

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



## FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil”

### TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO:

**“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN LIGANTE ASFALTICO 60/70  
MODIFICADO CON GCR Y NANOARCILLA”**

**Autores:**

Rojas Vizquete Santiago Enrique

**Tutor:**

Ing. Vladimir Pazmiño.

**Riobamba – Ecuador**

**Año 2022**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Santiago Enrique Rojas Vizuete**, con cedula de ciudadanía **0603311705**, autor del trabajo de investigación titulado: **Caracterización mecánica de un ligante asfáltico 60/70 modificado con GCR y nanoarcilla**. Certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, 23 de noviembre del 2022



.....  
**Rojas Vizuete Santiago Enrique**  
C.I. 0603311705

## **DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR**

En la ciudad de Riobamba, a los 23 días del mes de noviembre de 2022, luego de haber revisado el Informe final del trabajo de Investigación presentada por el estudiante SANTIAGO ENRIQUE ROJAS VIZUETE con CC. 0603311705, de la carrera de INGENIERÍA CIVIL y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se mite el ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACION titulado “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN LIGANTE ASFALTICO 60/70 MODIFICADO CON GCR Y NANOARCILLA”, por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



---

Vladimir Pazmiño, Mg.  
**TUTOR (A)**

## **CERTIFICADO MIEMBROS DEL TRIBUNAL**

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de grado para evaluación del trabajo de investigación “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN LIGANTE ASFALTICO 60/70 MODIFICADO CON GCR Y NANOARCILLA”, presentado por SANTIAGO ENRIQUE ROJAS VIZUETE, con cedula de identidad 0603311705, bajo la tutoría de Mg. HERNÁN VLADIMIR PAZMIÑO CHILUIZA; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor, no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 22 de noviembre del 2022.

Ing. Javier Palacios  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Ing. Ángel Paredes  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Jorge Núñez  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Vladimir Pazmiño  
**TUTOR**





## CERTIFICACIÓN

Que, **ROJAS VIZUETE SANTIAGO ENRIQUE** con CC: **0603311705**, estudiante de la Carrera de **CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN LIGANTE ASFALTICO 60/70 MODIFICADO CON GCR Y NANOARCILLA**" que corresponde al dominio científico **DESARROLLO TERRITORIAL-PRODUCTIVO Y HÁBITAT SUSTENTABLE PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA** y alineado a la línea de investigación **INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**, cumple con el 3%, reportado en el sistema Anti plagio Urkund, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 7 de noviembre de 2022



Mgs. Vladimir Pazmiño  
TUTOR

## ***Dedicatoria***

*A dios sin él no estaría aquí para este momento  
A mis abuelitas por darme lo mejor que tengo en esta vida,  
Mis padres por su amor incondicional  
y por siempre ser mi ejemplo.  
A mi hermana  
mi compañera, mi amiga y soporte.  
Mi familia y amigos ayudándome y apoyándome durante  
Toda mi vida.*

## ***Agradecimiento***

*A Dios, sin la fe, fuerza y Amor que me ha dado  
en toda mi vida nada de esto sería posible.  
A mis padres Ximena y Juan que gracias a sus enseñanzas  
Y demostraciones de amor soy el hombre que soy hoy.  
Por su apoyo en momentos difíciles  
y en ayudarme a cumplir mis sueños.  
Por ser mi inspiración en la vida y mis modelos a seguir.  
A mi hermana Christe mi mejor amiga  
por siempre estar ahí cuando la necesitaba,  
Por hacerme reír cuando lo necesitaba.  
A toda mi familia los que nunca me dejaron solo,  
A mi tutor, Ing. Vladimir Pazmiño, por su paciencia y gran aporte  
Se pudo realizar esta investigación.  
A mis amigos que durante todos estos años me ayudaron crecer  
Como profesional y buena persona.*

# CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	
ÍNDICE DE FIGURAS .....	
ÍNDICE DE ANEXOS .....	
RESUMEN .....	
ABSTRACT.....	
CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN .....	14
1.1.- OBJETIVOS. ....	15
1.1.2.-Objetivo General. ....	15
1.1.3.- Objetivos Específicos. ....	15
CAPITULO II.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA. ....	16
2.1.-MATERIALES .....	16
2.1.1.-NANOARCILLA .....	16
2.1.1.2.- Clasificación de Nanoarcilla .....	17
2.1.2.- GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR).....	21
2.1.3.- Clasificación de Asfaltos .....	23
2.2.- CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS. ....	23
2.3.- MOP-001F-2002 .....	27
2.4.-Requisitos de cementos asfáltico AC-20 (NTE INEN 2 515:2010).....	27
2.5.- Asfalto AC-20 NORMA NTE INEN 2515-2010 (2017) (EMULDEC).....	27
2.6.- AC-20 NORMA NTE INEN 2515-2010 (2021) (EMULDEC).....	28
2.7.- Asfalto Convencional AC-20 Refinería Esmeraldas (2018).....	28
CAPITULO III.-METODOLOGÍA. ....	30
3.1.- Determinación de los materiales y sus propiedades .....	30
3.2.- DETERMINACIÓN DE ENSAYOS .....	31
CAPITULO IV.- RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	33
CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	44
CAPITULO V.- BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS .....	48



## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Clasificación de Nanoarcilla.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2: Características del Granulo de Caucho .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 3: Composición de Neumáticos .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 4: Composición y características de los diferentes tipos de llantas. Rubber Manufacturers Association.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 5: Clasificación y Equivalencia entre el grado de penetración y grado de viscosidad.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 6: Especificaciones técnicas MOP-001F-202 Cemento asfáltico .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 7: Requisitos de cementos asfálticos AC-20.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 8: Propiedades de asfalto AC-20 de refinería esmeraldas (2017) .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 9: Propiedades de asfalto AC-20 de refinería esmeraldas (2021) .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 10: Propiedades de asfalto AC-20 de refinería esmeraldas realizado por estudiantes de la Universidad Central del Ecuador (2018).....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 11: Características de la Nanoarcilla Bentonita.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 12: Marco Normativo.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 13: Detalles de las modificaciones asfálticas realizadas con GCR.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 14: Detalles de las modificaciones asfálticas realizadas con Nano Arcilla. ....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 15: Resultado Ensayo de Penetración de Mezcla LA+10%GCR.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 16: Resultado Ensayo de Penetración de Mezcla LA+15%GCR.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 17: Resultado Ensayo de Penetración de Mezcla LA+20%GCR.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 18: Ensayo de Penetración de Mezcla LA+3%Nano Arcilla.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 19: Ensayo de Penetración de Mezcla LA+5%Nano Arcilla.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 20: Ensayo de Penetración de Mezcla LA+7%Nano Arcilla.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 21: Resultado Ensayo Punto de Inflamación de LA+GCR .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 22: Resultado Ensayo Punto de Inflamación de LA+ Nano Arcilla.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 23: Detalles de las modificaciones asfálticas realizadas con GCR + Nano Arcilla.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 24: Resultado Ensayo Viscosidad de LA+ 10%GCR.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 25: Resultado Ensayo Viscosidad de LA+ 3%Nano Arcilla .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 26: Ensayo de Penetración de Mezcla LA+10%GCR y 3%Nano Arcilla.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 27: Resultado Ensayo Punto de Inflamación de LA+ 10%GCR y 3%Nano Arcilla .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 28: Resultado Ensayo Viscosidad de LA+ 10%GCR y 3%Nano Arcilla.....</i>	<i>41</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Carta de viscosidad asfalto AC-20 .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2: Viscosidad vs Temperatura de asfalto convencional .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3: Viscosidad vs Temperatura de asfalto modificado .....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4: Resultado Ensayo de Penetración de Mezclas LA+GCR.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 5: Resultados Resultado Ensayo de Penetración de Mezclas LA+ Nano Arcilla.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6: Comparacion Resultados de Ensayo de Inflamación.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 7: Curva Reológica: Viscosidad vs Temperatura de muestra LA+10% GCR .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8: Curva Reológica: Viscosidad vs Temperatura de muestra LA+3% Nano Arcilla .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 9: Curva Reológica: Viscosidad vs Temperatura de muestra LA+10%GCR y 3% NA....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 10: Curva Reológica: Viscosidad vs Temperatura de las 3 muestras .....</i>	<i>43</i>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1: Asfalto 60/70 .....</i>	<i>48</i>
<i>Anexo 2: Frasco de Nanoarcilla Bentonita de Alfa Chemistry .....</i>	<i>49</i>
<i>Anexo 3: Nano arcilla bentonita.....</i>	<i>50</i>
<i>Anexo 4: Certificado de análisis de la nanoarcilla.....</i>	<i>51</i>
<i>Anexo 5: Tamizado de Grano de Caucho.....</i>	<i>52</i>
<i>Anexo 6: Resultado de tamización de grano de caucho.....</i>	<i>53</i>
<i>Anexo 7: Total obtenido de la tamización de grano de caucho.....</i>	<i>54</i>
<i>Anexo 8: Resultado final del grano del caucho después de limpieza de fibras.....</i>	<i>55</i>
<i>Anexo 9: Primera Instalación para mezclas asfálticas modificadas con GCR.....</i>	<i>56</i>
<i>Anexo 10: Instalación en laboratorio para modificación de asfalto.....</i>	<i>57</i>
<i>Anexo 11: Medición de peso de grano de caucho para mezclas asfálticas modificadas.....</i>	<i>58</i>
<i>Anexo 12: Transformando asfalto a estado líquido por método vía húmeda.....</i>	<i>59</i>
<i>Anexo 13: Monitoreo de temperatura para modificación de asfalto con GCR.....</i>	<i>60</i>
<i>Anexo 14: Control de temperatura a 180°C de las mezclas modificadas con GCR.....</i>	<i>61</i>
<i>Anexo 15: Segunda Instalación para modificación de asfalto con nano arcilla.....</i>	<i>62</i>
<i>Anexo 16: Control de temperatura a 180°C modificación de asfalto con nano arcilla.....</i>	<i>63</i>
<i>Anexo 17: Preparación de tazas para ensayo de penetración.....</i>	<i>64</i>
<i>Anexo 18: Calentamiento de asfalto modificado con 10% de GCR por método de vía húmeda.....</i>	<i>65</i>
<i>Anexo 19: Calentamiento de asfalto modificado con 15% y 20% de GCR por método de vía húmeda .....</i>	<i>66</i>
<i>Anexo 20: Colocación de asfalto modificado en tazas para ensayo de penetración.....</i>	<i>67</i>
<i>Anexo 21: Monitoreo de temperatura de las muestras en baño maría.....</i>	<i>68</i>
<i>Anexo 22: Ensayo de penetración de asfalto modificado con GCR .....</i>	<i>69</i>
<i>Anexo 23: Ensayo de penetración de asfalto modificado con nano arcilla .....</i>	<i>70</i>
<i>Anexo 24: Ensayo punto de inflamación de asfalto modificado.....</i>	<i>71</i>
<i>Anexo 25: Ensayo de viscosidad con viscosímetro rotacional .....</i>	<i>72</i>
<i>Anexo 26: Propiedades de Ligante Bituminoso AC-20.....</i>	<i>73</i>

