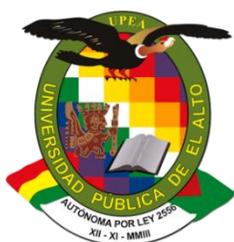


**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO  
VICERRECTORADO  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS y  
PETROQUIMICA  
INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERIA CIVIL**



**“MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO PIROLIZADO  
OBTENIDAS A PARTIR DE NEUMATICOS RECICLADOS”**

PROYECTO FINANCIADO CON RECURSOS PROPIOS

Resolución HCC N° 130/2020

Resolución HCC N° 80/2020

**EQUIPO DE INVESTIGADORES:**

M.Sc. Ing. Andrea Isabel Mamani Ochoa  
Ing. Jorge Felix Chavez Viscarra  
Univ. Douglas Quispe Lipa  
Univ. Juan Carlos Condori Vargas  
Univ. Willy Adhemar Saavedra Poma  
Univ. Nelly Hortencia Quispe Tarqui  
Univ. Hebert Hilari Pacosillo,  
Univ. Joel Gustavo Choque Calle

EL ALTO – BOLIVIA

2021

# UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

## AUTORIDADES

Dr. Carlos Condori Titirico  
**RECTOR**

Dr. Efraín Chambi Vargas Ph.D  
**VICERRECTOR**

Dr. Antonio López Andrade pH. D.  
**DIRECTOR DE INSTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

Ing. Guido Gutierrez Rios  
**DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Ing. Willy Ricardo Luque Acho  
**DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUIMICA**

Msc Ing. Antonio Anaya Valverde  
**COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERÍA CIVIL**

Ing. Elma Rocío Córdova Quispe  
**COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA**

**REGISTRO SENAPI:** Resolución Administrativa Nro 1-3260/2021

**CONVENIO INTERINSTITUCIONAL:** UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO – EMAVIAS

**DERECHOS RESERVADOS:** Universidad Pública de El Alto

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n Zona Villa Esperanza

Noviembre, 2021  
El Alto – Bolivia

## PRESENTACIÓN

---

La Universidad Pública de El Alto tiene como objetivos fundamentales realizar y promover la investigación en todos los campos del conocimiento y dar respuestas a los problemas, necesidades de la Ciudad de El Alto, regionales, del país es decir de la sociedad boliviana en su conjunto.

Siguiendo dichos objetivos, la investigación científica e innovación tecnológica es uno de los pilares fundamentales que se implementa en las Carreras de Ingeniería Civil y de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública de El Alto, para formar ingenieros con conocimientos técnico-científico, con habilidades y destrezas para intervenir en la solución de los problemas multidisciplinarios regionales y nacionales.

El proyecto “Mezclas asfálticas modificadas con caucho pirolizado obtenidas a partir de neumáticos reciclados” fue desarrollado por la M.Sc. Ing. Andrea Isabel Mamani Ochoa y el Ing. Jorge Felix Chavez Viscarra, y apoyado por los auxiliares de investigación universitarios: Univ. Hebert Hilari Pacosillo, Univ. Joel Gustavo Choque Calle, Univ. Douglas Quispe Lipa, Univ. Juan Carlos Condori Vargas, Univ. Willy Adhemar Saavedra Poma y Univ. Hortencia Quispe Tarqui quienes en equipo han logrado concluir la investigación de obtención asfalto modificado mediante la incorporación de caucho ligeramente pirolizado a partir de neumáticos fuera de uso, que mejora las propiedades de durabilidad al prevenir el agrietamiento del cemento asfáltico, disminuyendo el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga aumentando su elasticidad.

El desarrollo del proyecto de investigación se realizó básicamente en las dependencias de (EMAVIAS) del GAML P, entidad que brindó un apoyo total para la ejecución del mismo.

Para nosotros es una satisfacción presentar el presente trabajo de investigación, esperando que la información contenida en el presente trabajo de investigación sea de gran utilidad para nuestra comunidad y contribuya al desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías en el país.

M.Sc.Ing. Elma Rocío Córdova Quispe  
**COORDINADORA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA DE  
INGENIERÍA GAS Y PETROQUÍMICA**

M.Sc. Ing. Antonio Anaya Valverde  
**COORDINADOR DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL**

## **AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES**

---

La Constitución Política del Estado, establece y garantiza el desarrollo de la ciencia y la investigación científica, técnica y tecnológica en beneficio del interés general. Asimismo, indica que el Estado, las universidades, las empresas productivas y de servicios, públicas y privadas, desarrollaran procesos de investigación, innovación, promoción, divulgación, aplicación y transferencia de ciencia y tecnología para fortalecer la base productiva e impulsar el desarrollo integral de la sociedad (Art. 103, numeral I, II y III); y por otra, la Universidad Pública de El Alto (UPEA) tiene constituido en su Estatuto Orgánico el Carácter Científico Institucional y tiene como misión no solamente la de formar profesionales capaces a requerimiento de la población, sino al amparo de la Ley de leyes del país tiene la de fomentar la ciencia y la investigación técnica y tecnológica para coadyuvar al desarrollo integral del país.

En el marco anterior, la UPEA expresa en su Plan Estratégico de Desarrollo Institucional PEDI 2017-2021, que es una necesidad fomentar procesos de investigación científica a nivel de la Comunidad Universitaria, promoviendo la generación de nuevos conocimientos, ciencia, desarrollo, tecnología e innovación, tarea que es asumida responsablemente a través de la Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología (DICyT) y sus Institutos de Investigaciones, en este caso particular desde el Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Gas y Petroquímica y el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Civil, proyecta ser un brazo articulador para investigaciones que coadyuven al rol de la industria de gas y petroquímica.

Por tanto, la UPEA a través del Instituto de Investigaciones de Ingeniería de Gas y Petroquímica y el Instituto de Ingeniería Civil coadyuva al desarrollo del sector económico productivo y el sector de hidrocarburos del país, enfocados en procesos que permiten la separación primaria (gas, petróleo crudo y agua) y secundaria (deshidratación, removido de petróleo crudo, adulsamiento, criogenización), y otros procesos especializados como extracción de combustibles líquidos, material sólido y otros. El Instituto de Investigaciones de ambas carreras ha tomado muy en serio este tema de investigación y ha avanzado exitosamente el desarrollo del proyecto “Mezclas asfálticas modificadas con caucho pirolizado obtenidas a partir de neumáticos reciclados” liderada por la M.Sc. Ing. Andrea Isabel Mamani Ochoa y el Ing. Jorge Felix Chavez Viscarra, y apoyada por las auxiliares de investigación universitarias: Univ. Hebert Hilari Pacosillo, Univ. Joel Gustavo Choque Calle, Univ. Douglas

Quispe Lipa, Univ. Juan Carlos Condori Vargas, Univ. Willy Adhemar Saavedra Poma y Univ. Hortencia Quispe Tarqui quienes en equipo han logrado concluir la investigación de obtención de asfalto modificado mediante la incorporación de caucho ligeramente pirolizado a partir de neumáticos fuera de uso, que mejora las propiedades de durabilidad al prevenir el agrietamiento del cemento asfáltico, disminuyendo el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga aumentando su elasticidad. Para concluir este trabajo, los investigadores han logrado realizar aproximadamente 48 ensayos de pirolisis con materiales de laboratorio, alcanzando temperaturas hasta 300°C, obteniendo caucho ligeramente pirolizados, y 99 ensayos relacionados a mezclas de cemento asfáltico con caucho y los resultados han sido caracterizados con diferentes agregados proporcionados por la Empresa Municipal de Asfaltos y Vías (EMAVIAS) del GAMLP.

Finalmente, el proyecto tiende a mostrar las diferentes alternativas de mejora de la calidad de asfaltos en altura, como es la ciudad de La Paz y El Alto, de ahí el interés de EMAVIAS y otros en este trabajo, que sin duda fortalece y alienta la investigación.

A la Ingeniera Elma Córdova, coordinadora del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Gas y Petroquímica, al Msc Antonio Anaya Valverde Coordinador de Investigación de la carrera de Ingeniería Civil; por todo su desprendimiento y colaboración, por acompañar al desarrollo de este proyecto, porque siempre está al pendiente del equipo de investigación y acompañar con las gestiones para el trabajo.

Al director de carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica Ingeniero Willy Ricardo Luque Acho por incentivar al equipo de investigación a realizar el proyecto.

Al director de la carrera de Ingeniería Civil Ingeniero Guido Gutierrez Rios por su apoyo e impulso al equipo de investigación docente- estudiantil en el desarrollo del proyecto

Un agradecimiento especial a la empresa municipal de asfaltos EMAVIAS Gerencia General y el departamento de laboratorio por brindarnos todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación. No hubiésemos podido arribar a estos resultados de no haber sido por su incondicional ayuda.

A la organización del Comité Nacional de Economía Circular por parte de IBNORCA para la ejecución de la Norma T323. Conjuntamente a la Organización Suiza Swisscontact por colaborar en las ponencias del foro Nacional de Economía Circular.

A la Universidad Pública de El Alto, por el incentivo a la investigación científica para la generación de nuevos conocimientos y transmisión del mismo a la sociedad a través de la dirección DICyT y todo el personal de la Universidad.

M.Sc. Ing. Andrea Isabel Mamani Ochoa

**DOCENTE INVESTIGADOR**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA DE GAS Y PETROQUIMICA**

Ing. Jorge Felix Chavez Viscarra

**DOCENTE INVESTIGADOR**

**INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERIA CIVIL**

## INDICE

<b>CAPITULO I: INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	2
1.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2.2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	4
1.2.3. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	6
1.3. OBJETIVOS.....	7
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	8
1.4. HIPOTESIS.....	8
1.5. JUSTIFICACION.....	8
1.5.1. JUSTIFICACION TECNICA.....	8
1.5.2. JUSTIFICACION ECONOMICA.....	9
1.5.3. JUSTIFICACION SOCIAL.....	10
1.5.4. JUSTIFICACION AMBIENTAL.....	10
1.6. ALCANCE.....	10
1.6.1. ALCANCE TEMATICO.....	10
1.6.2. ALCANCE TEMPORAL.....	10
1.6.3. ALCANCE GEOGRAFICO.....	11
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
2.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	12
2.1.1. MEZCLAS ASFALTICAS.....	12
2.1.1.1. ASFALTO MODIFICADO CON POLVO DE NEUMÁTICO RECICLADO (NFU) 12	
2.1.2. NEUMATICOS.....	12
2.1.2.1. COMPOSICION DE UN NEUMATICO.....	13
2.1.3. PIROLISIS.....	14
2.1.4. PIROLISIS DE NEUMATICOS.....	15
2.1.4.1. CARACTERIZACION DE LOS PRODUCTOS DE PIROLISIS.....	18
2.1.4.2. TIPOS DE PIROLISIS.....	18
2.1.4.3. TIPOS DE REACTORES DE PIROLISIS.....	21
2.1.4.4. PLANTA DE PIROLISIS DE HORNO ROTATORIO.....	23

2.1.5.	ESTUDIO DE NEGRO DE HUMO Y FUEL OIL .....	24
2.1.6.	PROCESOS DE OBTENCION DE POLVO DE CAUCHO A BASE DE NFU 26	
2.1.6.1.	METODOS DE INCORPORACION EN MEZCLAS ASFALTICAS .....	27
2.2.	NORMATIVAS INTERNACIONALES RESPECTO A LA DISPOSICIÓN DE NEUMATICOS .....	30
2.3.	INVESTIGACIONES RELACIONADAS.....	33
2.3.1.	INVESTIGACIONES EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL .....	33
2.4.	CORRIENTE O ENFOQUE ELEGIDO POR EL INVESTIGADOR.....	37
2.5.	IDENTIFICACION DE LAS FUENTES.....	38
<b>CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO .....</b>		<b>40</b>
3.1.	TIPO DE INVESTIGACION.....	40
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	40
3.3.	VARIABLES DE LA INVESTIGACION.....	41
3.4.	POBLACION Y MUESTRAS.....	42
3.5.	AMBIENTE DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.6.	TECNICAS E INSTRUMENTOS.....	43
3.7.	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	44
3.8.	CARACTERÍSTICAS DEL POLVO Y GRANO DE CAUCHO.....	45
3.8.1.	ELABORACION DE POLVO Y GRANO DE CAUCHO .....	46
3.9.	MATERIALES EMPLEADOS PARA LA PIROLISIS DE NEUMATICOS.....	48
3.9.1.	MATERIALES Y EQUIPOS EMPLEADOS PARA EL PROCESO DE PIROLISIS .....	49
3.10.	PROCEDIMIENTO PARA LA PIROLISIS DE POLVO Y GRANO DE CAUCHO ..	53
3.11.	PROCEDIMIENTO PARA LA DESTILACIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE PROVENIENTE DEL COMBUSTIBLE DEL POLVO Y GRANO DE CAUCHO PREVIAMENTE PIROLIZADO .....	56
3.12.	ENSAYOS PARA LA MEZCLA DE CEMENTO ASFALTICO Y CAUCHO PIROLIZADO.....	60
3.12.1	MATERIALES UTILIZADOS PARA LA MEZCLA DE ASFALTO.....	60
3.12.2.	PROCEDIMIENTO PARA LA MEZCLA DE CEMENTO ASFALTICO Y CAUCHO PIROLIZADO .....	60
3.12.3.	GRANULOMETRÍA.....	60

<b>CAPITULO IV: RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
4.1. DIAGNOSTICO DE LA GENERACIÓN DE NEUMATICOS FUERA DE USO EN LA CIUDAD DE EL ALTO.....	62
4.1.1. ENCUESTA SOBRE LA CANTIDAD DE NEUMATICOS FUERA DE USO .	63
4.1.2. ALTERNATIVAS DEL APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO SOLIDO.....	69
4.1.3. DIAGNOSTICO DEL PAVIMENTO EN LA CIUDAD DE EL ALTO .....	69
4.1.4. REPORTE DE INSPECCION DEL TIPO DE ASFALTOS PRESENTES EN LA CIUDAD DE EL ALTO .....	70
4.1.5. AV 6 DE MARZO LA PAZ - ORURO TRAMO (CEJA EL ALTO – EX TRANCA SENKATA).....	71
4.1.6. RAMO CEJA DE EL ALTO - EXTRANCA DE RIO SECO.....	76
4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PIROLISIS DEL CAUCHO EN GRANO Y EN POLVO .....	80
4.2.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PIROLIZADO DE CAUCHO EN GRANO Y EN POLVO .....	80
4.2.1.1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE PIROLIZADO DEL CAUCHO EN POLVO .....	81
4.2.1.2. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE PIROLIZADO DEL CAUCHO EN GRANO.....	82
4.2.2. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN NEGRO PROVENIENTE DEL GRANO Y POLVO DE CAUCHO .....	83
4.2.3. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL COMBUSTIBLE PROVENIENTE DEL CARBÓN NEGRO DEL GRANO Y POLVO DE CAUCHO .....	86
4.3. CARACTERIZACIÓN DEL COMBUSTIBLE PIROLIZADO.....	88
4.4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DESTILACIÓN DEL COMBUSTIBLE PRODUCIDO DE LA PIROLIZACIÓN DEL CAUCHO EN GRANO Y EN POLVO .....	89
4.4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DESTILACIÓN DEL COMBUSTIBLE PROVENIENTE DEL CAUCHO EN GRANO Y EL CAUCHO EN POLVO.....	89
4.4.2 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN NEGRO PROVENIENTE DEL GRANO Y POLVO DE CAUCHO .....	90
4.5. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA MEZCLA ASFALTICAS MODIFICADAS	92
4.6. CARACTERIZACION DE MATERIALES.....	93

4.6.1.	GRANULOMETRÍA CAUCHO PIROLIZADO .....	93
4.6.2.	CARACTERIZACION DEL ASFALTO 85-100 .....	94
4.6.2.1	ENSAYO DE PENETRACION.....	96
4.6.2.2	PESO ESPECIFICO CEMENTO ASFALTICO PEN 85-100 .....	98
4.6.2.3	DUCTILIDAD .....	100
4.6.2.4	VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL .....	103
4.6.2.5	PUNTO DE ABLANDAMIENTO .....	104
4.6.3	CARACTERIZACION DE ASFALTO MODIFICADO CON 10%CP .....	106
4.6.4	CARATERIZACION DE ASFALTO MODIFICADO CON 15%CP .....	107
4.6.5.	CARACTERIZACION DEL LOS AGREGADOS .....	108
4.7.	MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL.....	117
4.7.1.	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL 85/100 .....	118
4.7.2.	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON 10%CP .....	119
4.7.3.	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON 15%CP .....	120
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES .....</b>		<b>124</b>
<b>CAPITULO VI: RECOMENDACIONES.....</b>		<b>127</b>

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. QUEMA DE LLANTAS A CIELO ABIERTO EN PROTESTAS.....	5
FIGURA 2. ACOPIO INADECUADO DE LLANTAS .....	6
FIGURA 3. ESQUEMA DE PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
FIGURA 4. RED VIAL FUNDAMENTAL LA PAZ 2020 .....	11
FIGURA 5. CONSTITUCIÓN DE UN NEUMÁTICO .....	14
FIGURA 6. ESQUEMA DE UN PROCESO PIROLISIS DE NEUMÁTICOS USADOS .....	17
FIGURA 7. PLANTA DE PIROLISIS DE LLANTAS FUERA DE USO .....	24
FIGURA 8. ETAPAS PARA LA OBTENCIÓN DEL POLVO DE CAUCHO .....	26
FIGURA 9. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO POR VÍA HÚMEDA.....	28
FIGURA 10. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO POR VÍA SECA.....	29
FIGURA 11. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	41
FIGURA 12. IDENTIFICACIÓN DE POBLACIÓN Y MUESTRA .....	42
FIGURA 13. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN .....	43
FIGURA14. POLVO Y GRANO DE CAUCHO ADQUIRIDO .....	46
FIGURA 15. ACOPIO DE LA MATERIA PRIMA.....	46
FIGURA 16. DESTANOLADO DE LLANTA.....	47
FIGURA 17. CORTE DE TIRAS.....	47
FIGURA 18. REDUCCIÓN DE TIRAS .....	47
FIGURA 19. REDUCCIÓN DE TIRAS .....	48
FIGURA 20. MATERIA PRIMA DE POLVO Y GRANO DE CAUCHO.....	48
FIGURA 21. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL .....	49
FIGURA 22. MATERIAL DE LABORATORIO PARA DESTILACIÓN .....	50
FIGURA 23. MUESTRAS DEL POLVO Y GRANO DE CAUCHO .....	53
FIGURA 24. EQUIPO DE DESTILACIÓN SIMPLE PARA PIROLIZADO .....	53

FIGURA 25. PESAJE DE LA MUESTRA DE CAUCHO EN LA BALANZA DE PRECISIÓN .....	54
FIGURA 26. MANTO CALEFACTOR CALENTANDO EL BALÓN CON MUESTRA DE CAUCHO.....	54
FIGURA 27. TERMÓMETRO INFRARROJO MIDIENDO LA TEMPERATURA DEL BALÓN CON MUESTRA DE CAUCHO .....	55
FIGURA 28. DESTILACIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE .....	55
FIGURA 29. BALÓN CON LA MUESTRA NEGRO DE HUMO.....	56
FIGURA 30. EQUIPO DE DESTILACIÓN SIMPLE PARA OBTENER EL BIOCOMBUSTIBLE MÁS PURO .....	57
FIGURA 31. MEDICIÓN DEL VOLUMEN DEL COMBUSTIBLE DERIVADO DEL CAUCHO TRITURADO .....	57
FIGURA 32. MANTO CALEFACTOR CALENTANDO EL BALÓN CON MUESTRA DE CAUCHO.....	58
FIGURA 33. TERMÓMETRO INFRARROJO MIDIENDO LA TEMPERATURA DEL BALÓN CON MUESTRA DE COMBUSTIBLE DEL CAUCHO .....	58
FIGURA 34. DESTILACIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE .....	59
FIGURA 35. BALÓN CON LA CANTIDAD MÍNIMA DE COMBUSTIBLE .....	59
FIGURA 36. USO DE LOS NEUMÁTICOS EN EL RELLENO SANITARIO DE VILLA INGENIO .....	62
FIGURA 37. ZONA EX TRANCA RIO SECO .....	64
FIGURA 38. ENCUESTA ZONA EX TRANCA RIO SECO .....	64
FIGURA 39. ZONA CEJA DE EL ALTO.....	65
FIGURA 40. ENCUESTA ZONA CEJA DE EL ALTO.....	65
FIGURA 41. ZONA EX TRANCA DE SENKATA .....	66
FIGURA 42. ZONA EX TRANCA DE SENKATA .....	66
FIGURA 43. ZONA SAN ROQUE EX PARADA MICRO 8.....	69
FIGURA 44. ZONA LAGUNAS, DISTRITO 7.....	70

FIGURA 45. ZONA BELLA VISTA CIUDAD DE EL ALTO .....	70
FIGURA 46. TRAMO 1 PUNTO INICIAL CEJA DE EL ALTO .....	71
FIGURA 47. COORDENADAS TRAMO 1 CEJA DE EL ALTO .....	72
FIGURA 48. TRAMO 2 PUENTE BOLIVIA.....	72
FIGURA 49. COORDENADAS TRAMO 2 PUENTE BOLIVIVA.....	73
FIGURA 50. TRAMO 3 CRUCE ACHOCALLA.....	73
FIGURA 51. COORDENADAS TRAMO 3 CRUCE ACHOCALLA .....	74
FIGURA 52. TRAMO FINAL PUENTE VELA.....	75
FIGURA 53. COORDENADAS TRAMO FINAL PUENTE VELA.....	76
FIGURA 54. TRAMO 1 PUNTO INICIAL AVENIDA COSTANERA.....	76
FIGURA 55. COORDENADAS TRAMO INICIAL AVENIDA COSTANERA.....	77
FIGURA 56. TRAMO 2 AVENIDA TUPAC KATARI .....	77
FIGURA 57. COORDENADAS TRAMO 2 ZONA TUPAC KATARI.....	78
FIGURA 58. TRAMO 3 ZONA VILLA ESPERANZA, AVENIDA SUCRE “B” .....	78
FIGURA 59. COORDENADAS TRAMO 2 ZONA VILLA ESPERANZA .....	79
FIGURA 60. TRAMO FINAL ZONA BALLIVIAN, AVENIDA PUCARANI.....	79
FIGURA 61. COORDENADAS TRAMO FINAL ZONA BALLIVIÁN .....	80
FIGURA 62. TAMBORES DE CEMENTO ASFALTICO PEN 85-100 .....	95
FIGURA 63. MUESTREO DE CEMENTO ASFALTICO .....	95
FIGURA 64. EQUIPO DE PENETRACIÓN.....	97
FIGURA 65. MUESTRAS DE ASFALTO EN FRASCOS Y EQUIPO DE PENETRACIÓN	98
FIGURA 66. BALANZA ANALÍTICA.....	99
FIGURA 67. PICNÓMETRO CON MUESTRA DE CA PEN 85-100 .....	100
FIGURA 68. DUCTILOMETRO .....	101
FIGURA 69. BRIQUETAS CON CA 854-100.....	102
FIGURA 70. BRIQUETAS CON CA EN DUCTILOMETRO.....	102

FIGURA 71. ENSAYO DE DUCTILIDAD .....	103
FIGURA 72. VISCOSÍMETRO SAYBOLT FUROL .....	104
FIGURA 73. PREPARACIÓN DE ANILLOS DE BRONCE CON CA 85-100.....	106
FIGURA 74. ENSAYO DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO DEL CA 85-100 .....	106
FIGURA 75. MATERIAL DE AGREGADOS ACOPIADOS GRUESOS-MEDIOS Y FINOS .....	108
FIGURA 76. CUARTEO DE LOS AGREGADOS ACOPIADOS GRUESOS-MEDIOS Y FINOS .....	109
FIGURA 77 TAMIZADO Y PESADO ACUMULADO DE AGREGADOS.....	113
FIGURA 78. TAMIZADO Y PESADO ACUMULADO DE AGREGADOS.....	116
FIGURA 79. MATERIAL DE LABORATORIO PARA PESO ESPECÍFICO DE FINOS....	116
FIGURA 80. PESADO DE PICNÓMETRO +MUESTRA + AGUA PARA PESO ESPECÍFICO DE FINOS.....	117
FIGURA 81. TALADRO DE MESA PARA HOMOGENIZACIÓN ASFALTO MODIFICADO .....	122
FIGURA 82. DOSIFICACIÓN – MEZCLADO.....	122
FIGURA 83. COMPACTADO -BRIQUETAS MARSHALL .....	123

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPONENTES QUÍMICOS DE LOS NEUMÁTICOS.....	14
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS DE LA PIROLISIS DE NEUMÁTICOS .....	15
TABLA 3. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE PIROLISIS SEGÚN LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN MANEJADA .....	18
TABLA 4. PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL NEGRO DE HUMO.....	25
TABLA 5. PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL FUEL OIL .....	25
TABLA 6. TERMINOLOGÍA ASOCIADA AL USO DE POLVO DE CAUCHO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	27
TABLA 7. INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA .....	38
TABLA 8. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....	41
TABLA 9. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	44
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DEL CAUCHO POLVO Y GRANO.....	45
TABLA 11. ENCUESTAS A CONDUCTORES DEL PARQUE AUTOMOTOR DE EL ALTO .....	63
TABLA 12. CANTIDAD DE CONDUCTORES ENCUESTADOS .....	67
TABLA 13. CANTIDAD DE ENCUESTADOS SOBRE LA DISPOSICIÓN FINAL DE NFU67 .....	67
TABLA 13. ANÁLISIS DE LA VARIANZA .....	83
TABLA 14. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN NEGRO (%) .....	83
TABLA 15. RENDIMIENTO DEL CAUCHO EN POLVO Y GRANO PIROLIZADO .....	84
TABLA 16. ANÁLISIS DE LA VARIANZA .....	84
TABLA 17. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN NEGRO (%) .....	85

TABLA 18. VALORES PROMEDIO DEL RENDIMIENTO DE LA PIROLISIS CARBÓN NEGRO PROVENIENTE DEL GRANO Y POLVO DE CAUCHO .....	85
TABLA 19. ANÁLISIS DE LA VARIANZA .....	86
TABLA 20. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN NEGRO (%) .....	86
TABLA 21. VALORES PROMEDIO DEL RENDIMIENTO DE LA PIROLISIS CARBÓN NEGRO PROVENIENTE DEL GRANO Y POLVO DE CAUCHO .....	87
TABLA 22. CARACTERIZACIÓN DEL COMBUSTIBLE PIROLIZADO .....	88
TABLA 23. ANÁLISIS DE LA VARIANZA .....	89
TABLA 24. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN NEGRO (%) .....	89
TABLA 25. VALORES PROMEDIO DEL VOLUMEN DE LA DESTILACIÓN CARBÓN NEGRO PROVENIENTE DEL GRANO Y POLVO DE CAUCHO .....	90
TABLA 26. ANÁLISIS DE LA VARIANZA .....	91
TABLA 27. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN NEGRO (%) .....	91
TABLA 28. VALORES PROMEDIO DEL RENDIMIENTO DE LA PIROLISIS CARBÓN NEGRO PROVENIENTE DEL GRANO Y POLVO DE CAUCHO .....	91
TABLA 29. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFALTICO .....	96
TABLA 30. ENSAYOS DE PENETRACIÓN .....	97
TABLA 31. ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO CA CONVENCIONAL PEN 85-100 .....	99
TABLA 32. ENSAYO DE DUCTILIDAD CA CONVENCIONAL 85-100 .....	101
TABLA 33. ENSAYO DE VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL 135°C CA 85-100 .....	104
TABLA 34. ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO CA 85-100 .....	105
TABLA 35. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE ASFALTO MODIFICADO CON 10%CP .....	107
TABLA 36. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE ASFALTO MODIFICADO CON 15%CP .....	107

TABLA 37. JUEGO DE TAMICES.....	110
TABLA 38. GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO.....	110
TABLA 39. GRANULOMETRÍA AGREGADO INTERMEDIO .....	111
TABLA 40. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO.....	112
TABLA 41. PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO .....	114
TABLA 42. PESO ESPECÍFICO AGREGADO INTERMEDIO .....	115
TABLA 43. PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO PASA TAMIZ N°4 .....	115
TABLA 44. DENSIDAD PONDERADA DE LOS AGREGADOS .....	115
TABLA 45. RESULTADO MEZCLA CONVENCIONAL CON ASFALTO 85/100.....	119
TABLA 46. RESULTADO MEZCLA MODIFICADA CON ASFALTO 85/100 Y 10% DE CAUCHO PIROLIZADO .....	120
TABLA 47. RESULTADO MEZCLA MODIFICADA CON ASFALTO 85/100 Y 15% DE CAUCHO PIROLIZADO .....	121
TABLA 48. ESTABILIDAD COMPARATIVA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (CONVENCIONAL/ MODIFICADA 10%CP / MODIFICADA 15%CP).....	126

## INDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS ENCUESTADOS .....	67
GRÁFICA 2. PORCENTAJE DE ENCUESTADOS SOBRE LA DISPOSICIÓN FINAL DE NFU .....	68
GRÁFICA 3. VOLUMEN DEL COMBUSTIBLE VS TEMPERATURA PROVENIENTE DEL CAUCHO EN POLVO .....	81
GRÁFICA 4. VOLUMEN DEL COMBUSTIBLE VS TEMPERATURA PROVENIENTE DEL CAUCHO EN GRANO .....	82
GRÁFICA 5. RENDIMIENTO DEL CARBÓN NEGRO VS TIPO DE CAUCHO PROVENIENTE .....	86
GRÁFICA 6. RENDIMIENTO DEL COMBUSTIBLE VS TIPO DE CAUCHO PROVENIENTE .....	87
GRÁFICA 7. VOLUMEN DEL COMBUSTIBLE VS TIPO DE CAUCHO PROVENIENTE ..	90
GRÁFICA 8. RENDIMIENTO DEL COMBUSTIBLE VS TIPO DE CAUCHO PROVENIENTE .....	92
GRÁFICA 9. CURVA GRANULOMÉTRICA DE POLVO DE CAUCHO PIROLIZADO .....	93
GRÁFICA 10. CURVA GRANULOMÉTRICA DE GRANO DE CAUCHO PIROLIZADO ....	94
GRÁFICA 11. CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO GRUESO .....	111
GRÁFICA 12. CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO INTERMEDIO .....	112
GRÁFICA 13. CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO FINO .....	113
GRÁFICA 14. RESULTADO %VACIOS DE MEZCLA CONVENCIONAL CON 4.7%CA	119
GRAFICA 15. RESULTADO %VACIOS DE MEZCLA MODIFICADA CON 5.6%CA MODIFICADO .....	120

GRAFICO 16. RESULTADO %VACIOS DE MEZCLA MODIFICADA CON 5.6%CA MODIFICADO .....	121
GRÁFICA 17. ESTABILIDAD MEZCLA CONVENCIONAL ASFALTO 85/100 .....	125
GRAFICA 18. ESTABILIDAD MEZCLA MODIFICADA CON 10%CAUCHO PIROLIZADO .....	125
GRÁFICA 19. ESTABILIDAD MEZCLA MODIFICADA CON 15%CAUCHO PIROLIZADO .....	126

## RESUMEN

En nuestro país el parque automotor liviano y pesado usa llantas a base de caucho, y cuando este accesorio cumple su vida útil se lo desechan, y no saben qué hacer con el mismo, ya que las llantas no se descomponen fácilmente, y demoran hasta 100 años en degradarse. Esta situación requiere respuestas adecuadas, que permite desarrollar la estrategia de reciclar las llantas de caucho con el objeto de obtener asfalto modificado mediante la incorporación de caucho pirolizado a partir de neumáticos fuera de uso.

El estudio supone que la incorporación de caucho pirolizado en las mezclas asfálticas mejoran las propiedades en las capacidades de deformación del pavimento en relación a mezclas asfálticas convencionales.

El método es experimental y desarrolla ensayos de laboratorio de los materiales que son componentes de las mezclas asfálticas: granos o polvo de caucho pirolizado, asfalto convencional 85/100 y agregados. Caracterizado los materiales, se procede a la aplicación del método Marshall, dosificando el asfalto modificado adicionando desde 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7%, de los cuales contiene caucho pirolizado en 10% y 15%, homogenizados a temperaturas de 170°C-176°C.

Se efectuaron 55 ensayos de laboratorio para la obtención de caucho pirolizado, y 99 ensayos de laboratorio para la obtención de mezclas asfálticas modificadas con caucho pirolizado. De los resultados del condensado obtenido de la pirolisis, dado su potencial como combustible líquido, de 15 a 17 ml producidos del combustible de la pirolisis de caucho en grano y polvo se producen entre 4 a 6 ml de biocombustible por destilación. En cuanto a las mezclas asfálticas modificadas la mayor estabilidad se encuentra con el 10% de caucho pirolizado. Indicado que este asfalto tendría la capacidad de resistir al desplazamiento y deformación bajo cargas del tránsito capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, y reducir el desarrollo de ahuellamientos y ondulaciones que se presentan en los pavimentos flexibles.

**Palabras Clave:** Mezcla asfáltica modificada, polvo de caucho, medio ambiente, negro de humo, fuel oil, caracterización, homogenización, asfalto modificado.

## ABSTRACT

In our country, the light and heavy automotive fleet uses rubber-based tires, and when this accessory reaches its useful life they are discarded, and they do not know what to do with it, since the tires do not break down easily, and take up to 100 years to degrade. This situation requires adequate responses, which makes it possible to develop the strategy of recycling rubber tires in order to obtain modified asphalt by incorporating pyrolyzed rubber from end-of-life tires.

The study assumes that the incorporation of pyrolyzed rubber in asphalt mixtures improves the properties of the pavement's deformation capacities in relation to conventional asphalt mixtures.

The method is experimental and develops laboratory tests of the materials that are components of asphalt mixtures: grains or pyrolyzed rubber powder, conventional 85/100 asphalt and aggregates. Once the materials are characterized, the Marshall method is applied, dosing the modified asphalt adding from 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5% and 7%, of which it contains pyrolyzed rubber in 10% and 15%, homogenized at temperatures of 170 ° C-176 ° C.

55 laboratory tests were carried out to obtain pyrolyzed rubber, and 99 laboratory tests to obtain asphalt mixtures modified with pyrolyzed rubber. From the results of the condensate obtained from the pyrolysis, given its potential as a liquid fuel, 15 to 17 ml produced from the fuel from the pyrolysis of rubber in grain and powder are produced between 4 to 6 ml of biofuel by distillation. As for the modified asphalt mixtures, the greatest stability is found with 10% of pyrolyzed rubber. Indicated that this asphalt would have the ability to resist displacement and deformation under traffic loads, capable of maintaining its shape and smoothness under repeated loads, and reducing the development of rutting and undulations that occur in flexible pavements.

**Keywords:** Modified asphalt mixture, rubber powder, environment, carbon black, fuel oil, characterization, homogenization, modified asphalt.

## **CAPITULO I: INTRODUCCION**

### **1.1. ANTECEDENTES**

El uso de caucho triturado en mezclas asfálticas ha sido acogido en Estados Unidos al menos desde inicio de los sesenta por el departamento de transporte en Arizona (Cruz, 2015). Desde ese entonces, este tipo de material ha sido adoptado alrededor del mundo. (M,Ibraim, H. Katman, MA. Karim, Koting, N. Mashaan, 2013).

Se ha dedicado a buscar soluciones durante los últimos años a la disposición de neumáticos reciclados y desechados, debido al crecimiento del parque automotriz y a la falta de programas de recuperación de este tipo de residuos, y a la vez con una finalidad también de obtener una mezcla asfáltica modificada alternativa para la fabricación de pavimentos, estas circunstancias combinadas dan origen a uno de los problemas medioambientales más graves en todo el mundo.

La modificación de asfalto es una técnica efectiva para mejorar las características de los asfaltos en la pavimentación de vías, esta técnica consiste en la adición de polímeros (isopreno) a los (Delarze, 2008) asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas es decir su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (Campos, 2013).

Ante este panorama una de las técnicas actuales de reutilización del caucho, básicamente mecánica, consiste en la trituración del mismo dando origen a un material el cual se incorpora a la mezcla asfáltica con el objetivo de mejorar ciertos aspectos tales como la susceptibilidad térmica, comportamiento elástico resistencia a figuración por fatiga y resistencia al envejecimiento (Tonda, n.d.).

McDonald H, 1966, fue el primero en los Estados Unidos en desarrollar la técnica del proceso húmedo (o reacción) de mezclas asfálticas modificadas con partículas de caucho en 1960.

McDonald H, 1966 utilizo por primera vez la cubierta de goma de asfalto para material de empaste e identifico la operación como una “curado” técnica de reparación en Phoenix Arizona, en 1963. El sistema de aglutinante utilizado para el “curado” parche aplicado por

pulverización y el parche era un sello de chips colocada a mano sobre un área limitada de pavimento, la primera gran área de aplicación en 1967 produjo resultados pobres debido a la alta viscosidad de la goma del asfalto con relación a la capacidad del distribuidor de asfalto.

Esto obedece en gran parte al hecho de que los neumáticos presentan dentro de sus componentes varios tipos de polímeros tales como styrene-butadiene rubber SBR y elastómero termoplástico sintético SBS que juntamente con el negro de humo contribuyen al mejoramiento de las propiedades mencionadas. (Díaz, 2008).

## **1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En nuestro país se tiene un parque automotor liviano y pesado que predominantemente usa llantas o neumáticos a base de caucho, esto porque se hace necesario su uso (llantas) para el transporte humano, transporte animal, transporte de materiales, etc. Y cuando este accesorio cumple su vida útil se lo desechan, y al desecharlo las personas o instituciones públicas y/o privadas no saben qué hacer con el mismo, ya que estos elementos (llantas) no se descomponen fácilmente, son biodegradables y pueden demorar hasta 100 años en degradarse y en este proceso afectan nuestro medio ambiente.

Las llantas de caucho como residuos sólidos no son adecuadamente desechados en nuestro país, se puede indicar que no es tratado adecuadamente en su disposición final en los Gobiernos Municipales, es por esta razón que resulta importante generar una estrategia adecuada para su disposición final y que no afecta a la biodiversidad.

Según la industria de fabricación de llantas de caucho, de forma resumida podemos indicar que su preparación, construcción y los métodos de manufactura son variados y requieren de diferentes insumos y energía para su elaboración, y el cual tiene diferentes fases, y uno de ellos es la preparación de la mezcla de los componentes según formulas científicas y consecuentemente los otros componentes de la llanta, y con los controles de calidad rigurosos.

Entre los ingredientes más usados en los compuestos de caucho, tenemos:

- Negro de humo. Añade consistencia y dureza.
- Azufre. Sirve para vulcanizar o "curar" el jebe y convertirlo en un producto útil.
- Cementos y pinturas. Para la construcción y el acabado.
- Fibras de Rayón y Acero. Para fortalecer la llanta.
- Caucho sintético natural. Materiales principales en la fabricación.
- Antioxidantes. Para resistir los efectos dañinos de la luz solar y del ozono, para hacer que la llanta tenga mayor durabilidad.
- Aceites y grasas. Para hacer más maleable la mezcla y para ayudar en el mezclado de todos los ingredientes.

Si la fabricación de llantas obedece a ciertos estándares de calidad, ya que estos deben garantizar su durabilidad y seguridad, podemos indicar que al convertirse en residuos sólidos en algunas regiones lo incineran, generando las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentando el calentamiento global, es por esta razón que es necesario desarrollar procedimientos adecuados para su reciclado y reutilización. (UNMSM. Facultad de Ingeniería Industrial. ISSN versión electrónica 1810-9993)

Una de las estrategias es que se pueden reciclar las llantas de caucho para la elaboración de mezclas asfálticas modificadas, mediante pirolisis, los cuales se pueden utilizar en pavimentos y según sea su aplicación en, riegos asfálticos o capas asfálticas.

El problema de la infraestructura vial en el país radica en desconocer el comportamiento dinámico de los pavimentos debido a la sobrecarga de vehículos pesados, cambios bruscos de temperatura, así también debido a problemas de diseño, especificaciones de las mezclas, etc. Esto se puede ver reflejado en numerosas calles y carreteras del país, donde se encuentra en gran cantidad grietas en los metros de pavimentos. Las deficiencias en los pavimentos también se deben a que las mezclas no poseen un buen comportamiento mecánico, debido a que son sometidas a condiciones diferentes de trabajo como flexión, compresión, tracción, etc.

Con el proyecto se busca mejorar la afluencia vehicular en los pavimentos, sin hacer que los asfaltos sean demasiados viscosos y de compactación demasiado livianos o quebradizo a baja temperatura. Un material que cumple con todos esos requisitos es el caucho reciclado de los neumáticos, el cual después de ser pirolizada se incorporará al asfalto para que de esta manera se pueda obtener una mezcla asfáltica modificada.

### 1.2.2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

El sector transporte es considerado como uno de los ejes de la economía del país que además de ser una fuente de empleo también se ha convertido que genera grandes impactos ambientales, según los estudios realizados por la actividad que genera grandes impactos ambientales en razón a que este sector se consumen combustibles y lubricantes derivados del petróleo; también, se industrializan residuos peligrosos como baterías aceites y llantas.

