enero de 2016). <http://repositorio.ute.edu.ec>. Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/14186>
- Parra, R. (2015). Factor de emisión de CO2 debido a la generación de la electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-2011. Avances en Ciencias e Ingenierías, 7(2). Obtenido de <http://avances.usfq.edu.ec>
- Pelaez , G., Velasquez , S., & Giraldo, D. (14 de Febrero de 2017). Aplicación de Caucho Reciclado: Revisión de la Literatura. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. doi:<http://dxdoi.org/10.18359/rcin.2143>
- Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Restrepo, S. M., & Giraldo Vásquez, D. H. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 27(2), 27-50. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91150559002>
- Prado-Castro, E., & Castro Armijos , C. J. (14 de abril de 2017). Intensidad Energética del Ecuador y Estimación de Huella de Carbono. Universidad y Sociedad, 9(2). Obtenido de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>
- Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente [PNUMA] (2011) Informe Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. <http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW.10-19.Spanish.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente [PNUMA] (2014) Convenio de Basilea. <https://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-s.pdf>
- Ramírez, L., Orjuela, A. Angulo, G. (2020) Propuesta de adoquines hechos a base de caucho reciclado. Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, vol. 11, no. 1, 44-53. <http://revistas.unitecnar.edu.co/index.php/sth/article/view/34/94>
- Rodríguez Nivicela, D. M., Mosquera Cedillo, X. A., & Vega Granda, A. C. (2022). Análisis de la aplicación del modelo de economía circular en las empresas del Ecuador. Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 5(1), 127-137. <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/478/493>
- Rodríguez S., J.(2003). Paradigmas, enfoques y métodos en la investigación educativa. Investigación Educativa. Vol 7 N°. 12. p 23-40
- Rodríguez, J. (2017) Reutilización De Neumáticos Fuera De Uso. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/6260/Reutilizacion%20De%20Neumaticos%20Fuera%20De%20Uso.pdf>

- Romero Huamaní, R. (2016). Ética y Epistemología en la Investigación Científica. tendencias y Perspectivas. QUIPUKAMAYOC. facultad de Ciencias Contables, 24(46), 139-150.
- Romero, R. (24 de Julio de 2016). Ética y Epistemología en la investigación científica. Tendencias y perspectivas, Quipukamayoc. investigacion.unmsm. doi:<https://doi.org/10.15381/quipu.v24i46.13208>
- Salas, F. (2021) Aproximación teórica del sistema a de Creencias sobre el acompañamiento tutorial en la Generación de conocimiento. Tesis Doctoral. UPEL. Venezuela.
- Sampedro Guamán, Carlos Roberto, Machuca Vivar, Silvio Amable, Palma Rivera, Diego Paul, & Villalta Jadan, Bolívar Enrique. (2021). Impacto ambiental por consumo de energía eléctrica en los Data Centers. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores, 8(spe4), 00034. Epub 20 de septiembre de 2021. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2786>
- Sanchís, A.; Veses, A.; Martínez, J.; García, T.; Murillo, R. (2022) Hacia la economía circular del negro de carbono por medio de la pirólisis de neumáticos fuera de uso. Boletín del Grupo Español del Carbón (65): 5-12 (2022) <https://digital.csic.es/handle/10261/282449>
- Silverman, B.G., Pietrocola, D., Nye, B. et al. (15 de Marzo de 2011). Rich socio-cognitive agents for immersive training environments: case of Nonkin Village. Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/s10458-011-9167-4>
- Tchobanoglous, G. (1994). Gestión Integral de Residuos Sólidos (Vol. 2). España: McGraw-Hill. doi:10:8448117662
- Tipan, L. (2019) Modelo de gestión de responsabilidad social organizacional en el reciclaje de neumáticos fuera de uso para las Fuerzas Armadas del Ecuador. Tesis doctoral. Universidad de la Plata. Argentina. <http://catalogo.econo.unlp.edu.ar/meran/opac-detail.pl?id1=20429>
- UICN. (2012). <http://portals.iucn.org>. Obtenido de <http://portals.iucn.org/library/files/documents/2012-051-es.pdf>
- UNE. (15 de julio de 1992). Obtenido de <https://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-s.pdf>
- UNE. (22 de Septiembre de 2012). <https://www.une.org>. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/comites-tecnicos-de-normalizacion/comite?c=CTN%2077>
- UNE. (24 de Octubre de 2011). Obtenido de <https://enb.iisd.org/vol20/enb2037s.html>
- Vásconez, A. (2021). Diseño de máquina trituradora para la obtención de partículas de caucho a partir de neumáticos pre-cortados [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10800>
- Vegas, M. (2020) Iniciativas nacionales para el reciclaje de llantas usadas en Colombia. Universidad de américa. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7844/1/233203-2020-I-G.pdf>
- Veloz, D. (2022) factibilidad ambiental y económica para la creación de una planta aprovechadora de neumáticos usados Ecuador. <https://repositorio.uise.edu.ec/bitstream/123456789/4534/1/Veloz%20Gonz%C3%A1lez%20Diego%20Tarsicio.pdf>
- Vergara, C. Mendoza, G., Bravo, J. y Contreras M. (2018) Evaluación de la Huella de Carbono en la Producción de Materiales Agregados para la Construcción en el Municipio de Toluviejo – Colombia. 16 th LACCEI International Multi-

Conference for Engineering, Education, and technology: "Innovation in Education and Inclusion", 19-21 July 2018, Lima, Peru.
https://laccei.org/LACCEI2018-Lima/full_papers/FP18.pdf

Wiedman, T., & Christoph Minx, J. (1 de Enero de 2007). www.isa-research.co.uk.
Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/247152314_A_Definition_of_Carbon_Footprint

WRI. (2004). <http://www.ghgprotocol.org>. Obtenido de
<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/ghg-protocolrevised.pdf>

www.diarioelcomercio.com.ec.

Yucra, T., Bernedo, L. (2020) Epistemología e Investigación Cuantitativa. Rev. Igobernanza. Diciembre 2020. Vol.3/N°12, pp. 107 - 120. ISSN: 2617-619X. DOI: <https://doi.org/10.47865/igob.vol3.2020.88>

Anexos Instalación del equipo de medición de potencia



ZENSOR MDTT ID: MDTT-FI-CSH
 IPv4: 192.168.0.1

	Voltios	Amperios	kw	kwh
L1:	260.08	146.38	0.48	0.00
L2:	268.97	52.95	0.30	0.00
L3:	260.18	10.09	0.83	0.00
Total:			1.57	0.00
ENERGIA ACUMULADA (kwh):				880.90
ENERGIA REACTIVA (kVARh):				130.14
POTENCIA MAXIMA (kw):				39.17

150x150x70