## RESUMEN

El mejoramiento de vías es un objetivo fundamental en todo el mundo, el tema de la nanotecnología es algo aun novedoso que se intenta implementar en la carrera de ingeniería civil. El caucho reciclado ha sido una gran fuente de material que se ha utilizado en los últimos años para aumentar la resistencia de un asfalto. La nano arcilla es un material de gran variedad, todos tienen propiedades físicas y químicas únicas que han sido implementadas en la construcción de vías asfálticas y han sido de gran ayuda para la optimización de ellas. Es por lo que en este trabajo de investigación se evaluaron mezclas asfálticas modificadas con estos dos materiales para poder así determinar algunas de sus propiedades mecánicas y así entender de mejor manera la reacción del grano de caucho y nano arcilla junto con un asfalto 60/70. Se tuvo que emplear estos dos materiales de manera individual con diferentes porcentajes para obtener el resultado óptimo, el grano de caucho con porcentajes de 10%, 15% y 20% mientras que la nano arcilla de 3%, 5% y 7%. Resultando en una mezcla final con 10% de grano de caucho y 3% de nano arcilla. Para el análisis de las propiedades mecánicas se realizaron ensayos de penetración, punto de inflamación y viscosidad. Siendo lo más notable el ensayo de punto de inflamación, donde a solo 201 °C el asfalto modificado tuvo una reacción más acelerada al calor en comparación con las otras muestras presentadas. De igual manera hubo una mejora en la rigidez y la mezcla modificada ante estos componentes mantuvo un comportamiento a asfalto convencional cuando se trataba en su viscosidad según la curva reológica de Surfax. Este proyecto nos deja como nicho de investigación realizar más ensayos específicamente con esta nano arcilla y grano de caucho para así determinar con más profundidad sus propiedades mecánicas o investigar como reaccionaria esta mezcla con la adición de otro componente.

**Palabras clave:** caucho, nanoarcilla, asfalto, nanotecnología.

## ABSTRACT

The road maintenance is a fundamental objective all over the world, the subject of nanotechnology is still something new that is trying to be implemented in the Civil Engineering Degree. **“THE RECYCLED RUBBER IS A GREAT SOURCE OF RAW MATERIAL THAT HAS BEEN USED IN RECENT YEARS TO INCREASE THE ASPHALT’S RESISTANCE”**. Nanoclay is a material of great variety, having unique physical and chemical properties that have been implemented in the construction of asphalt surfaces, these were of great help through optimizing them. Therefore, in this research work, the asphalt mixtures were modified with these two materials to determine some of their mechanical properties and thus better analyze and understand the reaction of the rubber and nanoclay together with a 60/70 asphalt. These two materials had to be used alone with different percentages to obtain the best possible result, the crumb rubber with percentages of 10%, 15% and 20% while the nanoclay with 3%, 5% and 7%. Resulting in a final mixture with 10% crumb rubber and 3% nanoclay. For the analysis of the mechanical properties, penetration, flash point and viscosity tests were carried out. The most notable was the flash point test, where at only 201 °C the modified asphalt had a more accelerated reaction to heat compared to the other samples presented. Similarly, there was an improvement in stiffness and the modified mix maintained the conventional asphalt performance when it came to its viscosity according to Surfax’s rheological curve. This project help us as a niche research in order to carry out further testing, specifically with this nanoclay and crumb rubber to determine a deep description of its mechanical properties or to predict how this would react adding other components of a mixture.

Keywords: Crumb rubber, nanoclay, asphalt, nanotechnology.

DORIS ELIZABETH VALLE VINUEZA  
Firmado digitalmente por  
DORIS ELIZABETH VALLE  
VINUEZA  
Fecha: 2022.10.13 10:33:11  
-05'00'

Reviewed by: Mgs. Doris Valle V.

**ENGLISH PROFESSOR**

c.c 0602019697

## CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN

Con el pasar del tiempo la necesidad de obtener pavimentos de mayor rendimiento va aumentando. Lo más común en la construcción de pavimentos asfálticos para carreteras es la utilización de ligantes asfálticos modificados para mejorar las condiciones físicas de la mezcla asfáltica.

La elección del tipo de ligante a utilizar en una mezcla asfáltica es muy importante, principalmente por la capacidad que tiene el ligante de aglomerar el material granular y las condiciones ambientales y de comportamiento de tránsito que presenta sobre la superficie de la carretera expuesta (Reyes Ortiz, Valdes, & Salazar, 2009).

En pavimentación, el asfalto actúa como ligante de los áridos, aportando resistencia estructural y textura a las capas. Los aglutinantes asfálticos proporcionan elasticidad al pavimento, una propiedad del pavimento asfáltico conocida como flexibilidad. En el caso de la impermeabilización, el betún se modifica primero con productos que aumentan su elasticidad y capacidad de formar una barrera para los pasos de agua. (Energia, 2010)

Un gran desarrollo en el mundo de la ciencia y la tecnología es la Nanotecnología, Dando un abreviado descripción de esta se definiría que *"La nanotecnología es el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nano escala, y la explotación de fenómenos y propiedades de la materia a nano escala"*. (Euroresidentes, 2018)

La aplicación de la nanotecnología en los materiales de construcción ofrece actualmente nuevas oportunidades en el campo para producir materiales con propiedades específicas y tales como mayor resistencia mecánica, mayor durabilidad, resistencia a la corrosión, materiales refractarios, superhidrofóbicos, etc. (Cornejo, 2015)

Una de las razones básicas por las que las nano arcillas pueden tener importantes aplicaciones en la ingeniería de pavimentos es que tienen una mayor superficie, por lo que tienen mejor contacto con el asfalto, por lo tanto, garantizan mejor la mejora de muchas de sus propiedades y de las mezclas que se hacen con él (Vargas, 2011).

Para esta investigación se realizará un número de ensayos convencionales. Todo esto con el propósito de determinar las propiedades mecánicas del ligante asfáltico modificado con GCR (grano de caucho reciclado) y nano arcilla.

## **1.1.- OBJETIVOS.**

### **1.1.2.-Objetivo General.**

Determinar las características mecánicas de un ligante asfáltico 60/70 modificado con GCR y nanoarcilla.

### **1.1.3.- Objetivos Específicos.**

- Definir la viscosidad del ligante asfáltico modificado con GCR y nanoarcilla utilizando el ensayo de viscosidad rotacional (ASTM D92)
- Realizar el ensayo de punto de inflamación (ASTM D92) para el ligante asfáltico
- Comparar el comportamiento de las propiedades mecánicas del ligante asfáltico con GCR y nanoarcilla frente a un ligante asfáltica convencional.