Según los resultados obtenidos de un diagnóstico ambiental en el manejo de llantas en el parque automotor del departamento de La Paz, llamó la atención este residuo en razón a que en todas las etapas del proceso de realización de llantas se requiere de un gran número de materias primas (óxido de zinc) y procesos que impactan en el medio ambiente. Así mismo en todas las etapas tiende a producir residuos y desechos que generan un impacto negativo especialmente por su inadecuado manejo y disposición final. A continuación, se presentan alguna de las prácticas inadecuadas con relación al manejo y disposición final de llantas.

#### a) Quema a cielo abierto

Esta actividad genera elevados niveles de contaminación del aire, ya que su combustión genera emisión de contaminantes como partículas, monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Entre los compuestos peligrosos y contaminantes están: los hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs), dioxinas, furanos, cloruro de hidrogeno, benceno, bifenilos policlorados (PCBS) y metales como arsénico, cadmio, níquel, zinc, mercurio, cromo y vanadio, que afectan significativamente la salud.

**Figura 1. Quema de llantas a cielo abierto en protestas**



Fuente: (DIARIO NACIONAL, 2015)

**b) Almacenamiento inadecuado**

Respecto al inadecuado almacenamiento de este residuo, se asocian los siguientes impactos negativos:

- Proliferación de vectores como roedores, moscos debido al almacenamiento de agua y difícil acceso a los sitios de almacenamiento.
- Riesgo de incendios de gran magnitud por el acopio incontrolado de llantas y sin ningún tipo de medida de seguridad.
- Riesgo de derrumbes por el acopio inadecuado de llantas.
- Impacto visual negativo por el deterioro del paisaje debido a su acopio inadecuado.

**Figura 2. Acopio inadecuado de llantas**



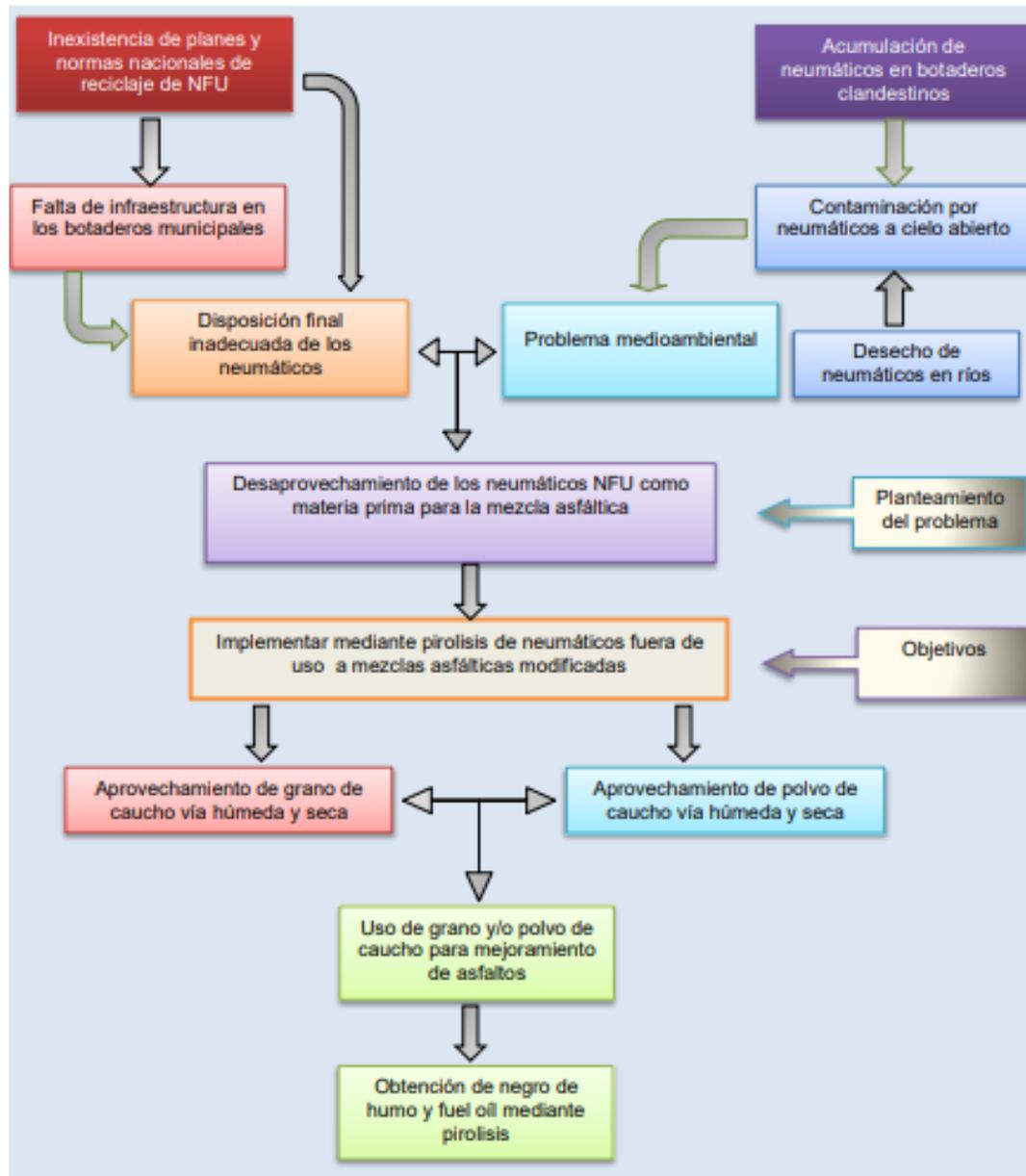
Fuente: (Periodico, LOS TIEMPOS, 2017)

Teniendo en cuenta la problemática ambiental generada, se hace necesario la búsqueda de alternativas de aprovechamiento de este residuo, encontrándose una oportunidad en el uso como materia prima para la fabricación de la mezcla asfáltica, acorde a los excelentes resultados en otros países del mundo.

### **1.2.3. FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Será óptima la incorporación de grano o polvo de caucho pirolizado proveniente del reciclado de los neumáticos fuera de uso, para formar mezcla asfáltica modificada?

Figura 3. Esquema de planteamiento del problema



Fuente: Elaboración propia

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener asfalto modificado mediante la incorporación de caucho ligeramente pirolizado a partir de neumáticos fuera de uso.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de neumáticos fuera de uso y del pavimento de la ciudad de El Alto.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos de la pirolisis del caucho en grano y en polvo.
- Llevar a cabo la caracterización del condensado obtenido de la pirolisis, dado su potencial como combustible líquido (combustible diésel oíl).
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos de la destilación del combustible proveniente del caucho en grano y el caucho en polvo.
- Caracterizar las mezclas asfálticas mediante sus procesos de obtención.
- Realizar un análisis comparativo con los diferentes porcentajes de caucho pirolizado mezclado con el asfalto

### **1.4. HIPOTESIS**

La incorporación de caucho pirolizado en las mezclas asfálticas muestran mejoras en las propiedades en las capacidades de deformación del pavimento en relación a mezclas asfálticas convencionales.

### **1.5. JUSTIFICACION**

#### **1.5.1. JUSTIFICACION TECNICA**

Los neumáticos de caucho resultan un material útil para su reciclado, reúso y aprovechamiento, esto por su composición, ya que los elementos que lo componen como: caucho natural, acero, fibras, aceites, pueden ser transformados y reincorporados en otro elemento mediante el reciclado.

Lo que se plantea con llantas de caucho que han cumplido su vida útil de darle otro valor agregado mediante procesos adecuados para el uso en otras aplicaciones como riegos asfálticos o capas asfálticas de protección o capas asfálticas estructurales.

Mejorar las condiciones de estabilidad y durabilidad de las mezclas asfálticas para uso en pavimentos para tráfico vehicular debido al aumento de parque automotor y el tránsito de nuestras ciudades.

Las llantas de caucho una vez cumplido su tiempo de vida útil tienen otros usos, entre los que se pueden señalar estabilización de taludes, señalizaciones, modificadores de mezclas asfálticas, etc.

Se ha dedicado a buscar soluciones durante los últimos años a la disposición de neumáticos reciclados y desechados, debido al crecimiento del parque automotriz y a la falta de programas de recuperación de este tipo de residuos, estas circunstancias combinadas dan origen a uno de los problemas medioambientales más graves en todo el mundo.

La modificación de asfalto es una técnica innovadora utilizada para el aprovechamiento en la pavimentación de vías a través del asfalto, esta técnica consiste en la adición de caucho (polímeros) a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características (Campos, 2013).

En la actualidad en otros países existen experiencias del uso de mezclas modificadas con incorporación de caucho, sin embargo en Bolivia, específicamente en el Departamento de La Paz se tiene escasa o nula experiencia del uso de este tipo de mezclas asfálticas con incorporación de caucho pirolizado, en cual favorece a mejorar el comportamiento mecánico y consecuentemente la durabilidad de la mezcla asfáltica convencional cuando son sometidos a diferentes condiciones de carga y ambiente, que actualmente se presentan en nuestros pavimentos.

### **1.5.2. JUSTIFICACION ECONOMICA**

El empleo de mezclas asfálticas modificadas con el aditamento de caucho pirolizado, destaca mayor resistencia a los ahullamientos, menor susceptibilidad a la temperatura, mayor vida útil con lo cual se consigue mejorar las mezclas a través de sus características mecánicas, lo que resulta en una reducción de costos de mantenimiento del pavimento en la Ciudad de El Alto.

Generación de empleo producto del reciclado de llantas de caucho, los cuales pueden ir desde la: recolección, traslado, acopio, transformación y disposición final.

### **1.5.3. JUSTIFICACION SOCIAL**

El beneficio social y efectos que se puede conseguir con el empleo de las mezclas asfálticas modificadas con incorporación de caucho pirolizado resalta la reducción de la interrupción de tráfico por reparaciones en el pavimento.

Por otro lado, el reciclaje de los neumáticos ayudaría de gran manera a reducir problemas relacionados con la salud, ya que estos se acumulan y se desechan en las calles captando agua de lluvia y a su vez son transmisores de enfermedades respiratorias virales. Sin que hasta el momento se haya dado algún paso afirmativo e integrado a remedir este problema.

### **1.5.4. JUSTIFICACION AMBIENTAL**

El reciclaje de los neumáticos se presenta como alternativa de prevención a la gran cantidad de impactos generados debido a la estructura física que poseen estos, ya pueden atrapar o liberar gases tóxicos, y más aún si los neumáticos son desechados a ríos ya que abren vías para que la precipitación ingrese en el vertedero, creando lixiviados.

## **1.6. ALCANCE**

### **1.6.1. ALCANCE TEMATICO**

El desarrollo de esta investigación se realizará en base a ensayos o pruebas de laboratorio, es por eso que se presenta la limitación de verificar el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada con las convencional en el pavimento una vez colocada, debido a que ello conllevará un monitoreo en un tiempo prudente y medir su desempeño de las mezclas in situ.

### **1.6.2. ALCANCE TEMPORAL**

El presente proyecto será desarrollado a partir del mes de marzo en la gestión 2021.

Pero es necesario indicar que este proyecto de investigación puede durar varios periodos desde su implementación y hasta su puesta en marcha.

### 1.6.3. ALCANCE GEOGRAFICO

La presente investigación está orientada a obtener y evaluar la mejor proporción del caucho reciclado de neumáticos en mezclas asfálticas para solucionar los problemas que se ven en la capa asfáltica producto del tráfico, clima y materiales de las vías del departamento de La Paz Bolivia, específicamente en un ámbito municipal (El Alto).

**Figura 4. Red Vial Fundamental La Paz 2020**



Fuente: ABC - MINISTERIO DE OBRAS, 2021

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

#### 2.1.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas, también llamadas aglomerados, son la combinación de agregados pétreos y un ligante carbonatado, de manera que cubre los agregados. Las mezclas asfálticas están compuestas por: 90% de agregados pétreos grueso y fino y un 5% de llenante mineral y otro 5% de ligante asfáltico. Estos componentes son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y disminuir de aquellos agregados que afectan a su conjunto. El ligante asfáltico y la llenante mineral son elementos que influyen en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total (Mayén, 2016).

##### 2.1.1.1. Asfalto modificado con polvo de neumático reciclado (NFU)

Es un ligante asfáltico mejorado respecto al cemento asfáltico convencional de partida, que cumple con especificaciones internacionales y presenta propiedades elásticas y un excelente comportamiento frente al envejecimiento. En la figura 5 puede verse un extendido de este material donde se evidencian propiedades elásticas.

Otra de las grandes ventajas de este material, es su mayor resistencia al envejecimiento sufrido en planta asfáltica en altas temperaturas. Una medida de ello es el Índice de durabilidad. Este índice se calcula como el cociente entre las variables de viscosidades rotacionales medidas a 60°C para el asfalto virgen y el envejecido por RTFOT, es una medida de qué tanto aumenta la viscosidad del cemento durante el proceso de mezclado en planta asfáltica en caliente. (ASFALTO MODIFICADO CON POLVO DE NEUMÁTICO RECICLADO (NFU))

#### 2.1.2. NEUMATICOS

Se definen como elementos básicos para la movilidad de cualquier vehículo o automotor, debido a que están fabricados principalmente por el caucho sintético o natural que posee la resistencia y solidez para soportar aire a alta presión, dentro de sus principales funciones se encuentran el de resistir cargas dinámicas que se producen en la aceleración y frenado,

permitir la tracción del vehículo sobre cualquier terreno y amortiguar las irregularidades de las calles o avenidas asfaltadas. (Rubber Pavement Association, 2015)

Está constituida por una cubierta, banda de rodadura de goma labrada, que tiene la finalidad de evitar el derrape del vehículo, una carcasa de estructura resistente formada por capas de hilos o de cables incorporados en el caucho y una cámara de aire

La complejidad de la forma y de las funciones que cada parte del neumático tiene que cumplir, se traduce en la añadidura de distintos materiales que lo componen. El principal componente del neumático es el caucho sintético o natural en un 80% de su peso aproximadamente, seguido de acero con un 15% y las fibras textiles u otros componentes con un 5% (QUEZADA V., DENNIS A., 2011).

#### **2.1.2.1. COMPOSICION DE UN NEUMATICO**

Están compuestas por tres productos básicamente: Caucho natural y sintético; Acero; textil.

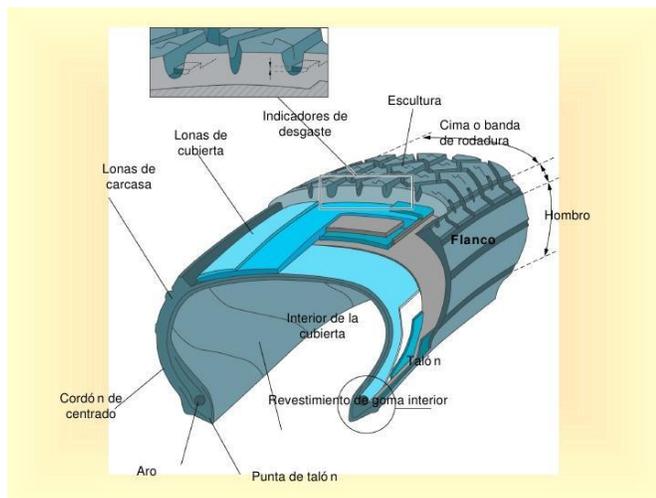
Este caucho que se utiliza en la producción de las llantas está compuesto por un grupo de polímeros (compuestos químicos con un elevado peso molecular) como el polisopreno sintético, el polibutadieno y el estireno-butadieno, todos estos compuestos usados como compuestos orgánicos en hidrocarburos.

El caucho natural es un polímero elástico proveniente de vegetación del género Hevea siendo una sustancia lechosa de las plantas de color blaquesino.

El caucho sintético es el más importante y utilizado debido a sus grandes propiedades y bajo costo debido a que resiste a la abrasión con el paso del tiempo. Este tipo de elastómero es un material que presenta propiedades mecánicas como el poder sufrir mayores deformaciones elásticas bajo tensión siendo un material flexible con respecto a otros materiales y aun así recupera su tamaño original. Este es utilizado como un reemplazo del caucho natural, en especial cuando se necesita mejorar las propiedades de los materiales. El caucho SBR (estireno-butadieno) tiene mayor resistencia al desgaste y presenta mayor generación de calor (Castro, 2008).

Los neumáticos están constituidos por cuatro partes principales que se muestran en el siguiente gráfico.

Figura 5. Constitución de un neumático



Fuente: (Castro, 2008)

En la siguiente tabla se muestra la composición química de los neumáticos:

Tabla 1. Componentes químicos de los neumáticos

Componentes	Automóviles en % en peso	Camiones % en peso	Funcion
Cauchos	48	45	Estructural - deformación
Negro de humo	22	22	Mejora oxidación
Óxido de zinc	1.2	2.1	Catalizador
Material textil	5	0	Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización

Fuente: (Castro, 2008)

### 2.1.3. PIROLISIS

La pirolisis consiste en calentar materia orgánica en ausencia de aire u oxígeno a una velocidad especificada o tasa de calentamiento, hasta una temperatura máxima conocida como temperatura de pirolisis, y mantenerla allí un tiempo en específico.

Teóricamente, el proceso de pirolisis puede estar representado por la siguiente reacción genérica, en donde los subíndices representan el número de átomos de cada elemento que constituye tanto la materia prima empleada como los productos obtenidos:

#### Ecuación 1 Reacción Genérica de Pirolisis



Fuente: Elaboración propia en base a (PRABIR, Basu, 2010)

### 2.1.4. PIROLISIS DE NEUMATICOS

La aplicación del proceso de pirolisis como medio para el reciclaje de neumáticos fuera de uso ha sido objeto de renovado interés recientemente. La pirolisis es la degradación térmica del componente de polímero de caucho del neumático en ausencia de oxígeno. Es así, que las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el objeto de destruir los enlaces químicos en productos de menor peso molecular, constituidos en sólidos, gases y líquidos. Esta es una forma de obtener nuevamente los compuestos originales del neumático. Es el método que consigue la recuperación total de los compuestos del neumático: aceite, gas, producto de carbón, refuerzo de acero.

La calidad y cantidad de estos productos dependen de la temperatura del reactor que oscilan entre 400 – 600 °C y el diseño del reactor. La tabla siguiente muestra la gama de composición y propiedades de cada producto.

**Tabla 2. Características de los productos de la pirolisis de neumáticos**

Producto	Composición	Valor calorífico
Gases	Hidrocarburos con bajo contenido de azufre	19-45 MJ / Kg
Gas combustible	Contiene menos de 1% de azufre	4- 42 MJ / Kg
Carbón (sólido)	Contiene 2-3% de azufre y 3-4% de zinc	28-33 MJ / Kg

Fuente: (Silkymia, 2020)

Este gas pirolítico está compuesto por aceites pesados (moléculas de hidrocarburos con 8 o más átomos de carbono), aceites livianos (moléculas de hidrocarburos con carbonos de 3-7), benceno y tolueno. El carbón resultante es un material particulado fino compuesto por humo de negro, ceniza, rellenos de arcilla, azufre, óxido de zinc, carbonatos de calcio y magnesio y silicatos.

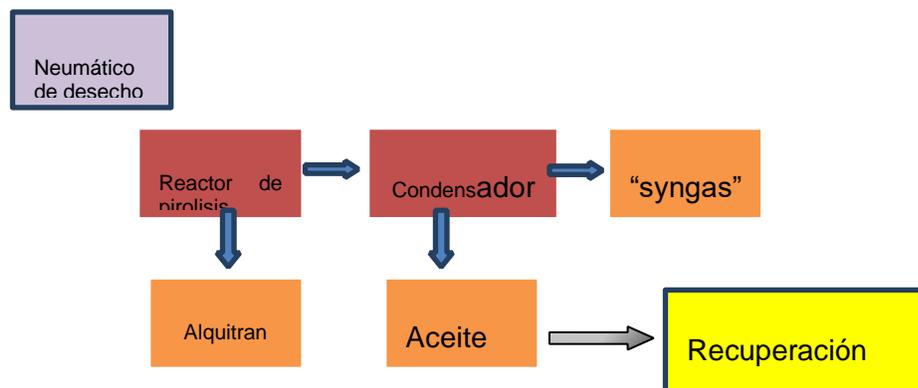
El rendimiento de la pirolisis de neumáticos va a depender de la materia prima del que proviene las llantas. Un rendimiento característico sería: 10% de acero, 36-39 % de carbón, 43-47% de combustibles, 5-6 % de gases y 1-3 % de agua.

La pirolisis de los neumáticos tiene muchas ventajas en el reciclaje de los subproductos que se producen, por ejemplo el "SYNGAS" o aceite este puede utilizarse como combustible, carbón activado para asfaltos, el gas tiene suficiente poder calorífico para poder utilizarse como combustible en el mismo proceso de pirolización y el acero que posee tiene un valor comercial.

Los aceites derivados de la pirolisis de neumáticos pueden ser quemados directamente o agregados a los combustibles derivados de petróleo. Por ejemplo, las fracciones más ligeras pueden utilizarse como fuente de productos químicos de alto valor como el BTX (benceno, tolueno, xileno), así también como aceite extensor en la formulación de goma y las fracciones pesadas pueden utilizarse como aditivo en betún para carreteras. **Kyari, Cunliffe & Williams 2005**

A continuación, se encuentra un esquema de las operaciones que implica un proceso de tratamiento de pirolisis aplicable a escala piloto o industrial.

Figura 6. Esquema de un proceso Pirolisis de Neumáticos Usados



Fuente: Elaboración propia en base a Méndez, 2010 (Mendez, 2010)

La pirolisis es un proceso endotérmico que permite que se recuperen materiales valiosos para la economía circular. Las altas temperaturas que se manejan y el medio libre de oxígeno descomponen el neumático químicamente disminuyendo la formación de NOx y SOx en comparación con los incineradores.

El proceso generalmente comienza con la destrucción de los neumáticos en un molino, luego del precalentamiento del neumático triturado pasa a través de un destilador o reactor de pirolisis. El residuo es calentado a la temperatura requerida de acuerdo a los materiales de descomposición deseados. Para remover los aceites o alquitranes (que a su vez, se devuelven al destilador para su volatilización) el gas es limpiado por separadores de líquido. Cunliffe, Williams 19999, Li et al. 2004.

La proporción de fracciones de aceite y gases depende de las condiciones de operación, es decir: temperatura, presión y tiempo de residencia en el reactor de pirolisis y el tipo de catalizador empleado. La fracción de aceite, compuesta principalmente por hidrocarburos olefinicos y aromáticos, se condensa a presión y temperatura normales.

Un aumento en la temperatura del reactor da como resultado un aumento correspondiente en el valor calórico del producto como también el contenido de hidrocarburo.

#### 2.1.4.1. CARACTERIZACION DE LOS PRODUCTOS DE PIROLISIS

Se muestra una descripción de los productos que se obtienen de un proceso de pirolisis a nivel general, cuyo principio implica una segregación de grandes moléculas complejas en varias moléculas más pequeñas. Su gama de productos se clasifica en tres tipos principales según su estado físico (JUMA, M., 2006)

- Fase solida (ceniza o carbonilla)
- Fase liquida (alquitranes, hidrocarburos y agua)
- Fase gaseosa (gases condensables y no condensables)

La viabilidad de aplicar la pirolisis como método para reutilizar los neumáticos de desecho, depende del mercado existente para los productos obtenidos. Por las razones ya explicadas las posibilidades de su aplicación en otros procesos a escalas industriales serían de gran aporte.

#### 2.1.4.2. TIPOS DE PIROLISIS

El tipo de pirolisis se puede llevar a cabo de diferentes maneras dependiendo de la combinación de las condiciones de operación como lo son: tasa de calentamiento, ambiente de reacción, tiempo de retención, temperatura máxima alcanzada, uso de un catalizador y la forma del calentamiento. Lo anterior sumado a la naturaleza del reactor empleado, confiere diferentes tipos de pirolisis, los cuales se presentan en la siguiente tabla, posteriormente se desglosa cada una de ellas (BASU, 2010)

**Tabla 3. Descripción de los tipos de pirolisis según las condiciones de operación manejada**

Características de algunos tipos de pirólisis				
Proceso de Pirolisis	Tiempo de Residencia	Tasa de Calentamiento	Temperatura Final (°C)	Productos
Carbonización	Días	Muy Baja	400	Carbón
Convencional	5 – 30 Minutos	Baja	700	Ceniza, Aceite Pirolítico, Gas
Rápida	< 2 Segundos	Muy Alta	500	Aceite Pirolítico
Flash	< 1 Segundos	Alta	<650	Aceite Pirolítico, Químicos, Gas
Ultra-Rápida	< 0,5 Segundos	Muy Alta	1000	Químicos, Gas
Al Vacío	2- 30 Segundos	Media	400	Aceite Pirolítico
Hidropirólisis	< 10 Segundos	Alta	<500	Aceite Pirolítico
Metano - Pirólisis	< 10 Segundos	Alta	>700	Químicos

Fuente: (BASU, 2010)

### a) Pirolisis de oxidación

Es un proceso de la descomposición térmica de una sustancia (en este caso de residuos) durante su quema parcial o contacto directo, donde la combustión se realiza con los productos del combustible. El método dado es aplicable para la neutralización de muchos desechos, incluso “difícultosos” para quema o gasificación: desechos viscosos, pastosos, depósitos húmedos, plásticos, barro con el contenido de cenizas ensuciadas con masut, aceites y otras combinaciones, tierra, desechos con partículas finas que levantan mucho polvo.

Además de esto, la pirolisis de oxidación puede someterse desechos que contienen metales y sus sales, que se funden y se encienden con las temperaturas normales de la quema, neumáticos trabajados, cables en estado desmenuzado, chatarra automovilística, etc. El método de la pirolisis de oxidación es la dirección perspectiva de la liquidación de los desechos sólidos industriales y aguas residuales.

### b) Pirolisis seca

Es un proceso de la descomposición térmica sin presencia de oxígeno, dando como resultado gran cantidad de gases de pirolisis, productos líquidos y carbón negro sólido.

La pirolisis seca es proceso de la descomposición térmica sin acceso del oxígeno. Como resultado se forma el gas de pirolisis con un calor elevado de la combustión, un producto líquido y un residuo carbonoso sólido. En dependencia de la temperatura, a que pasa la pirolisis, se diferencia:

Se consideran pirolisis de bajas temperaturas o semicoquefacción desde los 450°C a 550°C. Para el tipo dado de pirolisis son característicos rendimiento máximo de los residuos líquidos y sólidos (semicoque) y producción mínima del gas de pirolisis con un calor máximo de combustión. El método es ideal para la obtención del alquitrán primario, que es combustible líquido, y para la transformación del caucho no condicionado en los monómeros que son materias primas para la creación secundaria del caucho. Para obtener combustible energético y cotidiano con mayor calidad se recomienda el semicoque.

Pirolisis de medianas temperaturas o coquefacción de temperaturas medianas son consideradas desde los 800°C, cuanto mayor es la temperatura se obtiene un rendimiento mayor del gas con el calor menor de la combustión y cantidad menor del residuo líquido y del coque.

Pirolisis de altas temperaturas o coquefacción son consideradas desde los 900°C a 1050°C. se obtiene rendimientos menores de productos líquidos y sólidos; y la fabricación máxima del gas con el calor mínimo de la combustión - combustible de alta calidad - conveniente para las transportaciones lejanas. Como resultado, el alquitrán tiende a disminuir y contenido en éste de las fracciones ligeras valiosas.

En este método se obtiene una difusión cada vez más grande y es uno de los modos más perspectivas de la utilización de los desechos orgánicos sólidos y la separación de los componentes valiosos de ellos en la etapa actual del desarrollo de la ciencia y de la técnica.

### **c) Pirolisis anhidra**

La pirolisis es normalmente anhidra (sin agua). Este fenómeno ocurre normalmente cuando un compuesto orgánico sólido se calienta fuertemente en la ausencia de oxígeno, como, por ejemplo, los productos de pirolisis de materia orgánica, que al freír o asar producen hidrocarburos aromáticos policíclicos, aminas heterocíclicas y amino imidazol azarenos. Aunque este proceso se lleva a una atmósfera estándar, las capas externas del material no conservan en el interior oxígeno.

El proceso también ocurre cuando se quema un combustible sólido compacto, como la madera. De hecho, las llamas de un material como la madera se deben a la combustión de gases expulsados por la pirolisis, no por la combustión de la madera.

Un antiguo uso industrial de la pirolisis anhidra es la producción de carbón vegetal mediante la pirolisis de la madera. Más recientemente la pirolisis se ha usado a gran escala para convertir el carbón negro en carbón de coque para la obtención de metales y minerales industriales así también de la fabricación de acero.

Se piensa que la pirolisis anhidra tiene lugar durante la catagénesis, la conversión de querógeno a combustible fósil.

En muchas aplicaciones industriales este proceso es llevado a cabo bajo presión y a temperaturas por encima de los 430 °C. La pirolisis anhidra también se puede usar para producir un combustible similar al de la gasolina a partir de biomasa sólida o plásticos. En tiempo casi instantáneo a temperaturas entre los 400 y 800 °C.

#### **d) Pirolisis acuosa**

El término pirolisis se utiliza en ocasiones para denominar también la termólisis con presencia de agua, tal como el craqueo por vapor de agua del petróleo o la depolimeración térmica de los residuos orgánicos en crudo pesado.

#### **e) Pirolisis al vacío**

En la pirolisis al vacío, el material orgánico se calienta en el vacío para reducir el punto de ebullición y evitar reacciones químicas adversas.

### **2.1.4.3. TIPOS DE REACTORES DE PIROLISIS**

#### **a) Reactores pirolíticos**

Existen una gran variedad de trabajos sobre pirolisis tanto térmica como catalítica donde se emplean diferentes tipos de reactores. La caracterización va a depender de: el tiempo de residencia, el tipo de contacto entre la muestra a degradar (directo - indirecto), el catalizador o las cinéticas de reacción, incidiendo en mayor o menor medida sobre los resultados obtenidos lo cual complica sustancialmente realizar un contraste objetivo con los resultados de cada investigación. Entre los reactores químicos para maximizar la conversión y la selectividad se destacan los siguientes:

#### **b) Reactor batch**

Se caracteriza por poseer un depósito cubierto por una chaqueta calefactora y en la mayoría de los casos, posee un dispositivo de agitación mecánico. No posee flujos gaseosos inertes que vayan desplazando los volátiles desprendidos lo que con lleva a reacciones secundarias (como lo son aromatizaciones o ciclaciones) que afectan el correcto desempeño del equipo en el sentido de que se obtienen productos no deseados.

### c) Reactor semi-batch

Un reactor semi-batch con un flujo de gas inerte (por lo general nitrógeno) capaz de desplazar y guiar a los volátiles generados a otros sectores, disminuyendo las reacciones secundarias en el volumen del equipo. Los reactores semi-batch son escogidos dada la simplicidad que significa su diseño e implementación, lo que en muchos casos viene acompañado de un ahorro en costos de confección del equipo. Entre sus desventajas se necesita tiempos de reacción elevados, lo que eleva los costos operacionales. Por ejemplo, el coque (o residuo carbonoso) que queda adherido a las paredes de estos equipos dificulta la transferencia de calor, por ende mayor tiempo de reacción y mayores costos de energía. Por otra parte, los reactores semi-batch junto con sus similares batch, disminuyen la efectividad del catalizador, haciendo que los rendimientos obtenidos se mantengan similares entre las reacciones térmicas y las catalíticas.

### d) Reactor de lecho fijo

Es un equipo donde se sitúa el catalizador en una posición fija con respecto al reactor, permaneciendo sin movimiento alguno. A través de este lecho se hace circular el reactivo ya sea en estado líquido o gaseoso, teniendo como consecuencia la degradación de éste en el lecho. Este tipo de equipo es utilizado ampliamente en muchas reacciones catalíticas heterogéneas. Entre sus desventajas asociadas a las reacciones de pirólisis de residuos orgánicos.

### e) Reactor de lecho fluidizado

Es un reactor que puede usar para diferentes reacciones químicas multifásicas, en el flujo de reactivos no provoca movimiento en el lecho de sólidos, existe un flujo ascendente que hace que las partículas del lecho se dispersen mejorando tremendamente la transferencia de calor y de masa en su volumen de reacción (Flores y Posada, 2007; Arauzo et al, 2014; Ángel et al, 2013). La facilidad relativa en la que se dan estos fenómenos, es la ventaja

clave que tiene este equipo frente al lecho fijo, manifestándose como una alternativa atractiva desde un punto de vista industrial, ya que permite la operación en continuo del pirólizado, sin necesidad de conllevar los problemas del lecho fijo que hacían dificultoso su escalamiento. Tiene un lecho que se mueve cuando el peso aparente de sus partículas sea igual o menor a la fuerza de arrastre originada por la velocidad del flujo del gas portador. En ese sentido, toma relevancia el factor de la velocidad de fluidización, parámetro clave que determinará la distribución de tiempos de residencia de los productos obtenidos en el reactor. El reactor de lecho fluidizado, tiene un buen contacto entre el catalizador y el reactivo, ocupando gran parte del volumen de reacción en llevar a cabo la pirolisis. Esto trae como consecuencia una operación sencilla sin formación de puntos calientes en la mayoría de los casos (de no existir canalizaciones) y de gradientes uniformes, facilitando el control y siendo una opción más real a la hora de pensar en su implementación a escala industrial. Sus desventajas se relacionan con la necesidad de altos contenidos de catalizador para homogenizar el volumen del reactor y desgaste de los sólidos y del reactor mismo producto de la fricción generada por el movimiento de las partículas en el lecho.

#### **f) Reactor de tornillo**

Consiste en una tolva de entrada, por donde ingresan los reactivos a un tornillo sin fin encargado de transportar la materia prima a través de un barril calentado, lugar donde se da la reacción. En otras palabras, es muy similar a una extrusora de polímeros. Los reactores del tipo tornillo son una tecnología relativamente nueva en comparación a las anteriormente mencionadas. Se caracteriza por tener la ventaja de controlar el tiempo de residencia mediante la velocidad del giro del tornillo sinfín (Conesa, 2001; Díaz et al, 2015). Lo anterior es una ventaja en el sentido de que se puede otorgar una mayor orientación a los rendimientos de los productos deseados (Guzmán et al, 2015; Gómez, 2015, Aguado et al, 2006). Es una alternativa que al igual que otros reactores descritos, permite la operación en continuo, sin mostrar aparentes problemas en el escalamiento, por lo que contempla una alternativa interesante desde un punto de vista industrial.

#### **2.1.4.4. PLANTA DE PIROLISIS DE HORNO ROTATORIO**

El horno rotatorio se usa en el proceso de pirolisis y una de sus principales ventajas es su elevada tolerancia para el procesamiento de materia prima con un rango amplio y variable en sus propiedades físicas y químicas.

La facilidad de establecer y controlar adecuadamente tiempos medios y altos de residencia de la fase volátil, y de las cargas a granel en el reactor y las buenas condiciones de mezcla que se logran para las cargas a granel procesadas [115, 22]. A nivel piloto se han realizado estudios que implementan hornos rotatorios en el procesamiento termoquímico de biomasa y residuos que incluyen la gasificación

Un horno rotatorio de pirolisis posee un sistema de alimentación continuo y consta de calentamiento indirecto a través del uso de resistencias eléctricas. Este tipo de calentamiento se realiza a través de un sistema de calentamiento alrededor del diámetro externo del reactor del horno rotatorio. El uso del calentamiento indirecto permite obtener una mezcla de gases combustibles con mayor poder calorífico y que puede transportarse y emplearse en diversas aplicaciones en procesos térmicos o de generación eléctrica. Esta ventaja se pierde a través del calentamiento directo ya que ocurre la combustión de la fase volátil generada en el interior del propio reactor. (Geney, 2016)

**Figura 7. Planta de pirolisis de llantas fuera de uso**



Fuente: BESTON, 2020

## 2.1.5. ESTUDIO DE NEGRO DE HUMO Y FUEL OIL

### a) Negro de humo

El negro de humo se obtiene mediante la combustión incompleta de un hidrocarburo tal como petróleo, gas natural y otros materiales bien conocidos, a elevadas temperaturas.

En apariencia, el negro de humo puede ser un polvo amorfo intensamente negro y puede presentar gránulos divididos finamente es decir no es homogéneo. Es insoluble en agua.

El negro de humo no debe estar expuesta es lugares húmedos, sucios, a altas temperatura, flamas abiertas y con productos aromáticos. Puesto que el negro de humo absorbe la humedad y los vapores químicos, debe almacenarse en contenedores bien sellados. (FLEXICON CORPORATION, s.f.)

En la siguiente tabla se muestra las propiedades y aplicaciones del negro de humo:

**Tabla 4. Propiedades y aplicaciones del negro de humo**

Propiedades	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es insoluble y solventes</li> <li>• Densidad aparente: 1.8 – 2.1 g/cm<sup>3</sup></li> <li>• Alta relación entre superficie-área-volumen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utiliza como pigmento negro para tintas</li> <li>• Se utiliza como pigmento negro para pinturas</li> <li>• Se utiliza como pigmento negro para productos de plástico</li> </ul>

Fuente Elaboración propia

#### b) Fuel Oil

El combustóleo, también conocido como fuel oíl No. 6, es un combustible elaborado a partir de productos residuales que se obtienen de los procesos de refinación del petróleo. Se utiliza típicamente en procesos de combustión para calentamiento.

Se clasifica como un líquido inflamable clase III de acuerdo con la Norma 321 de la NFPA (National Fire Protection Association). Para su manejo deben conectarse a tierra los carros tanques (para las operaciones de cargue y descargue del producto), las tuberías, bombas y tanques. Debe tenerse especial precaución cuando se maneje este producto a temperaturas superiores a 90°C. No debe contener agua porque puede generar sobre ebullición o ebullición desbordante (boilover) por expansión del agua. (WWW.ECOPETROL.COM.CO)

En la siguiente tabla se muestra las propiedades y aplicaciones del Fuel oil:

**Tabla 5. Propiedades y aplicaciones del Fuel Oil**

Propiedades	Aplicaciones
-------------	--------------

- Agua y sedimento ml/100 ml
- su densidad es de 15°C kg/m<sup>3</sup>
- contenido de azufre de g/100 g
- Viscosidad cinemática @ 50°CSt
- Punto de fluidez es de 15 °C
- punto de inflamación es de 60°C
- Se emplea como materia prima para la fabricación de bunkers.
- Este producto no podrá ser usado como combustible en quemadores, hornos, secadores y calderas o demás equipos y plantas que generen emisiones atmosféricas que puedan afectar la calidad del aire.

Fuente Elaboración propia

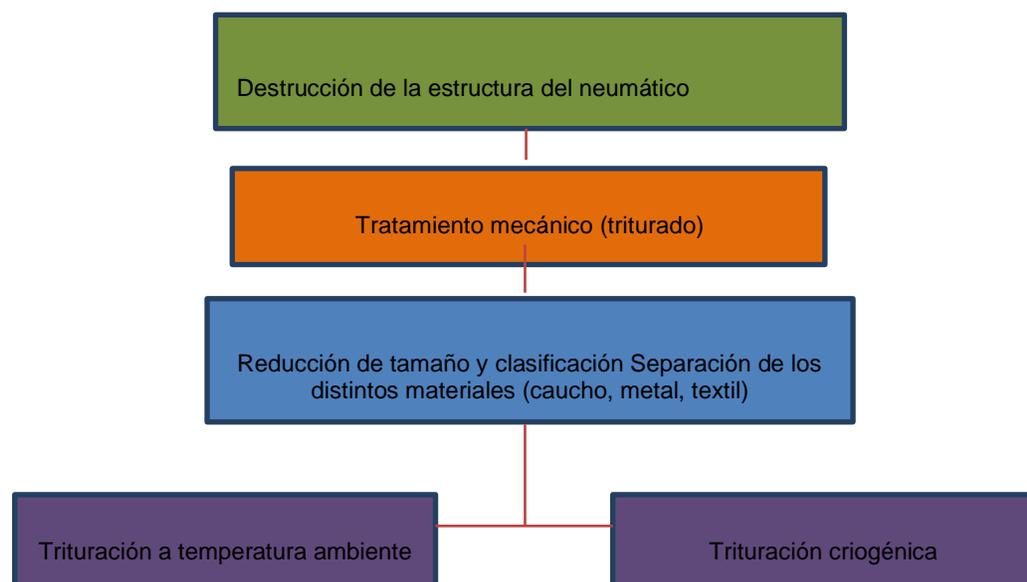
Es importante hacer énfasis que la pirolisis es un proceso donde existe limitada o sin presencia de oxígeno, esto convierte a la pirolisis en un proceso menos contaminante y potencialmente más económico por el costo de tratamiento de sus emisiones.

#### 2.1.6. PROCESOS DE OBTENCION DE POLVO DE CAUCHO A BASE DE NFU

La utilización en mezclas asfálticas en caliente, precisa que el caucho reciclado este en forma de polvo; un material constituido por partículas finas de caucho natural y sintético vulcanizado, de tamaños inferiores a 2.3 mm, obtenidos triturando de neumáticos fuera de uso hasta el tamaño deseado y separar tejidos o metales.

separando los metales, tejidos (fibras textiles). (Definición según NCh 3258-2012 Mezclas Asfálticas – polvo de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso - Requisitos).

**Figura 8. Etapas para la obtención del polvo de caucho**



Fuente: Elaboración Propia

### a) Trituración ambiental

La trituración ambiental es un proceso mecánico, donde los trozos de neumático son reducidos los tamaños de las partículas a una temperatura ambiente en una sola etapa o diferentes donde a mayor trituración mayor homogenización del carbón negro.