## **CAPITULO II.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.**

En el medio actual, la nano arcilla se está utilizando para diferentes usos en la ingeniería civil, uno de esos usos es para el pavimento. Es importante conocer como este producto afecta a la industria, conocer su nano tecnología y sus funciones en el sector de la construcción. Sus características mecánicas nos ayudaran a entender más el comportamiento de este material junto al caucho y asfalto y así determinar su utilidad en la ingeniería civil.

### **2.1.-MATERIALES**

#### **2.1.1.-NANOARCILLA**

Para poder entender de una mejor manera el concepto de nanoarcilla se necesita conocer el significado de nanociencia y nanotecnología.

La Royal Society define la nanociencia como el estudio de la manipulación de fenómenos y materiales a escala atómica, macromolecular y molecular cuyas propiedades difieren significativamente de las de gran escala. La nanotecnología se puede definir como el diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas que controlan la forma y el tamaño a nano escala. Así se puede decir que arcillas manejadas a nivel nanométrico son llamadas Nanoarcillas, y dependiendo de su aplicación el diseño de su estructura podría variar. Empresas comercializadoras son los responsables del nombre nanoarcilla. El nombre científicamente aceptado es órgano arcilla. A la nanoarcilla u órgano arcilla se le conoce como un material híbrido el cual significa que es orgánico e inorgánico, en el que los cationes inorgánicos como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ , etc. entre capas de arcilla son reemplazados por cationes orgánicos, lo que da como resultado la adición de tetraedros de silicio entre capas para facilitar el paso. a través de las capas Penetración de modificadores interorgánicos (LeBarn, Pinnavaia y Wang, 1998).

La definición de nanoarcilla es la de una arcilla que puede modificarse para que los complejos arcillosos sean compatibles con monómeros y polímeros orgánicos. Las arcillas comunes son minerales que se producen y, por tanto, están sujetas a variaciones naturales en su formación. La pureza de la arcilla desempeña un papel importante a la hora de afectar a las propiedades del nanocompuesto, y la arcilla contiene silicatos de alúmina, que tienen una estructura en capas. También incluye el tetraedro de sílice  $\text{SiO}_4$  unido al octaedro de alúmina  $\text{AlO}_6$  de varias maneras. Los resultados del límite plástico se sitúan entre el 85,4 y el 87,5%. (Pacheco-Torgal, et al., 2018)



### **2.1.1.2.- Clasificación de Nanoarcilla**

Hay varios tipos diferentes de arcillas que se utilizan en los sistemas de administración de fármacos, como el caolín, montmorillonita, saponita, laponita y halloysita. La montmorillonita (MMT) se ha convertido popular entre otras arcillas debido a su alta disponibilidad, respeto al medio ambiente y bien estudiado química. MMT es un material natural con toxicidad baja o nula, área de superficie interna alta, alto contenido de cationes capacidad de intercambio (CEC), alta capacidad de adsorción e hinchamiento, buena biocompatibilidad y, además, es un material “generalmente reconocido como seguro” (GRAS) por la FDA. MMT es una capa silicato de aluminio hidratado que pertenece al grupo de filosilicatos de las esmectitas. El espesor de la capa de cada plaqueta está en el rango de 1 nm y la dimensión lateral es de aproximadamente 200 nm. Cloisita Na es un MMT natural sin ninguna modificación y Cloisite 20 es un MMT orgánico modificado con sales de amonio cuaternario. Debido a la aparición de largas cadenas de alquilo, el espaciado entre capas de El MMT se mejora, lo que resulta en MMT hidrofóbico.

Tipo de Arcilla	Tipo de Nano Arcilla	Formula Química	Observaciones y Resultados con Asfalto	Peso Molecular	Densidad
Montmorillonita	Bentonita Hidrofílica	$H_4Al_2O_6Si$	<p>-Aumento en el módulo complejo (o rigidez) de la matriz, así como un aumento en el aglutinante. resistencia a la formación de surcos.</p> <p>-Aumenta la viscosidad del aglutinante modificado y, en consecuencia, las temperaturas de mezcla y compactación.</p> <p>-Mejora significativamente tanto la resistencia a la formación de surcos como la sensibilidad a la humedad de las mezclas modificadas.</p> <p>-La reología del aglutinante asfáltico y sus equivalentes modificados con nanoarcillas proporciona una indicación útil del rendimiento esperado del HMA producido a temperaturas altas, intermedias y bajas.</p>	294.19 g/mol	2.53 g/cm <sup>3</sup>
Halloysita	Nanotubos de Halloysita (caolín)	$H_4Al_2O_9Si_2 \cdot 2H_2O$	<p>- Mejora propiedades térmicas y mecánicas</p> <p>-Aumento en el módulo complejo (o rigidez) de la matriz, así como un aumento en el aglutinante. resistencia a la formación de surcos.</p> <p>-Aumenta la viscosidad del aglutinante modificado y, en consecuencia, las temperaturas de mezcla y compactación.</p> <p>-Mejora significativamente tanto la resistencia a la formación de surcos como la sensibilidad a la humedad de las mezclas modificadas.</p> <p>-La reología del aglutinante asfáltico y sus equivalentes modificados con</p>	180.1 g/mol	-