La granulometría y el tamaño del producto son controlados mediante una serie de tamices ubicados dentro de la máquina, los cuales pueden ser cambiados para variar el producto final. En general, las partículas de caucho obtenidas se denominan granos, si su tamaño está comprendido entre 1 mm y 10 mm y polvo si su tamaño es inferior a 2.3mm. Finalmente, el caucho en sus distintas granulometrías, se clasifica de acuerdo al uso que se le va a dar.

### b) Trituración Criogénica

El proceso de trituración criogénica requiere el enfriamiento previo de los trozos de neumáticos a través del uso de nitrógeno líquido u otros métodos para congelados. A temperaturas por debajo de los 200°C bajo cero, el caucho pierde su elasticidad, volviéndose frágil y fácil de desintegrar. Luego para reducir su tamaño y convertirlos en elementos más finos. Finalmente, el material obtenido se seca, se separa de la fibra textil (por aspiración) y el metal (mediante imanes) para luego ser clasificado según su tamaño.

#### 2.1.6.1. METODOS DE INCORPORACION EN MEZCLAS ASFALTICAS

La incorporación de polvo de caucho proveniente de NFU a una mezcla asfáltica, se puede hacer de dos maneras, denominadas vía húmeda y vía seca. Ambos procedimientos se diferencian, además de la forma de ejecución, en el contenido de polvo de caucho que se utiliza para preparar la mezcla asfáltica. La terminología a los diferentes productos se debe dar el siguiente porcentaje de polvo de caucho.

**Tabla 6. Terminología asociada al uso de polvo de caucho en mezclas asfálticas**

Proceso	Producto	% de incorporación de polvo de caucho
---------	----------	---------------------------------------

Vía húmeda	Asfalto modificado con polvo de caucho o Asfalto - Caucho	5 – 26% respecto al peso del cemento asfáltico
Vía seca	Mezcla asfáltica modificada con polvo de caucho	0.5 – 1.0 % respecto al peso del árido

Fuente: Elaboración propia

### a) Procesos por vía húmeda

En este proceso el GCR es mezclado con el ligante para producir una mezcla asfalto – caucho, la cual es usada de la misma manera que un ligante modificado.

La proporción de GCR normalmente es de 14% y el 20 % esto variará dependiendo del ligante, por peso, del total de la mezcla asfalto – caucho. Cuando el cemento asfáltico y GCR son mezclados, el GCR reacciona con el ligante hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos, no siendo esta una reacción de tipo química. El grado de modificación del ligante depende de muchos factores, entre los cuales se encuentra el tamaño y la textura Figura 1 (Villamizar, 2014)

**Figura 9. Descripción del proceso por vía húmeda**



Fuente: (Villamizar, 2014)

En este proceso, el caucho es mezclado directamente con el ligante, para añadir posteriormente los agregados. Las partículas de caucho mayormente utilizadas en el proceso húmedo son, más pequeñas que la malla N° 10 (0,0787 pulg =2 mm) o la malla N° 16 (0,0469 pulg =1,19 mm). (Mora,I.P.,& Mesias,I.M., 2013)

### b) Procesos por vía seca

En el proceso por vía seca la cantidad requerida de ligante tiende a aumentar, también se requiere un proceso especial para adicionar el grano de caucho reciclado (GCR) en planta, y un mayor tiempo de compactación en obra; el proceso por vía húmeda requiere un equipo adicional en planta para el mezclado y almacenamiento del asfalto-caucho, así como cambio de bombas y tuberías, adicionalmente requiere mayor energía para calentar la mezcla a mayores temperaturas con tiempos de reacción prolongados (Figura 4). (Villamizar, 2014)

El proceso consiste en mezclar el caucho con el tamaño de partícula apropiado junto con los demás agregados antes de adicionar el asfalto. Se puede incluir entre 2 a 15% de caucho con respecto a los agregados. El porcentaje de partículas de caucho en el método por vía seca varia: entre 3% y 5% de partículas de caucho del peso total de la mezcla es usado generalmente; en cambio en la Guía de uso de asfalto y caucho, indica que el porcentaje deberá estar entre el 1% al 3% del peso total de la mezcla asfáltica. Figura 2 (Caltrans, 2006)

**Figura 10. Descripción del proceso por vía seca**



Fuente: [www.rubberizedasphalt.org](http://www.rubberizedasphalt.org)

## 2.2. **NORMATIVAS INTERNACIONALES RESPECTO A LA DISPOSICIÓN DE NEUMATICOS**

El manejo de los residuos sólidos, específicamente los neumáticos ofrecen oportunidades de mejoramiento. Actualmente, a nivel internacional, se encuentran leyes y proyectos de ley para regular la gestión de neumáticos fuera de uso, teniendo en cuenta elementos de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), este proyecto REP puede ayudar a establecer una economía circular más sostenible en el futuro.

### **a) Brasil**

El principio de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) y el principio de responsabilidad compartida han sido enunciados en la *Ley Federal de Brasil N° 12.305 del año 2010*, por la cual se establece la *Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS)*.

Uno de los Principios más importantes es enunciado por la Ley Federal Brasileña N° 12.305 del 2 de agosto de 2010: *"la Responsabilidad Compartida por el Ciclo de vida de los Productos"*.

El artículo 25 de esta Ley (N° 12.305) da una importante pauta, estableciendo que "[...] El poder Público, el sector empresarial y la sociedad son responsables por la efectividad de las acciones realizadas para asegurar la observancia de la Política Nacional de Residuos Sólidos [...]"

Luego, en su artículo 30 determina que se instituye *"la responsabilidad compartida por el ciclo de vida"* de los productos a ser implementada de forma individualizada y encadenada, alcanzando a los fabricantes, importadores, distribuidores y comerciantes, a los consumidores y a los titulares de los servicios públicos de limpieza urbana y del manejo de residuos sólidos.

Estos son los sectores en los que los fabricantes son obligados a organizar y pagar por la logística inversa, independientemente del servicio público de limpieza urbana. En la práctica, aunque en la legislación brasileña la terminología no ha sido adoptada, se trata, para estos sectores, de la responsabilidad extendida del productor.

## **b) Europa**

De acuerdo con la definición de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OECD), la Responsabilidad Extendida del Productor (EPR) es (OECD 2001):

“An environmental policy approach in which a producer’s responsibility for a product is extended to the post-consumer stage of a product’s life cycle”.

Traducción:

"Un enfoque de política ambiental en el que la responsabilidad del productor por un producto se extiende a la etapa de post-consumo del ciclo de vida del producto".

En la práctica, REP implica que productores se hagan cargo de recoger y retirar piezas usadas para un tratamiento adecuado y/o para el reciclaje.

El marco legal relativo al sistema de la REP en Europa consiste esencialmente de las DIRECTIVAS DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO siguientes:

- 2008/98/CE- residuos (Directiva Marco de Residuos)
- 2000/53/CE - vehículos al final de su vida útil

La ley 755 Ley de Residuos Sólidos menciona que los residuos primero deben prevenirse, reutilizarse, reciclarse, recuperación con otros fines (como la valorización energética) y que la menor cantidad se destine a la disposición final de un relleno sanitario.

Confirma el principio «quien contamina paga», por el que el productor original de los residuos debe pagar los costos de la gestión de dichos residuos.

Introduce el concepto de «responsabilidad ampliada del productor». Con ella se impone la obligación a los fabricantes de ser responsables de los residuos que generan.

Distingue entre residuos y subproductos\*.

La gestión de los residuos sólidos debe realizarse con el menor daño al medio ambiente, sin provocar incomodidades por el ruido o los olores y sin atender contra los paisajes ni contra los lugares de especial interés.

Los productores o poseedores de residuos deben tratarlos ellos mismos o hacer que sean tratados por un operador oficialmente reconocido. Estos deben estar autorizados y son controlados cada cierto tiempo.

Las autoridades nacionales competentes deben establecer planes de gestión y programas de prevención de residuos.

Se aplican condiciones especiales a los residuos peligrosos, los aceites usados y los bio-residuos.

### **c) España**

Cabe decir que con la introducción de la ley 11/1997 Envases y residuos de envases, el gobierno de España ha hecho el primer paso a implementar la responsabilidad extendida del productor. Dicha ley fue elaborada tras de la legislación europea sobre envases y residuos de envases (1994), que reglamenta la gestión de envases y residuos de envases al respecto del diseño, recolección y tratamiento durante el ciclo de vida.

En la ley 10/1998 Gestión de Residuos y suelos contaminados un artículo con la REP es abstinerente, sin embargo, se implican en el artículo 7 (Obligaciones) obligaciones nacidas de la puesta en el mercado de productos que puedan causar generadores de residuos.

También, si no aplicase en el apartado anterior, pueden aceptar un sistema depósitos, devolución y retorno que se reciben sus productos o envases de vuelvo.

Hace la nueva ley de Gestión de Residuos y Suelos Contaminado (11/2011) de 28. Julio 2011, la Responsabilidad extendida del Productor (REP) está en un artículo especial (artículo 17), explicando que a los productores o poseedores iniciales de residuos están obligados a realizar el tratamiento de los residuos por sí mismos, puede también encargar el tratamiento de los residuos a un negocio ya sea por el gobierno o por entidades privadas. Todos los actores en el tratamiento de estos residuos deben estar registrados conforme a lo establecido en la ley Gestión de Residuos y suelos contaminados.

La ley demanda que los productores u otros poseedores de residuos suministren toda la información necesaria para su adecuado tratamiento..

España ya publicó el tercero plan sobre la gestión de residuos (PNUR 2000-2006, PNIR 2008-20015, PEMAR 2016-2022) el cual contendrá la estrategia general de la política de residuos, las orientaciones y la estructura a la que deberán ajustarse los planes autonómicos, así como los objetivos mínimos a cumplir en cuanto a prevención, preparación para la reutilización, reciclado, valorización y eliminación. Cada uno de los siguientes productos se han elaborado e iniciado directivas de REP.

## **2.3. INVESTIGACIONES RELACIONADAS**

### **2.3.1. INVESTIGACIONES EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL**

Estudios indican que en Costa Rica se intenta reducir el impacto de las llantas que se desechan, y uno de los usos sugeridos es como agregado del pavimento asfáltico, donde las llantas pasan por un proceso de trituración y molienda para usarse como aditivo o modificante en la fabricación de las mezclas asfálticas, para lo cual se reduce el caucho a un tamaño de partícula según la aplicación. Asimismo, el autor indicó que el caucho se utiliza en pavimentos asfálticos de dos maneras: como modificador del asfalto (vía húmeda) o como mejorador de la mezcla asfálticas (vía seca). Tanto para la vía húmeda como para la vía seca, el objetivo fue lograr la reacción entre el caucho y el asfalto: digestión del caucho en el asfalto, para lo cual se requiere temperaturas elevadas y un tiempo de digestión prudente. Finalmente, el autor expresó los beneficios adquiridos en el desempeño de la mezcla asfáltica, tales como: el caucho aumenta el volumen del asfalto lo cual permite envolver los agregados con películas más gruesas sin exudación, se modifica la reología del asfalto aumentando la flexibilidad y resistencia a altas temperaturas, reducción del ruido y mejora de la fricción, entre otras. Las mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho se utilizan para incorporar en las mezclas asfálticas para los pavimentos cuyas propiedades de durabilidad aumentan los tiempos entre mantenimiento y reducen su costo total.

(Clavijo y Aranda, 2014) analizaron el comportamiento físico – mecánico de mezclas asfálticas más utilizadas en Colombia; la mezcla densa en caliente tipo MDC-2. De modo de comparar una mezcla asfáltica tipo convencional, con diversas mezclas asfálticas modificadas por vía húmeda en diferentes porcentajes con caucho y cuero en una proporción 25% y 75% respectivamente (estos materiales modificantes, fueron obtenidos del material desechado por las Fuerzas Armadas de Colombia, del cual se conforman las botas militares). Todo esto se realizó mediante el método Marshall ya que este nos permite

medir algunas de las propiedades más importantes como: La estabilidad, el flujo y la Rigidez Marshall. Los autores concluyeron que en función de las propiedades físico-mecánicas de las mezclas modificadas con cuero y caucho no se mejoran en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

(Gutiérrez y Vivas, 2014) realizaron una investigación con el fin de evaluar si mediante la modificación de una mezcla densa en caliente tipo 2 MDC-2 por vía húmeda con caucho vulcanizado extraído de las suelas de las botas militares se pueden mejorar sus propiedades mecánicas. Los autores realizaron pruebas para caracterizar las propiedades de los agregados pétreos y del cemento asfáltico según las normativas de lineamientos indicados en las especificaciones técnicas de construcción del instituto nacional de vías INVIAS-2007 correspondientes, se efectuaron ensayos Marshall sobre las mezclas convencional y modificada la cual se elaboró con porcentajes de asfalto del 4,5% - 5,0% - 5,5% y 6,0%, con adición de caucho del 1,0% - 2,0% - 4,0% y 8,0%. Se evaluó la variación que se presenta debido a la modificación de las mezclas asfálticas con los porcentajes de caucho vulcanizado nombrados anteriormente en cuanto a Estabilidad, flujo, rigidez Marshall, y contenido óptimo de asfalto. Los resultados obtenidos mostraron mejoras en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada y deja la puerta abierta para un aprovechamiento adecuado de residuos contaminantes, para este caso la suela de las botas militares.

(Ocampo, Caicedo y Gonzales, 2014) establecieron de manera confiable la metodología a seguir para mejorar las propiedades mecánicas y la durabilidad de las mezclas asfálticas utilizando caucho molido. Estas mejoras se traducen en un aumento en la vida útil del pavimento, lo que al ser complementado con un análisis beneficio - costo permitirá concluir sobre las bondades en el uso del caucho molido como mejorador de mezclas asfálticas. El caucho fue obtenido de forma económicamente viable usando llantas desechadas las cuales deben ser molidas hasta obtener tamaños apropiados, resolviendo de paso el problema ambiental que estos generan al finalizar su vida útil; este caucho recibe el nombre de grano de caucho reciclado ó GCR. Este caucho reciclado puede ser adicionado a las mezclas asfálticas mediante dos procesos, mezclándolo con el ligante o proceso húmedo y mezclándolo con los agregados o proceso seco.

(Nuha, Asim, Mohamed y Mahrez, 2013) expresaron que un inmenso problema que afecta a la contaminación del medio ambiente es el aumento de desecho de llantas de vehículos.

Nuha et al. En un intento de disminuir la magnitud de este problema, obtuvieron el modificador de polvo de neumático (CRM), a partir de caucho de neumáticos de desecho, el cual ha ganado interés en el refuerzo en el asfalto. El uso de polvo de neumático en el refuerzo de asfalto se considera como una solución inteligente para el desarrollo sostenible por la reutilización de residuos materiales, y creyeron que el modificador de polvo de neumático (CRM) podría ser un polímero alternativo para mejorar el desempeño de las propiedades del asfalto de mezcla en caliente. Los autores en este trabajo, dieron una revisión crítica sobre el uso de polvo de neumático en el refuerzo de pavimento de asfalto el cual ha sido presentado y discutido. También incluyeron una revisión de los efectos de CRM en la rigidez, ahuellamiento, y resistencia a la fatiga en el pavimento de la carretera.

(Navarro, 2013) contempló la confección y el seguimiento de dos tramos de prueba, que se realizó por primera vez en Chile, con capas de rodadura fabricadas con mezclas asfálticas en caliente modificadas con polvo de caucho obtenido de neumáticos fuera de uso (NFU). El caucho fue incorporado a la mezcla por vía seca; como una fracción fina de los agregados. En el proceso por vía seca, el caucho interacciona con el asfalto en un proceso denominado digestión, en el que se modifica la reología y viscosidad del ligante. El procedimiento de diseño difiere al de una mezcla asfáltica convencional, ya que se requiere la realización de ensayos adicionales para determinar el tiempo y la temperatura de digestión mínimos para alcanzar el grado de modificación suficiente (en el ligante) que provea a la mezcla de mejores propiedades mecánicas.

Finalmente, el autor concluye de los resultados obtenidos, que la utilización del polvo de caucho como material para pavimentos asfálticos se plantea como una solución ambiental viable para dar un valor agregado adicional al caucho de NFU y que permite, de una manera más económica que los asfaltos con polímero y a un precio relativamente competitivo, aportar ventajas técnicas a la carretera. En efecto, respecto a las mezclas asfálticas convencionales, se obtiene una mayor resistencia a los cambios térmicos, a la disgregación (menor susceptibilidad a la humedad), al ahuellamiento y al envejecimiento.

Además, como capa superficial provee al pavimento de una mayor capacidad estructural y de una mayor resistencia al deslizamiento (adherencia).

(Rondón, Molano y Tenjo, 2012) evaluaron la influencia de la temperatura de compactación sobre la resistencia mecánica (Marshall) de mezclas asfálticas en caliente modificadas con

grano de caucho reciclado (GCR), haciendo énfasis en su aplicación en la ciudad de Bogotá D.C. (Colombia), ya que, bajo las condiciones climáticas de dicha ciudad, se ha reportado en obra disminución de la temperatura de compactación con respecto a la óptima (hasta 30°C). Las mezclas fueron fabricadas modificando por vía húmeda los dos cementos asfálticos que se producen en Colombia (CA 60-70 y CA 80- 100), se emplearon dos granulometrías y fueron compactadas bajo temperaturas de 120, 130, 140 y 150°C, siendo esta última la temperatura de compactación inicial o de referencia de las mezclas. Como conclusión general los autores reportaron que la disminución de la temperatura de compactación (hasta 30°C), generó una pequeña disminución en la resistencia de las mezclas modificadas ensayadas. Adicionalmente, se observó un incremento de dicha resistencia cuando se compactan bajo una temperatura de 10°C por debajo de la de referencia. Las mezclas convencionales (sin GCR) por el contrario experimentaron un decaimiento lineal en su resistencia de hasta 34%.

(Rondón, 2011) con base en una amplia revisión bibliográfica sintetizó las ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales de utilizar el grano de llanta molido como modificador de asfaltos y/o mezclas asfálticas, haciendo énfasis en su uso en la ciudad de Bogotá D.C. El autor como conclusión general reportó que la utilización de este material de desecho como modificador de mezclas asfálticas en Bogotá D.C. es interesante, ya que la práctica mundial ha demostrado que este tipo de mezcla es más durable y económica a largo plazo. A su vez disminuyen el impacto ambiental negativo que generan las llantas cuando se entierran en rellenos sanitarios, almacenan o incineran a cielo abierto.

(Reyes, Madrid y Salas, 2007) expresaron que la adición de productos industrializados como el caucho y el plástico podrían hacer parte constitutiva de la estructura de un pavimento al dar a las mezclas asfálticas un mejor comportamiento mecánico y por ende una mayor duración de vida. Asimismo, los autores manifestaron que se debe ser consciente que se vive en la cultura del usar y tirar y en la basura de cada día están los recursos que dentro de poco tiempo harán falta. Se trató, en definitiva, de que se ponga en práctica la consigna de las tres erres, reducir, reutilizar y reciclar, en este orden de importancia. Reyes et al. En su investigación tuvieron como objetivo llegar a una reducción en los residuos sólidos y adicionalmente mejorar el desempeño de los pavimentos en Colombia. Los autores en la investigación de la mezcla modificada con caucho y plástico, realizaron la caracterización dinámica de la mezcla asfáltica con los óptimos de adición de

plástico proveniente de bolsas de leche y de caucho proveniente de las llantas usadas, llegando a la conclusión que las mezclas asfálticas modificadas presentan un mejor comportamiento que la mezcla sin modificar, lo cual presentó una reducción del ahuellamiento del 8% y un aumento del módulo dinámico del 14%.

(Angulo y Duarte, 2005) propusieron un esquema de aprovechamiento de los residuos sólidos que representan las llantas usadas, con el fin de ofrecer una alternativa de solución a los problemas que afectan al asfalto y consecuentemente a las carpetas asfálticas. Entre los principales problemas que afectan al asfalto en el pavimento se encuentran: el envejecimiento, la deformación permanente, los fisuramientos y los altos costos. Por otra parte, la contaminación causada por residuos sólidos en especial la generada por las llantas usadas de automotores es un aspecto al que no se le ha dado un manejo adecuado dentro de la problemática ambiental que actualmente afecta a muchos países. Los autores en la elaboración del asfalto modificado tuvieron en cuenta las variables de proceso: temperatura de modificación, tiempo de modificación, tamaño de partícula Caucho Reciclado de Llantas (CRL) y contenido (% en peso) de CRL en el asfalto. Los autores con base a los resultados obtuvieron: asfalto modificado con caucho (AMC) y asfalto modificado con caucho acondicionado (AMCA) óptimos por el proceso de la vía húmeda que cumplieron con los parámetros de selección, mejorando algunas de sus propiedades como la recuperación elástica por torsión, la cual se logró aumentar en un 100 y 300 por ciento para el AMCA y AMC respectivamente, lo cual indica una alta resistencia a la deformabilidad en estos asfaltos.

#### **2.4. CORRIENTE O ENFOQUE ELEGIDO POR EL INVESTIGADOR**

Los datos enunciados y existentes identifican el asfalto como uno de los ligantes empleados más antiguos, utilizados primeramente como asfalto natural es decir en la naturaleza en forma de yacimientos, y en la presente época comenzó la explotación de pozos de petróleo y destilación del material obtenido, dividiéndolo en diversos productos y obteniéndose como residuo de esta destilación el asfalto, cuyo uso se extendió fácilmente.

En el presente siglo se hace necesario que los recursos naturales no renovables sean bien utilizados, por lo que la presencia de asfaltos en obras civiles como carreteras requieren de este tipo de materiales, de tal forma que el uso de un modificador con caucho de neumático

reciclado en mezclas asfálticas se hace imperativo ya que mejorara la propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica con este aditamento,

El estudio a desarrollar será con un enfoque de investigación cuantitativo, el cual comprende características que medirá la utilización del asfalto y la modificación con caucho reciclado en forma de grano o polvo, mediante pirolisis, y estudiar sus propiedades físicas, mecánicas, mediante ensayos de laboratorio, identificando los criterios de durabilidad y estabilidad de las mezclas modificadas.

## 2.5. IDENTIFICACION DE LAS FUENTES

Se requiere para esta investigación; información primaria es decir nueva y original y secundaria que indica que son estudios similares que ya se realizaron, con referencia a este tema de fuentes como ser: revistas científicas, manuales técnicos, artículos científicos, tesis de grados, revistas especializadas.

A continuación, se resalta la información primaria y secundaria que se utilizó:

**Tabla 7. Información primaria y secundaria**

Información primaria	
Investigación	Autor
Diseño de mezclas asfálticas caucho tecnología GAP Graded para la ciudad de Bogotá	Armando Ramírez Villamizar Ingyrd Lorena Ladino Rubio Juan Pablo Rosas Ramirez
Diseño de una planta para la obtención de carbón activado a partir de neumáticos de automóvil fuera de uso (NFU's)	Isaac Meza Trujillo
Recuperación del negro de carbono proveniente de llantas mediante el tratamiento de pirólisis como estrategia de promoción de la economía circular en Colombia	Welcy Zaray Buitrago Grisales
Información secundaria	
Investigación	Autor
Obtención de asfalto modificado a partir del reciclaje de Neumáticos ligeramente pirolizados en la ciudad de El Alto	M.Sc. Ing. Alizon Triny Huallpara Lliully Raquel Siñani Chávez Juana Gabriela Escobar
Implementación del grano de caucho reciclado (GCR)	Cesar Mauricio Díaz Claros

proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá

Implementación de mezcla asfáltica modificada con granulo de caucho en el barrio San Carlos de la localidad de Tunjuelito

Liliana Carolina Casto Celis

Camilo Andres Correa Lesmes

---

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO**

### **3.1. TIPO DE INVESTIGACION**

La presente investigación tiene un enfoque de tipo mixto cuantitativo – cualitativo. En primera instancia será cuantitativo ya que calculara las variables de los objetivos específicos mencionados en el primer capítulo, con estas variables se buscarán explicar el impacto beneficioso que tiene las mezclas asfálticas con caucho pirolizado y su beneficio ambiental al fomentar el reciclaje de los neumáticos fuera de uso. Y de tipo cualitativo ya que se buscará la especificidad y profundidad para darle una solución al planteamiento del problema de la investigación con herramientas como encuestas, cuestionarios cerrados, midiendo las percepciones del parque automotor con el fin de comprender el contexto del proyecto llevada a cabo en la ciudad de El Alto.

En relación al alcance del proyecto de investigación será exploratorio-correlacional ya que, si bien en el contexto internacional existe muy buena aceptación de las mezclas asfálticas, en el contexto local, existe muy poca información bibliográfica y un vacío de esta, en la aplicación de dichas mezclas asfálticas a partir de caucho pirolizado. A la vez es de alcance correlacional ya que se comparará el comportamiento de las mezclas asfálticas con la adición de grano y polvo de caucho precedentemente de neumáticos pirolizados a partir del proyecto base denominado “Obtención de asfalto modificado a partir del reciclaje de neumáticos ligeramente pirolizados en la ciudad de El Alto”

### **3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

El proyecto de investigación posee un diseño mixto, ya que posee un carácter cuantitativo-cualitativo. Inicialmente el diseño se tornara de tipo cualitativo ya que mediante encuestas a los participantes del parque automotor de la ciudad de El Alto se pretenderá comprender el contexto de la investigación, identificando el porcentaje de reciclaje de neumáticos fuera uso para su posterior análisis en laboratorio, emergiendo un diseño de carácter cuantitativo experimental, diseñando ensayos y variando las variables en laboratorio, donde la variable dependiente serán las mezclas asfálticas, con previa pirolizacion del caucho.

Figura 11. Diseño de investigación



Fuente: Elaboración propia

### 3.3. VARIABLES DE LA INVESTIGACION

Para la presente investigación se identificaron 6 variables, tres variable independiente y tres variables dependientes para el diseño de mezclas asfálticas modificadas con caucho pirolizado obtenidas a partir de neumáticos reciclados.

Tabla 8. Variables de investigación

VARIABLE	TIPO	DEFINICION OPERACIONAL
Neumáticos fuera de uso	Independiente	Determinación de la cantidad reciclada mediante análisis estadístico
Caucho pirolizado	Dependiente	Determinación de cantidades de caucho pirolizados a obtener, a partir de la materia prima.
Cemento Asfáltico	Independiente	Material Obtenido por refinación de residuos de petróleo y que debe satisfacer requerimientos para su uso en pavimentos
Asfalto modificado	Independiente	Material que se obtiene al modificar un cemento asfáltico con un polímero, resultando un ligante de características reológicas mejoradas
Mezclas asfálticas	Dependiente	Mezcla asfáltica fabricada con características específicas compuesta

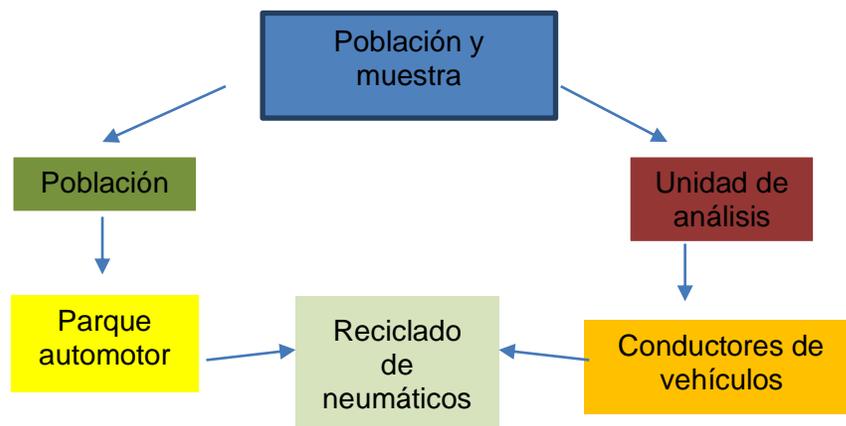
		por agregados pétreos graduados, material de relleno (filler) y cemento asfáltico, mezclado, extendida y compactada en caliente o temperatura ambiente.
Mezclas asfálticas modificadas	Dependiente	Mezcla asfáltica fabricada con características específicas compuesta por agregados pétreos graduados, material de relleno (filler), cemento asfáltico modificado (con un determinado porcentaje de polvo o grano de caucho), mezclado, extendida y compactada en caliente o temperatura ambiente.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4. POBLACION Y MUESTRAS

La selección de población y muestra de la presente investigación, se realiza para comprender el contexto de la investigación orientado por el criterio de las características de la misma mediante encuestas y fotografías. La unidad de muestreo son los participantes del parque automotor: conductores de vehículos pesados, minubuses, trufis, taxis, de la ciudad de El Alto y la unidad de análisis es el reciclaje de neumáticos en la ciudad de El Alto. Y su posible transformación en mezclas asfálticas modificadas

**Figura 12. Identificación de población y muestra**



Fuente: Elaboración propia

Para la determinación del análisis de interpretación de los resultados de las encuestas se realiza mediante tablas o gráficos del total o del porcentaje de la respuesta a las preguntas que pretendemos conocer.

### 3.5. AMBIENTE DE INVESTIGACIÓN

Una vez efectuado los trabajos de recopilación de información bibliográfica y trabajos de campo mediante encuestas y reportes fotográficos y mediciones, se procederá al trabajo en gabinete de la sistematización de información y análisis experimental en laboratorio,

Los ensayos de laboratorio permitirán obtener las características del material para mezclas asfálticas modificadas con grano o polvo pirolizados obtenidos del caucho reciclado

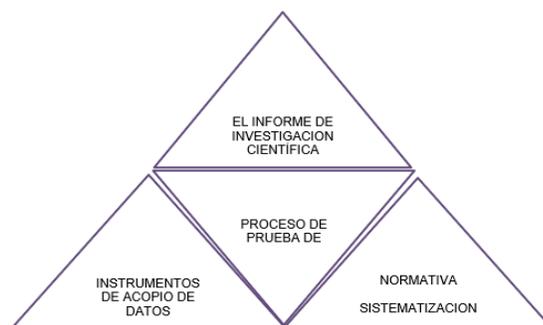
### 3.6. TECNICAS E INSTRUMENTOS

Técnicas e instrumentos para la investigación científica está en relación al propósito del estudio.

La búsqueda de información y la metodología que se aplicara al presente proyecto de investigación es encontrar evidencias en base a los hechos observados en campo y laboratorio, ya que estos determinaran el grado de valides de la hipótesis planteada con los hechos encontrados durante la investigación

Mediante el siguiente esquema se muestran los instrumentos y técnicas de trabajo.

**Figura 13. Técnicas e instrumentos de investigación**



Fuente: Elaboración propia

### 3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del proyecto de investigación se efectuará según el contexto actual y los objetivos planteados, mediante la hipótesis y los hechos que serán contrastados mediante experimentos y ensayos de laboratorio.

De tal manera que el marco metodológico en desarrollo nos permitirá encontrar luces para este importante estudio de investigación, mediante la aplicación de las técnicas e instrumentos de investigación planteados.

El siguiente cuadro Tabla 6 identificara la relación de aspectos y de análisis del estudio.

**Tabla 9. Procedimiento de la investigación**

MODULO	ACTIVIDAD	MES										
		mar	abri	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
<b>ACTIVIDADES INICIALES DE GESTION</b>												
	Coordinación equipo multidisciplinario y determinar estrategias de investigacion											
<b>DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION</b>												
<b>Estado del arte</b>	situacion actual											
	identificación de normativas sectoriales											
<b>Objetivo 1</b>	Realizar un diagnóstico de la materia prima disponible, es decir neumáticos											
	Identificar los procesos de obtención de asfaltos modificados.											
<b>Objetivo 3</b>	Caracterizar las mezclas asfálticas mediante sus procesos de obtención											
	Analizar las propiedades del condensado obtenido en la pirolisis, dado su potencial como aditivo al combustible diésel oil.											
<b>Objetivo 5</b>	Realizar un análisis comparativo con los diferentes porcentajes de caucho pirolizado mezclado con el											
<b>RESULTADOS</b>												
	Resultados de los objetivos 1-2-3-4-5											
	Determinación de propiedades físico químicos y mecánicos del los granos de caucho pirolizado de neumático reciclado											
	ensayos de desempeño de las mezclas asfálticas modificadas											
<b>C: INFORMES</b>												
	PERIODICOS											
	CONCLUSIONES											
	FINAL											

Fuente: Elaboración propia

### 3.8. CARACTERÍSTICAS DEL POLVO Y GRANO DE CAUCHO

Se adquirió el polvo y el grano de caucho de la empresa “Terracycle” con las siguientes características de cotización y características propias de polvo y grano de caucho con el siguiente detalle:

Tabla 10. Características del caucho polvo y grano

Direccion Sucursal Av. Dorvining Esq. C/ A. Gutierrez Direccion Planta Av. 4 Esquinas y C/ Cabrera S/N Zona Sirpita - Tiquipaya Telf.: 60780778 - 70390604		 <b>TERRACYCLE</b> <b>Industria Recicladora de Caucho</b>				
LISTA DE PRECIOS CAUCHO						
DESCRIPCION	PRECIO UNIT. MENORES A 1 TONELADA	PRECIO UNIT. DE 1 A 5 TONELADAS	PRECIO UNIT. DE 5 A 8 TONELADAS	PRECIO UNIT. DE 8 A 15 TONELADAS	PRECIO UNIT. DE 15 A 25 TONELADAS	PRECIO UNIT. MAYORES A 25
<b>POLVO DE CAUCHO</b> <b>0.1 a 0.68 mm</b> <b>Caucho Reciclado</b> <b>DIMENSIONES</b> <i>forma Fisica: Polvo</i> MALLA (0.68 mm) = 10 % MALLA (0.2 mm) = 90 % <b>FORMA</b> Material en polvo exenta de metal <b>OBSERVACIONES</b> Material con doble <i>Zarandeo</i>	3.9 BS/KG C/F	3.7 Bs/KG C/F	3.5 bs/KG C/F			
	3.3 BS/KG S/F	3 BS/KG S/F	2.8 BS/KG S/F			
<b>CAUCHO GRANULADO FINO</b> <b>0.68 a 1.5 mm</b> <b>Caucho Reciclado</b> <b>DIMENSIONES</b> <i>forma Fisica: GRANO FINO</i> MALLA (1.5 mm) = 50 % MALLA (0.68 mm) = 50 % <b>FORMA</b> Material en grano fino exenta de metal <b>OBSERVACIONES</b> fibra 0.5%	3.5 BS/KG C/F	3.3 BS/KG C/F	3.1 BS /KG C/F			
	3 BS/KG S/F	2.8 BS/KG S/F	2.6 BS/KG S/F			

Fuente: Empresa TERRACYCLE, 2021

La empresa Terracycle es una planta recicladora de todo tipo de neumáticos (vehículos livianos hasta vehículos de alto tonelaje) fuera de uso, posicionada en la ciudad de Cochabamba. Ofreciendo entre sus productos finales mediante procesos mecánicos polvo y grano de caucho.

Se trabajó con polvo y grano para el proceso de pirolisis, las características son:

- Grano de caucho 0.88 mm a 1.5 mm
- Polvo de caucho 0.1 mm a 0.68 mm

Figura14. Polvo y grano de caucho adquirido



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1. ELABORACION DE POLVO Y GRANO DE CAUCHO

Las siguientes imágenes fueron proporcionadas por la empresa Terracycle, con el objetivo de visualizar el proceso de inicio (acopio de neumáticos), proceso de transformación (reducción de volumen), hasta los productos finales (polvo y grano triturado).

Figura 15. Acopio de la materia prima



Fuente:

Empresa TERRACYCLE, 2021

**Figura 16. Destanulado de llanta**



Fuente: Empresa TERRACYCLE, 2021

**Figura 17. Corte de tiras**



Fuente: Empresa TERRACYCLE, 2021

**Figura 18. Reducción de tiras**



Fuente: Empresa TERRACYCLE, 2021

Figura 19. Reducción de tiras



Fuente: Empresa TERRACYCLE, 2021

Figura 20. Materia Prima de polvo y grano de caucho



Fuente: Elaboración propia

### 3.9. MATERIALES EMPLEADOS PARA LA PIROLISIS DE NEUMATICOS

Como se mencionó anteriormente, el método que se empleó es experimental, desarrollando ensayos de destilación simple, en el laboratorio de la Carrera de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública del Alto.

### 3.9.1. MATERIALES Y EQUIPOS EMPLEADOS PARA EL PROCESO DE PIROLISIS

Equipos de protección personal, para la ejecución de ensayos:

- Guardapolvo de laboratorio
- Mascarilla facial
- Guantes de protección para temperaturas altas

**Figura 21. Equipos de protección personal**



Fuente: <https://btechistoriayseguridad.weebly.com/uso-y-seguridad-en-los-laboratorios-biotecnoloacutegicos.html>

Los materiales para los ensayos de destilación fueron:

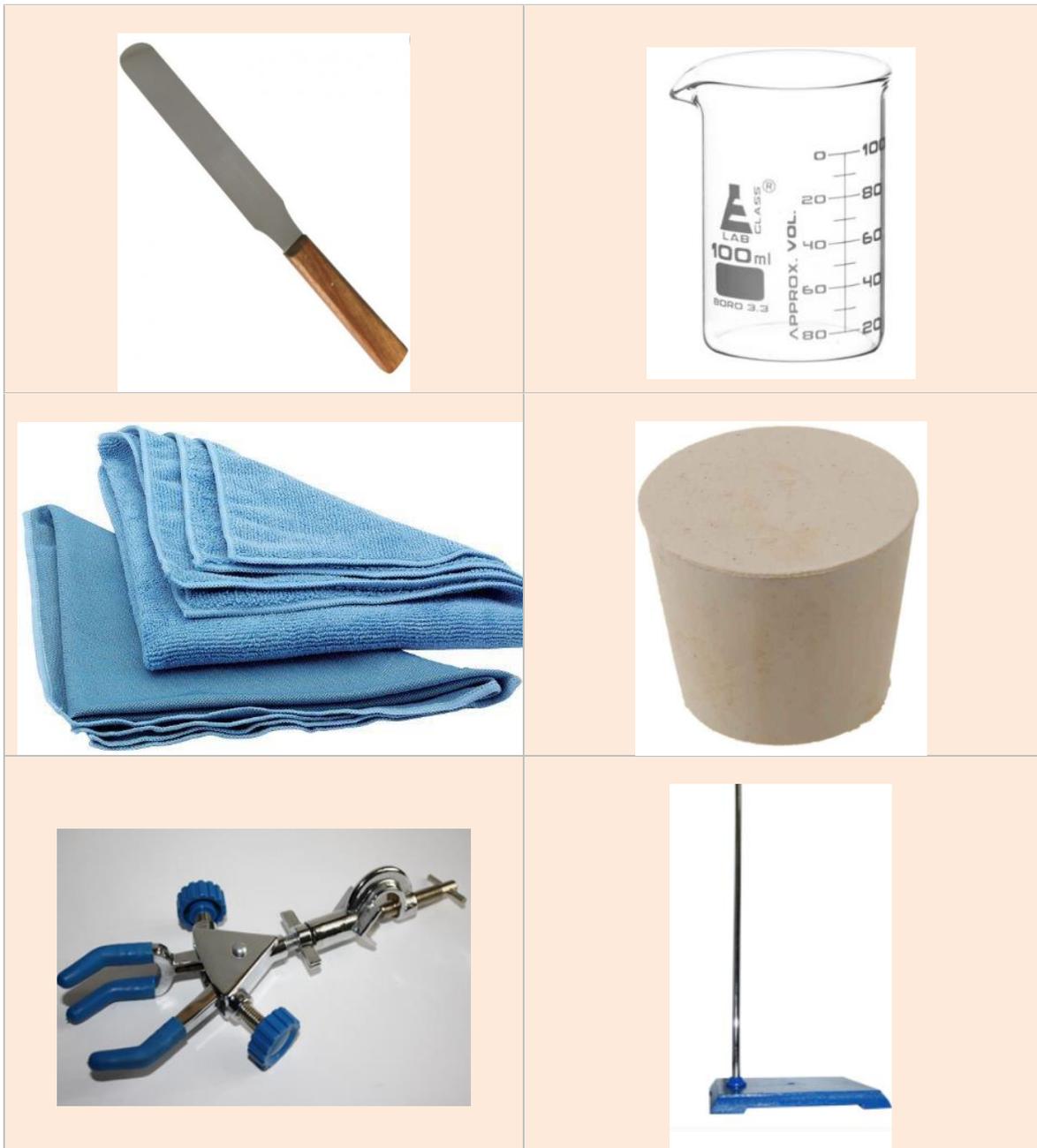
- Manto calefactor
- Refrigerante de destilación
- Balón de destilación de 250 ml
- Termómetro infrarrojo
- Balanza electrónica
- Vaso de precipitado de 50 ml
- Codo de destilación 24/40

- Conexión "T" de destilación 24/40
- Vidrio reloj
- Frascos de muestra
- Mangueras de entrada y salida
- Soporte universal
- Agua refrigerante
- Tapón de termómetro
- Polvo de caucho
- Grano de caucho
- Guantes industriales

**Figura 22. Material de laboratorio para destilación**







Fuente: <https://es.scribd.com/document/371629244/Pratica-de-Laboratorio-1>

Material que se destiló en las pruebas de pirolisis

Figura 23. Muestras del polvo y grano de caucho

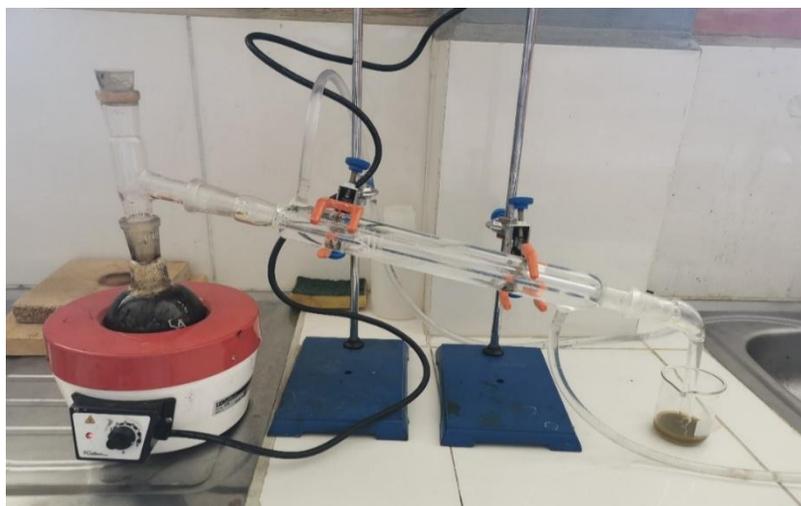


Fuente: Elaboración propia

### 3.10. PROCEDIMIENTO PARA LA PIROLISIS DE POLVO Y GRANO DE CAUCHO

El procedimiento se inició con el armado de tres equipos de destilación para pirolizar 50 gramos de polvo de caucho y 50 gramos de grano de caucho triturado, y posteriormente obtener un aceite condensado. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de la carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública de El Alto.