			nanoarcillas proporciona una indicación útil del rendimiento esperado del HMA producido a temperaturas altas, intermedias y bajas.		
Montmorillonita	OMMT (organofílico Montmorillonita)	$(Na, Ca)_{0.33}(AlMg)_2(Si_4O_{10})(OH)_2nH_2O$	Reduce la deformación permanente o la formación de surcos del pavimento asfáltico.	-	0.2 – 0.5 g/cm <sup>3</sup>
Montmorillonita	Cloisita – 15A (15A es un natural montmorillonita modificada con una sal de amonio cuaternario)	$(CH_3)_2(HT)_2-N^+$	Reducción de la ductilidad del aglutinante asfáltico.	-	1.66 g/cc
	Nanofill – 15	-	Aumenta la viscosidad de los aglutinantes de asfalto y mejora la resistencia a la formación de surcos y la fatiga de las mezclas de asfalto	-	1.88 g/cc
Montmorillonita	OMMT (N3) Tratamiento orgánico: Cationes dimetil bencil (alquil de sebo hidrogenado) amonio	-	N3 mostró un mejor efecto en la mejora de las propiedades físicas y reológicas de los ligantes de asfalto y la resistencia a la formación de surcos que el N4, lo que puede contribuir a la dispersión homogénea de las partículas de nanoarcilla que llevaron a formar una estructura exfoliada en el asfalto modificado OMMT	90-120 mmol/ 100g	-
Montmorillonita	OMMT (N4) Tratamiento orgánico: Cationes dimetil di (alquil de sebo hidrogenado) amonio	-		90-120 mmol/ 100g	-
Montmorillonita	OMMT (A)	$(SiO_2)(Al_2O_3)(MgO)(Fe_2O_3)(K_2O)(CaO)(SO_3)Cl(Na_2O)(TiO_2)(P_2O_5)(MnO)(ZrO_2)(ZnO)(SrO)$	Mejora la resistencia a la humedad de los sistemas compuestos de piedra caliza y aglutinantes de asfalto	-	-
Montmorillonita	OMMT (B)	$(SiO_2)(Al_2O_3)(MgO)(Fe_2O_3)(K_2O)(CaO)(SO_3)Cl(Na_2O)(TiO_2)(P_2O_5)(MnO)(ZrO_2)(ZnO)$	- Mejora la SFE de los ligantes asfálticos en cantidades aditivas de 1% y 5% en peso del asfalto base. - Mejora la resistencia a la humedad de los sistemas compuestos de piedra caliza	-	-

			y aglutinantes de asfalto		
Montmorillonita	LDH (hidrotalcita doble calcinada en capas)	$(SiO_2) (Al_2O_3) (Fe_2O_3) (K_2O) (CaO)(Na_2O)$	Mejora la resistencia a la humedad de los sistemas compuestos de piedra caliza y aglutinantes de asfalto.	-	-
Montmorillonita	Cloisita- 15 (Bentonita tratada con un grupo alquilo para formar un OMMT)	$(CH_3)_2(HT)_2-N^+$	-Influencia ligeramente positiva en las propiedades de durabilidad del asfalto. -El punto de ablandamiento aumenta cuando aumenta la cantidad de nanoarcilla añadida. -En el betún modificado con un 5% de nanoarcilla, se produce un ligero aumento de rigidez y elasticidad a bajas frecuencias. No es un aumento significativo según el cual una modificación de un betún relativamente duro con nanoarcilla puede no ser eficiente. -La cloisita-15 parece tener una buena estabilidad de almacenamiento en el betún.	-	-
Montmorillonita	Cloisita – 20A (montmorillonita natural que se modifica con una sal de amonio cuaternario)	$(CH_3)_2(HT)_2-N^+$	-La inclusión de la nanoarcilla mejoró significativamente las fuerzas adhesivas de los materiales asfálticos cuando se utilizaron puntas de nitruro de silicio. -La adición de la nanoarcilla mejoró la rigidez y la dureza del aglutinante de asfalto a todas las temperaturas. Sin embargo, la mejora se vio afectada por la temperatura y el porcentaje de nanoarcilla.	-	1.77 g/cm <sup>3</sup>

*Tabla 1: Clasificación de Nanoarcilla*

Elaborado por: *Rojas 2022*

## 2.1.2.- GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR)

El material GCR proviene de llantas desgastadas ya utilizadas de vehículos automotores, que por lo general tiene un destino no muy controlado ambientalmente, plantas térmicas, rellenos sanitarios, etc. Las que tienen un impacto negativo al ambiente.

El grano de caucho se obtiene mediante procesos de molienda de llantas usadas, reduciendo el tamaño, gracias a este proceso el caucho se ha utilizado en distintas obras de ingeniería civil, como en materiales de contención, pisos de parques, rellenos de terraplenes, etc.

El grano de caucho se puede obtener a partir de la trituración del caucho antes mencionado, la misma que está compuesto por caucho vulcanizado la cual pasa por trituración mecánica y después es separada de las llantas. Esto no es considerado un procedimiento toxico.

Gracias a investigaciones previas se puede establecer que el grano de caucho se ablanda y se expande a medida que va reaccionando con el asfalto. La adición de éste a las mezclas produce un bitumen más espeso, lo cual tiene que ver con que se presente mayor resistencia al envejecimiento y a la oxidación. (CLAROS & CASTRO CELIS, 2017).

*Tabla 2: Características del Granulo de Caucho*

<b>Característica</b>	<b>Requisito</b>
Humedad	- Máximo 0.75% de la masa total de la mezcla. - El GCR debe fluir libremente
Gravedad Especifica	1.15 ± 0.05
Contenido de metales no ferrosos	No debe haber presencia visible
Contenido de metales ferrosos, en masa	Máximo 0.01%
Contenido de fibra en masa, en masa:	
- Para mezclas en caliente	Máximo 0.5%
- Para riegos	Máximo 0.1%
Contenido de polvo mineral (como talco): se suele usar para prevenir que los granos se peguen	Máximo 4.0%
Contenido total de otros elementos extraños, en masa; incluye:	
- Vidrio	Máximo 0.25%
- Arena	
- Madera, etc.	

## Neumáticos

Los neumáticos están compuestos principalmente por caucho la cual consiste en mitad de su peso. El caucho se divide en dos tipos el natural y el sintético. Este material normalmente le proporciona elasticidad al neumático y el sintético lo que contribuye es estabilidad térmica.