Figura 24. Equipo de destilación simple para pirolizado



Fuente: Elaboración propia

**Paso 1.** Pesar 50 gr de caucho granulado y/o caucho en polvo en la balanza electrónica y colocar la materia prima dentro del matraz de fondo redondo que cumple la función de un reactor.

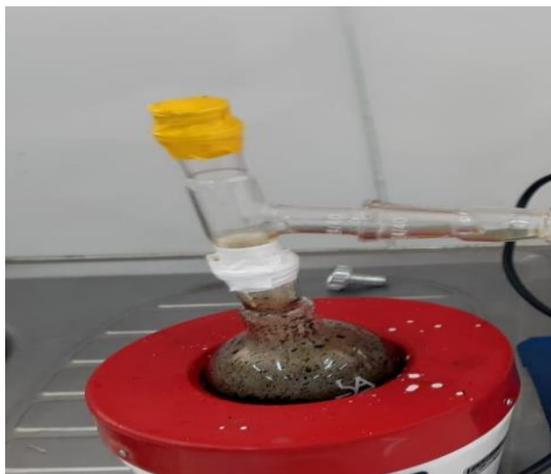
**Figura 25. Pesaje de la muestra de caucho en la balanza de precisión**



Fuente Elaboración propia

**Paso 2.** Encender el manto de calentamiento en un nivel 3, e ir aumentando de nivel cada 10 minutos, esto debe ir acompañado con la lectura de un cronómetro para el registro de la información del tiempo que transcurre hasta la finalización del proceso; que es aproximadamente 2 horas o hasta que alcance la temperatura de 300 °C.

**Figura 26. Manto calefactor calentando el balón con muestra de caucho**



Fuente Elaboración propia

**Paso 3.** Se registro la temperatura en °C con ayuda de un termómetro infrarrojo en el balón de destilador con caucho ya sea en grano o en polvo, el volumen del combustible destilado, la potencia del manto calefactor y se anotaron los datos cada diez minutos.

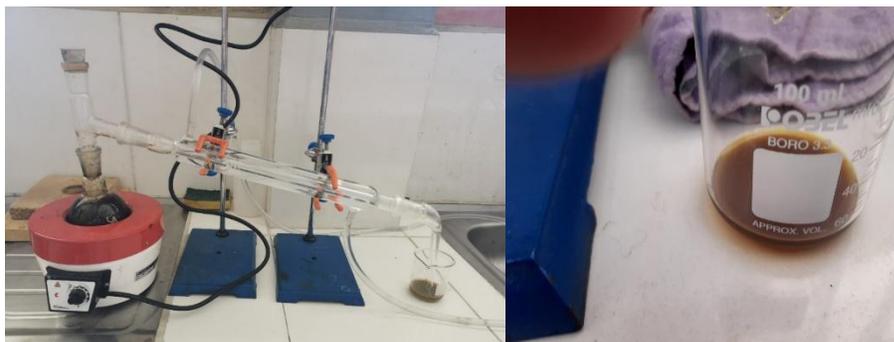
Figura 27. Termómetro infrarrojo midiendo la temperatura del balón con muestra de caucho



Fuente: Elaboración propia

**Paso 4.** El caucho granulado o caucho en polvo, empezó a descomponerse hasta convertirse en gases, quedando en el fondo del balón de destilación una masa de “coke”, que es el residuo pirolizado; los gases evaporados forman un condensado de color ambar.

Figura 28. Destilación del biocombustible



Fuente: Elaboración propia

**Paso 5.** Se apaga el horno del reactor que es el (manto de calentamiento), luego se retira el matraz de fondo redondo donde se encuentra nuestro producto pirolizado y se deja enfriar evidenciando que el coke queda en el fondo del reactor o balón de destilación.

Figura 29. Balón con la muestra negro de humo



Fuente: Elaboración propia

Se realizaron 25 ensayos de pirolisis con caucho en polvo y 25 ensayos de pirolisis por un lapso de aproximadamente dos horas y media cada una. Los datos que se registraron se encuentran en el Anexo A.

### **3.11. PROCEDIMIENTO PARA LA DESTILACIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE PROVENIENTE DEL COMBUSTIBLE DEL POLVO Y GRANO DE CAUCHO PREVIAMENTE PIROLIZADO**

El procedimiento se inició con el armado de tres equipos de destilación para destilar la cantidad de combustible que se produjo en la pirolización del caucho en polvo o grano de los 50 gramos de polvo de caucho y 50 gramos de grano de caucho triturado que fue un aproximado de 15 a 18 ml. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de la carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica de la Universidad Pública de El Alto.

Figura 30. Equipo de destilación simple para obtener el biocombustible más puro



Fuente: Elaboración propia

**Paso 1.** Medir el volumen del combustible proveniente del pirolizado del caucho en grano y polvo en una probeta y colocar la materia prima dentro del balón de fondo redondo que cumple la función de un reactor.

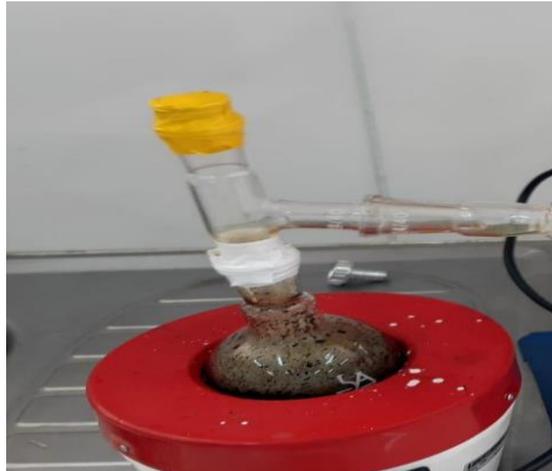
Figura 31. Medición del volumen del combustible derivado del caucho triturado



Fuente: Elaboración propia

**Paso 2.** Encender el manto de calentamiento en un nivel 3, e ir aumentando de nivel cada 10 minutos, esto debe ir acompañado con la lectura de un cronómetro para el registro de la información del tiempo que transcurre hasta la finalización del proceso; que es aproximadamente 2 horas y media o hasta que alcance la temperatura de 300 °C.

**Figura 32. Manto calefactor calentando el balón con muestra de caucho**



Fuente Elaboración propia

**Paso 3.** Se registro la temperatura en °C con ayuda de un termómetro infrarrojo en el balón de destilador con combustible del caucho proveniente del grano o en polvo, el volumen del biocombustible destilado, la potencia del manto calefactor y se anotaron los datos cada diez minutos.

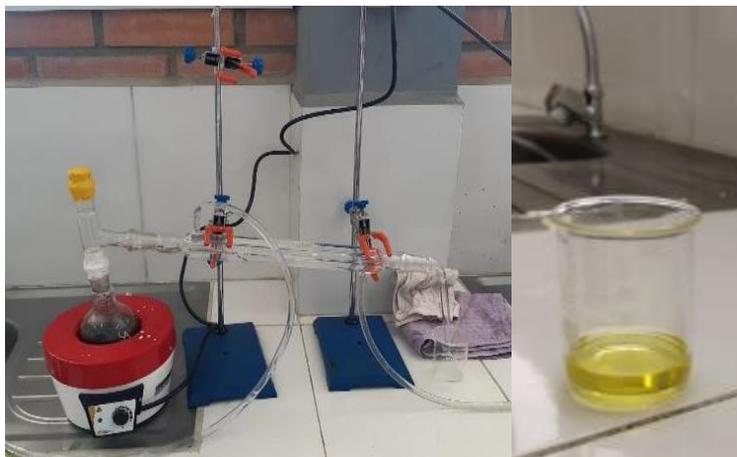
**Figura 33. Termómetro infrarrojo midiendo la temperatura del balón con muestra de combustible del caucho**



Fuente: Elaboración propia

**Paso 4.** El biocombustible proveniente del combustible de caucho granulado o caucho en polvo, empezó a descomponerse hasta convertirse en gases, quedando en el fondo del balón de destilación hasta quedar un volumen menor a 1 ml; los gases evaporados forman un condensado de color amarillento y este pasa a través del refrigerante para luego obtener el producto “aceite” que se forma en el vaso de precipitado denominado biocombustible.

**Figura 34. Destilación del biocombustible**



Fuente: Elaboración propia

**Paso 5.** Se apaga el horno del reactor que es el (manto de calentamiento), luego se retira el matraz de fondo redondo donde se encuentra una cantidad mínima del combustible en el balón de destilación.

**Figura 35. Balón con la cantidad mínima de combustible**



Fuente: Elaboración propia

Se realizaron 5 ensayos de destilación del combustible proveniente del caucho en polvo y grano por un lapso de aproximadamente dos horas y media cada una. Los datos que se registraron se encuentran en el Anexo B.

### **3.12. ENSAYOS PARA LA MEZCLA DE CEMENTO ASFALTICO Y CAUCHO PIROLIZADO**

#### **3.12.1 Materiales utilizados para la mezcla de asfalto**

Los materiales que se utilizaran en mezclas asfálticas serán debidamente caracterizados, en relación al proyecto se tiene:

##### **AGREGADOS**

- Agregados gruesos
- Agregados intermedios
- Agregados finos

##### **ASFALTOS**

- Asfalto convencional Petro-peru 85/100

##### **MODIFICADORES**

- Caucho pirolizado con dosificación al 10%
- Caucho pirolizado con dosificación al 15%

#### **3.12.2. Procedimiento para la mezcla de cemento asfáltico y caucho pirolizado**

El método Marshall es un ensayo de laboratorio dirigido para diseño adecuado de una mezcla asfáltica analizando su estabilidad, fluencia, densidad y vacíos. Y las virtudes del método Marshall es la importancia que se asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico

Para un correcta mezclado se aplicará el método Marshall, el cual se aplica a la elaboración de mezclas asfálticas, como se tiene las primeras experiencias en cuanto al uso del modificador con caucho pirolizado, para aplicación en pavimentos flexibles.

#### **3.12.3. Granulometría**

La granulometría identifica una de las propiedades físicas de los agregados como son gravas y arena que impacta directamente en la resistencia de las mezclas asfálticas,

Conceptualmente la granulometría es la distribución, en porcentaje, de los diversos tamaños del agregado en una muestra de áridos.

Se utiliza para su representación el gráfico semilogarítmico que se aplicaran en el acápite de resultados.

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1. DIAGNOSTICO DE LA GENERACIÓN DE NEUMATICOS FUERA DE USO EN LA CIUDAD DE EL ALTO

La Gestión de neumáticos fuera de uso (taxis, minibuses, camiones) en la ciudad de El Alto se destaca por la falta de instalación de plantas de valorización energética, así como de plantas que trituran neumáticos, como también por los lugares de acopio de estos.

Para tener una idea más clara y objetiva de la cantidad de neumáticos fuera de uso, en coordinación con el Gobierno Municipal de El Alto, se realizó la visita al relleno Sanitario de Villa Ingenio, en una entrevista con el encargado de cierre y Mantenimiento de la empresa Colina SRL Ingeniero Andrés Gutiérrez se pudo constatar y evidenciar que no existe una recolección diferenciada de este residuo sólido. Sin embargo, algunos de estos neumáticos son utilizados como masetas o parte de la señalización dentro del Relleno Sanitario.

**Figura 36. Uso de los neumáticos en el relleno Sanitario de Villa Ingenio**



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1. ENCUESTA SOBRE LA CANTIDAD DE NEUMATICOS FUERA DE USO

Las encuestas fueron realizadas el mes de abril - mayo del año en curso, con el objetivo de identificar el aforo de vehículos en horas pico (mañana, tarde y noche) y el posterior desenlace de los neumáticos. En tres zonas muy importantes de la Ciudad de la urbe alteña, las cuales son:

- Zona Ex tranca Rio Seco
- Zona Ceja de El Alto
- Zona Ex Tranca Senkata

Es importante destacar que el recauchaje no se considera dentro de esta encuesta al ser un proceso que emplea neumáticos usados, los cuales no han llegado aún al fin de su vida útil. Por lo tanto, este proceso se considera como una alternativa de alargamiento de vida útil y no de gestión de NFU.

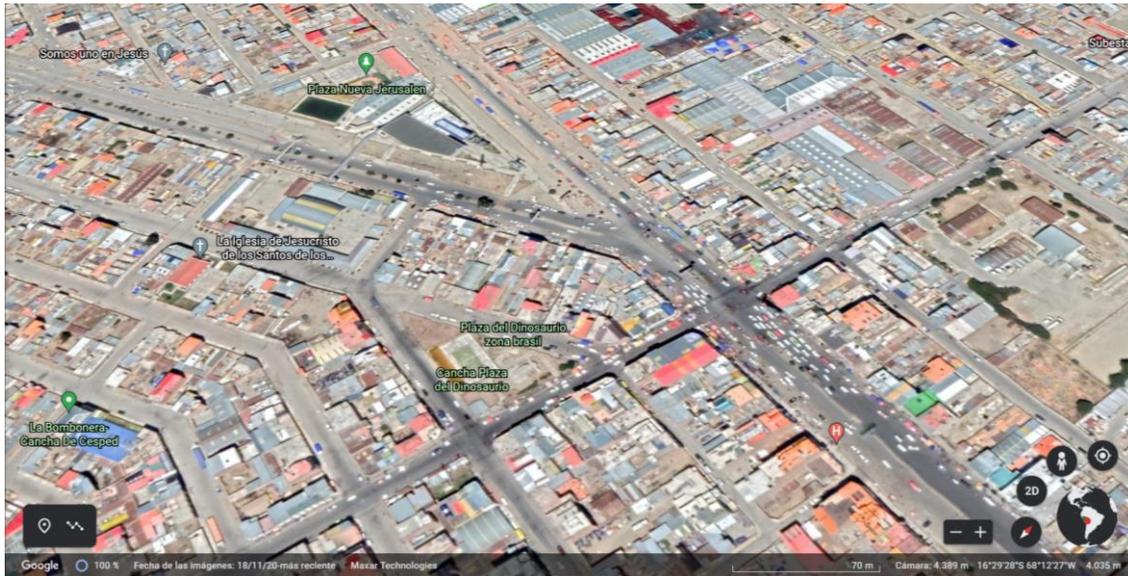
A continuación, se desarrollará el procedimiento de las encuestas a los conductores del parque automotor de la Ciudad de El Alto para su posterior análisis:

**Tabla 11. Encuestas a conductores del parque automotor de El Alto**

<b>Materiales para la recopilación de encuestas</b>	<b>Materiales de bioseguridad para la recopilación de encuestas</b>
Hojas de encuesta, tablero	Barbijos
Bolígrafos, lápices	Alcohol en gel

Fuente: Elaboración propia

**Figura 37. Zona Ex Tranca Rio Seco**



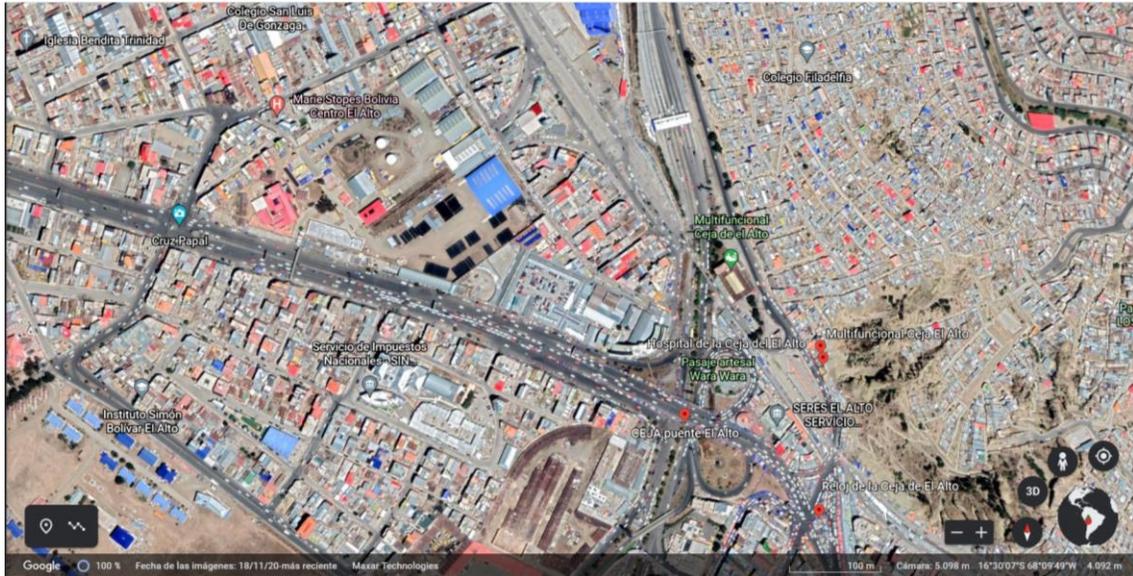
Fuente: Google Earth, 2021

**Figura 38. Encuesta Zona Ex Tranca Rio Seco**



Fuente Elaboración Propia

Figura 39. Zona Ceja de El Alto



Fuente: Google Earth, 2021

Figura 40. Encuesta Zona Ceja de El Alto



Fuente Elaboración Propia

**Figura 41. Zona Ex Tranca de Senkata**



Fuente: Google Earth, 2021

**Figura 42. Zona Ex Tranca de Senkata**



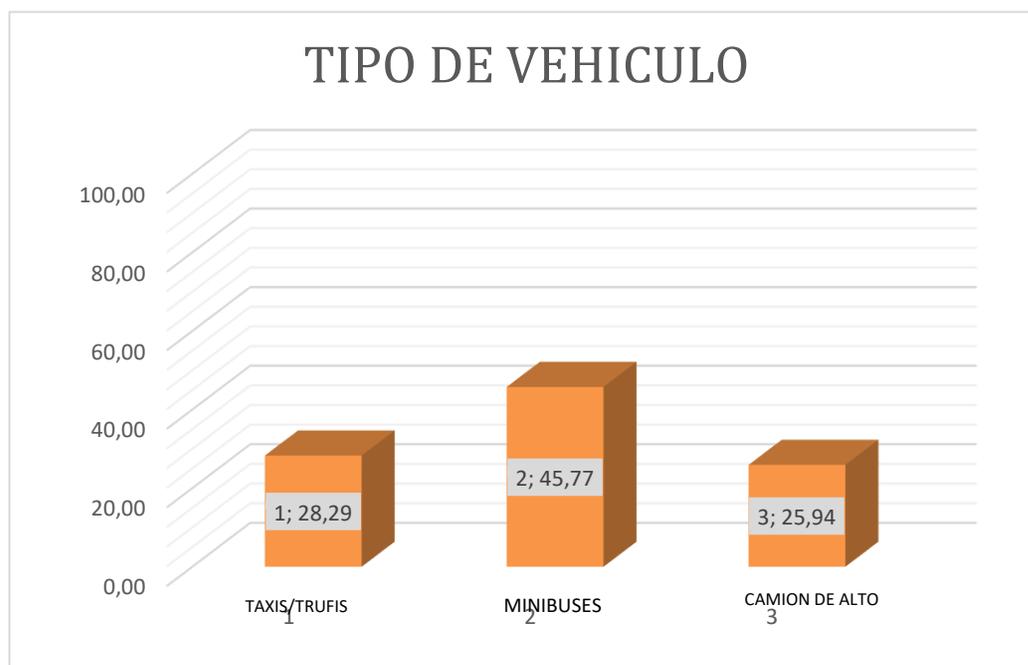
Fuente Elaboración Propia

Tabla 12. Cantidad de conductores encuestados

TOTAL, DE AUTOMOVILES AFORADOS	721	
TIPO	TOTAL	%
TAXIS / TRUFIS	204	28.29
MINIBUSES	330	45.77
CAMION DE ALTO TONELAJE	187	25.94
TOTAL	100.00	

Fuente Elaboración Propia

Gráfica 1. Porcentaje de vehículos encuestados



Fuente Elaboración Propia

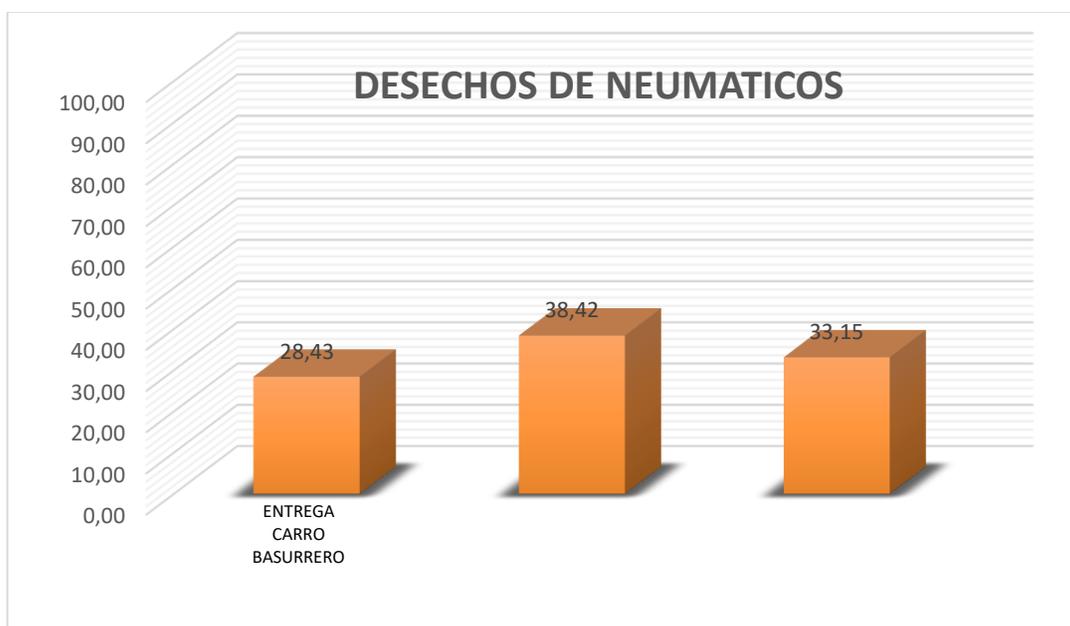
Tabla 13. Cantidad de encuestados sobre la disposición final de NFU

TOTAL, DE AUTOMOVILES AFORADOS	721
--------------------------------	-----

<b>SOBRE EL DESECHO DE LOS NEUMATICOS</b>	<b>TOTAL</b>	<b>%</b>
ENTREGA AL CARRO BASURERO	205	28.43
ESTA EN CASA / GARAJE	277	38.42
OTROS LUGARES	239	33.15
<b>TOTAL</b>		<b>100.00</b>

Fuente: Elaboracion Propia

**Gráfica 2. Porcentaje de encuestados sobre la disposición final de NFU**



Fuente: Elaboracion Propia

## Discusion

Si observamos la cantidad instalada actual de Neumaticos Fuera de Uso podriamos concluir que casi un 85% de los NFU generados en la Ciudad de El Alto tienen actualmente un destino no conocido, reflejando una alta probabilidad de deposito en lugares no autorizados. Es por esto, que se exige tener una ley que para asegurar la gestion correcta de los neumaticos fuera de uso, es relevante la necesidad de implementar plantas que

aseguren una capacidad de tratamiento acorde a la generación de NFU. Para posteriormente realizar procesos de pirolisis para la obtención de syngas y otros productos potenciales de ser comercializados (como diesel sintético y negro de humo, después de pretratamiento correspondiente).

#### 4.1.2. ALTERNATIVAS DEL APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO SÓLIDO

#### 4.1.3. DIAGNÓSTICO DEL PAVIMENTO EN LA CIUDAD DE EL ALTO

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general, está conformada por capa de rodadura, base y subbase.

La clasificación de pavimentos está sujeta a las limitaciones inherentes a las técnicas de clasificación. Históricamente, los pavimentos han sido divididos en dos categorías como pavimentos flexibles y pavimentos rígidos.

El siguiente reporte fotográfico fue obtenido realizando un trabajo de campo por el grupo de investigación en calles y avenidas de la Ciudad de El Alto donde se evidencia el desprendimiento de la carpeta asfáltica, deterioro ocasionado por las inclemencias del tiempo además del peso de los vehículos, se puede ver el desgaste del asfalto y ya se evidencia tierra y piedras. Por otra parte, se observa agrietamiento del asfalto, hundimiento y desprendimiento, esto debido al peso de los vehículos y su cargamento.

**Figura 43. Zona San Roque Ex parada micro 8**



Fuente: Elaboración Propia

Figura 44. Zona Lagunas, distrito 7



Fuente: Elaboracion Propia

Figura 45. Zona Bella Vista Ciudad de El Alto



Fuente: Elaboración Propia

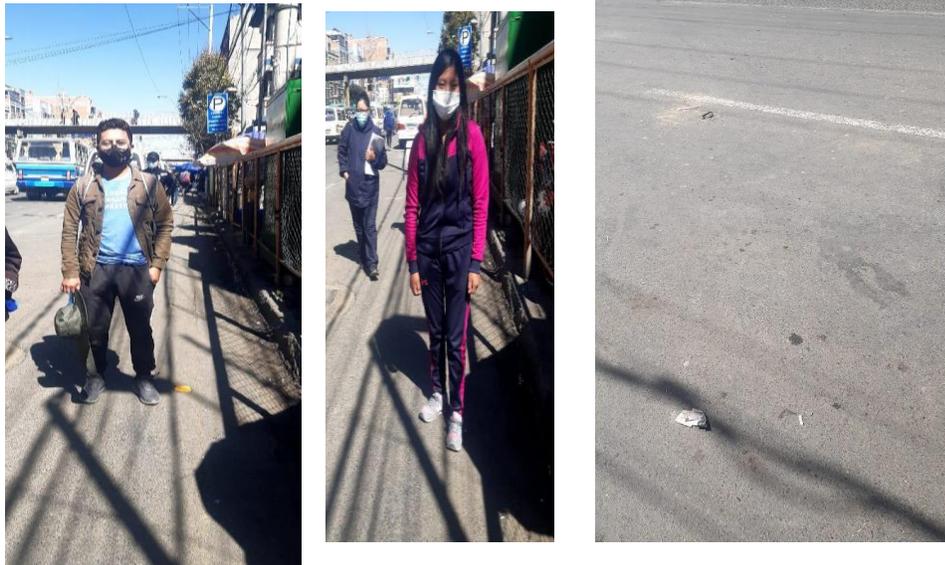
#### 4.1.4. REPORTE DE INSPECCION DEL TIPO DE ASFALTOS PRESENTES EN LA CIUDAD DE EL ALTO

En el marco de la elaboración del proyecto “Mezclas asfálticas modificadas con caucho pirolizado obtenidas a partir de neumáticos reciclados” (proyecto multidisciplinario) se determinó realizar una inspección a una de las carreteras más importantes del departamento con el fin de poder observar y analizar el material y tipo de pavimento que está construido en dicha carretera la cual es la Autovía La Paz-Oruro tramo (Ceja - Senkata) y tramo Ceja - Ex Tranca Rio Seco, en el mes de julio del año en curso, con todas las medidas de bioseguridad debido a la pandemia que actualmente atraviesa la población mundial.

En el punto inicial se pudo observar el tipo de pavimento construido, también se tomaron las fotografías de los auxiliares de investigación encargados de la inspección, fotografías del tipo de pavimento construido en el lugar, y las respectivas coordenadas.

#### 4.1.5. AV 6 DE MARZO LA PAZ - URURO TRAMO (CEJA EL ALTO – EX TRANCA SENKATA)

Figura 46. Tramo 1 Punto inicial Ceja de El Alto



Fuente: Elaboración Propia

#### COMENTARIO:

Se realizó la inspección en el tramo 1 lugar de la ceja del alto donde se pudo apreciar que el pavimento construido en el lugar cumple con las características de ser un pavimento rígido.

#### COORDENADAS Y UBICACION DEL LUGAR:

Figura 47. Coordenadas Tramo 1 Ceja de El Alto



Fuente: Google Earth, 2021

Figura 48. Tramo 2 Puente Bolivia



Fuente: Elaboración Propia

**COMENTARIO:**

Se realizó la inspección del segundo punto que es el puente Bolivia donde se pudo apreciar que el pavimento construido en el lugar cumple con las características de ser un pavimento rígido.

**COORDENADAS Y UBICACION DEL LUGAR:**

**Figura 49. Coordenadas Tramo 2 Puente Boliviva**



Fuente: Google Earth, 2021

**Figura 50. Tramo 3 Cruce Achocalla**



Fuente: Elaboración Propia

**COMENTARIO:**

Se realizó la inspección en el tercer punto que es el lugar de cruce Achocalla donde se pudo apreciar que el pavimento construido en el lugar cumple con las características de ser un pavimento flexible.

**COORDENADAS Y UBICACION DEL LUGAR:**

**Figura 51. Coordenadas Tramo 3 Cruce Achocalla**



Fuente: Google Earth, 2021

**Figura 52. Tramo final Puente Vela**



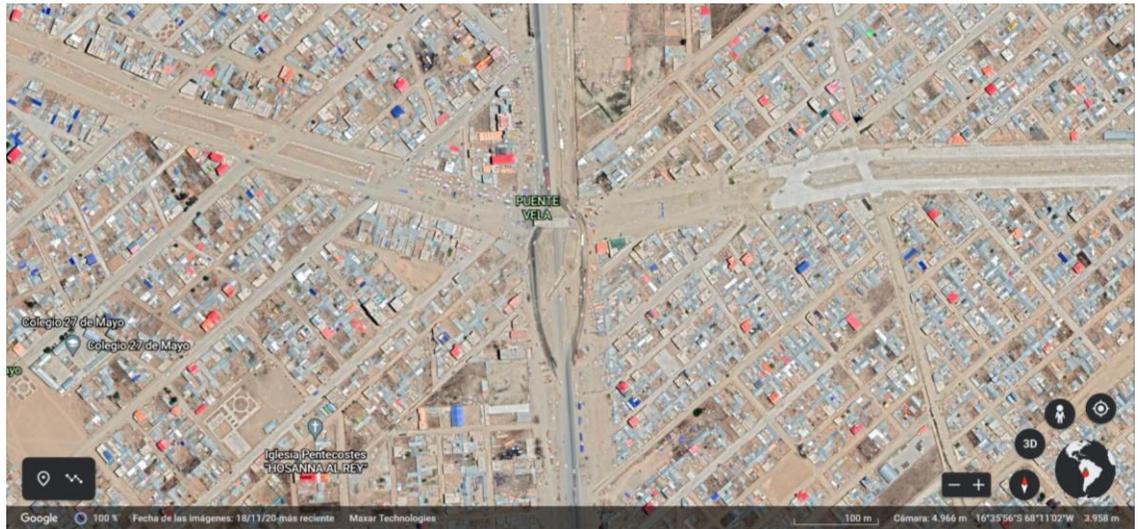
Fuente: Elaboración Propia

**COMENTARIO:**

Se realizó la inspección cuarto punto, puente vela donde se pudo apreciar que el pavimento construido en el lugar cumple con las características de ser un pavimento flexible.

**COORDENADAS Y UBICACION DEL LUGAR:**

Figura 53. Coordenadas Tramo final Puente Vela



Fuente: Google Earth, 2021

#### 4.1.6. TRAMO CEJA DE EL ALTO - EXTRANCA DE RIO SECO

Figura 54. Tramo 1 Punto Inicial Avenida Costanera



Fuente: Elaboración propia

#### COMENTARIO:

Se realizó la inspección en el tramo 1 en la Avenida Costanera de Rio Seco, donde se pudo apreciar que el pavimento construido en el lugar cumple con las características de ser un pavimento rígido.

**COORDENADAS Y UBICACION DEL LUGAR:**

**Figura 55. Coordenadas Tramo Inicial Avenida Costanera**



Fuente: Google Earth, 2021

**Figura 56. Tramo 2 Avenida Tupac Katari**



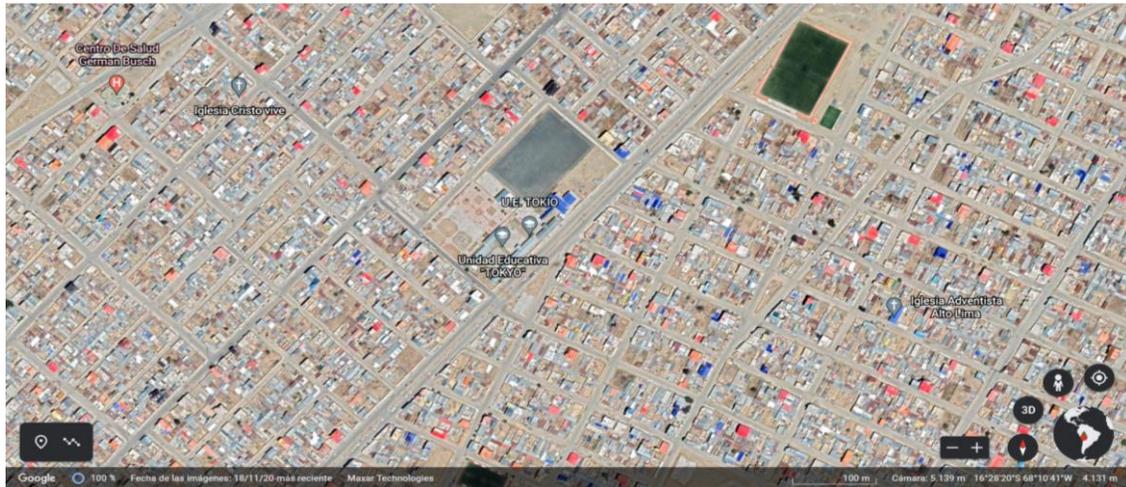
Fuente: Elaboración propia

**COMENTARIO:**

Se realizó la inspección en el tramo 2 de la Zona Tupac Katari en la Avenida Tupac Katari, donde se pudo apreciar que el pavimento construido en el lugar cumple con las características de ser un pavimento flexible.

**COORDENADAS Y UBICACION DEL LUGAR:**

**Figura 57. Coordenadas Tramo 2 Zona Tupac Katari**



Fuente: Google Earth, 2021

**Figura 58. Tramo 3 Zona Villa Esperanza, Avenida Sucre "B"**



Fuente: Elaboración propia

**COMENTARIO:**

Se realizó la inspección en el tramo 3 de la Zona Villa Esperanza en la Avenida Sucre B, donde se pudo apreciar que el pavimento construido en el lugar cumple con las características de ser un pavimento rígido.

**COORDENADAS Y UBICACION DEL LUGAR:**

Figura 59. Coordenadas Tramo 2 Zona Villa Esperanza



Fuente: Google Earth, 2021

Figura 60. Tramo final Zona Ballivián, Avenida Pucarani



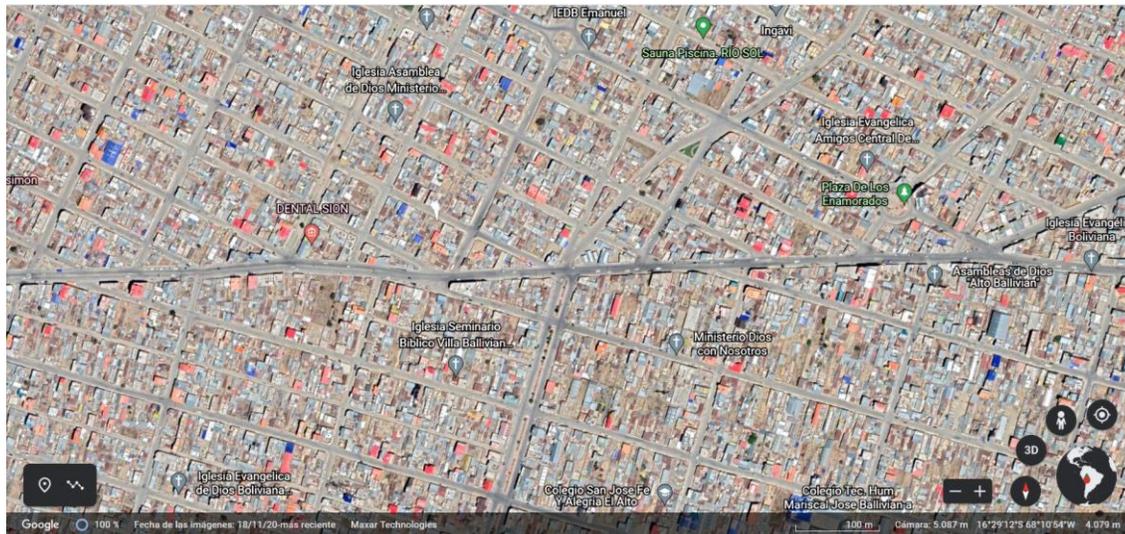
Fuente: Elaboración propia

**COMENTARIO:**

Se realizó la inspección en el tramo final de la Zona Ballivián en la Avenida Pucarani, donde se pudo apreciar que el pavimento construido en el lugar cumple con las características de ser un pavimento rígido.

**COORDENADAS Y UBICACION DEL LUGAR:**

Figura 61. Coordenadas Tramo final Zona Ballivián



Fuente: Google Earth, 2021

Una vez identificados los diferentes tipos de pavimentos y sus respectivas características de cada uno ellos, en la inspección realizada, se llega a la conclusión que en los tramos 1 y 2 los pavimentos están contruidos de un tipo de pavimento rígido y en los tramos 3 y 4 son contruidos con un tipo de pavimento flexible, debido a que en los tramos ya mencionados son más alejados de la ciudad, donde surge la necesidad de construir pavimentos flexibles esto debido a que circulan vehículos, camiones, etc. El cual son de alto tonelaje. Y el pavimento contruido en estos lugares debe de ser de mucha más resistencia al peso de estos vehículos.

## 4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PIROLISIS DEL CAUCHO EN GRANO Y EN POLVO

### 4.2.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PIROLIZADO DE CAUCHO EN GRANO Y EN POLVO

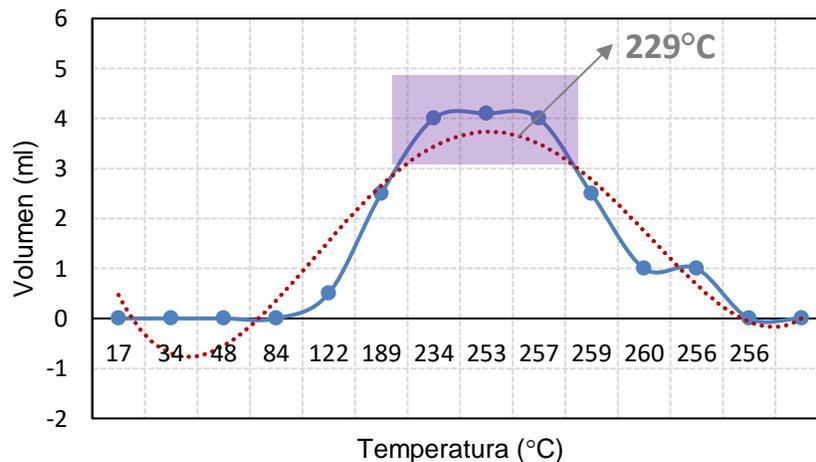
Para establecer los factores que influyen en el rendimiento del proceso de obtención de combustible líquido y carbón negro, se realizó una revisión bibliográfica donde la temperatura, presión y tiempo de retención son los factores que más influyen en el rendimiento del proceso de la pirólisis (Mancheco, 2017), entre estos parámetros se le dio mayor prioridad a la temperatura, ya que, se contaba con el material necesario para realizar

las respectivas lecturas, sin embargo, por las limitantes de los materiales de laboratorio no se hizo el control de la presión.

#### 4.2.1.1. Influencia de la temperatura en el proceso de pirolizado del caucho en polvo

Se realizó una gráfica para visualizar el comportamiento del volumen del combustible proveniente del caucho en polvo al variar la temperatura, presentando un comportamiento parabólico convexo.

**Gráfica 3. Volumen del combustible Vs Temperatura proveniente del caucho en polvo**



Fuente:

Elaboración propia

En base a una regresión polinómica de cuarto grado, se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = 0,0044x^4 - 0,1391x^3 + 1,3874x^2 - 4,4247x + 3,6421$$

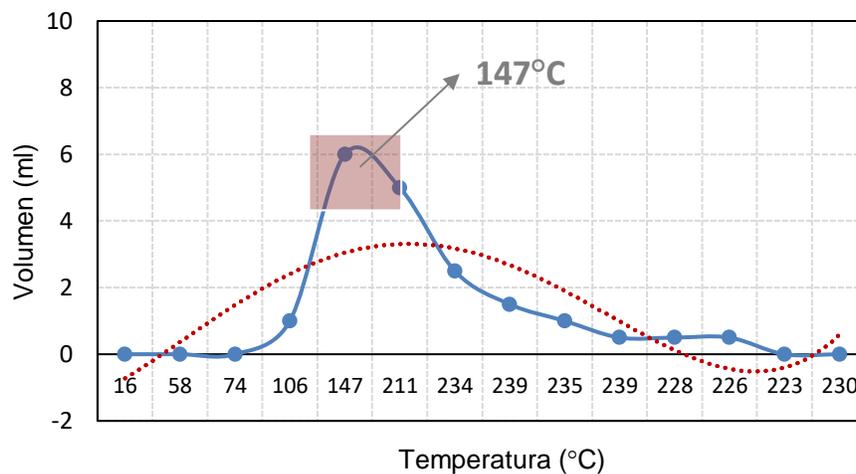
$$R = 0,93$$

Considerando esta ecuación se calcula el punto crítico máximo de temperatura que es de 229°C, el cual produce el mayor volumen de combustible líquido.

#### 4.2.1.2. Influencia de la temperatura en el proceso de pirolizado del caucho en grano

Se realizó una gráfica para visualizar el comportamiento del volumen del combustible proveniente del caucho en grano al variar la temperatura, obteniendo un comportamiento parabólico convexo.

**Gráfica 4. Volumen del combustible Vs Temperatura proveniente del caucho en grano**



Fuente: Elaboración propia

En base a una regresión polinómica de cuarto grado, se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = 0,0022x^4 - 0,0528x^3 + 0,2676x^2 + 0,6253x - 1,5677$$

$$R = 0,75$$

Considerando esta ecuación se calcula el punto crítico máximo de temperatura que es de 147°C, el cual produce el mayor volumen de combustible líquido.

Se puede observar que el polvo de caucho llega a una temperatura mayor en comparación al pirolizado del grano de caucho para el volumen máximo destilado, esto, se puede deber al área de contacto ya que en el caucho de polvo influye mucho en la tendencia de cambio de fase ya que esta llega a ser exponencial, en cambio pasa lo contrario en el caucho en grano. Es por eso que en el caso del caucho en grano le costará desprenderse de su estructura molecular, lo cual lo lleva a ser más estable molecularmente.

También se realizó un análisis de varianza para un nivel de significación de 0.05 por el método Tukey, donde en la tabla .... se puede observar que existe una diferencia significativa, lo que quiere decir que la temperatura influye en el tipo de caucho utilizado. También se puede observar que el coeficiente de variación tiene un valor de 8.4% el cual indica que los datos son confiables.

**Tabla 13. Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento (%)	200	0,91	0,89	8.40

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14. Análisis de la varianza del rendimiento del carbón negro (%)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14061.65	1	14061.65	60.24	0,0002
Tipo de caucho	14061.65	1	14061.65	60.24	0,0002
Error	1400.47	6	233.41		
Total	15462.12	7			

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN NEGRO PROVENIENTE DEL GRANO Y POLVO DE CAUCHO

Se realizaron 45 ensayos con polvo de caucho y 45 ensayos con grano de caucho obteniendo 1500 – 2000 gramos tanto de negro de humo proveniente del polvo de caucho y 1500 – 2000 gramos tanto de negro de humo proveniente del grano de caucho, esto, para fines de dosificación en las pruebas de asfalto en la empresa EMAVIAS.

En la siguiente tabla se puede ver 6 ensayos al azar y sus rendimientos de cada tipo de caucho pirolizado.

Tabla 15. Rendimiento del caucho en polvo y grano pirolizado

		1	2	3	4	5	6
<b>Antes del ensayo</b>	<b>Tipo de caucho</b>	<b>Grano</b>	<b>Grano</b>	<b>Grano</b>	<b>Polvo</b>	<b>Polvo</b>	<b>Polvo</b>
	<b>Masa caucho (g) de</b>	50	50	50	50	50	50
	<b>Masa agua (g) del</b>	178,1	181,8	178,5	178,7	181,8	178,7
	<b>Masa balón (g) del</b>	128,8	133,5	128,4	128,8	133,5	128,8
<b>Después del ensayo</b>	<b>Masa balón con agua + condensado (g) del</b>	155,9	159,1	155,2	153,3	159,1	153,3
	<b>Masa de la muestra pirolizado + agua</b>	128,7	134,4	129,4	127,4	134,4	127,4
	<b>Masa del caucho pirolizado (g)</b>	27,2	24,7	25,8	25,9	24,7	25,9
<b>Cálculos</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	<b>47,5</b>	<b>45,4</b>	<b>49,7</b>	<b>51,8</b>	<b>56,8</b>	<b>51,8</b>

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 13 y 14, indican el análisis de varianza para un nivel de significación de 0.05 por el método Tukey, del rendimiento de carbón negro de caucho pirolizado del grano y polvo. También se puede observar el coeficiente de variación siendo un valor de 7.79 % el cual indica que los datos son confiables.

Tabla 16. Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento (%)	74	0,03	0,02	7,79

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17. Análisis de la varianza del rendimiento del carbón negro (%)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	41,78	1	41,78	2,5	0,1182
Tipo de caucho	41,78	1	41,78	2,5	0,1182
Error	72				
Total	73				

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la tabla 15, muestran que existe mayor rendimiento del carbón negro del caucho en polvo (53.24 %) en comparación del % rendimiento del carbón negro de caucho en grano (51.74 %). Sin embargo, no existe diferencia significativa del rendimiento (%) procedentes de ambas granulométricas de caucho. Según Huallpara, Siñani, & Escobar, (2020), en su investigación obtuvieron carbón negro procedente de caucho en grano y polvo un rendimiento entre 44 – 53 % siendo resultados bastante similares a los obtenidos en la presente investigación.

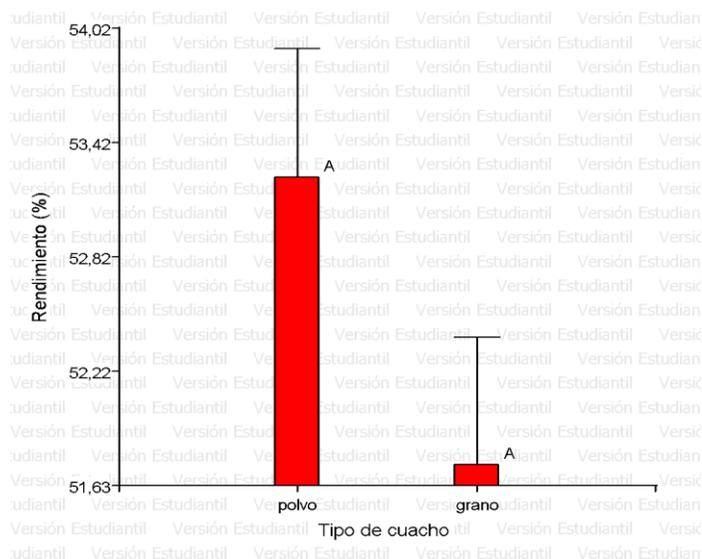
**Tabla 18. Valores promedio del rendimiento de la pirolisis carbón negro proveniente del grano y polvo de caucho**

Caucho	Medias	n	E.E.	
polvo	53,24	0,67	0,67	A
grano	51,74	0,67	0,67	A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes*

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5. Rendimiento del carbón negro Vs tipo de caucho proveniente



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL COMBUSTIBLE PROVENIENTE DEL CARBÓN NEGRO DEL GRANO Y POLVO DE CAUCHO

Se realizaron 10 ensayos con combustible pirolizado proveniente del polvo de caucho y 10 ensayos con combustible pirolizado provenientes del grano de caucho y distinguir cuál es el rendimiento del producto del destilado de estos combustibles.

En las tablas 18 y 19, indican el análisis de varianza para un nivel de significación de 0.05 por el método Tukey, del rendimiento del combustible ya sea proveniente del combustible pirolizado del grano o del polvo. También se puede observar el coeficiente de variación tiene un valor de 9.64 % el cual indica que los datos son confiables.

Tabla 19. Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento (%)	20	0,63	0,6	9,64

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Análisis de la varianza del rendimiento del carbón negro (%)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	357,01	1	357,01	30,05	< 0,0001
Tipo de caucho	357,01	1	357,01	30,05	< 0,0001
Error	213,82	18	11,88		
Total	570,83	19			

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la tabla 20, muestran que existe mayor rendimiento el combustible destilado proveniente del caucho en polvo (40 %) en comparación del % rendimiento del combustible destilado proveniente del caucho en grano (31.5 %). Se puede ver que existe diferencia significativa del rendimiento (%) procedentes de ambos combustibles.

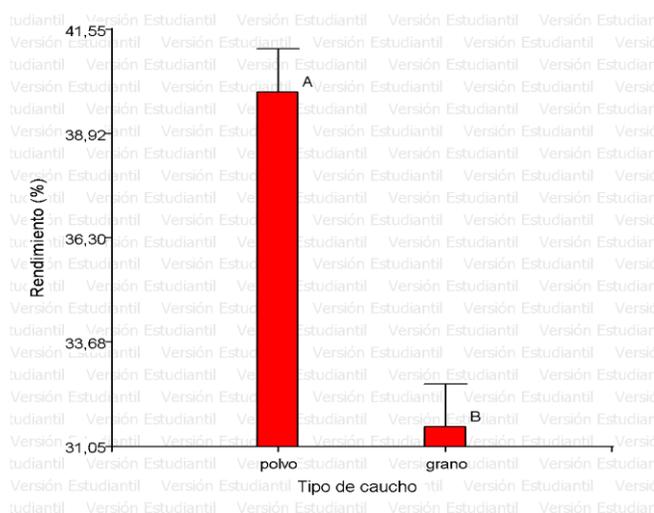
**Tabla 21. Valores promedio del rendimiento de la pirolisis carbón negro proveniente del grano y polvo de caucho**

Caucho	Medias	n	E.E.	
Combustible del polvo	39,98	10	1,09	A
Combustible del grano	31,53	10	1,09	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes*

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 6. Rendimiento del combustible Vs tipo de caucho proveniente**



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. CARACTERIZACIÓN DEL COMBUSTIBLE PIROLIZADO

Los análisis fisicoquímicos del combustible líquido obtenido determinan que posee características propias de los combustibles derivados del petróleo (gasolina, diésel y queroseno); en la tabla se describe las propiedades fisicoquímicas del Combustible Pirolítico.

**Tabla 22. Caracterización del combustible pirolizado**

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	0,88
Gravedad API	-	23,87
Viscosidad	Centipoise	1,11
Punto de inflamación	°C	20,5
Punto de congelación	°C	-39,3
Número de Cetano	-	46,7
Temperatura de destilación del 90 %	°C	320

Fuente: ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos), 2021

Se pudo observar que el combustible pirolítico, posee color y olor característico de los productos derivados del petróleo (negro oscuro). Adicionalmente se pudo observar que los resultados tanto del biocombustible destilado del caucho de grano y caucho de polvo eran los mismos. Así mismo se puede observar en la tabla 3, que la densidad es muy similar a la del líquido del queroseno esto se debe a la alta composición de queroseno que existe en la muestra, también podemos observar que la gravedad API está en el rango de medio o mediano lo que significa que tienen una buena concentración de hidrocarburos de bajo peso molecular, que también lo hace fácil de transportar. Así mismo el valor de la viscosidad nos da a entender que es una sustancia fluida en temperatura ambiente (18 °C) y que se encuentra dentro de la clasificación de aceites, el punto de inflamación y congelación es similar a los valores que presenta el queroseno por contener este compuesto en su composición.

#### 4.4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DESTILACIÓN DEL COMBUSTIBLE PRODUCIDO DE LA PIROLIZACIÓN DEL CAUCHO EN GRANO Y EN POLVO

##### 4.4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DESTILACIÓN DEL COMBUSTIBLE PROVENIENTE DEL CAUCHO EN GRANO Y EL CAUCHO EN POLVO.

Se realizaron 3 ensayos con combustible previamente pirolizado proveniente del polvo de caucho y 3 ensayos con combustible antes pirolizado proveniente del grano de caucho para observar si existe una diferencia en el producto del destilado de estos dos combustibles.

En las tablas 22 y 23, indican el análisis de varianza para un nivel de significación de 0.05 por el método Tukey, de la cantidad del biocombustible proveniente del combustible pirolizado del grano y del polvo. También se puede observar el coeficiente de variación el cual tiene un valor de 9.99 % el cual indica que los datos son confiables.

**Tabla 23. Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento (%)	6	0,04	0,00	9.99

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24. Análisis de la varianza del rendimiento del carbón negro (%)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.03	1	0.03	0.15	< 0,7211
Tipo de caucho	0.03	1	0.03	0.15	< 0,7211
Error	0.73	4	0.03		
Total	0.75	5			

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la tabla 18, muestran que existe mayor cantidad del volumen del combustible destilado proveniente del caucho en grano (4.33 ml) en comparación al del combustible

destilado proveniente del caucho en polvo (4.20 ml). Se puede ver que no existe diferencia significativa del rendimiento procedentes de ambos combustibles.

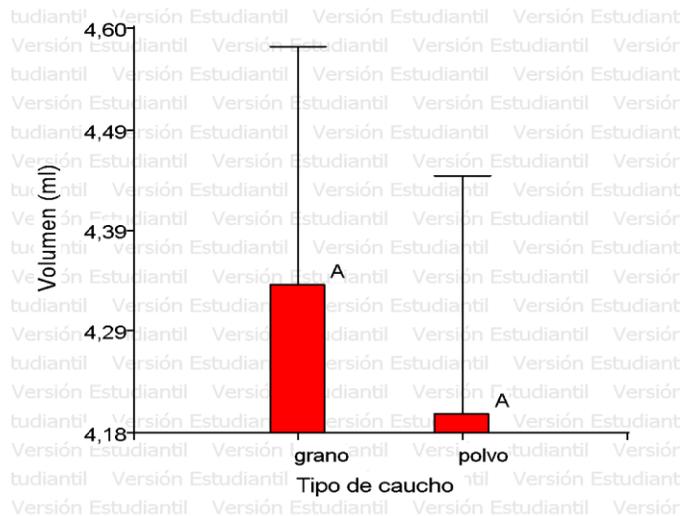
**Tabla 25. Valores promedio del volumen de la destilación carbón negro proveniente del grano y polvo de caucho**

Caucho	Medias	n	E.E.	
Biocombustible del polvo de caucho	4.20	3	0.25	A
Biocombustible del grano de caucho	4.33	3	0.25	A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes*

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 7. Volumen del combustible Vs tipo de caucho proveniente**



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CARBÓN NEGRO PROVENIENTE DEL GRANO Y POLVO DE CAUCHO

Se realizó un análisis de ANOVA para ver si existe diferencias significativas en el rendimiento de ambos biocombustibles, los resultados son los siguientes:

En las tablas 16 y 17, indican el análisis de varianza para un nivel de significación de 0.05 por el método Tukey, del rendimiento del combustible ya sea proveniente del combustible pirolizado del grano o del polvo. También se puede observar el coeficiente

de variación tiene un valor de 9.64 % el cual indica que los datos son confiables.

**Tabla 26. Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento (%)	6	0,12	0,00	11.37

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27. Análisis de la varianza del rendimiento del carbón negro (%)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.04	1	5.04	0.54	< 0.5049
Tipo de caucho	5.04	1	5.04	0.54	< 0,5049
Error	37.67	4	9.42		
Total	42.71	5			

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la tabla 26, muestran que existe mayor rendimiento el combustible destilado proveniente del caucho en polvo (27.9 %) en comparación del % rendimiento del combustible destilado proveniente del caucho en grano (26.1 %). Se puede ver que NO existe diferencia significativa del rendimiento (%) procedentes de ambos combustibles.

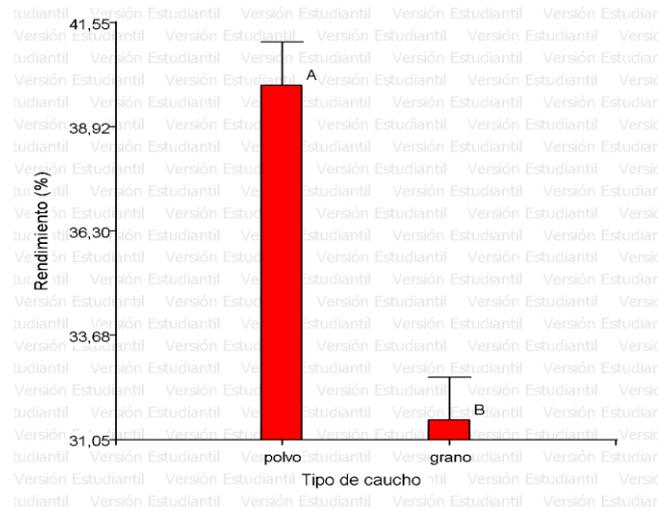
**Tabla 28. Valores promedio del rendimiento de la pirolisis carbón negro proveniente del grano y polvo de caucho**

Caucho	Medias	n	E.E.	
Combustible del polvo	27.90	3	1,77	A
Combustible del grano	26.07	3	1,77	A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes*

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 8. Rendimiento del combustible Vs tipo de caucho proveniente



Fuente: Elaboración propia

#### 4.5. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA MEZCLA ASFALTICAS MODIFICADAS

El presente proyecto de investigación requiere para su análisis el uso de asfaltos convencionales con denominación 85 - 100 y caucho pirolizado, para mejora de sus propiedades físicas y reológicas mejor resistencia a variación de temperatura. Humedad y oxidación.

Para analizar el comportamiento de este tipo de asfaltos modificados con diferentes concentraciones de caucho pirolizado se usarán pruebas en laboratorio de viscosidad, penetración, punto de ablandamiento, ductilidad, con el objeto de la dosis optima de caucho pirolizado que proporcione un cemento asfaltico modificado con propiedades mejoradas.

Los materiales de análisis serán sometidos a pruebas de laboratorio según normativa establecida en la AASHTO – ASTM y procedimientos establecidos por los laboratorios de la UPEA y de EMAVIAS

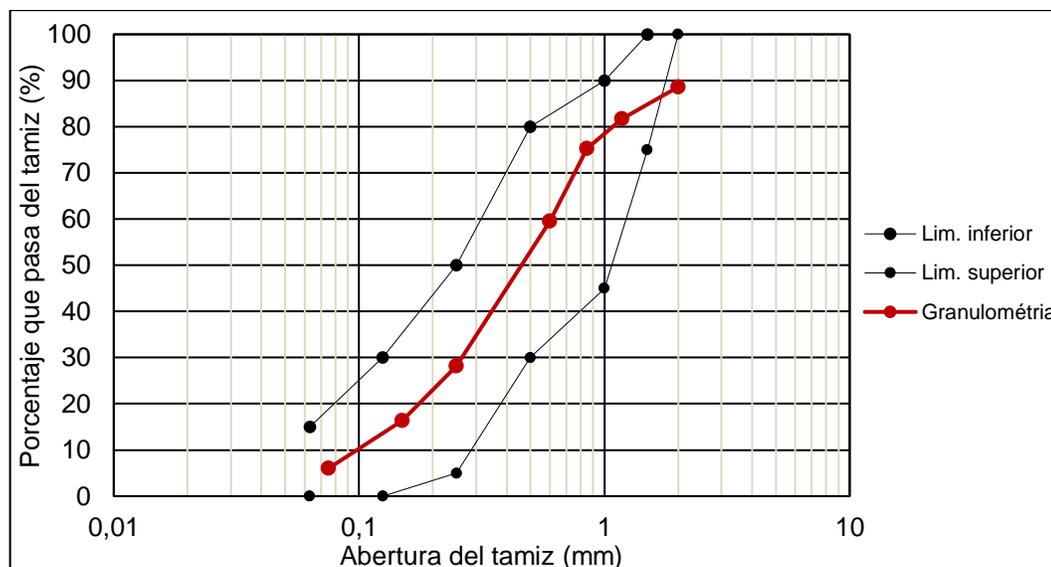
- Granos y polvo de caucho de neumático reciclado
- Caucho pirolizado
- Cemento asfaltico 85-100
- Agregados gruesos – medianos -finos -filler

## 4.6. CARACTERIZACION DE MATERIALES

### 4.6.1. GRANULOMETRÍA CAUCHO PIROLIZADO

Se realizaron análisis granulométricos por tamizado de grano, polvo de caucho pirolizado.

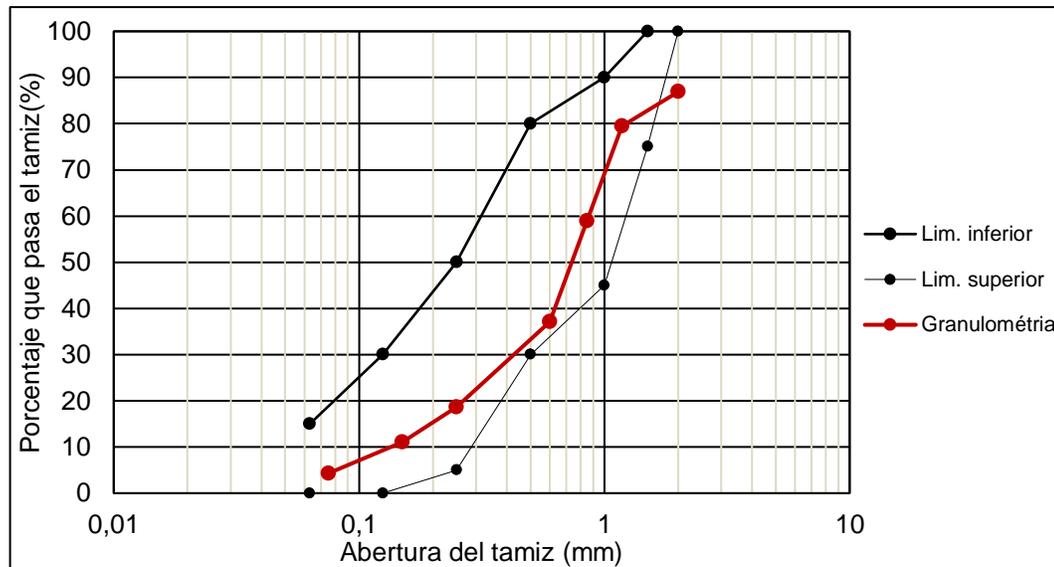
**Gráfica 9. Curva granulométrica de polvo de caucho pirolizado**



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3 que la curva granulométrica de polvo de caucho está fuera de los límites, por lo que se recomienda la composición granulométrica con la adición de grava, arena, limo y arcilla para que se encuentre dentro de los límites.

Gráfica 10. Curva granulométrica de grano de caucho pirolizado



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 4 que la curva granulométrica de polvo de caucho está fuera de los límites, por lo que se recomienda la composición granulométrica con la adición de grava, arena, limo y arcilla para que se encuentre dentro de los límites.

#### 4.6.2. CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO 85-100

El cemento asfáltico que se utilizará es del tipo 85-100, ya que se estima el uso en capas asfálticas estructurales y mezcladas en planta con alto rendimiento.

Los ensayos de laboratorio serán según la normativa AASHTO -ASTM.

**Figura 62. Tambores de cemento asfaltico PEN 85-100**



Fuente: elaboración propia

**Figura 63. Muestreo de cemento asfaltico**



Fuente: elaboración propia

**Tabla 29. Ensayos de caracterización del cemento asfáltico**

ENSAYO	NORMA	
	AASHTO	ASTM
Penetración	T-49	D-5
Peso específico	T-229	D-70
Ductilidad	T-51	D-113
Punto de ablandamiento	T-53	D-36
Viscosidad SAYBOLTFUROL	T-72	D-2171

Fuente: elaboración propia

#### 4.6.2.1 ENSAYO DE PENETRACION

Este ensayo es de clasificación y sus resultados están relacionados a la resistencia que presenta el cemento asfáltico.

El procedimiento consiste en:

Se toma una muestra representativa de CA, misma debe ser calentada previamente en un horno hasta que sea fluida, luego se vierte en un recipiente metálico calentándolo sobre en una hornilla, utilizando una bandeja con arena en medio una especie de cama de arena caliente, este procedimiento es para homogenizar la muestra y asegurar de eliminar el contenido de H<sub>2</sub>O por aproximadamente 45 min, a temperatura de 120 °C a 125 °C, luego se vacía en moldes de bronce de diámetro 55 mm y alto 35 mm con mucho cuidado de que no ingrese burbujas de aire, se deja enfriar por un tiempo de 90 min hasta llegar a la temperatura ambiente, luego se introduce en un recipiente de agua a una temperatura de 25°C y tiempo de 90 min termostáticamente controlada, en esas condiciones se prepara el equipo de penetración para efectuar el ensayo.

Una aguja normalizada de 100g penetra en la superficie de la muestra, se mide la penetración a distancia de 1/10 mm por un tiempo de 5 segundos a una temperatura de 25°C

Tabla 30. Ensayos de penetración

MUESTR A	lectura 1	lectura 2	lectura 3	lectura 4	ponderad o
n° 1	89	88	88	88	88
n° 2	86	84	86	84	85
n° 3	86	85	88	88	87
<b>valor ponderado</b>					
			88	"±"	3
			85	"±"	3
			87	"±"	3
			penetración	<b>87</b>	"±"3 dm

Fuente: elaboración propia

Figura 64. Equipo de penetración



Fuente: elaboración propia

Figura 65. Muestras de asfalto en frascos y equipo de penetración



Fuente: elaboración propia

Cumplimiento según normativa establece penetración entre 85-100 según AASHTO-ASTM, la penetración de 87 indica que cumple

#### 4.6.2.2 PESO ESPECIFICO CEMENTO ASFALTICO PEN 85-100

Es la relación del volumen de CA y el peso del mismo

Equipo requerido:

- picnómetro de capacidad 24 a 30 ml
- balanza analítica

Procedimiento:

Llene el picnómetro con agua destilada y ajuste firmemente la tapa, se sumerge en un baño de agua destilada a 25°C durante un tiempo de 30 min, luego se retira y se lo seca toda la humedad superficial, y se pesa para determinar la masa,

llevar una pequeña cantidad de material CA en condición fluida, mediante aplicación de calor, luego se vierte dentro del picnómetro limpio y seco llenándolo hasta la mitad aproximadamente, se debe evitar que el material toque las paredes del picnómetro por encima de su nivel final y evitar la inclusión de burbujas de aire, se termina de llenar el picnómetro con agua destilada 25°C, se inserta su tapa firmemente, luego se sumerge en agua destilada a 25°C por un tiempo de 30 min, se retira del baño y se seca con paño. Y se pesa en la balanza analítica determinando su masa

**Tabla 31. ensayo de peso específico CA convencional PEN 85-100**

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS	Método utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio			
		1	2	3	Prom.
Peso Específico [gr/cm <sup>3</sup> ]	ASTM D -70	1,003	1,003	---	1,003

Fuente: elaboración propia

**Figura 66. Balanza analítica**



Fuente: elaboración propia

**Figura 67. Picnómetro con muestra de CA PEN 85-100**



Fuente: elaboración propia

Del ensayo se tiene el peso específico de cemento asfáltico PEN 85-100 de 1,003 g/cc

A: peso del picnómetro vacío

B: peso del picnómetro + agua

C: peso del picnómetro + muestra

D: peso del picnómetro+ muestra + agua

$$\text{peso específico} = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} * dw$$

*dw*: densidad del agua g/cc

#### 4.6.2.3 DUCTILIDAD

Este ensayo mide la resistencia a la rotura por medio del alargamiento, los cementos asfálticos que poseen ductilidad normalmente son mas adhesivos que aquellos que tienen un menor grado, es necesario considerar que aquellos CA que tiene grados de ductilidad excesivos son susceptibles a la temperatura.

La ductilidad se mide mediante el aparato denominado Ductilometro, donde una briqueta de asfalto moldeado bajo condiciones y dimensiones normalizadas se coloca en agua a temperatura de 25°C, la briqueta se sujeta con dos mordazas, una de las cuales se mueve a una velocidad de 5cm por minuto, la elongación en cm a la cual se corta se define como ductilidad del asfalto.

**Tabla 32. ensayo de ductilidad CA convencional 85-100**

MUESTRA	distancia de rotura	observaciones
nº 1	150	no se rompió
nº 2	150	no se rompió
nº 3	150	no se rompió

Fuente: elaboración propia

**Figura 68. Ductilometro**



Fuente: elaboración propia

**Figura 69. Briquetas con CA 854-100**



Fuente: elaboración propia

**Figura 70. Briquetas con CA en ductilometro**



Fuente: elaboración propia

**Figura 71. Ensayo de ductilidad**

Fuente: elaboración propia

#### 4.6.2.4 VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL (AASHTO T-72, ASTM D-2171)

Ensayo que se utiliza para determinar los asfaltos en estado fluidez a diferentes temperatura, para este ensayo se lo efectuara a 135°C.

Equipo y material:

- Viscosímetro Saybolt Furol
- Frasco calibrado de 60 ml
- Cemento Asfáltico en estado de fluidez
- Cronometro

Procedimiento:

Se prepara y enciende el viscosímetro Saybolt Furol, se coloca un tapon en la parte inferior del tubo del tubo de salida, se coloca frasco calibrado de 60ml en la base, se vierte la muestra del cemento asfáltico en el orificio superior del viscosímetro Saybolt furol a una temperatura no mayor a 135°C, luego de un tiempo de 1.5 min se quita el tapón, el asfalto en estado de fluidez va directamente al frasco calibrado, en ese momento se inicia el

cronometro hasta llegar a llenar los 60 ml y se anota el tiempo de llenado hasta el menisco establecido.

**Tabla 33. Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol 135°C CA 85-100**

Muestra	To (min+seg)	Tf (min + seg)
nº 1	0	3 min + 7 seg

Fuente: elaboración propia

**Figura 72. Viscosímetro Saybolt Furol**



Fuente: elaboración propia

#### 4.6.2.5 PUNTO DE ABLANDAMIENTO

Describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola, ya que mide la temperatura en el que pasa el CA de estado sólido a un estado plástico

Equipo y materiales:

- Anillo de bronce que cumpla con las dimensiones normalizadas
- Bolas de acero de diámetro de 9,5 mm y que pesen entre  $3,50 \pm 0,050$  g
- Guia para centrar la bola, construida de bronce
- Un vaso de vidrio de 800 ml, capaz de resistir el calor.
- Termómetro en °F o °C
- Cemento Asfáltico 85-100

#### Procedimiento:

Se calienta la muestra y se vierte en los anillos de bronce, luego se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 min, se coloca un frasco precipitado de 800 ml con agua y hielo a temperatura de 5°C, se arma el sistema se sumergen los anillos hasta un tiempo de 15min en el cual desaparece el hielo, se inicia el calentado con una hornilla preparada anticipadamente, se control el incremento de la temperatura de 5°C cada min, se mide la temperatura hasta que se ablande los anillos y dejen caer la bola de acero, se mide la temperatura en el cual cae la bola de acero

**Tabla 34. Ensayo de punto de ablandamiento CA 85-100**

muestra	A	B	Ponderado °C
n° 1	46,11	46,22	46

Fuente: elaboración propia

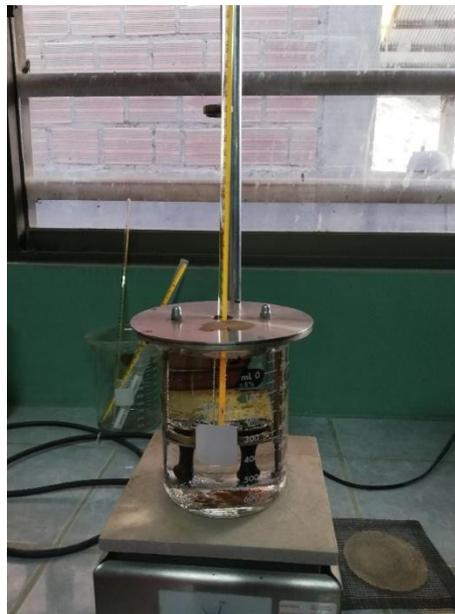
La temperatura no debe exceder los 80°C según la ASTM

**Figura 73. Preparación de Anillos de bronce con CA 85-100**



Fuente: elaboración propia

**Figura 74. Ensayo del punto de ablandamiento del CA 85-100**



Fuente: elaboración propia

#### **4.6.3. CARACTERIZACION DE ASFALTO MODIFICADO CON 10%CP**

El cemento asfáltico modificando el tipo 85-100, adicionando 10% Caucho Piroлизованo.

Los ensayos de laboratorio serán según la normativa AASHTO -ASTM similares a la del cemento asfáltico convencional, y se determina resultados según laboratorio.

**Tabla 35. resultados de la caracterización de asfalto modificado con 10%CP**

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS	Metodo utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio				Especificacion ASTM D-946	obs
		1	2	3	Prom.		
Peso Especifico [gr/cm <sup>3</sup> ]	ASTM D -70	1,051	1,051	---	1,051	0,94 - 1,04 *	S/N
Penetracion a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]	ASTM D -5	69	68	67	68	80-90	S/N
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]	ASTM D-113	19	22,5	--	21	Min. 100	S/N
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	180	180	---	180	43 -53 *	S/N
viscosidad Rotatoria Brookfield [CsP]	ASTM D-4402	7,047	2,667	1,280			Tm=(170-175)°C; Tcomp =(159-164)°C

#### 4.6.4. CARACTERIZACION DE ASFALTO MODIFICADO CON 15%CP

El cemento asfáltico modificando el tipo 85-100, adicionando 15% Caucho Piroлизованo.

Los ensayos de laboratorio serán según la normativa AASHTO -ASTM similares a la del cemento asfáltico convencional, y se determina resultados según laboratorio.

**Tabla 36. resultados de la caracterización de asfalto modificado con 15%CP**

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS	Metodo utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio				Especificacion ASTM D-946	obs
		1	2	3	Prom.		
Peso Especifico [gr/cm <sup>3</sup> ]	ASTM D -70	1,081	1,081	---	1,081	0,94 - 1,04 *	S/N
Penetracion a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]	ASTM D -5	49	50	49	49	80-90	S/N
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]	ASTM D-113	10	10,5	10,5	10	Min. 100	S/N
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	120	120	---	120	43 -53 *	S/N
viscosidad Rotatoria Brookfield [CsP]	ASTM D-4402	7,047	2,667	1,280			Tm=(172-176)°C; Tcomp =(164-167)°C

#### **4.6.5. CARACTERIZACION DEL LOS AGREGADOS**

Como material componente de la mezcla asfáltica modificadas con Caucho pirolizado (CP) se efectúa la caracterización de los agregados, los cuales se utilizarán para la dosificación de las mezclas asfáltica.

Se recolecta las muestras acopiadas en instalaciones de EMAVIAS, los agregados son grava, gravilla y arena según la ASTM D75, homogenizando la muestra desde la punta hasta la base de cada uno de los materiales acopiados

Los materiales son cuarteados desde 4 recipientes hasta obtener un solo recipiente de aproximadamente pesos de 20 a 25 kg, este procedimiento se lo efectúa para obtener una muestra representativa de cada uno de los agregados acopiados. De los cuales se efectuarán diferentes ensayos de laboratorio.

**Figura 75. Material de Agregados acopiados Gruesos-medios y finos**



Fuente: elaboración propia

**Figura 76. Cuarteo de los Agregados acopiados Gruesos-medios y finos**



Fuente: elaboración propia

#### 4.6.5.1. GRANULOMETRÍA

Ensayo que determina la distribución por tamaño de las partículas de los agregados grueso, medios y finos mediante la aplicación de tamices.

Para el diseño de mezclas asfálticas la granulometría y el tamaño máximo de los agregados son indicadores de que determinan la estabilidad de un pavimento asfáltico

Los agregados deben ser limpios tenaces y durables y tener una granulometría correcta ya que de ellas resultara mezclas asfálticas estables y durables.

Equipo:

- Juego de tamices según normativa
- Juego de recipiente (taras)
- Balanza

Procedimiento:

Se procede a dividir las muestras ya cuarteadas de los agregados gruesos, medios y finos en un juego de recipientes pequeños (platos), se extraen tres muestras de cada tipo de agregado, se lo pesa y luego se procede a colocar en el juego de tamices normalizado, se coloca en el tamizador por un tiempo de 15 min, y se luego procede a pesar de forma acumulativa según el tamiz retenido, desde el Tamiz 3/8 hasta completar el T#200.