Entre otros componentes obtenidos de los neumáticos existe el negro de carbón el cual tienen un porcentaje alto en las propiedades de un neumático, esta ayuda como carga de refuerzo y en la resistencia del caucho ante la oxidación. El acero y material textil tienen el objetivo de soportar y transmitir las cargas que se producen sobre él neumático durante la circulación de los vehículos. El óxido de zinc, el azufre y otra serie de productos químicos, que actúan como catalizadores, plastificantes, adhesivos, etc., son lo último en la composición del neumático.

La clasificación de los neumáticos se realiza generalmente según los tipos de vehículos. Cuando se trata de automóviles o camionetas se ha estimado que 80% de los neumáticos desechados provienen de estos vehículos mientras que 20% proviene de vehículos pesados, y alrededor del 1% restante son neumáticos especiales para motocicletas, aviones, equipos de construcción u otros (Verdezoto, 2016).

### Composición de los neumáticos

Cuando se trata de diferentes fabricantes de neumáticos la mayoría de los neumáticos contienen la siguiente composición básica porcentual:

*Tabla 3: Composición de Neumáticos*

<b>Composición</b>	<b>Porcentaje</b>
Caucho	45-47%
Negro de carbono	21-22%
Acero	16,5-25%
Textil	5,5% (sólo para automóviles turismos y motocicletas)
Óxido de zinc	1-2%
Aditivos	5-7,5%

Además de lo anterior, cabe destacar la presencia de ciertos metales pesados presentes en la composición química de los neumáticos, lo que le confiere la calificación de residuos 49 peligrosos. Entre ellos se podrá encontrar en su composición trazas de cobre, cadmio y plomo. (Francisco & Larrea Mejia , 2017)

Tabla 4: Composición y características de los diferentes tipos de llantas. Rubber Manufacturers Association.

Automóviles y Camionetas		Camiones y Microbuses	
Caucho Natural	14%	Caucho Natural	27%
Caucho Sintético	27%	Caucho Sintético	14%
Negro de Humo	28%	Negro de Humo	28%
Acero	14–15%	Acero	14–15%
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16–17%	Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16–17%
Peso promedio:	8.6 Kg	Peso promedio:	45.4 Kg
Volumen	0.06 m <sup>3</sup>	Volumen	0.36 m <sup>3</sup>

### 2.1.3.- Clasificación de Asfaltos

Tabla 5: Clasificación y Equivalencia entre el grado de penetración y grado de viscosidad

Índice de Penetración	Grado de viscosidad AC (Asphalt Cement)
40-50	AC-40
60-70	AC-20
85-100	AC-10
120-150	AC-5
200-300	AC-2.5

Elaborado por: Violeta Stefania Chamorro Arellano, 2019 (Chamorro Arellano, 2019)

## 2.2.- CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.

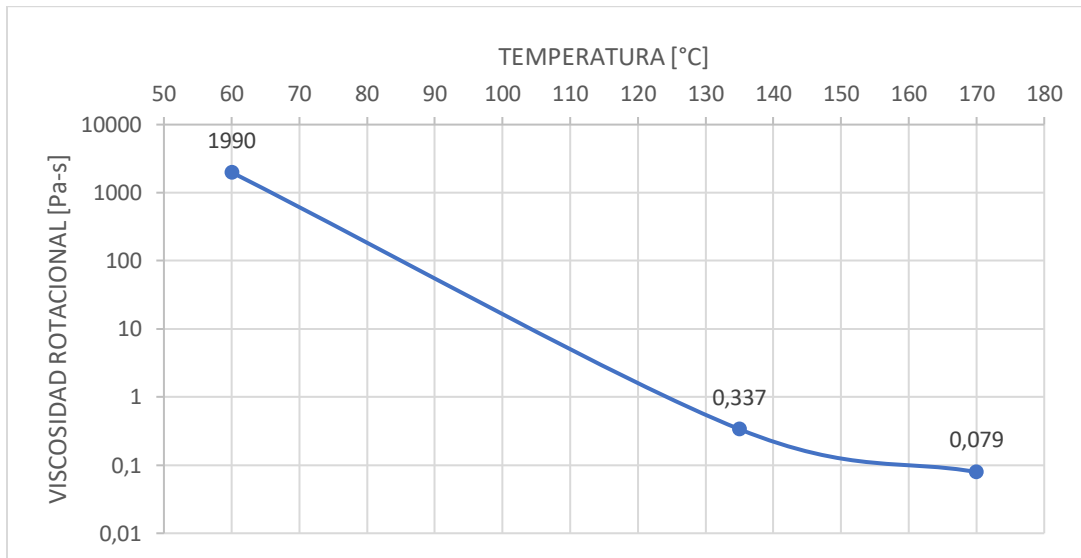
### Viscosidad

La viscosidad puede entenderse como la resistencia de un material a fluir sobre una superficie. En el caso de los pavimentos, es un parámetro físico utilizado principalmente en laboratorio para determinar de forma aproximada la temperatura a la que se fabrican las mezclas asfálticas y la extensión y compactación de dichas mezclas. Además, la viscosidad proporciona una medida indirecta de la consistencia y rigidez del cemento asfáltico (AC), donde los CA que experimentan una mayor viscosidad son generalmente más duros. Hay que tener en cuenta que la temperatura de compactación del material bituminoso no es igual a la temperatura obtenida en laboratorio y requerida en campo, pues para ello se debe contar con una sección de prueba, en estas áreas se utiliza el equipo de compactación por condiciones de trabajo y construcción. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

## Carta de Viscosidad – Asfalto Convencional AC-20

En el año 2015 una carta de viscosidad fue realizada por estudiantes de Pontificia Universidad Católica del Ecuador donde se pudo determinar la temperatura de compactación y temperatura de mezcla de un asfalto convencional AC-20 como se muestra en la figura 1. La muestra pertenece a la refinería Esmeraldas tomada de la planta de emulsión (Panavial S.A). (Paez Garcia & Valarezo Vargas, 2015)

Figura 1: Carta de viscosidad asfalto AC-20



Según la figura 1 la temperatura de compactación se obtuvo entre los 141°C - 148°C y la temperatura de mezcla entre los 156°C - 161°C.