**Tabla 37. Juego de tamices**

Tamiz Nro	Unidad milímetros
1/2 "	12,700
3/8 "	9,500
#4	4,750
#8	2,360
#16	1,180
#30	0,600
#50	0,300
#100	0,150
#200	0,075

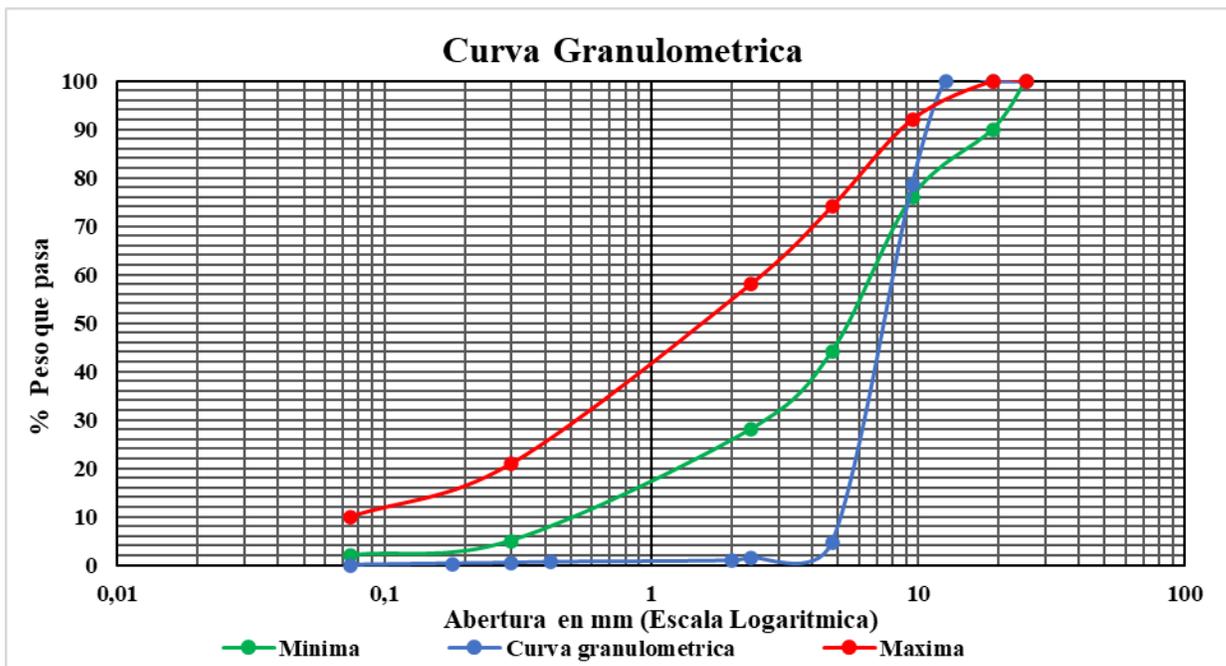
Fuente: elaboración propia

**Tabla 38. granulometría agregado grueso**

TAMIZ	Abertura [mm]	Peso Retenido[g]	Retenido Acumulado [g]	%Retenido Acumulado	Peso que Pasa [g]	% Peso que pasa [%]	ASTM D-3515	
							Especificaciones	
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	1876,30	100,00	100	100
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	1876,30	100,00	90	100
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	1876,30	100,00	90	100
3/8 "	9,500	396,14	396,14	21,11	1480,16	78,53	76	92
Nº 4	4,750	1365,52	1761,66	93,89	114,64	4,52	44	74
Nº 8	2,360	55,30	1816,96	96,84	59,34	1,53	28	58
Nº 16	2,000	12,13	1829,10	97,48	47,21	0,87		
Nº 30	0,420	5,34	1834,43	97,77	41,87	0,58		
Nº 50	0,300	3,25	1837,68	97,94	38,62	0,41	5	21
Nº 80	0,180	2,51	1840,19	98,08	36,11	0,27		
Nº 200	0,075	4,92	1845,12	98,34	31,18	0,00	2	10
Pasa Nº 200		31,15						
TOTAL		1876,27			Perdidas =	0,002%		

Fuente: elaboración propia

Gráfica 11. Curva granulométrica Agregado Grueso



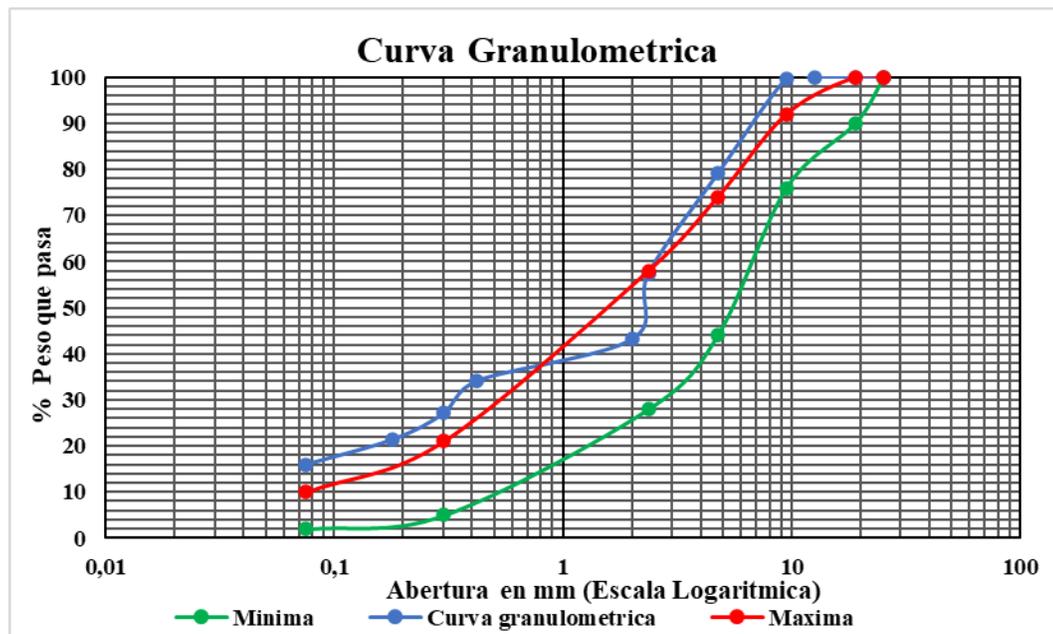
Fuente: elaboración propia

Tabla 39. granulometría agregado intermedio

TAMIZ	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	Retenido Acumulado [g]	%Retenido Acumulado	Peso que Pasa [g]	% Peso que pasa [%]	ASTM D-3515	
							Especificaciones	
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	1836,00	100,00	100	100
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	1836,00	100,00	90	100
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	1836,00	100,00	90	100
3/8 "	9,500	5,21	5,21	0,28	1830,79	99,72	76	92
Nº 4	4,750	378,67	383,88	20,91	1452,12	79,09	44	74
Nº 8	2,360	396,93	780,81	42,53	1055,19	57,47	28	58
Nº 10	2,000	262,48	1043,29	56,82	792,71	43,17		
Nº 40	0,420	165,79	1209,08	65,85	626,92	34,14		
Nº 50	0,300	128,73	1337,81	72,87	498,19	27,12	5	21
Nº 80	0,180	103,84	1441,65	78,52	394,35	21,47		
Nº 200	0,075	100,25	1541,90	83,98	294,10	16,01	2	10
Pasa Nº 200		293,85						
<b>TOTAL</b>		<b>1835,75</b>						

Perdidas = 0,013%

Gráfica 12. Curva granulométrica Agregado intermedio



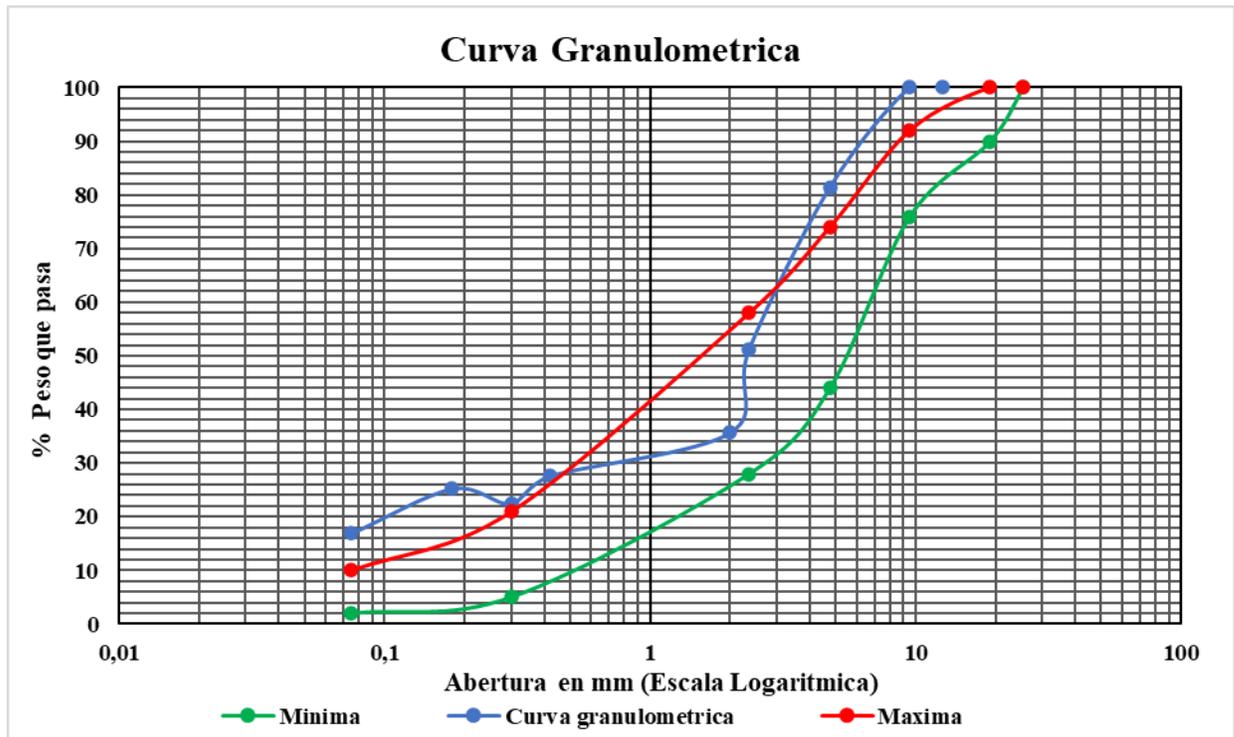
Fuente: elaboración propia

Tabla 40. granulometría agregado fino

TAMIZ	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	Retenido Acumulado [g]	%Retenido Acumulado	Peso que Pasa [g]	% Peso que pasa [%]	ASTM D-3515	
							Especificaciones	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	1682,30	100,00	90	100
3/8 "	9,500	0,00	0,00	0,00	1682,30	100,00	76	92
N° 4	4,750	313,09	313,09	18,61	1369,21	81,39	44	74
N° 8	2,360	507,07	820,16	48,75	862,14	51,25	28	58
N° 10	2,000	261,55	1081,71	64,30	600,59	35,70		
N° 40	0,420	135,56	1217,27	72,36	465,03	27,64		
N° 50	0,300	87,23	1304,50	77,54	377,80	22,46	5	21
N° 80	0,180	47,36	1257,14	74,73	425,16	25,27		
N° 200	0,075	139,70	1396,84	83,03	285,46	16,97	2	10
Pasa N° 200		285,43						
TOTAL		1682,27			Perdidas =	0,002%		

Fuente: elaboración propia

Gráfica 13. Curva granulométrica Agregado fino



Fuente: elaboración propia

Figura 77 tamizado y pesado acumulado de agregados



Fuente elaboración propia

los cálculos se encuentran en anexo - caracterización de agregados

#### 4.6.5.2. PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS

**El agregado grueso.-** Para determinar el peso específico del agregado se procede al muestreo de los agregados con un peso de 2 kg retenidos en el tamiz #4, procediéndolos a lavar en tamiz#200 de forma adecuada hasta que estén muy limpios, se sumergen en agua durante 24 hrs a temperatura ambiente y luego se secan superficialmente con un trapo, se pesan en una canastilla sumergido en agua a temperatura de 25°C, posteriormente las muestras se los coloca al hormo por 24 hrs a una temperatura 110°C, luego se pesan las muestras secas.

**El agregado fino.** - se determina una muestra 1.1 kg el cual se humedeció el agregado en bolsas plásticas utilizando el 8% de su masa durante 24 horas, luego se seca superficialmente en una bandeja con una secadora, verificándose con un cono truncado y un martillo normalizado, compactándolo suavemente con unos 25 golpeteos verticales de altura 0.5 a 1 cm, mediante el cual se verificó que la muestra esta superficialmente seca, luego se procede mediante la aplicación de un picnómetro normalizado con una muestra de 500 gr de agregado fino saturado, para luego después colocarlos a hormo por 24 hrs y posteriormente pesarlos.

**Tabla 41. peso específico agregado grueso**

	MUESTRA Nro.	1
<b>Peso recipiente seco</b>		358,92
<b>Peso muestra saturada superficialmente seca</b> <b>B=</b>		2002,500
<b>Peso muestra + canastilla (sumergidos)</b> <b>C1=</b>		2074,500
<b>Peso canastillo sumergido</b> <b>C2=</b>		815,300
<b>Peso muestra sumergida</b> <b>C=C1-C2=</b>		1259,200
<b>Peso igual volumen de agua</b> <b>D=B-C=</b>		743,300
<b>Peso Especifico</b> <b>G<sub>sss</sub>=B/D=</b>		2,694
<b>Peso Especifico seco</b> <b>G<sub>s</sub>=A/D=</b>		2,663

Fuente: elaboración propia

Tabla 42. peso específico agregado intermedio

MUESTRA Nro.	1
Peso recipiente seco	354,760
Peso muestra saturada superficialmente seca B=	1935,100
Peso muestra + canastilla (sumergidos) C1=	2020,200
Peso canastillo sumergido C2=	815,300
Peso muestra sumergida C=C1-C2=	1204,900
Peso igual volumen de agua D=B-C=	730,200
Peso Especifico G <sub>sss</sub> =B/D=	2,650
Peso Especifico seco G <sub>s</sub> =A/D=	2,602

Fuente: elaboración propia

Tabla 43. peso específico agregado fino pasa tamiz nº4

MUESTRA Nro.	1	2
Peso del recipiente	228,780	181,800
Peso frasco volumetrico A=	165,070	164,720
Peso frasco lleno de agua B=	663,530	663,190
Peso muestra saturada superficialmente seca P=	500,000	500,000
Peso frasco+ agua + muestra C=	970,060	969,930
Peso agua añadida W=C-A-P=	304,990	305,210
Capacidad del frasco V=B-A=	498,460	498,470
Peso del agua desplazada P <sub>w</sub> =V-W=	193,470	193,260
Peso Especifico sss G <sub>sss</sub> =P/P <sub>w</sub> =	2,584	2,587
PESO ESPECIFICO sss PROMEDIO G <sub>sss</sub> =	2,586	
Peso Especifico seco G <sub>s</sub> =D/P <sub>w</sub> =	2,529	2,533
PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO	2,531	

Fuente: elaboración propia

Tabla 44. Densidad ponderada de los agregados

AGREGADO	G <sub>bi</sub>	%Ag i	%Ag i/G <sub>bi</sub>	G <sub>sb ag</sub>
GRAVA	2,694	25,00%	9,28%	2,635
GRAVILLA	2,650	35,00%	13,21%	
ARENA CHANCADA	2,586	40,00%	15,47%	

Figura 78. tamizado y pesado acumulado de agregados



Fuente: elaboración propia

Figura 79. Material de laboratorio para peso específico de finos



Fuente: elaboración propia

Figura 80. pesado de picnómetro +muestra + agua para peso específico de finos



Fuente: elaboración propia

#### 4.7. MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL

Una vez concluida la caracterización de todos materiales requeridos se procede a la preparación de las mezclar los siguientes materiales:

- asfalto convencional
- asfalto modificado al 10% con CP
- asfalto modificado al 15%CP
- agregados gruesos
- agregados intermedios
- agregados finos

La dosificación Marshall en agregados es de 25%gruesos, 35%intermedios, 40 %finos

La dosificación Marshall en asfaltos es de 4.5%, 5%, 5.5 %, 6%, 6.5% y 7% en los tres tipos de asfalto (convencional, modificado al 10%CP, modificado al 15%CP)

La dosificación de para obtener mezclas modificadas con caucho pirolizado es del 10% y 15% de agregar caucho pirolizado obtenidas de neumáticos reciclados

Designaciones y factores desarrollados en los ensayos para mezclas asfálticas convencionales y mofificadas

%CA= %cemento asfaltico convencional

%CA\_10=cemento asfaltico modificado con caucho pirolizado al 10%

%CA\_15= cemento asfaltico modificado con caucho pirolizado al 15%

PE (g/cc)= peso específico de mezcla asfáltica

%vacios = vacíos de las mezclas asfálticas

Est(kg)= estabilidad

Flujo(cm)= fluencia

Mez(%) = %vacios en Mezclas

Agreg (%) = %vacios en agregados

c/Asf (%) = %vacios en asfaltos

en anexos se contempla planilla Marshall de cada uno de las mezclas establecidas y se tiene resultados según laboratorio

#### **4.7.1. MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL 85/100**

Se efectuó según procedimientos Marshall, el cual se tiene resultados en la presente tabla

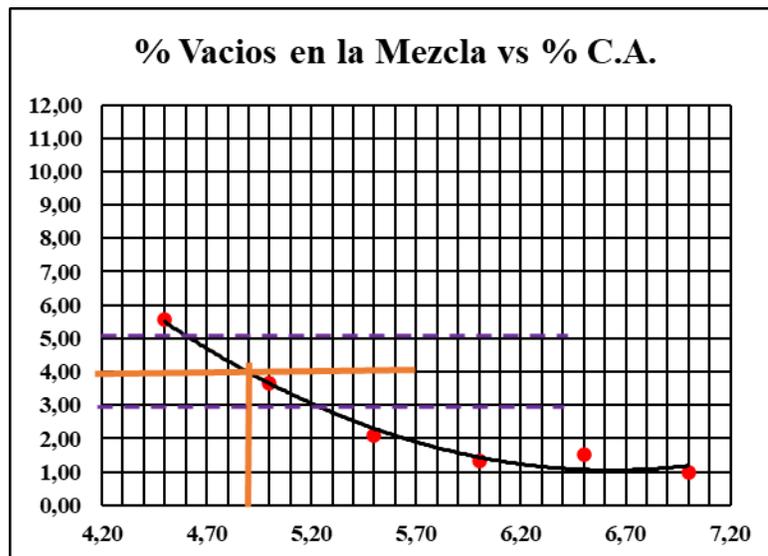
Tabla 45. resultado mezcla convencional con asfalto 85/100

DOSIFICACION CA CONVENCIONAL

% C.A.	PE Gsb Prom.	% de Vacios			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mez. [%]	Agreg [%]	c/Asf. [%]		
4,50	2,355	5,564	14,461	61,521	1193,11	0,30
5,00	2,386	3,659	13,761	73,410	1236,27	0,25
5,50	2,408	2,093	13,378	84,354	1284,73	0,36
6,00	2,410	1,348	13,721	90,177	1065,19	0,40
6,50	2,390	1,513	14,844	89,808	944,58	0,43
7,00	2,387	0,968	15,334	93,686	880,17	0,56

Elaboración propia

Gráfica 14. resultado %vacios de mezcla convencional con 4.7%CA



Elaboración propia

4.7.2. MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON 10%CP

Se efectuó según procedimientos Marshall, el cual se tiene resultados en la presente tabla

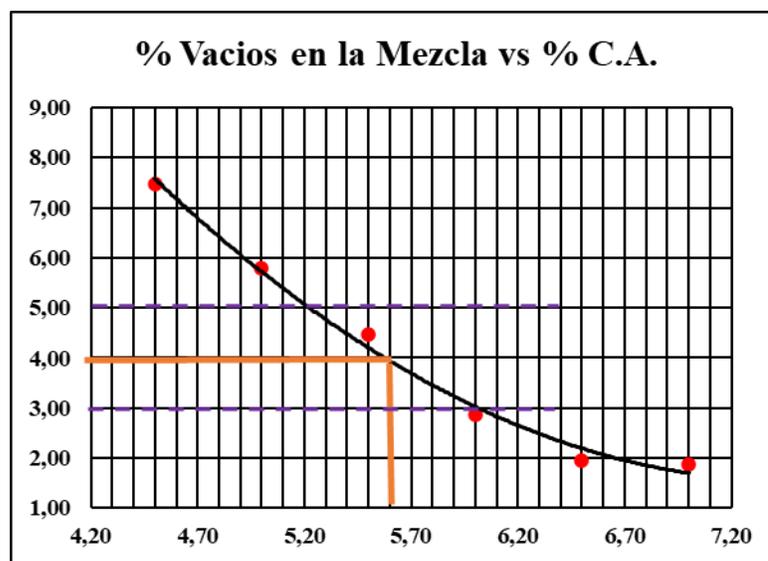
**Tabla 46. resultado mezcla modificada con asfalto 85/100 y 10% de caucho pirolizado**

**DOSIFICACION 10%CAUCHO PIROLIZADO**

% C.A.	PE Gsb Prom.	% de Vacios			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mez. [%]	Agreg [%]	c/Asf. [%]		
4,50	2,332	7,473	15,295	51,139	1837,99	0,20
5,00	2,358	5,781	14,771	60,863	2001,83	0,28
5,50	2,374	4,478	14,606	69,345	1969,03	0,30
6,00	2,397	2,876	14,183	79,719	1728,31	0,39
6,50	2,403	1,946	14,354	86,446	1376,77	0,48
7,00	2,389	1,864	15,255	87,784	1300,65	0,56

Elaboración propia

**Gráfica 15. resultado %vacios de mezcla modificada con 5.6%CA modificado**



Elaboración propia

#### 4.7.3. MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON 15%CP

Se efectuó según procedimientos Marshall, el cual se tiene resultados en la presente tabla

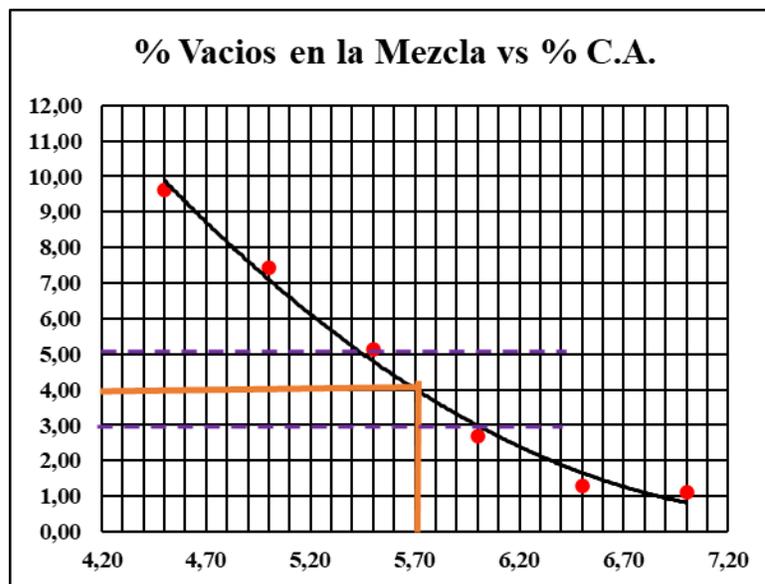
**Tabla 47. resultado mezcla modificada con asfalto 85/100 y 15% de caucho pirolizado**

**DOSIFICACION 15%CAUCHO PIROLIZADO**

% C.A.	PE Gsb Prom.	% de Vacios			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mez. [%]	Agreg [%]	c/Asf. [%]		
4,50	2,278	9,617	17,258	44,273	1078,06	0,20
5,00	2,317	7,437	16,269	54,286	1746,09	0,28
5,50	2,358	5,128	15,188	66,236	1903,31	0,30
6,00	2,402	2,685	14,013	80,842	1679,61	0,39
6,50	2,420	1,282	13,774	90,695	1512,14	0,48
7,00	2,408	1,101	14,596	92,459	1419,95	0,56

Elaboración propia

**Gráfico 16. resultado %vacios de mezcla modificada con 5.6%CA modificado**



Elaboración propia

**Figura 81. taladro de mesa para homogenización asfalto modificado**



Elaboración propia

**Figura 82. dosificación – mezclado**



Elaboración propia

Figura 83. compactado -briquetas marshall

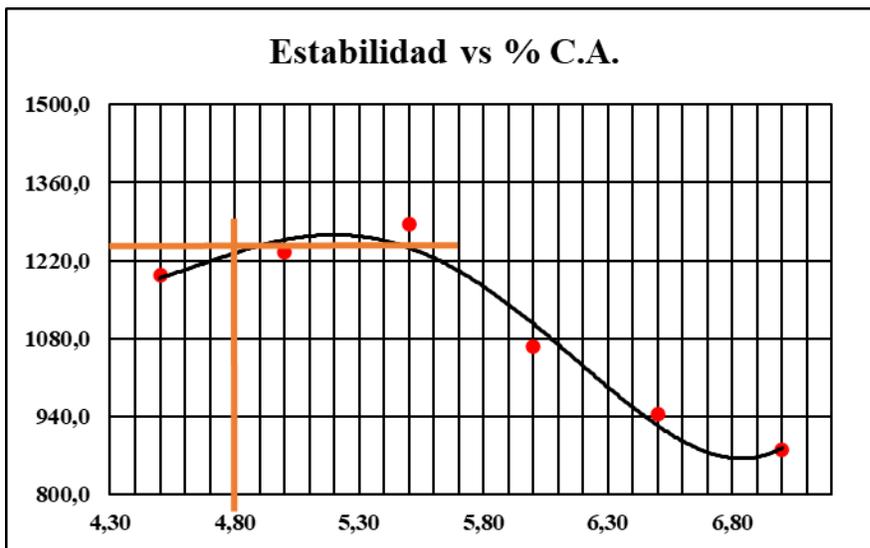


Elaboración propia

## CAPITULO V: CONCLUSIONES

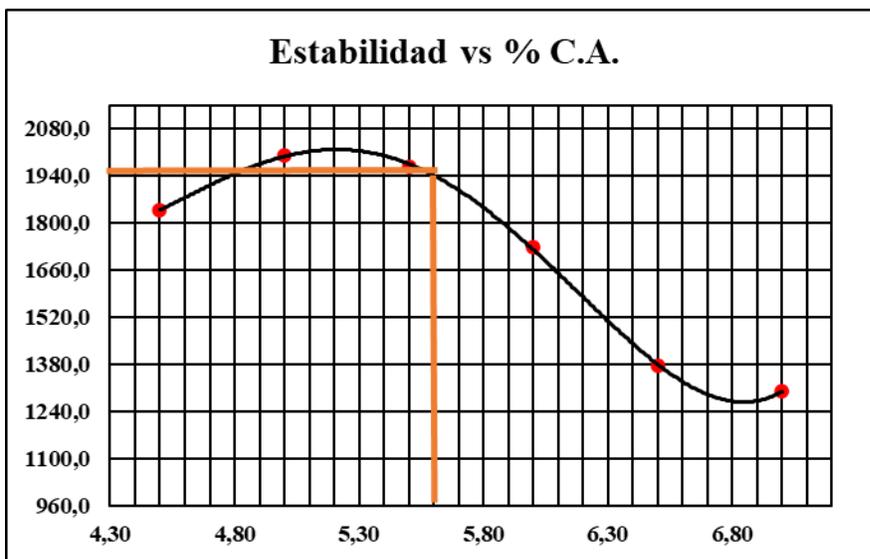
- Se realizó un diagnóstico de la situación actual de neumáticos fuera de uso y del pavimento de la ciudad de El Alto donde los estudios muestran que la cantidad instalada actual de Neumáticos Fuera de Uso un 85% de los NFU generados en la Ciudad de El Alto tienen actualmente un destino no conocido. También se identificó que en los tramos 1 y 2 los pavimentos están contruidos de un tipo de pavimento rígido y en los tramos 3 y 4 son contruidos con un tipo de pavimento flexible, donde surge la necesidad de construir pavimentos flexibles esto debido a que circulan vehículos, camiones, etc.
- Se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos de la pirolisis del caucho en grano y en polvo donde los resultados muestran que la temperatura es un factor importante para la pirolización, adicionalmente los 50 gramos de caucho en grano y en polvo se produce 24 a 27 gramos de negro de carbono, donde el rendimiento del combustible no muestra diferencia significativa entre tipos de granulometría.
- Llevar a cabo la caracterización del condensado obtenido de la pirolisis, dado su potencial como combustible líquido (combustible diésel oíl), donde se determinó parámetro como la densidad, gravedad API, viscosidad, punto de inflamación, punto de congelamiento, número de cetano, temperatura de destilación donde los valores dan a entender que son valores muy cercanos a los valores de la presencia de querosene.
- Se llevó a cabo un análisis de los resultados del condensado obtenido de la pirolisis, dado su potencial como combustible líquido donde, de 15 a 17 ml producidos del combustible de la pirolisis de caucho en grano y polvo se producen entre 4 a 6 ml de bicomcombustible por la destilación que se le realizó, en el cual no presenta diferencias significas en el rendimiento del biocombustible al ser diferentes tipos de granulometría.
- Las mezclas asfálticas modificadas con caucho pirolizado ha presentado modificaciones importantes tal como se muestra en las relaciones de estabilidad vs % de asfalto modificado, esto se identifica en las gráficas presentes.

**Gráfica 17. Estabilidad mezcla convencional asfalto 85/100**



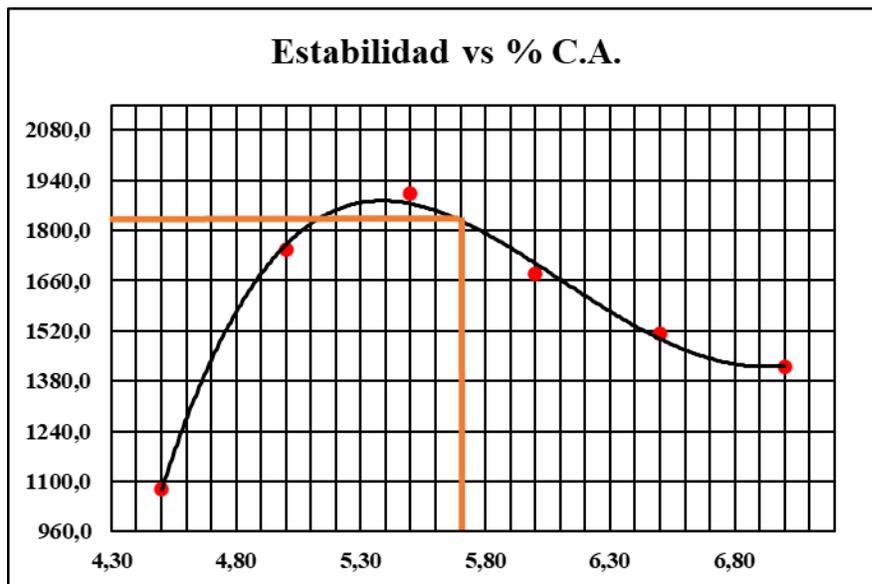
Elaboración propia

**Grafica 18. Estabilidad mezcla modificada con 10%caucho pirolizado**



Elaboración propia

Gráfica 19. Estabilidad mezcla modificada con 15%caucho pirolizado



Elaboración propia

Tabla 48. estabilidad comparativa de mezclas asfálticas (convencional/ Modificada 10%CP / modificada 15%CP)

Estabilidad=	1240,0	kg =	2733,69	lb	convencional
Estabilidad=	1940,0	kg =	4276,90	lb	Modificado 10%CP
Estabilidad=	1810,0	kg =	3990,30	lb	Modificado 15%CP

Elaboración propia

Por lo que se puede indicar que la mayor estabilidad se encuentra con el 10% de caucho pirolizado. Indicado que este asfalto tendría la capacidad de resistir al desplazamiento y deformación bajo cargas del tránsito, capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, y reducir el desarrollo de ahuellamientos y ondulaciones que se presentan en los pavimentos flexibles.

La hipótesis planteada sobre la incorporación de caucho pirolizado en las mezclas asfálticas se logra validar mediante el resultado de estabilidad, con mayor resistencia a deformación del pavimento en relación a mezclas asfálticas convencionales.

## **CAPITULO VI: RECOMENDACIONES**

- Se recomienda optar por otros métodos de pirolización para realizar una comparación con el presente método que permita ver sus ventajas y desventajas de otros métodos.
- En el proceso de pirolización se recomienda llegar a temperaturas mayores a los 300 °C para que sea una pirolización completa.
- Es recomendable efectuar ensayos de penetración a 4°C en asfaltos modificados con caucho pirolizado, a efecto de identificar las variaciones significativas de temperatura en la ciudad de La Paz y El Alto
- Las mezclas asfálticas modificadas por los resultados de estabilidad pueden ser aplicadas en bacheo de pavimentos flexibles.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASFALTO MODIFICADO CON POLVO DE NEUMÁTICO RECICLADO (NFU). (s.f.).  
*CITEVI (CENTRO DE INVESTIGACIONES EN TECNOLOGIAS VIALES)*, 5.
- BASU. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis. En Pravir, *Practical Design and Theory* (pág. 65). USA: The Boulevard: 2010.
- Caltrans. (2006). *PROCESOS DE ASFALTO MODIFICADO: GUIA DE USO DE ASFALTO Y CAUCHO*.
- Campos, P. R. (2013). *LLANTAS DESECHADAS DE VEHICULOS PARA PRODUCIR POLVO DE CAUCHO PARA APLICACION EN EL ASFALTO*. ECUADOR-QUITO.
- Castro, G. (2008). MATERIALES Y COMPUESTOS PARA LA INDUSTRIA DEL NEUMATICO. *DEPARTAMENTO DE INGENERIA MECANICA F.I.U.B.A*, 4-5.
- DIARIO NACIONAL. (viernes de septiembre de 2015). Quema de llantas en marchas y protestas. *El diario periodico Nacional*, pág. 34.
- Diaz, P. A. (2008). *RECICLAJE DE NEUMÁTICOS Y SU APLICACIÓN*. VALDIVIA – CHILE.
- Elias., M. P. (2013). *COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA*. QUITO-ECUADOR.
- FLEXICON CORPORATION*. (s.f.). Obtenido de <https://www.flexicon.es/Materiales-Manejados/Negro-de-Humo.html>
- Geney, L. E. (2016). *Pirólisis de biosólidos en horno rotatorio*. bogota-colombia.
- JUMA, M. (2006). Pyrolysis and Combustion of scrap Tyre. En M. JUMA, *Petroleum & Coal* (págs. 15-16).
- M,Ibraim, H. Katman, MA. Karim, Koting, N. Mashaan. (2013). "A review on the effect of crumb rubber addition to the rheology of crumb rubber modified bitumen". Obtenido de <http://www.dx.doi.org/10.1155/2013/415246>.

- Mayén, J. A. (2016). *REHABILITACIÓN DE CARRETERAS PAVIMENTADAS UTILIZANDO MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLÍMEROS*. GUATEMALA.
- Mendez, C. (2010). *Diseño de triturador de neumaticos con capacidad de 1 Ton para la empresa Municipak Aseo en Cuenca (EMAC)*. Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana.
- Mora, I.P., & Mesias, I.M. (2013). *PROPUESTA ECONOMICA, TECNICA Y OPERATIVA PARA LA CREACION DE UNA EMPRESA RECICLADORA DE LLANTAS DESECHADAS DE VEHICULOS PARA PRODUCIR POLVO DE CAUCHO Y COMERCIALIZACION EN LA CIUDAD DE QUITO: CASO PRACTICO APLICACION EN EL ASFALTO*. QUITO, ECUADOR: Tesis de grado de magister, Escuela Politecnica Nacional, Facultad de ciencias Administrativas.
- Orjuela, J. E. (2014). *DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE*. BOGOTA: CREATIVE COMMONS.
- Periodico, LOS TIEMPOPS. (martes de Junio de 2017). LLANTAS BORADROS BOMBA DE TIEMPO. *LOS TIEMPOS*, pág. 14.
- PRABIR, Basu. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis. En B. PRABIR, *Practical Design and Theory*. Burlington, USA.
- QUEZADA V., DENNIS A. (2011). *Utilizacion de neumaticos desechados*. Chile: Universidad de Talca.
- Rosales, C. A. (2012). *MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO ASFALTO MODIFICADO*. GUATEMALA.
- Rubber Pavement Association. (14 de marzo de 2015). [www.ruberpavements.org/indexhtml](http://www.ruberpavements.org/indexhtml). Obtenido de Rubber Pavement Association.
- Sienklewicz Maciej et al. (2012). Progress in used tyres management in the European Union. *Elsevier Waste management*, 1742 - 175.
- Silkymia. (2020). *Silkymia*. Obtenido de info@silkymia.com.

Speight James G. PhD. (2016). Asphalt materials science and technology. *Elsevier*.

Villamizar, A. R. (2014). Obtenido de REPOSITORIO.UTA.EDU.EC/123456789/25264/1/Tesis%201113%20-20Vega.

Villamizar, A., Rubio, I., Ramirez, J. (2014). DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA CON ASFALTO CAUCHO TECNOLOGIA GAP GRADED . *UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA*, 15-16.

*WWW.ECOPETROL.COM.CO.* (s.f.). Obtenido de *WWW.ECOPETROL.COM.CO:* file:///C:/Users/Core%20i3/Downloads/Anexo+1+Especificaciones+T%C3%A9cnica s+Fuel+Oil+No.+6.pdf

# ANEXOS

## ANEXO: RESOLUCION DE SENAPI

**ANEXO : CONVENIO EMAVIAS**

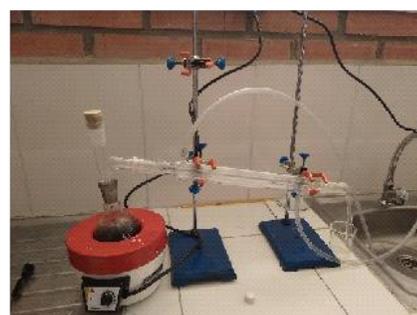
## **ANEXO : TABLAS DE LAS TEMPERATURAS Y TIEMPOS DE LOS ENSAYOS DE PIROLISI**

LUGAR	LABORATORIO DE QUIMICA				
PROCEDENCIA DEL MATERIAL	TERRACYCLE	FECHA	4/8/2021	HORA	N° DE REGISTRO
				11:58	
ELABORADO POR	NELLY HORTENCIA QUISPE TARQUI			REVISADO	ING. ANDREA OCHOA

## CARACTERÍSTICAS

TIPO DE MUESTRA	CAUCHO	AGREGADO	POLVO	MODULO DE FINURA	
PESO DE MUESTRA (gr)	50	PESO DEL BALON (gr)	125,3	N° DE MUESTRA	1

## ANÁLISIS DE LABORATORIO (Tiempo aproximado de análisis 2 hrs)



N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA ° C	OBSERVACIONES
1	11:58	0	Se realizo el encendido del manto calefactor
2	12:08	63.08	Se tomo la temperatura a una intensidad de 9
3	12:18	191.4	Se observa la primera niebla
4	12:28	189.3	Se mantuvo la intensidad a 9
5	12:38	171.9	Se mantuvo la intensidad a 9
6	12:48	206.9	Se mantuvo la intensidad a 9
7	12:58	247.2	Se mantuvo la intensidad a 9
8	13:08	252.7	Se mantuvo la intensidad a 9
9	13:18	253.2	Se mantuvo la intensidad a 9
10	13:28	247.8	Se mantuvo la intensidad a 9
11	13:38	247.5	Se mantuvo la intensidad a 9
12	13:48	248.6	Se mantuvo la intensidad a 9
13	13:58	252.6	Se mantuvo la intensidad a 9
14			
15			

## RESULTADOS OBTENIDOS

PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr	175,3
PESO DEL BALON VACIO gr	149,5
PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr)	25,8
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACION DE LA MUESTRA (%)</b>	<b>51,6</b>

## OBSERVACIONES

El biocombustible destilado tiene un peso de 52.1 gr



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP				
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	4/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>	IGP/003
				09:00		
<b>ELABORADO:</b>		JOEL GUSTAVO CHOQUE CALLE		<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>						
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	GRANO	<b>MODULO DE FINURA:</b>		
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON(gr):</b>	124,1	<b>N° DE MUESTRA:</b>		1
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b> (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)						
<b>N°</b>	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			<b>POT. MANTO CALEFACTOR</b>
1	12:00	11.6°C				4
2	12:10	70.0°C				4
3	12:20	107.1°C	OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE EVAPORACION			4
4	12:30	116.7°C	SALE LA PRIMERA GOTA DE DESTILADO			9
5	12:40	120.2°C				9
6	12:50	164.8°C				9
7	13:00	216.7°C				9
8	13:10	230.0°C				9
9	13:20	241.0°C				9
10	13:30	241.9°C				9
11	13:40	244.4°C				9
12	13:50	237.6°C				9
13	14:00	230.4°C				9
14						
15						
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>						
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr.</b>		159,3				
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>		129,8				
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>		29,5				
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA %</b>		59				
<b>OBSERVACIONES</b>						
EL PRODUCTO OBTENIDO (BIOCOMBUSTIBLE) TIENE UN PESO DE 64.2 gr						



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP				
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>		TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	5/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>
<b>ELABORADO:</b>		JOEL GUSTAVO CHOQUE CALLE		<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>						
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>		CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	GRANO	<b>MODULO DE FINURA:</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>		50	<b>PESO DEL BALON(gr):</b>	124,1 gr	<b>N° DE MUESTRA:</b>	
					2	
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)</b>						
<b>N°</b>	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>		<b>OBSERVACIONES</b>		<b>POT. MANTO CALEFACTOR</b>
1	10:00	12.1°C				4
2	10:10	34.3°C				5
3	10:20	68.5°C				6
4	10:30	79.9°C		SE OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE VAPOR		7
5	10:40	153.5°C		PRIMERA GOTA DE DESTILADO		8
6	10:50	198.8°C				9
7	11:00	242.0°C				9
8	11:10	258.8°C				9
9	11:20	263.1°C				9
10	11:30	264.6°C				9
11	11:40	267.1°C				9
12	11:50	256.3°C				9
13	12:00	232.9°C				9
14						
15						
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>						
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA(Pirolizada) gr.</b>		155,6				
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>		130				
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>		25,6				
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA %</b>		51,2				
<b>OBSERVACIONES</b>						
EL PRODUCTO OBTENIDO (BIOCOMBUSTIBLE) TIENE UN PESO DE 65.3 gr						



<b>LUGAR:</b>	LABORATORIO IGP				
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	12/8/2021	<b>HORA:</b>	09:00
<b>ELABORADO:</b>	JOEL GUSTAVO CHOQUE CALLE			<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA
				<b>N° DE REGISTRO</b>	IGP/003

**CARACTERÍSTICAS**

<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	POLVO	<b>MODULO DE FINURA:</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON (gr):</b>	124,1 gr	<b>N° DE MUESTRA:</b>	3

**ANÁLISIS DE LABORATORIO (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)**

N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA °C	OBSERVACIONES	POT. MANTO CALEFACTOR
1	10:00	11.9°C		4
2	10:10	33.7°C		5
3	10:20	58.4°C	SE OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE VAPOR	6
4	10:30	85.1°C	PRIMERA GOTA DE DESTILADO	7
5	10:40	109.1°C		8
6	10:50	181.4°C		9
7	11:00	230.5°C		9
8	11:10	252.7°C		9
9	11:20	257.1°C		9
10	11:30	258.8°C		9
11	11:40	260.3°C		9
12	11:50	266.1°C		9
13	12:00	258.5°C		9
14				
15				

**RESULTADOS OBTENIDOS**

<b>PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr.</b>	158,3			
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>	129			
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>	29,3			
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA %</b>	58,6			

**OBSERVACIONES**

EL PRODUCTO OBTENIDO (BIOCOMBUSTIBLE) TIENE UN PESO DE 62.9 gr



<b>LUGAR</b>	Laboratorio de Química, Carrera de Ingeniería Gas y Petroquímica				
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL</b>	Empresa	<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>Nº DE REGISTRO</b>	
	TERRACYCLE	9/8/2021	13:00		IGP/002
<b>ELABORADO</b>	Edwin Pinto Esquibel		<b>REVISADO</b>	Ing. Andrea Ochoa	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>					
<b>TIPO DE MUESTRA</b>	Caucho reciclado	<b>AGREGADO</b>	Grano	<b>MODULO DE FINURA</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA [g]</b>	50	<b>PESO DEL BALON [g]</b>	127,3	<b>Nº DE MUESTRA</b>	2
<b>ANALISIS DE LABORATORIO</b> (Tiempo aproximado de análisis 2h)					
<b>Nº</b>	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>	<b>TEMPERATURA [°C]</b>	<b>OBSERVACIONES</b>		
1	13:35	0	Se enciende el manto calefactor con una intensidad 4		
2	13:45	38,7	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 5		
3	13:55	61	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 6		
4	14:05	85,4	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 7		
5	14:15	114,7	Se forma una niebla de vapor en el balon de destilación		
6	14:25	176	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 8		
7	14:35	217,5	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 9		
8	14:45	237,5	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
9	14:55	239	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
10	15:05	235,3	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
11	15:15	239	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
12	15:25	236,6	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
13	15:35	243	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
	PESO DEL BALON + MUESTRA PIROLIZADA [g]		152,5		
	PESO DEL BALON VACIO [g]		127,3		
	PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA [g]		25,2		
	<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA [%]</b>		50,4		
<b>OBSERVACIONES:</b> EL PRODUCTO OBTENIDO (BIOCOMBUSTIBLE) TIENE UN PESO DE 64.3 gr					