### Propiedades fundamentales vs. Empíricas

Las propiedades mecánicas fundamentales utilizadas en las especificaciones del ligante asfáltico incluyen el coeficiente de viscosidad, el módulo complejo y la rigidez. ¿Qué hace que estas propiedades sean fundamentales? Las propiedades fundamentales se basan en unidades de tensión y deformación y son independientes del tamaño de la muestra y de las dimensiones del equipo de ensayo. Las propiedades mecánicas empíricas que se han utilizado en el pasado en las especificaciones de los ligantes asfálticos son la penetración, la ductilidad y el punto de reblandecimiento. ¿Qué hace que estas propiedades sean empíricas? Las propiedades empíricas no se basan en la tensión y la deformación y dependen del tamaño de la muestra y de las dimensiones y condiciones del ensayo. Si la aguja de penetración cambia de tamaño o de forma, el valor medido de la penetración cambiará. En la caracterización de las propiedades mecánicas de un ligante asfáltico, los tecnólogos esperan que la propiedad mecánica medida en el laboratorio se relacione de alguna manera con el rendimiento del ligante asfáltico en la práctica. La relación con el



rendimiento sólo puede lograrse mediante una serie de complejas ecuaciones que dependen de las propiedades que describen el comportamiento mecánico del ligante asfáltico. Por ello, es importante que estas propiedades sean propiedades mecánicas fundamentales y no propiedades empíricas.

### Determinación de Temperatura de Compactación y Mezclado

La temperatura de compactación y mezclado se puede determinar con el ensayo de viscosidad, el viscosímetro rotacional ayuda con la elaboración de una curva viscosidad vs temperatura conocida como la curva reológica. Esta consiste en una gráfica logarítmica donde los rangos de temperatura de mezclado y compactación son iguales a las viscosidades de  $0.17 \pm 0.02$  Pa-s para mezclado y  $0.28 \pm 0.03$  Pa-s para compactación.

Muchos asfaltos modificados poseen comportamiento No Newtoniano lo cual indica que su viscosidad se ve afectada por el esfuerzo y la velocidad de corte, la velocidad de corte baja o alta puede afectar a la viscosidad de asfalto modificado. (Surfax, 2018)

Figura 2: Viscosidad vs Temperatura de asfalto convencional

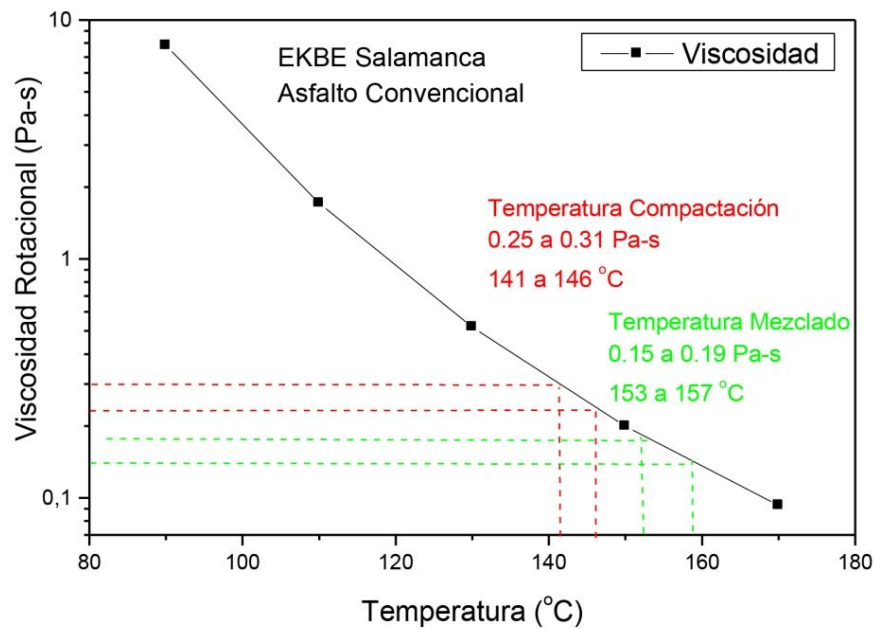
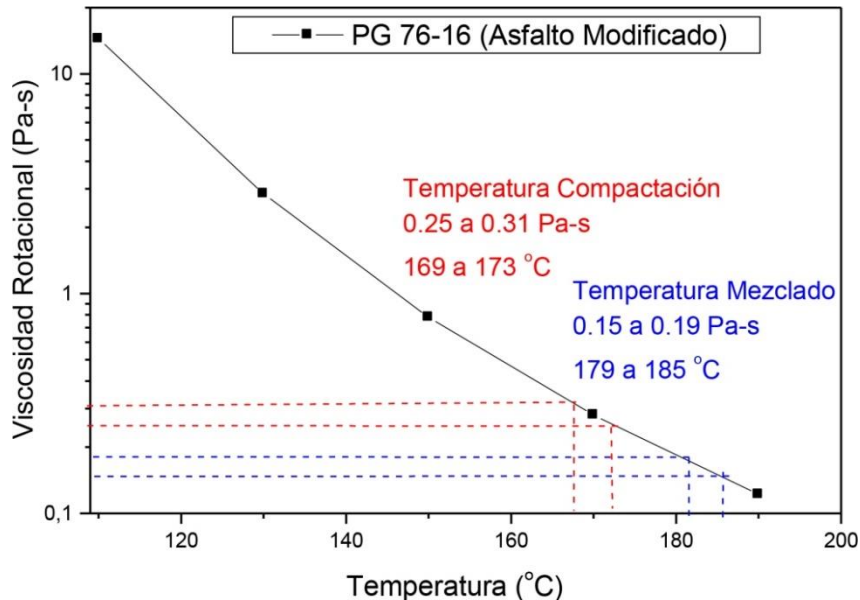