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP				
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>		POLVO DE TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	11/8/2021	<b>HORA:</b>	13:00
<b>ELABORADO:</b>		ELOY ENRIQUE QUISPE AVALOS			<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA
<b>CARACTERÍSTICAS</b>						
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>		CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	GRANO	<b>MODULO DE FINURA:</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>		50	<b>PESO DEL BALON (gr):</b>	128,1	<b>N° DE MUESTRA:</b>	
					1	
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)</b>						
N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA °C	OBSERVACIONES			POT. MANTO CALEFACTOR
1	13:13	0,0 °C	Inicio de laboratorio			4
2	13:23	14,5 °C	Alcanza la temperatura ambiente			5
3	13:33	41,7 °C				5
4	13:43	67,7 °C				5
5	13:53	90,7 °C	SE OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE VAPOR			5
6	14:03	125,0 °C	PRIMERA GOTTA DE DESTILADO			6
7	14:13	145,9 °C				6
8	14:23	192,8 °C				6
9	14:33	215,4 °C				8
10	14:43	243,9 °C				9
11	14:53	258,4 °C				9
12	15:03	262,7 °C				9
13	15:13	267,9 °C	Pequeñas gotas de destilado			9
14	15:23	270,0 °C	Finalización del laboratorio			9
15						
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>						
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirrolizada) gr.</b>		158				
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>		129,1				
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>		28,9				
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA (%)</b>		57,8				
<b>OBSERVACIONES</b>						
EL COMBUSTIBLE DESTILADO OBTENIDO TIENE UN PESO DE 65,6gr PESO DE VASO PRECIPITADO = 52,3 gr LO QUE EL PRODUCTO OBTENIDO ES=13,3 gr y 20ml aprox. SE OBSERVARON UNA RAJADURA EN LA BASE DEL BALON DE DESTILACIÓN						



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP				
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	POLVO DE TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	11/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>	IGP/003
				13:00		
<b>ELABORADO:</b>		ELOY ENRIQUE QUISPE AVALOS		<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>						
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>A GREGADO:</b>	GRANO	<b>MODULO DE FINURA:</b>		
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON(gr):</b>	133,9	<b>N° DE MUESTRA:</b>	2	
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)</b>						
N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA °C	OBSERVACIONES		POT. MANTO CALEFACTOR	
1	13:13	0,0 °C	Inicio de laboratorio		4	
2	13:23	14,4 °C	Alcanza la temperatura ambiente		4	
3	13:33	35,2 °C			5	
4	13:43	55,1 °C			5	
5	13:53	66,3 °C	SE OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE VAPOR		6	
6	14:03	74,1 °C	PRIMERA GOTTA DE DESTILADO		6	
7	14:13	114,3 °C			6	
8	14:23	134,2 °C			6	
9	14:33	152,3 °C			8	
10	14:43	191,9 °C			8	
11	14:53	252,7 °C			9	
12	15:03	264,2 °C			9	
13	15:13	261,0 °C	Pequeñas gotas de destilado		9	
14	15:23	251,9 °C	Finalización del laboratorio		9	
15						
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>						
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr.</b>		162,1				
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>		135,5				
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>		26,6				
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA (%)</b>		53,2				
<b>OBSERVACIONES</b>						
EL COMBUSTIBLE DESTILADO OBTENIDO TIENE UN PESO DE 65.2 gr PESO DE VASO PRECIPITADO = 52.5 gr LO QUE EL PRODUCTO OBTENIDO ES=12.7 gr y 20ml aprox. SE OBSERVARON UNA RAJADURA EN LA BASE DEL BALON DE DESTILACIÓN						



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP			
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	POLVO DE TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	11/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>
				13:00	
<b>ELABORADO:</b>		ELOY ENRIQUE QUISPE AVALOS		<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA
<b>CARACTERÍSTICAS</b>					
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	GRANO	<b>MODULO DE FINURA:</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON(gr):</b>	128,2	<b>N° DE MUESTRA:</b>	3
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b> (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)					
<b>N°</b>	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>OBSERVACIONES</b>		<b>POT. MANTO CALEFACTOR</b>
1	13:13	0,0 °C	Inicio de laboratorio		4
2	13:23	14,0 °C	Alcanza la temperatura ambiente		4
3	13:33	44,3 °C			4
4	13:43	67,6 °C			5
5	13:53	77,8 °C	SE OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE VAPOR		5
6	14:03	84,4 °C	PRIMERA GOTA DE DESTILADO		6
7	14:13	112,1 °C			6
8	14:23	137,0 °C			6
9	14:33	168,9 °C			6
10	14:43	214,1 °C			8
11	14:53	235,0 °C			9
12	15:03	270,1 °C			9
13	15:13	273,4 °C	Pequeñas gotas de destilado		9
14	15:23	286,0 °C	Finalización del laboratorio		9
15					
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA(Pirolizada) gr.</b>		155,8			
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>		126,1			
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>		26,7			
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA (%)</b>		53,4			
<b>OBSERVACIONES</b>					
EL COMBUSTIBLE DESTILADO OBTENIDO TIENE UN PESO DE 66.8 gr PESO DE VASO PRECIPITADO = 52.6 gr LO QUE EL PRODUCTO OBTENIDO ES =14.2 gr y 20ml aprox. SE OBSERVARON UNA RAJADURA EN LA BASE DEL BALON DE DESTILACIÓN					

LUGAR	LABORATORIO DE QUIMICA				
PROCEDENCIA DEL MATERIAL	TERRACYCLE	FECHA	12/8/2021	HORA	N° DE REGISTRO
ELABORADO POR	NELLY HORTENCIA QUISPE TARQUI			10:00	IGP/003
				REVISADO	ING. ANDREA OCHOA
<b>CARACTERÍSTICAS</b>					
TIPO DE MUESTRA	CAUCHO	AGREGADO	GRANO	MODULO DE FINURA	
PESO DE MUESTRA (gr)	50	PESO DEL BALON (gr)	129	N° DE MUESTRA	3

**ANÁLISIS DE LABORATORIO (Tiempo aproximado de análisis 2 hrs)**

N°	.TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA ° C	OBSERVACIONES
1	10:00	12,8	Se realizo el encendido del manto calefactor
2	10:10	31,4	Se tomo la temperatura a una intensidad de 4
3	10:20	34,8	Se aumento la intensidad a 5
4	10:30	52,9	Se aumento la intensidad a 6
5	10:40	125	Se aumento la intensidad a 7
6	10:50	174	Se aumento la intensidad a 8
7	11:00	248,8	Se aumento la intensidad a 9
8	11:10	240	Se mantuvo la intensidad a 9
9	11:20	223,8	Se mantuvo la intensidad a 9
10	11:30	232,9	Se mantuvo la intensidad a 9
11	11:40	227	Se mantuvo la intensidad a 9
12	11:50	245	Se mantuvo la intensidad a 9
13	12:00	242	Se mantuvo la intensidad a 9
14			
15			

**RESULTADOS OBTENIDOS**

PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirrolizada) gr	153,9
PESO DEL BALON VACIO gr	129
PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr)	24,9
PORCENTAJE DE RECUPERACION DE LA MUESTRA (%)	49,8

**OBSEVACIONES**

A hrs 10:55 se observo las primeras nieblas seguidamente el goteo del biocombustible  
 El biocombustible destilado tiene un peso de 52.1 gr



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP				
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	POLVO DE TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	13/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>	IGP/003
				14:24		
<b>ELABORADO:</b>		JESSICA NEYDA HUAYTA QUISPE		<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>						
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	POLVO	<b>MODULO DE FINURA:</b>		
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON(gr):</b>	124,1	<b>N° DE MUESTRA:</b>		1
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b> (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)						
<b>N°</b>	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>OBSERVACIONES</b>		<b>POT. MANTO CALEFACTOR</b>	
1	14:33	0°C			5	
2	14:43	50.0°C			5	
3	14:53	80.6°C	SE OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE VAPOR		5	
4	15:03	79.8°C	PRIMERA GOTA DE DESTILADO		9	
5	15:13	202.2°C			9	
6	15:23	203.8°C			9	
7	15:33	237.7°C			9	
8	15:43	243.8°C			9	
9	15:53	242.7°C			9	
10	16:03	241.6°C			9	
11	16:13	242.1°C			9	
12	16:23	237.6°C			9	
13	16:33	233.4°C			9	
14						
15						
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>						
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA(Pirolizada) gr.</b>		155				
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>		128,9				
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>		26,1				
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA %</b>		52,2				
<b>OBSERVACIONES</b>						
EL COMBUSTIBLE DESTILADO OBTENIDO TIENE UN PESO DE 65.8 gr						



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP			
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	POLVO DE TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	13/8/2021	<b>HORA:</b>	N° DE REGISTRO
				14:24	
<b>ELABORADO:</b>		JESSICA NEYDA HUAYTA QUI SPE		<b>REVISADO:</b> ING. ANDREA OCHOA	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>					
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	POLVO	<b>MODULO DE FINURA:</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON (gr):</b>	123,6	<b>N° DE MUESTRA:</b>	3
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)</b>					
N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA °C	OBSERVACIONES		POT. MANTO CALEFACTOR
1	14:33	0°C			5
2	14:43	15°C			5
3	14:53	51.8°C			5
4	15:03	77.9°C	SE OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE VAPOR		9
5	15:13	108.5°C	PRIMERA GOTTA DE DESTILADO		9
6	15:23	160.9°C			9
7	15:33	209.5°C			9
8	15:43	238.9°C			9
9	15:53	247.1°C			9
10	16:03	240.1°C			9
11	16:13	239.1°C			9
12	16:23	233.1°C			9
13	16:33	232°C			9
14					
15					
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirrolizada) gr.</b>		160,4			
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>		133,8			
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>		26,6			
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA %</b>		53,2			
<b>OBSERVACIONES</b>					
EL COMBUSTIBLE DESTILADO OBTENIDO TIENE UN PESO DE 68.0 gr					



<b>LUGAR:</b>	LABORATORIO IGP					
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	POLVO DE TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	13/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>	IGP/003
				14:24		
<b>ELABORADO:</b>	JESSICA NEYDA HUAYTA QUISPE			<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA	

**CARACTERÍSTICAS**

<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	POLVO	<b>MODULO DE FINURA:</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON (gr):</b>	123,6	<b>N° DE MUESTRA:</b>	3

**ANÁLISIS DE LABORATORIO** (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)

N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA °C	OBSERVACIONES	POT. MANTO CALEFACTOR
1	14:33	0°C		5
2	14:43	13°C		5
3	14:53	43.2°C	SE OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE VAPOR	5
4	15:03	70.1°C	PRIMERA GOTADE DESTILADO	9
5	15:13	217.7°C		9
6	15:23	220.8°C		9
7	15:33	241.4°C		9
8	15:43	244.9°C		9
9	15:53	236.0°C		9
10	16:03	266.5°C		9
11	16:13	268.9°C		9
12	16:23	266.1°C		9
13	16:33	261.8°C		9
14				
15				

**RESULTADOS OBTENIDOS**

<b>PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr.</b>	154,4				
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>	128,2				
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>	26,2				
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA %</b>	52,4				

**OBSERVACIONES**

EL COMBUSTIBLE DESTILADO OBTENIDO TIENE UN PESO DE 68.0 gr

LUGAR	LABORATORIO DE QUIMICA				
PROCEDENCIA DEL MATERIAL	TERRACYCLE	FECHA	16/8/2021	HORA	Nº DE REGISTRO
ELABORADO POR	NELLY HORTENCIA QUISPE TARQUI		REVISADO	ING. ANDREA OCHOA	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>					
TIPO DE MUESTRA	CAUCHO	AGREGADO	POLVO	MODULO DE FINURA	
PESO DE MUESTRA (gr)	50	PESO DEL BALON (gr)	133,7	Nº DE MUESTRA	1

## ANÁLISIS DE LABORATORIO (Tiempo aproximado de análisis 2 hrs)



Nº	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA ° C	OBSERVACIONES
1	10:00	17,2	Se realizó el encendido del manto calefactor
2	10:10	36,9	Se tomo la temperatura a una intensidad de 4
3	10:20	73,7	Se aumento la intensidad a 5
4	10:30	79,6	Se aumento la intensidad a 6
5	10:40	138,5	Se aumento la intensidad a 7
6	10:50	187,3	Se aumento la intensidad a 8
7	11:00	223,5	Se aumento la intensidad a 9
8	11:10	248,9	Se mantuvo la intensidad a 9
9	11:20	250	Se mantuvo la intensidad a 9
10	11:30	244,8	Se mantuvo la intensidad a 9
11	11:40	235,9	Se mantuvo la intensidad a 9
12	11:50	241,5	Se mantuvo la intensidad a 9
13	12:00	243,4	Se mantuvo la intensidad a 9
14			
15			

## RESULTADOS OBTENIDOS

PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr	160,9
PESO DEL BALON VACIO gr	133,7
PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr)	27,2
PORCENTAJE DE RECUPERACION DE LA MUESTRA (%)	54,4

## OBSERVACIONES

El biocombustible destilado + vasoprecipitado tiene un peso de 65,8gr

LUGAR	LABORATORIO DE QUIMICA				
PROCEDENCIA DEL MATERIAL	TERRACYCLE	FECHA	16/8/2021	HORA	Nº DE REGISTRO
				13:35	IGP/004
ELABORADO POR	NELLY HORTENCIA QUISPE TARQUI			REVISADO	ING. ANDREA OCHOA
<b>CARACTERISTICAS</b>					
TIPO DE MUESTRA	CAUCHO	AGREGADO	POLVO	MODULO DE FINURA	
PESO DE MUESTRA (gr)	50	PESO DEL BALON (gr)	134	Nº DE MUESTRA	1

## ANALISIS DE LABORATORIO (Tiempo aproximado de analisis 2 hrs)



Nº	. TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA ° C	OBSERVACIONES
1	13:35	19,6	Se realizo el encendido del manto calefactor
2	13:45	37,5	Se tomo la temperatura a una intensidad de 4
3	13:55	68,3	Se aumento la intensidad a 5
4	14:05	81,3	Se aumento la intensidad a 6
5	14:15	128,4	Se aumento la intensidad a 7
6	14:25	178,5	Se aumento la intensidad a 8
7	14:35	215,5	Se aumento la intensidad a 9
8	14:45	222,9	Se mantuvo la intensidad a 9
9	14:55	230,4	Se mantuvo la intensidad a 9
10	15:05	238,3	Se mantuvo la intensidad a 9
11	15:15	229,7	Se mantuvo la intensidad a 9
12	15:25	225,3	Se mantuvo la intensidad a 9
13	15:35	224,4	Se mantuvo la intensidad a 9
14			
15			

## RESULTADOS OBTENIDOS

PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr	161,4
PESO DEL BALON VACIO gr	134
PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr)	27,4
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACION DE LA MUESTRA (%)</b>	54,8

## OBSEVACIONES

El biocombustible destilado + vasoprecipitado tiene un peso de 65 gr



<b>LUGAR</b>	Laboratorio de Química, Carrera de Ingeniería Gas y Petroquímica				
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL</b>	Empresa	<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>Nº DE REGISTRO</b>	IGP/003
	TERRACYCLE	16/8/2021	09:30		
<b>ELABORADO</b>	Edwin Pinto Esquibel		<b>REVISADO</b>	Ing. Andrea Ochoa	

**CARACTERÍSTICAS**

<b>TIPO DE MUESTRA</b>	Caucho reciclado	<b>AGREGADO</b>	Polvo	<b>MODULO DE FINURA</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA [g]</b>	50	<b>PESO DEL BALON [g]</b>	128	<b>Nº DE MUESTRA</b>	3

**ANÁLISIS DE LABORATORIO** (Tiempo aproximado de análisis 2h)

Nº	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA [°C]	OBSERVACIONES
1	09:50	0	Se enciende el manto calefactor con una intensidad 4
2	10:00	29,5	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 5
3	10:10	45,3	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 6
4	10:20	70,3	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 7
5	10:30	168	Se forma una niebla de vapor en el balon de destilación (8)
6	10:40	231,6	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 9
7	10:50	218	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 8
8	11:00	231,2	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9
9	11:10	246,2	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9
10	11:20	242,4	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9
11	11:30	242,7	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9
12	11:40	243,8	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9
13	11:50	254,8	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9

**RESULTADOS OBTENIDOS**

	PESO DEL BALON + MUESTRA PIROLIZADA [g]	153,7	
	PESO DEL BALON VACIO [g]	128	
	PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA [g]	25,7	
	<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA [%]</b>	51,4	

**OBSERVACIONES:** EL PRODUCTO OBTENIDO (BIOCOMBUSTIBLE) TIENE UN PESO DE 65.3 gr



<b>LUGAR:</b>	LABORATORIO IGP					
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	18/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>	IGP/005
				13:24		
<b>ELABORADO:</b>	HEBERT HILARI PACOSILLO			<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA	

**CARACTERÍSTICAS**

<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	GRANO	<b>MODULO DE FINURA:</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON (gr):</b>	134,3	<b>N° DE MUESTRA:</b>	1

**ANÁLISIS DE LABORATORIO (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)**

N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA °C	OBSERVACIONES	POT. MANTO CALEFACTOR
1	13:30	0°C	SE DA INICIO AL PROCESO	4
2	13:40	33,2°C		5
3	13:50	49,5°C	OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE EVAPORACION	6
4	14:00	91,1°C	SALE LA PRIMERA GOTTA DE DESTILADO	7
5	14:10	122,6°C		8
6	14:20	187,3°C		9
7	14:30	213,5°C		9
8	14:40	256,7°C		9
9	14:50	240,2°C		9
10	15:00	248,7°C		9
11	15:10	255,8°C		9
12	15:20	247,1°C		9
13	15:30	243,5°C		9
14				
15				

RESULTADOS OBTENIDOS	
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr.</b>	155,7
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>	134,9
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>	20,8
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA %</b>	41,6



**OBSERVACIONES**

EL PRODUCTO OBTENIDO (BIOCOMBUSTIBLE) TIENE UN PESO DE 66,7 gr



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP			
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	18/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>
				13:24	
<b>ELABORADO:</b>		HEBERT HILARI PACOSILLO		<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA
<b>CARACTERÍSTICAS</b>					
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	GRANO	<b>MODULO DE FINURA:</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON (gr):</b>	128,8	<b>N° DE MUESTRA:</b>	3
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)</b>					
N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA °C	OBSERVACIONES		POT. MANTO CALEFACTO R
1	13:30	0°C	SE DA INICIO AL PROCESO		4
2	13:40	33,2°C			5
3	13:50	59,2°C	OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE EVAPORACION		6
4	14:00	80°C	SALE LA PRIMERA GOTA DE DESTILADO		7
5	14:10	180°C			8
6	14:20	250,7°C			9
7	14:30	276,7°C			9
8	14:40	254,9°C			9
9	14:50	276,5°C			9
10	15:00	265,7°C			9
11	15:10	267,3°C			9
12	15:20	264,6°C			9
13	15:30	257,6°C			9
14					
15					
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
<b>PESO DEL BALON +</b>	161,6				
<b>PESO DEL BALON VACIO</b>	127,5				
<b>PESO DE LA MUESTRA</b>	34,1				
<b>PORCENTAJE DE</b>	68,2				
<b>OBSERVACIONES</b>					
EL PRODUCTO OBTENIDO (BIOCOMBUSTIBLE) TIENE UN PESO DE 66,8 gr					



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP			
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	18/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>
				13:24	
<b>ELABORADO:</b>		HEBERT HILARI PACOSILLO		<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA
<b>CARACTERÍSTICAS</b>					
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	GRANO	<b>MODULO DE FINURA:</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON(gr):</b>	128,8	<b>N° DE MUESTRA:</b>	2
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b> (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)					
N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA °C	OBSERVACIONES	POT. MANTO CALEFACTOR	
1	13:30	0°C	SE DA INICIO AL PROCESO	4	
2	13:40	35,7°C		5	
3	13:50	55,1°C	OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE EVAPORACION	6	
4	14:00	81,5°C	SALE LA PRIMERA GOTA DE DESTILADO	7	
5	14:10	125,2°C		8	
6	14:20	211,5°C		9	
7	14:30	232,2°C		9	
8	14:40	234,3°C		9	
9	14:50	256,4°C		9	
10	15:00	243°C		9	
11	15:10	240,5°C		9	
12	15:20	236,4°C		9	
13	15:30	245,8°C		9	
14					
15					
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA(Pirolizada) gr.</b>		152,5			
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>		126,3			
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>		26,2			
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACION DE LA MUESTRA %</b>		52,4			
<b>OBSERVACIONES</b>					
EL PRODUCTO OBTENIDO (BIOCOMBUSTIBLE) TIENE UN PESO DE 68,2gr					

Masa





<b>LUGAR</b>		Laboratorio de Química, Carrera de Ingeniería Gas y Petroquímica			
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL</b>	Empresa	<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>Nº DE REGISTRO</b>	IGP/004
	TERRACYCLE	18/8/2021	10:00		
<b>ELABORADO</b>	Edwin Pinto Esquibel		<b>REVISADO</b>	Ing. Andrea Ochoa	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>					
<b>TIPO DE MUESTRA</b>	Caucho reciclado	<b>AGREGADO</b>	Grano	<b>MODULO DE FINURA</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA [g]</b>	50	<b>PESO DEL BALON [g]</b>	133,5	<b>Nº DE MUESTRA</b>	1
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO (Tiempo aproximado de análisis 2h)</b>					
<b>Nº</b>	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>	<b>TEMPERATURA [°C]</b>	<b>OBSERVACIONES</b>		
1	10:20	0	Se enciende el manto calefactor con una intensidad 4		
2	10:30	31,5	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 5		
3	10:40	64,8	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 6		
4	10:50	73,8	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 7		
5	11:00	121,8	Se forma una niebla de vapor en el balon de destilación (8)		
6	11:10	179,2	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 9		
7	11:20	251,4	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
8	11:30	235,4	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
9	11:40	235,7	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
10	11:50	237,3	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
11	12:00	237,2	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
12	12:10	236,2	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
13	12:20	231,4	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
		PESO DEL BALON + MUESTRA PIROLIZADA [g]	159,4		
		PESO DEL BALON VACIO [g]	133,5		
		PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA [g]	25,9		
		<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA [%]</b>	51,8		
<b>OBSERVACIONES:</b>		EL COMBUSTIBLE DESTILADO ES 65 gr			



<b>LUGAR</b>		Laboratorio de Química, Carrera de Ingeniería Gas y Petroquímica			
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL</b>	Empresa	<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>Nº DE REGISTRO</b>	
	TERRACYCLE	18/8/2021	10:00		IGP/004
<b>ELABORADO</b>	Edwin Pinto Esquibel		<b>REVISADO</b>	Ing. Andrea Ochoa	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>					
<b>TIPO DE MUESTRA</b>	Caucho reciclado	<b>AGREGADO</b>	Grano	<b>MODULO DE FINURA</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA [g]</b>	50	<b>PESO DEL BALON [g]</b>	128	<b>Nº DE MUESTRA</b>	2
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b> (Tiempo aproximado de análisis 2h)					
<b>Nº</b>	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>	<b>TEMPERATURA [°C]</b>	<b>OBSERVACIONES</b>		
1	10:20	0	Se enciende el manto calefactor con una intensidad 4		
2	10:30	41,2	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 5		
3	10:40	68	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 6		
4	10:50	86,2	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 7		
5	11:00	150,4	Se forma una niebla de vapor en el balon de destilación (8)		
6	11:10	222	Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 9		
7	11:20	247,7	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
8	11:30	240	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
9	11:40	250	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
10	11:50	244,5	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
11	12:00	250,5	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
12	12:10	246,2	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
13	12:20	251	Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9		
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
		PESO DEL BALON + MUESTRA PIROLIZADA [g]	154,7		
		PESO DEL BALON VACIO [g]	128		
		PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA [g]	26,7		
		<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA [%]</b>	53,4		

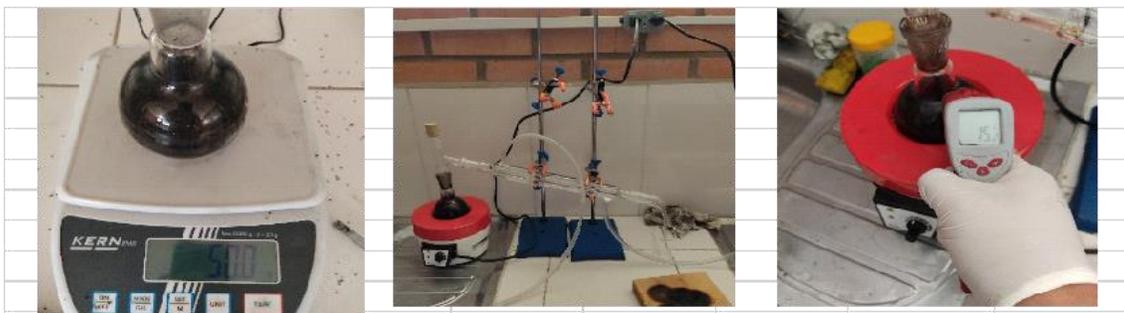
**OBSERVACIONES:** EL PESO DEL COMBUSTIBLE DESTILADO ES 65,2 gr



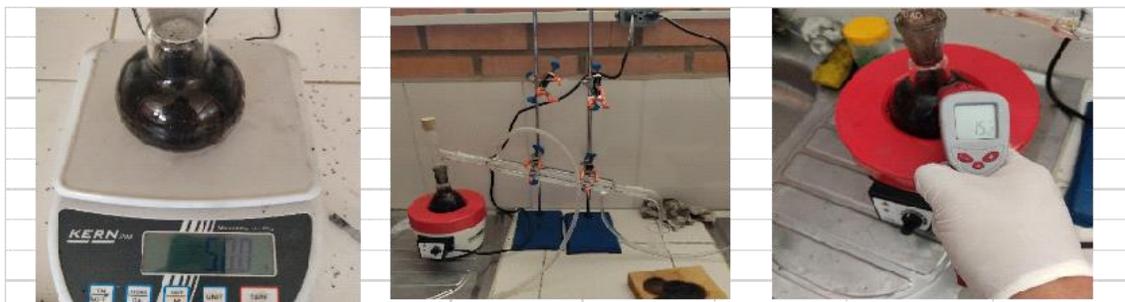
<b>LUGAR</b>	Laboratorio de Química, Carrera de Ingeniería Gas y Petroquímica				
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL</b>	Empresa	<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>Nº DE REGISTRO</b>	IGP/004
	TERRACYCLE	18/8/2021	10:00		
<b>ELABORADO</b>	Edwin Pinto Esquibel		<b>REVISADO</b>	Ing. Andrea Ochoa	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>					
<b>TIPO DE MUESTRA</b>	Caucho reciclado	<b>AGREGADO</b>	Grano	<b>MODULO DE FINURA</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA [g]</b>	50	<b>PESO DEL BALON [g]</b>	128,4	<b>Nº DE MUESTRA</b>	3
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO (Tiempo aproximado de análisis 2h)</b>					
<b>Nº</b>	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>	<b>TEMPERATURA [°C]</b>		<b>OBSERVACIONES</b>	
1	10:20	0		Se enciende el manto calefactor con una intensidad 4	
2	10:30	45,3		Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 5	
3	10:40	73,8		Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 6	
4	10:50	87		Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 7	
5	11:00	184,9		Se forma una niebla de vapor en el balon de destilación (8)	
6	11:10	222,5		Se incrementa la intensidad del manto calefactor a 9	
7	11:20	231,1		Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9	
8	11:30	243,4		Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9	
9	11:40	243,9		Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9	
10	11:50	239,4		Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9	
11	12:00	244,5		Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9	
12	12:10	247,2		Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9	
13	12:20	246,9		Se mantiene la intensidad del manto calefactor en 9	
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
PESO DEL BALON + MUESTRA PIROLIZADA [g]			153,8		
PESO DEL BALON VACIO [g]			128,4		
PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA [g]			25,4		
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA [%]</b>			50,8		
<b>OBSERVACIONES</b> EL PESO DEL COMBUSTIBLE DESTILADO ES 65,2gr					



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP				
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	POLVO DE TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	19/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>	IGP/002
				09:30		
<b>ELABORADO:</b>		ELOY ENRIQUE QUISPE AVALOS		<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>						
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	GRANO	<b>MODULO DE FINURA:</b>		
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON(gr):</b>	128,8	<b>N° DE MUESTRA:</b>		1
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)</b>						
N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA °C	OBSERVACIONES		POT. MANTO CALEFACTOR	
1	09:38	0,0 °C			4	
2	09:48	12,8 °C	temperatura de ambiente alcanzado		4	
3	09:58	18,7 °C			4	
4	10:08	37,2 °C			5	
5	10:18	54,5 °C			6	
6	10:28	78,3 °C	Se Observa las primera niebla		7	
7	10:38	130,6 °C	Precipita la primera gota de destilado		8	
8	10:48	184,0 °C			9	
9	10:58	216,6 °C			9	
10	11:08	240,6 °C			9	
11	11:18	266,2 °C			9	
12	11:28	268,7 °C	paró de destilar el biocombustible		9	
13	11:38	262,6 °C			9	
14	11:48	269,0 °C	Finalizando el laboratorio		9	
15						
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>						
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr.</b>		155,9				
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>		128,7				
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>		27,2				
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA (%)</b>		54,4				
<b>OBSERVACIONES</b>						
EL COMBUSTIBLE DESTILADO OBTENIDO TIENE UN PESO DE 67.2 gr PESO DE VASO PRECIPITADO =52.4 gr LO QUE EL PRODUCTO OBTENIDO ES =14.8 gr y 20 ml aprox SE OBSERVARON UNA RAJADURA EN LA BASE DEL BALON DE DESTILACIÓN						



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP			
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	POLVO DE TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	19/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>
				09:30	
<b>ELABORADO:</b>	ELOY ENRIQUE QUISPE AVALOS			<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA
<b>CARACTERÍSTICAS</b>					
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	GRANO	<b>MODULO DE FINURA:</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON(gr):</b>	133,7	<b>N° DE MUESTRA:</b>	2
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)</b>					
N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA °C	OBSERVACIONES	POT. MANTO CALEFACTOR	
1	09:38	0,0 °C		4	
2	09:48	12,9 °C	temperatura de ambiente alcanzado	4	
3	09:58	31,4 °C		4	
4	10:08	51,5 °C		5	
5	10:18	74,0 °C	Se Observa las primera niebla	6	
6	10:28	98,7 °C	Precipita la primera gota de destilado	7	
7	10:38	131,1 °C		8	
8	10:48	210,9 °C		9	
9	10:58	255,2 °C		9	
10	11:08	260,6 °C		9	
11	11:18	266,3 °C		9	
12	11:28	261,5 °C	paró de destilar el biocombustible	9	
13	11:38	256,0 °C		9	
14	11:48	242,4 °C	Finalizando el laboratorio	9	
15					
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr.</b>	159,1				
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>	134,4				
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>	24,7				
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA (%)</b>	49,4				
<b>OBSERVACIONES</b>					
EL COMBUSTIBLE DESTILADO OBTENIDO TIENE UN PESO DE 67.7 gr PESO DE VASO PRECIPITADO =51.8 gr LO QUE EL PRODUCTO OBTENIDO ES =15.9 gr y 20 ml aprox SE OBSERVARON UNA RAJADURA EN LA BASE DEL BALON DE DESTILACIÓN					



<b>LUGAR:</b>		LABORATORIO IGP				
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	POLVO DE TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	19/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>	IGP/002
				09:30		
<b>ELABORADO:</b>		ELOY ENRIQUE QUI SPE AVALOS		<b>REVISADO:</b>		ING. ANDREA OCHOA
<b>CARACTERÍSTICAS</b>						
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	GRANO	<b>MODULO DE FINURA:</b>		
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON(gr):</b>	128,4	<b>N° DE MUESTRA:</b>		3
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)</b>						
<b>N°</b>	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>OBSERVACIONES</b>		<b>POT. MANTO CALEFACTOR</b>	
1	09:38	0,0 °C			4	
2	09:48	13,0 °C	temperatura de ambiente alcanzado		4	
3	09:58	40,3 °C			4	
4	10:08	65,2 °C			5	
5	10:18	84,5 °C	Se Observa las primera niebla		6	
6	10:28	122,2 °C	Precipita la primera gota de destilado		7	
7	10:38	163,0 °C			8	
8	10:48	207,2 °C			9	
9	10:58	229,3 °C			9	
10	11:08	278,2 °C			9	
11	11:18	271,4 °C			9	
12	11:28	272,3 °C	paró de destilar el biocombustible		9	
13	11:38	275,1 °C			9	
14	11:48	276,4 °C	Finalizando el laboratorio		9	
15						
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>						
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr.</b>		155,2				
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>		129,4				
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>		25,8				
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA (%)</b>		51,6				
<b>OBSERVACIONES</b>						
EL COMBUSTIBLE DESTILADO OBTENIDO TIENE UN PESO DE 67.2 gr PESO DE VASO PRECIPITADO =52.4 gr LO QUE EL PRODUCTO OBTENIDO ES=14.8 gr y 20 ml aprox SE OBSERVARON UNA RAJADURA EN LA BASE DEL BALON DE DESTILACIÓN						



<b>LUGAR:</b>	LABORATORIO IGP					
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	20/8/2021	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>	IGP/003
				13:00		
<b>ELABORADO:</b>	JOEL GUSTAVO CHOQUE CALLE			<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA	

**CARACTERÍSTICAS**

<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	POLVO	<b>MODULO DE FINURA:</b>	
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON(gr):</b>	124,1	<b>N° DE MUESTRA:</b>	4

**ANÁLISIS DE LABORATORIO (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)**

N°	TIEMPO TRANSCURRIDO	TEMPERATURA °C	OBSERVACIONES	POT. MANTO CALEFACTOR
1	14:00	0°C	SE DA INICIO AL PROCESO	4
2	14:10	58.6°C		5
3	14:20	97.9°C	OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE EVAPORACION	6
4	14:30	142.3°C	SALE LA PRIMERA GOTA DE DESTILADO	7
5	14:40	213.9°C		8
6	14:50	232.6°C		9
7	15:00	245.5°C		9
8	15:10	256.8°C		9
9	15:20	259.4°C		9
10	15:30	260.3°C		9
11	15:00	261.9°C		9
12	15:50	260.4°C		9
13	16:00	255.1°C		9
14				
15				

**RESULTADOS OBTENIDOS**

<b>PESO DEL BALON + MUESTRA (Pirolizada) gr.</b>	153,3		
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>	127,4		
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>	25,9		
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA %</b>	51,8		



**OBSERVACIONES**

EL PRODUCTO OBTENIDO (BIOCOMBUSTIBLE) TIENE UN PESO DE 66.8 gr

## ANEXO B. TABLAS DE LAS TEMPERATURAS Y TIEMPOS DE LOS ENSAYOS DE DESTILACIÓN



<b>LUGAR:</b>	LABORATORIO IGP						
<b>PROCEDENCIA DEL MATERIAL:</b>	POLVO DE TERRACYCLE	<b>FECHA:</b>	30/9/20	<b>HORA:</b>	<b>N° DE REGISTRO</b>		IGP/009
			21	9:20			
<b>ELABORADO:</b>	JESSICA NEYDA HUAYTA QUISPE			<b>REVISADO:</b>	ING. ANDREA OCHOA		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>							
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	CAUCHO	<b>AGREGADO:</b>	POLVO	<b>MODULO DE FINURA:</b>			
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>	50	<b>PESO DEL BALON(gr):</b>	120,2	<b>N° DE MUESTRA:</b>			1
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b> (tiempo aproximado de análisis 2hrs.)							
<b>N°</b>	<b>TIEMPO TRANSCURRIDO</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>OBSERVACIONES</b>		<b>VOLUMEN EN (ml)</b>	<b>POT. MANTO CALEFACTOR</b>	
1	9:20	0,00			0,0	3	
2	9:30	26,60			0,0	3	
3	9:40	44,00			0,0	4	
4	9:50	62,60			0,0	4	
5	10:00	62,80			0,0	6	
6	10:10	74,00	SE OBSERVA PRIMERA NIEBLA DE VAPOR		0,0	6	
7	10:20	110,20	SE OBTIENE LA PRIMERA GOTA DE PIROLISIS		1,0	6	

8	10:30	203,00		6,0	7
9	10:40	218,80		11,0	7
10	10:50	240,00		13,0	8
11	11:00	249,70		14,5	8
12	11:10	245,30		15,0	8
13	11:20	250,70		15,0	9
14	11:30	251,40		15,5	9
15	11:40	249,20		15,5	9
16	11:50	248,00		15,5	9
17	12:00	245,80		15,5	9

**RESULTADOS OBTENIDOS**

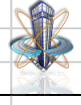
<b>PESO DEL BALON + MUESTRA(Pirolizada) gr.</b>	153,8
<b>PESO DEL BALON VACIO gr.</b>	121,5
<b>PESO DE LA MUESTRA PIROLIZADA (gr.)</b>	32,3
<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA %</b>	64,6

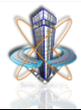
**OBSERVACIONES**

EL BIOCOMBUSTIBLE OBTENIDO DE LA PIROLISIS TIENE UN VOLUMEN DE 15.5 ml

## **ANEXO: PLANILLA DE MEZCLAS ASFALTICAS**

- **CARACTERIZACION DE AGREGADOS**
- **CARACTERIZACION DE ASFALTOS**
  - **CONVENCIONAL**
  - **MODIFICADA AL 10%CP**
  - **MODIFICADA AL 15%CP**
- **MEZCLAS ASFALTICAS**
  - **CONVENCIONAL 85/100**
  - **MODIFICADA AL 10%CP**
  - **MODIFICADA AL 15%CP**

UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL									
		<b>INSTITUTO DE INVESTIGACION</b>									
oct-21		<b>ENSAYOS DE LABORATORIO</b>									
		<b>AGREGADO GRUESO</b>									
										promedio	
<b>PESO Wm</b>	1747,6			2004,9			1737,3			<b>1876</b>	
<b>tamiz</b>	<b>PESO RET acum</b>	<b>% RET</b>	<b>%PAS</b>	<b>PESO RET acum</b>	<b>% RET</b>	<b>%PAS</b>	<b>PESO RET acum</b>	<b>% RET</b>	<b>%PAS</b>	<b>peso ret acum</b>	
1/2"		0,0	100,0		0,0	100,0		0,0	100,0	0,0	
3/8"	411,5	23,5	76,5	380,7	19,0	81,0	251,1	14,5	85,5	396,1	
N°4	1656,4	94,8	5,2	1867,0	93,1	6,9	1542,1	88,8	11,2	1761,7	
N°8	1697,8	97,1	2,9	1936,1	96,6	3,4	1632,1	93,9	6,1	1817,0	
N°16	1707,3	97,7	2,3	1950,9	97,3	2,7	1654,0	95,2	4,8	1829,1	
N°30	1712,7	98,0	2,0	1956,2	97,6	2,4	1698,7	97,8	2,2	1834,4	
N°50	1715,7	98,2	1,8	1959,7	97,7	2,3	1666,7	95,9	4,1	1837,7	
N°100	1717,7	98,3	1,7	1962,7	97,9	2,1	1670,5	96,2	3,8	1840,2	
N°200	1721,5	98,5	1,5	1968,7	98,2	1,8	1679,0	96,6	3,4	1845,1	
<b>pasa N°200</b>	<b>26,1</b>			<b>36,2</b>			<b>58,3</b>			<b>31,2</b>	
		<b>AGREGADO INTERMEDIO</b>									
										promedio	
<b>PESO Wm</b>	1770,9			1893,1			1843,2			<b>1835,8</b>	
<b>tamiz</b>	<b>PESO RET acum</b>	<b>% RET</b>	<b>%PAS</b>	<b>PESO RET acum</b>	<b>% RET</b>	<b>%PAS</b>	<b>PESO RET acum</b>	<b>% RET</b>	<b>%PAS</b>	<b>PESO RET acum</b>	
1/2"		0,0	100,0		0,0	100,0		0,0	100,0	0,0	
3/8"	5,5	0,3	99,7	8,0	0,4	99,6	2,2	0,1	99,9	5,2	
N°4	546,3	30,8	69,2	316,4	16,7	83,3	289,0	15,7	84,3	383,9	
N°8	970,5	54,8	45,2	708,6	37,4	62,6	663,3	36,0	64,0	780,8	
N°16	1196,6	67,6	32,4	985,2	52,0	48,0	948,0	51,4	48,6	1043,3	
N°30	1318,3	74,4	25,6	1174,9	62,1	37,9	1134,1	61,5	38,5	1209,1	
N°50	1408,5	79,5	20,5	1327,1	70,1	29,9	1277,9	69,3	30,7	1337,8	
N°100	1476,3	83,4	16,6	1452,4	76,7	23,3	1396,3	75,8	24,2	1441,7	
N°200	1556,5	87,9	12,1	1567,7	82,8	17,2	1501,5	81,5	18,5	1541,9	
<b>pasa N°200</b>	<b>214,41</b>			<b>325,4</b>			<b>341,7</b>			<b>293,9</b>	
		<b>AGREGADO FINO</b>									
										promedio	
<b>PESO Wm</b>	1485,8			1970,0			1591,0			<b>1682,3</b>	
<b>tamiz</b>	<b>PESO RET GR</b>	<b>% RET</b>	<b>%PAS</b>	<b>PESO RET GR</b>	<b>% RET</b>	<b>%PAS</b>	<b>PESO RET GR</b>	<b>% RET</b>	<b>%PAS</b>	<b>PESO RET acum</b>	
1/2"		0,0	100,0		0,0	100,0		0,0	100,0	0,0	
3/8"	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	
N°4	291,18	19,6	80,4	402,7	20,4	79,6	245,4	12,2	87,8	313,1	
N°8	805,76	54,2	45,8	886,3	45,0	55,0	768,5	38,3	61,7	820,2	
N°16	1.031,60	69,4	30,6	1150,5	58,4	41,6	1063,0	53,0	47,0	1081,7	
N°30	1.139,12	76,7	23,3	1294,4	65,7	34,3	1218,3	60,8	39,2	1217,3	
N°50	1.210,13	81,4	18,6	1392,1	70,7	29,3	1311,2	65,4	34,6	1304,5	
N°100	1.260,64	84,8	15,2	1140,3	57,9	42,1	1370,5	68,4	31,6	1257,1	
N°200	1.314,99	88,5	11,5	1451,8	73,7	26,3	1423,7	71,0	29,0	1396,8	
<b>pasa N°200</b>	<b>170,81</b>			<b>518,2</b>			<b>167,3</b>			<b>285,4</b>	

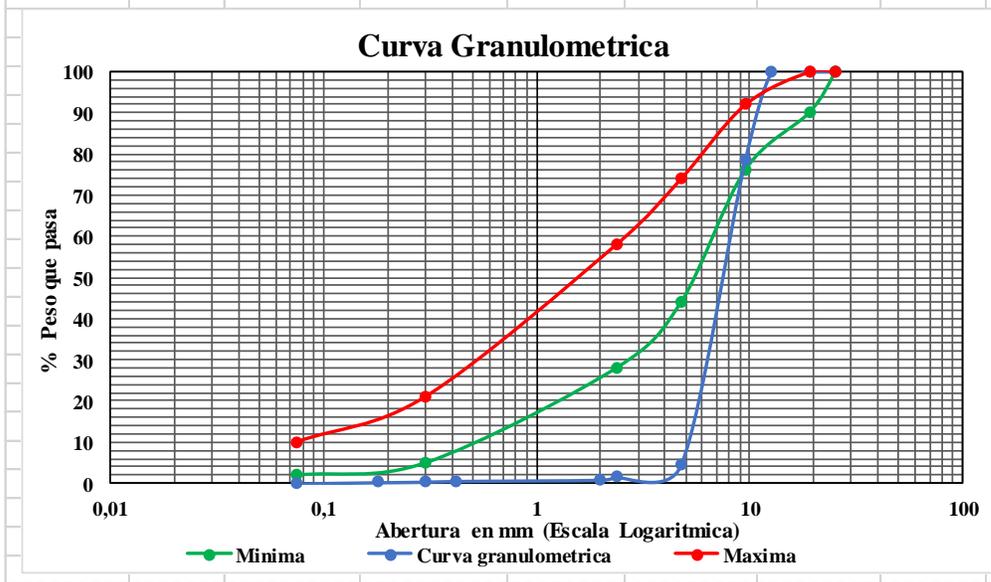
	UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
INSTITUTO DE INVESTIGACION			
<b>EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGREGADO</b>			
<b>Proyecto investigacion</b>	Mezclas Asfálticas modificadas con caucho pirolizado obtenidas a partir de neumáticos reciclados		
<b>Procedencia :</b>	peñas		
<b>Tipo de muestra :</b>	Agregado Grueso	<b>Laboratorio:</b>	EMAVIAS
		<b>Fecha:</b>	oct-21

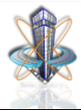
**ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO ASTM C-136**

Tamaño Maximo de Partícula =  
Tamaño Maximo Nominal = 3/8"

Peso Inicial 1876,3 gr

TAMIZ	Abertura [mm]	Peso Retenido[g]	Retenido Acumulado [g]	% Retenido Acumulado	Peso que Pasa [g]	% Peso que pasa [%]	ASTMD-3515		TAMIZ
							pesos	Especificaciones	
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	1876,30	100,00	100	100	1
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	1876,30	100,00	90	100	3
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	1876,30	100,00	90	100	
3/8 "	9,500	396,14	396,14	21,11	1480,16	78,53	76	92	
Nº 4	4,750	1365,52	1761,66	93,89	114,64	4,52	44	74	N
Nº 8	2,360	55,30	1816,96	96,84	59,34	1,53	28	58	N
Nº 16	2,000	12,13	1829,10	97,48	47,21	0,87			N
Nº 30	0,420	5,34	1834,43	97,77	41,87	0,58			Nº1
Nº 50	0,300	3,25	1837,68	97,94	38,62	0,41	5	21	Nº2
Nº 80	0,180	2,51	1840,19	98,08	36,11	0,27			Pasa Nº
Nº 200	0,075	4,92	1845,12	98,34	31,18	0,00	2	10	total
<b>Pasa Nº 200</b>		31,15							
<b>TOTAL</b>		1876,27				Perdidas = 0,002%			



	UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
	INSTITUTO DE INVESTIGACION		
<b>EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGREGADO</b>			
<b>Proyecto investigacion</b>	Mezclas Asfálticas modificadas con caucho pirolizado obtenidas a partir de neumáticos reciclados		
<b>Procedencia :</b>	peñas		
<b>Tipo de muestra :</b>	Agregado intermedio	<b>Laboratorista</b>	EMAVIAS
		<b>Fecha:</b>	oct-21

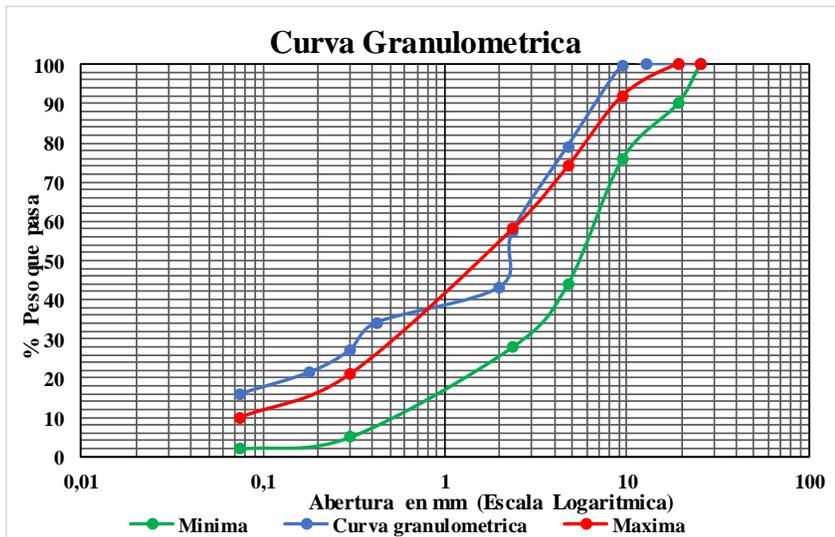
**ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO INTERMEDIO**

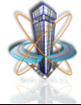
Tamaño Maximo de Particula =  
Tamaño Maximo Nominal = 3/8"

Peso Inicial 1836 gr

TAMIZ	Abertura [mm]	Peso Retenido[g]	Retenido Acumulado [g]	% Retenido Acumulado	Peso que Pasa [g]	% Peso que pasa [%]	ASTMD-3515	
							Especificaciones	
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	1836,00	100,00	100	100
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	1836,00	100,00	90	100
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	1836,00	100,00	90	100
3/8 "	9,500	5,21	5,21	0,28	1830,79	99,72	76	92
Nº 4	4,750	378,67	383,88	20,91	1452,12	79,09	44	74
Nº 8	2,360	396,93	780,81	42,53	1055,19	57,47	28	58
Nº 10	2,000	262,48	1043,29	56,82	792,71	43,17		
Nº 40	0,420	165,79	1209,08	65,85	626,92	34,14		
Nº 50	0,300	128,73	1337,81	72,87	498,19	27,12	5	21
Nº 80	0,180	103,84	1441,65	78,52	394,35	21,47		
Nº 200	0,075	100,25	1541,90	83,98	294,10	16,01	2	10
<b>Pasa Nº 200</b>		293,85						
<b>TOTAL</b>		1835,75						

Perdidas = 0,013%



	UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
INSTITUTO DE INVESTIGACION			
<b>EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGREGADO</b>			
Proyecto investigación	Mezclas Asfálticas modificadas con caucho pirolizado obtenidas a partir de neumáticos reciclados		
Procedencia :	peñas		
Tipo de muestra :	Agregado fino	Laboratorista	EMAVIAS
		Fecha:	oct-21

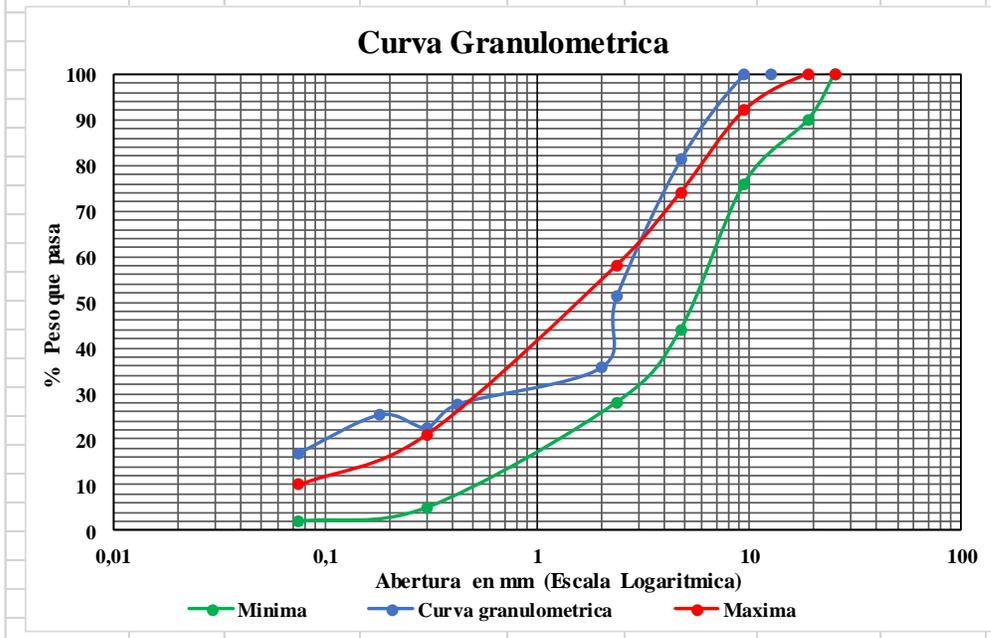
**ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO FINO PASA TAMIZ N°4**

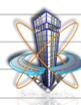
Tamaño Maximo de Partícula =  
Tamaño Maximo Nominal = **N°10**

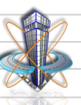
Peso Inicial **1682,3** gr

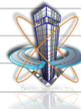
TAMIZ	Abertura [mm]	Peso Retenido[g]	Retenido Acumulado [g]	% Retenido Acumulado	Peso que Pasa [g]	% Peso que pasa [%]	ASTMD-3515 Especificaciones	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	1682,30	100,00	90	100
3/8 "	9,500	0,00	0,00	0,00	1682,30	100,00	76	92
N° 4	4,750	313,09	313,09	18,61	1369,21	81,39	44	74
N° 8	2,360	507,07	820,16	48,75	862,14	51,25	28	58
N° 10	2,000	261,55	1081,71	64,30	600,59	35,70		
N° 40	0,420	135,56	1217,27	72,36	465,03	27,64		
N° 50	0,300	87,23	1304,50	77,54	377,80	22,46	5	21
N° 80	0,180	-47,36	1257,14	74,73	425,16	25,27		
N° 200	0,075	139,70	1396,84	83,03	285,46	16,97	2	10
Pasa N° 200		285,43						
<b>TOTAL</b>		1682,27						

Perdidas = **0,002%**



UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO							
		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL INSTITUTO DE INVESTIGACION					
EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL							
<b>Proyecto de investigacion :</b> Mezclas asfálticas modificadas con caucho pirolizado obtenidas a partir de neumaticos reciclados							
<b>Procedencia :</b> Petro -Peru							
<b>Tipo de muestra :</b> Cemento Asfáltivo 85-100				<b>Laboratorio :</b> EMAVIAS - UPEA			
				<b>Fecha :</b> oct-21			
DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS	Metodo utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio				Especificacion ASTM D-946	Verificacion
		1	2	3	Prom.		
Peso Especifico [gr/cm <sup>3</sup> ]	ASTM D -70	1,003	1,003	---	1,003	0,94 - 1,04 *	CUMPLE
Penetracion a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]	ASTM D -5	88	85	88	87	80-90	CUMPLE
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]	ASTM D-113	150	150	150	150	Min. 100	CUMPLE
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	46,165	46,165	---	46	43 -53 *	CUMPLE
Viscosidad Saybolt Furol a 135°C [SSF]	ASTM D-2171	3 min + 7 seg	3 min + 7 seg	---	3,12		CUMPLE

UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO							
		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL INSTITUTO DE INVESTIGACION					
EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL							
<b>Proyecto de investigacion :</b> Mezclas asfálticas modificadas con caucho pirolizado obtenidas a partir de neumaticos reciclados							
<b>Procedencia :</b> Petro- Peru							
<b>Tipo de muestra :</b> Asfálto 85-100 modificado con 10%CP				<b>Laboratorio :</b> EMAVIAS - UPEA			
				<b>Fecha :</b> oct-21			
DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS	Metodo utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio				Especificacion ASTM D-946	obs
		1	2	3	Prom.		
Peso Especifico [gr/cm <sup>3</sup> ]	ASTM D -70	1,051	1,051	---	1,051	0,94 - 1,04 *	S/N
Penetracion a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]	ASTM D -5	69	68	67	68	80-90	S/N
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]	ASTM D-113	19	22,5	--	21	Min. 100	S/N
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	180	180	---	180	43 -53 *	S/N
viscosidad Rotatoria Brookfield [CsP]	ASTM D-4402	7,047	2,667	1,280			Tm=(170-175)°C; Tcomp =(159-164)°C

	<b>UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO</b>	
<b>CARRERA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>INSTITUTO DE INVESTIGACION</b>		

### CARACTERISTICAS DEL CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL

**Proyecto de investigacion :** Mezclas asfálticas modificadas con caucho pirolizado obtenidas a partir de neumaticos reciclados

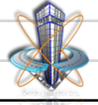
**Procedencia :** Petro-Peru

**Tipo de muestra :** Asfalto 85-100 modificado con 15%CP

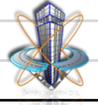
**Laboratorio :** EMAVIAS - UPEA

**Fecha :** oct-21

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS	Metodo utilizado	Valores Obtenidos en Laboratorio				Especificacion ASTM D-946	obs
		1	2	3	Prom.		
Peso Especifico [gr/cm <sup>3</sup> ]	ASTM D -70	1,081	1,081	---	1,081	0,94 - 1,04 *	S/N
Penetracion a 77 °F (25°C) 100 g 5 s [0,1 mm]	ASTM D -5	49	50	49	49	80-90	S/N
Ductilidad de 77 °F (25°C) 5 cm/min. [cm]	ASTM D-113	10	10,5	10,5	10	Min. 100	S/N
Punto de Ablandamiento (A y B) [°C]	ASTM D-36	120	120	---	120	43 -53 *	S/N
viscosidad Rotatoria Brookfield [CsP]	ASTM D-4402	7,047	2,667	1,280			Tm=(172-176)°C; Tcomp =(164-167 )°C

UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO CARRERA DE INGENIERIA CIVIL			
	INSTITUTO DE INVESTIGACION		
<b>AGREGADOS</b>			
<b>PESO ESPECIFICO</b>			
<b>GRUESOS</b>			
<b>MUESTRA Nro.</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
Peso recipiente seco		358,92	358,92
Peso muestra saturada superficialmente seca B=		2002,500	2002,500
Peso muestra + canastilla (sumergidos) C1=		2074,500	2074,500
Peso canastillo sumergido C2=		815,300	815,300
Peso muestra sumergida C=C1-C2=		1259,200	1259,200
Peso igual volumen de agua D=B-C=		743,300	743,300
Peso Especifico G <sub>ss</sub> =B/D=		2,694	2,694
<b>PESO ESPECIFICO PROMEDIO G<sub>ss</sub>=</b>		<b>2,694</b>	
Peso Especifico seco G <sub>s</sub> =A/D=		2,663	2,663
<b>PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO</b>		<b>2,663</b>	

INTERMEDIO			
<b>MUESTRA Nro.</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
Peso recipiente seco		354,760	354,760
Peso muestra saturada superficialmente seca B=		1935,100	1935,100
Peso muestra + canastilla (sumergidos) C1=		2020,200	2020,200
Peso canastillo sumergido C2=		815,300	815,300
Peso muestra sumergida C=C1-C2=		1204,900	1204,900
Peso igual volumen de agua D=B-C=		730,200	730,200
Peso Especifico G <sub>ss</sub> =B/D=		2,650	2,650
<b>PESO ESPECIFICO PROMEDIO G<sub>ss</sub>=</b>		<b>2,650</b>	
Peso Especifico seco G <sub>s</sub> =A/D=		2,602	2,602
<b>PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO</b>		<b>2,602</b>	

<b>UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO</b>		<b>CARRERA DE INGENIERIA CIVIL</b>	
	<b>INSTITUTO DE INVESTIGACION</b>		
<b>AGREGADOS</b>			
<b>PESO ESPECIFICO</b>			

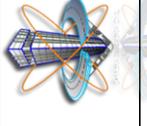
<b>FINOS</b>			
<b>MUESTRA Nro.</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Peso del recipiente</b>		228,780	181,800
<b>Peso frasco volumetrico</b>	<b>A=</b>	165,070	164,720
<b>Peso frasco lleno de agua</b>	<b>B=</b>	663,530	663,190
<b>Peso muestra saturada superficialmente seca</b>	<b>P=</b>	500,000	500,000
<b>Peso frasco+ agua + muestra</b>	<b>C=</b>	970,060	969,930
<b>Peso agua añadida</b>	<b>W=C-A-P=</b>	304,990	305,210
<b>Capacidad del frasco</b>	<b>V=B-A=</b>	498,460	498,470
<b>Peso del agua desplazada</b>	<b>Pw=V-W=</b>	193,470	193,260
<b>Peso Especifico sss</b>	<b>Gsss=P/Pw=</b>	2,584	2,587
<b>PESO ESPECIFICO sss PROMEDIO</b>	<b>Gsss=</b>	<b>2,586</b>	
<b>Peso Especifico seco</b>	<b>Gs=D/Pw=</b>	2,529	2,533
<b>PESO ESPECIFICO SECO PROMEDIO</b>		<b>2,531</b>	



**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO**

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

INSTITUTO DE INVESTIGACION



**DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL EN CALIENTE - METODO MARSHALL**

**Proyecto de investigación:** Mezclas Asfálticas modificadas con caucho piroilizado obtenidas a partir de neumáticos reciclados

**Cemento asfáltico :** 85/100

**Tipo de muestra :** Convencional

**Laboratorio EMASVIAS**

**Fecha :** oct-21

G e t e c a t

6.35cm

% Asf. Abs= 0.583

G.C.A. : 1.081

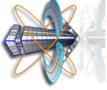
Comp. De la mezcla	Dosificación Agreg. %	Peso Espec. Gs	Vol. Vd [cc]	PE max. Teor. Gst	Mez. Gsm	No Britq.	Altura h [cm]	Factor Correc. de Britq.	% Asf. Abs=			Vol. Muest. [cc]	PE Prob.	Gsb Prob.	Asf. Util [%]	Lect. Dial 0,0001"	Estabilidad		Flujo real [cm]	Es(flujo [kg/cm)	
									Peso al aire	Suemerg. e/maest.	Seco						Real [kg]	Correg. [kg]			Lect. Dial 0,01"
Gra	25,00%	2,694	9,724	2,455	2,494	1	6,520	0,958	1178,40	1183,50	683,20	500,30	2,355	280	2800,00	1270,08	1216,86	11	0,28	4355,2743	
Gravilla	35,00%	2,650	13,614	2,455	2,494	2	6,680	0,928	1187,10	1193,50	690,10	503,40	2,358	290	2900,00	1315,44	1220,07	13	0,33	3694,9443	
Arena	40,00%	2,586	15,559	2,455	2,494	3	6,620	0,939	1183,40	1190,90	686,20	504,70	2,345	280	2800,00	1270,08	1193,11	10	0,25	4697,2959	
C.A.	4,50	1,003	1,833																		
Gra	25,00%	2,694	9,747	2,437	2,477	1	6,530	0,956	1176,30	1178,00	683,50	494,50	2,379	285	2850,00	1292,76	1236,27	10	0,25	4867,1905	
Gravilla	35,00%	2,650	13,645	2,437	2,477	2	6,220	1,035	1183,60	1186,80	687,00	499,80	2,368	260	2600,00	1179,36	1220,64	10	0,25	4805,6598	
Arena	40,00%	2,586	15,595	2,437	2,477	3	6,300	1,013	1186,10	1187,70	692,10	495,60	2,393	330	3300,00	1496,88	1516,34	17	0,43	3511,6708	
C.A.	5,00	1,003	2,052																		
Gra	25,00%	2,694	9,768	2,419	2,460	1	6,170	1,049	1189,10	1189,70	691,90	497,80	2,389	260	2600,00	1179,36	1237,15	13	0,33	3746,6646	
Gravilla	35,00%	2,650	13,675	2,419	2,460	2	6,220	1,035	1187,40	1188,00	694,90	493,10	2,408	260	2600,00	1179,36	1220,64	14	0,36	3432,6142	
Arena	40,00%	2,586	15,629	2,419	2,460	3	6,170	1,049	1175,50	1176,50	684,60	491,90	2,390	270	2700,00	1234,72	1284,73	15	0,38	3371,9981	
C.A.	5,50	1,003	2,274																		
Gra	25,00%	2,694	9,789	2,401	2,443	1	6,270	1,021	1190,70	1191,00	696,00	495,00	2,405	230	2300,00	1043,28	1065,19	16	0,41	2621,0356	
Gravilla	35,00%	2,650	13,705	2,401	2,443	2	6,180	1,046	1185,10	1185,50	692,70	492,80	2,405	235	2350,00	1065,96	1114,99	15	0,38	2926,4939	
Arena	40,00%	2,586	15,663	2,401	2,443	3	6,100	1,071	1188,30	1188,70	695,60	493,10	2,410	245	2450,00	1111,32	1190,22	16	0,41	2928,7001	
C.A.	6,00	1,003	2,499																		
Gra	25,00%	2,694	9,809	2,383	2,426	1	6,020	1,096	1185,30	1185,60	689,60	496,00	2,390	190	1900,00	861,84	944,58	17	0,43	2187,5327	
Gravilla	35,00%	2,650	13,733	2,383	2,426	2	6,030	1,093	1187,10	1187,40	690,20	497,20	2,388	210	2100,00	952,56	1041,15	16	0,41	2561,8801	
Arena	40,00%	2,586	15,695	2,383	2,426	3	5,960	1,115	1185,00	1185,30	690,90	494,40	2,397	210	2100,00	952,56	1062,10	18	0,46	2323,063	
C.A.	6,50	1,003	2,728																		
Gra	25,00%	2,694	9,829	2,366	2,410	1	5,950	1,118	1180,90	1181,20	686,50	494,70	2,387	175	1750,00	793,80	887,47	22	0,56	1588,1682	
Gravilla	35,00%	2,650	13,760	2,366	2,410	2	5,970	1,112	1164,40	1164,60	677,20	487,40	2,389	190	1900,00	861,84	958,37	22	0,56	1715,0431	
Arena	40,00%	2,586	15,726	2,366	2,410	3	6,080	1,078	1182,30	1182,50	687,60	494,90	2,389	180	1800,00	816,48	880,17	22	0,56	1575,0992	
C.A.	7,00	1,003	2,959																		



UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

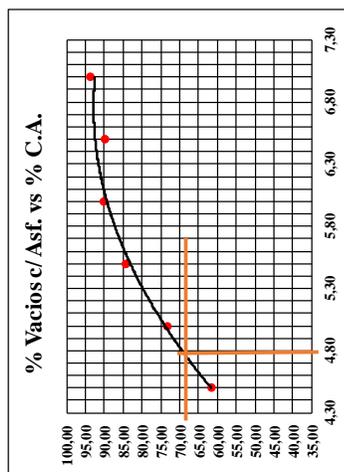
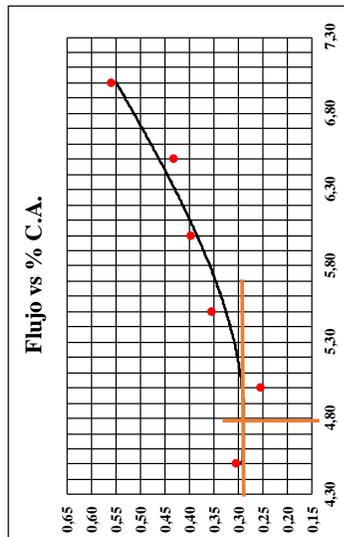
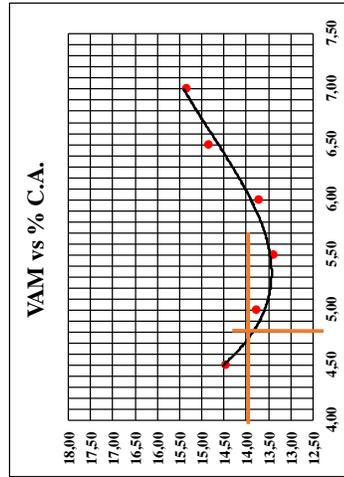
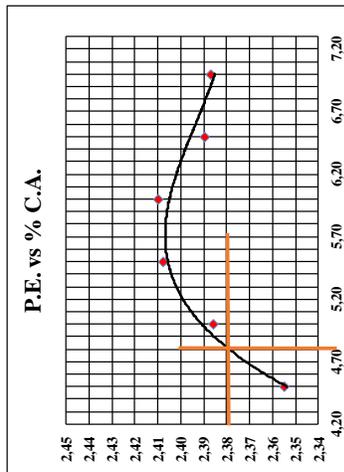
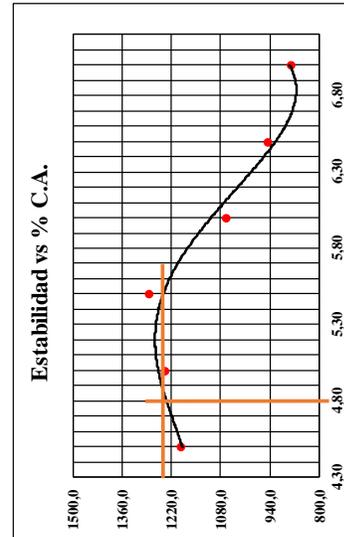
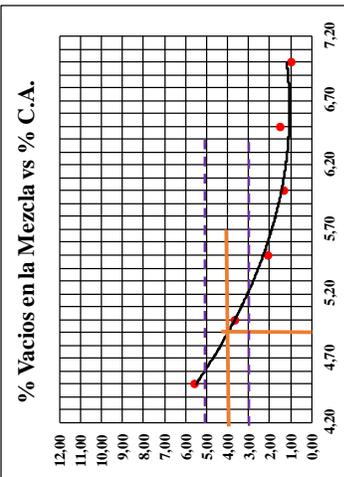
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

INSTITUTO DE INVESTIGACION



**DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE - METODO MARSHALL**

**Proyecto de investigación:** Mezclas Asfálticas modificadas con caucho pirolizado obtenidas a partir de neumáticos reciclados  
**Cemento asfáltico :** 85/100  
**Tipo de muestra :** Convencional  
 Fecha : oct-21

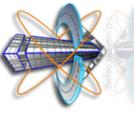




UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INSTITUTO DE INVESTIGACION



**DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA EN CALIENTE CON 10% CP - METODO MARSHALL**

**Proyecto de investigación:** Mezclas Asfálticas modificadas con caucho piroлизованo obtenidas a partir de neumáticos reciclados

**Cemento asfáltico :** 85/100

**Tipo de muestra :** modificada

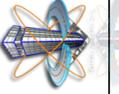
**Laboratorio** EMAVIAS

**Fecha :** oct-21

G r e e g

o . b s e m

Comp. De la mezcla	Dosisificación		Peso Espec. Gs	Vol. Vd [cc]	PE max.		No Bríg.	Factor Correc. de Bríg.	% Asf. Abs=		Vol. Muest. [cc]	PE Prob.	Gsb	Asf. Util [%]	Leqt. Dial 0,0001"	Estabilidad		Lect. Dial 0,01"	Flujo real [cm]	Est/Flujo [kg/cm]	
	Agreg. %	Mezcla %			Teor. Gst	Mezc. Gsm			Secco al aire	Peso sss						Sumerg. c/canast.	Real [kg]				Correg. [kg]
Grava	25,00%	23,88%	2.694	9,724	2,455	2,521	1	1,027	1175,30	1180,30	503,90	2,332	3,47	400	4000,00	1814,40	1863,39	7	0,18	10480,252	
Gravilla	35,00%	33,43%	2.650	13,614	2,455	2,521	2	1,019	1180,90	1185,40	506,10	2,333	3,47	400	4000,00	1814,40	1848,87	9	0,23	8087,811	
Arena	40,00%	38,20%	2.586	15,559	2,455	2,521	3	1,013	1187,60	1192,30	507,80	2,339	3,47	400	4000,00	1814,40	1837,99	11	0,28	6578,3364	
C.A.	4,50	1,003	1,833																		
Grava	25,00%	23,75%	2.694	9,747	2,437	2,503	1	1,062	1177,30	1179,20	496,30	2,372	3,97	400	4000,00	1814,40	1926,89	11	0,28	6896,5383	
Gravilla	35,00%	33,25%	2.650	13,645	2,437	2,503	2	1,013	1168,70	1173,50	500,80	2,334	3,97	430	4300,00	1950,48	1975,84	11	0,28	7071,7117	
Arena	40,00%	38,00%	2.586	15,595	2,437	2,503	3	1,003	1184,90	1189,80	505,50	2,344	3,97	440	4400,00	1995,84	2001,83	12	0,30	6567,6756	
C.A.	5,00	1,003	2,052																		
Grava	25,00%	23,63%	2.694	9,768	2,419	2,485	1	1,046	1186,90	1187,60	497,70	2,385	4,47	415	4150,00	1882,44	1969,03	12	0,30	6460,0795	
Gravilla	35,00%	33,08%	2.650	13,675	2,419	2,485	2	1,032	1187,70	1189,00	503,40	2,359	4,47	390	3900,00	1769,04	1825,65	12	0,30	5989,663	
Arena	40,00%	37,80%	2.586	15,629	2,419	2,485	3	1,037	1184,80	1186,60	501,40	2,363	4,47	390	3900,00	1769,04	1834,49	11	0,28	6563,8356	
C.A.	5,50	1,003	2,274																		
Grava	25,00%	23,50%	2.694	9,789	2,401	2,468	1	1,068	1178,50	1178,80	493,50	2,388	4,97	330	3300,00	1496,88	1598,67	14	0,36	4495,6913	
Gravilla	35,00%	32,90%	2.650	13,705	2,401	2,468	2	1,074	1184,10	1184,70	494,00	2,397	4,97	355	3550,00	1610,28	1729,44	16	0,41	4253,5136	
Arena	40,00%	37,60%	2.586	15,663	2,401	2,468	3	1,024	1185,10	1188,20	504,50	2,349	4,97	400	4000,00	1814,40	1857,95	16	0,41	4571,7165	
C.A.	6,00	1,003	2,499																		
Grava	25,00%	23,38%	2.694	9,809	2,383	2,451	1	1,084	1183,70	1184,10	492,50	2,403	5,47	280	2800,00	1270,08	1376,77	19	0,48	2852,8113	
Gravilla	35,00%	32,73%	2.650	13,733	2,383	2,451	2	1,078	1180,90	1181,50	493,40	2,393	5,47	215	2150,00	975,24	1051,31	21	0,53	1970,9575	
Arena	40,00%	37,40%	2.586	15,695	2,383	2,451	3	1,053	1185,30	1185,90	495,60	2,392	5,47	245	2450,00	1111,32	1170,22	16	0,41	2879,4782	
C.A.	6,50	1,003	2,728																		
Grava	25,00%	23,25%	2.694	9,829	2,366	2,435	1	1,087	1174,80	1175,30	490,90	2,393	5,97	270	2700,00	1224,72	1331,27	19	0,48	2758,5384	
Gravilla	35,00%	32,55%	2.650	13,760	2,366	2,435	2	1,062	1180,70	1181,30	495,80	2,384	5,97	270	2700,00	1224,72	1300,65	20	0,51	2560,3398	
Arena	40,00%	37,20%	2.586	15,726	2,366	2,435	3	1,068	1183,10	1183,60	494,80	2,391	5,97	315	3150,00	1428,84	1526,00	22	0,56	2730,8638	
C.A.	7,00	1,003	2,959																		

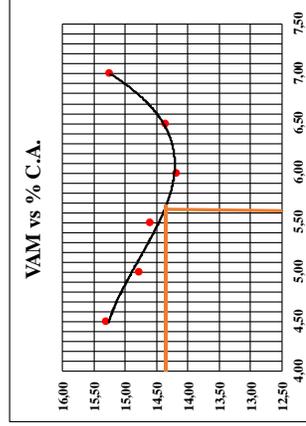
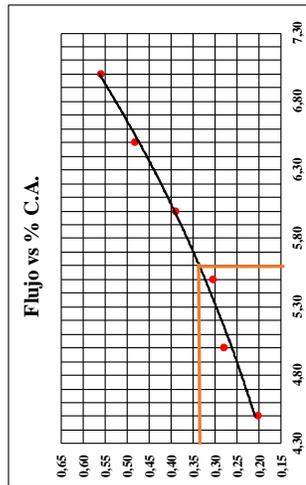
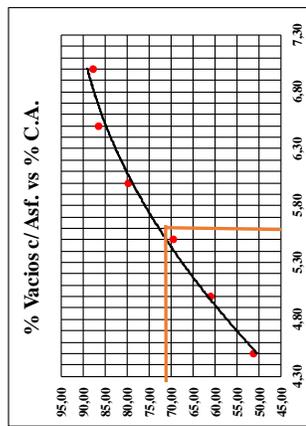
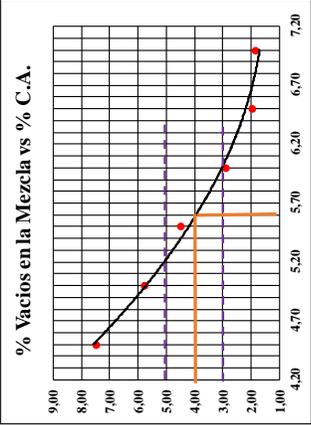
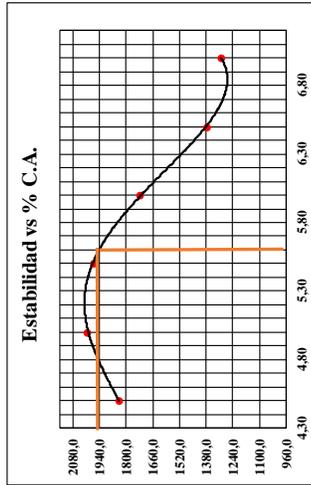
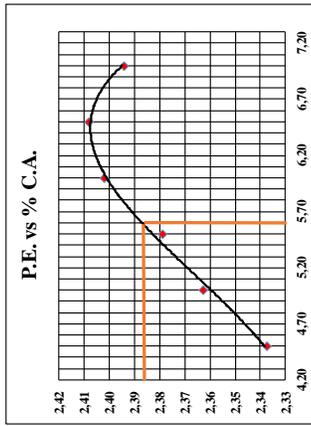



UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
INSTITUTO DE INVESTIGACION

**DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA EN CALIENTE CON 10%CP - METODO MARSHALL**

**Proyecto de investigación:** Mezclas Asfálticas modificadas con caucho pirrolizado obtenidas a partir de neumáticos reciclados  
**Cemento asfáltico :** 85/100  
**Tipo de muestra :** modificada

Laboratorio EMAVIAS  
Fecha : oct-21

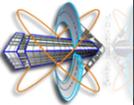




UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INSTITUTO DE INVESTIGACION



**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA EN CALIENTE CON 15% CP - METODO MARSHALL**

**Proyecto de investigación:** Mezclas Asfálticas modificadas con caucho piroлизованo obtenidas a partir de neumáticos reciclados

**Cemento asfáltico :** 85/100

**Tipo de muestra :** modificada

**Laboratorio** EMAVIAS

**Fecha :** oct-21

Referencia

6.35cm

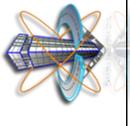
Comp De la mezcla	Dosisificación		Peso Espec. Gs	Vol. Vd [cc]	Gsea = 2,705		Factor Correc. de Briq.	% Asf. Abs = 1,062			Vol. Muest. [cc]	PE Gsb Prob.	Asf. Util [%]	Estabilidad		Lect. Dial 0,0001"	Lect. Dial real [cm]	Est/Flujo [kg/cm]		
	Agreg. %	Mezcla %			Teor. Gst	Mez. Gsm		No Briq.	Altura h [m]	Seco al aire				Peso sss	Sumerg. e/canast.				Real [lbr]	Correg. [kg]
Grava	25,00%	23,88%	2,694	9,724	1	6,520	0,958	1182,70	1188,00	668,90	519,10	2,278	3,44	325	3250,00	1474,20	1412,43	7	0,18	7943,9315
Gravilla	35,00%	33,43%	2,650	13,614	2	6,680	0,928	1177,80	1185,60	658,90	526,70	2,236		267	2670,00	1211,11	1123,31	9	0,23	4913,8512
Arena	40,00%	38,20%	2,586	15,559	3	6,620	0,939	1171,10	1176,80	651,80	525,00	2,231		253	2530,00	1147,61	1078,06	11	0,28	3838,493
C.A.	4,50	1,003	1,833																	
Grava	25,00%	23,75%	2,694	9,747	1	6,530	0,956	1183,10	1188,70	666,90	521,80	2,267		341	3410,00	1546,78	1479,18	11	0,28	5294,137
Gravilla	35,00%	33,25%	2,650	13,645	2	6,220	1,035	1183,00	1195,90	694,40	501,50	2,359	3,94	405	4050,00	1837,08	1901,38	11	0,28	6805,2176
Arena	40,00%	38,00%	2,586	15,595	3	6,300	1,013	1188,40	1192,20	689,90	502,30	2,366		380	3800,00	1723,68	1746,09	12	0,30	5728,6346
C.A.	5,00	1,003	2,052																	
Grava	25,00%	23,63%	2,694	9,768	1	6,170	1,049	1186,30	1187,70	680,00	507,70	2,337		383	3830,00	1737,29	1822,42	12	0,30	5979,0522
Gravilla	35,00%	33,08%	2,650	13,675	2	6,220	1,035	1188,80	1190,70	692,00	498,70	2,384	4,44	392	3920,00	1778,11	1840,35	12	0,30	6037,8803
Arena	40,00%	37,80%	2,586	15,629	3	6,170	1,049	1185,60	1187,20	688,80	498,40	2,379		400	4000,00	1814,40	1903,31	11	0,28	6812,1174
C.A.	5,50	1,003	2,274																	
Grava	25,00%	23,50%	2,694	9,789	1	6,270	1,021	1187,10	1192,20	688,60	503,60	2,357		380	3800,00	1723,68	1759,88	14	0,36	4949,0362
Gravilla	35,00%	32,90%	2,650	13,705	2	6,180	1,046	1191,00	1191,40	695,50	495,90	2,402	4,94	354	3540,00	1605,74	1679,61	16	0,41	4132,8943
Arena	40,00%	37,60%	2,586	15,663	3	6,100	1,071	1187,50	1188,10	693,00	495,10	2,399		350	3500,00	1587,60	1700,32	16	0,41	4183,8573
C.A.	6,00	1,003	2,499																	
Grava	25,00%	23,38%	2,694	9,809	1	6,020	1,096	1180,10	1180,30	692,60	487,70	2,420		365	3650,00	1655,64	1814,58	19	0,48	3760,0113
Gravilla	35,00%	32,73%	2,650	13,733	2	6,030	1,093	1177,20	1177,60	690,00	487,60	2,414	5,44	305	3050,00	1383,48	1512,14	21	0,53	2834,915
Arena	40,00%	37,40%	2,586	15,695	3	5,960	1,115	1178,90	1179,20	691,80	487,40	2,419		264	2640,00	1197,50	1335,22	16	0,41	3285,4748
C.A.	6,50	1,003	2,728																	
Grava	25,00%	23,25%	2,694	9,829	1	5,950	1,118	1169,70	1169,80	684,10	485,70	2,408		280	2800,00	1270,08	1419,95	19	0,48	2942,2906
Gravilla	35,00%	32,55%	2,650	13,760	2	5,970	1,112	1174,30	1174,50	686,70	487,80	2,407	5,94	283	2830,00	1283,69	1427,46	20	0,51	2809,9627
Arena	40,00%	37,20%	2,586	15,726	3	6,080	1,078	1183,60	1182,90	691,40	491,50	2,408		350	3500,00	1587,60	1711,43	22	0,56	3062,6929
C.A.	7,00	1,003	2,959																	



UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INSTITUTO DE INVESTIGACION



**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA EN CALIENTE CON 15%CP - METODO MARSHALL**

**Proyecto de investigación:** Mezclas Asfálticas modificadas con caucho pirrolizado obtenidas a partir de neumáticos reciclados

**Cemento asfáltico:** 85/100

**Tipo de muestra:** modificada

**Laboratorio** EMAVIAS

**Fecha:** oct-21

Gráfica #4

6,58cm