Figura 3: Viscosidad vs Temperatura de asfalto modificado



El Instituto del Asfalto recomendó en 1962 el uso de la viscosidad Saybolt Furol del betún como estándar básico para determinar las temperaturas de mezclado y compactación para mezclas correspondientes a un rango de viscosidad de  $170 \pm 20$  centistokes, y como temperatura de compactación y  $280 \pm 30$  centistokes. Los valores son válidos incluso durante la manía de la década de 1990 por la especificación Superpave para el diseño de mezclas asfálticas, donde se mantuvieron los valores establecidos por el Asphalt Research Institute en la década de 1960, pero se determinaron utilizando un viscosímetro rotacional. RTV y cambie las unidades de viscosidad (en centistokes) en unidades del Sistema Internacional:  $(0,17 \pm 0,02)$  Pa.s para la temperatura de mezclado y  $(0,28 \pm 0,03)$  Pa.s para la temperatura de compactación. Estos valores han sido ampliamente utilizados desde entonces (Reinke, 2000) y forman parte de la especificación de la norma ASTM D 2493 "Standard Viscosity-Temperature Charts for Asphalt", e incluso aparecieron en la actualización de 2006 del Asphalt Institute. (Cardenas & Fonseca, 2009)

### Temperatura de Compactación

Debido a que es una variable crítica durante la compactación, es importante verificar continuamente la temperatura. La mezcla solo debe aplicarse en condiciones climáticas adecuadas con una temperatura ambiente superior a  $5^{\circ}\text{C}$  y no debe colocarse bajo la lluvia. La temperatura de compactación es la temperatura después de esparcir la mezcla y antes de que comience la compactación.

### Temperatura de Mezclado

La temperatura a la que se produce la mezcla representa el tiempo necesario para alcanzar la temperatura mínima de compactación y, por tanto, el tiempo necesario para la compactación. Cuanto más caliente esté la mezcla, más fluido será el asfalto y más fácil será de compactar.

### 2.3.- MOP-001F-2002

En el Ecuador, las especificaciones técnicas para el cemento asfáltico están dado por el Ministerio de Obras Publicas en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. (MOP-001-F-2002, 2002)

*Tabla 6: Especificaciones técnicas MOP-001F-202 Cemento asfáltico*

ENSAYOS	60-70	
	mínimo	Máximo
Betún original		
Penetración (25°C, 100gr, 5 s), mm/10	60	70
Punto de ablandamiento A y B, °C)	48	57
Índice de penetración (*)	-1.5	+1.5
Ductilidad (25°C,5 cm/minuto), cm.	100	---
Contenido de agua (en volumen), %	---	0.2
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99	---
Punto de Inflamación. Copa Cleveland, °C.	232	---
Densidad relativa, 25°C/25°C	1.00	---
Ensayo de la mancha (**)	NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %	---	2.2

Elaborado por: *Ministerio de obras públicas y comunicaciones, Cementos asfálticos,2002*

### 2.4.-Requisitos de cementos asfáltico AC-20 (NTE INEN 2 515:2010)

Según la norma técnica ecuatoriana INEN 2515 los requisitos para que un asfalto este evaluado como un asfalto AC-20 son las siguientes:

*Tabla 7: Requisitos de cementos asfálticos AC-20*

Ensayo	Unidad	AC-20	
		Min	Max
Viscosidad absoluta a 60°C	Pa s	200±40	
Viscosidad cinemática a 135°C	mm <sup>2</sup> s	300	-----
Penetración a 25°C, 100g, 5s	dmm	60	-----
Punto de inflamación	°C	232	-----
Ductilidad a 25°C, 5cm/min	cm	50	-----

### 2.5.- Asfalto AC-20 NORMA NTE INEN 2515-2010 (2017) (EMULDEC)

El cemento asfáltico AC-20 (60/70) es transportado en tanqueros desde la refinería de Esmeraldas, y es descargado en los tanques de almacenamiento de la planta de EMULDEC. (Lopez Perez & Puma Vasquez, 2017)

Estadísticas cemento asfalto grado de viscosidad de la refinería esmeraldas por el departamento de laboratorio y control de calidad de AC-20. (INEN, 2017).

Tabla 8: Propiedades de asfalto AC-20 de refinería esmeraldas (2017)

Mes	Viscosidad Absoluta, 60°C	Penetración, 25°C	Punto de Inflamación
Unidades	Pa. s	dmm	°C
Enero	201	66	294
Febrero	198	66	296
Marzo	212	67	295
Abril	223	70	296
Mayo	208	66	296
Junio	215	69	295
Julio	206	72	295
Agosto	196	73	296
Septiembre	193	72	294
Octubre	209	70	295
Noviembre	232.1	69.5	296.2
Promedio	208.46	69.14	295.29

Los valores mayores a 70 siguen cumpliendo con los requisitos establecidos por la norma INEN 2515 antes mencionado, por lo tanto, son establecidos como un asfalto AC-20.

## 2.6.- AC-20 NORMA NTE INEN 2515-2010 (2021) (EMULDEC)

En el año 2021 se volvió a realizar las estadísticas para un asfalto AC-20 de la refinería esmeraldas por el departamento de laboratorio y control de calidad con los resultados mostradas en la tabla 7. (Camacho, 2021)

Tabla 9: Propiedades de asfalto AC-20 de refinería esmeraldas (2021)

	Viscosidad Absoluta, 60°C	Penetración, 25°C	Punto de Inflamación
Unidades	Pa. s	dmm	°C
	180	78	286

Según establecido antes gracias a la norma INEN 2515 la muestra se considera AC-20 (60/70) sin importar que la penetración es mayor a 70 dmm.

## 2.7.- Asfalto Convencional AC-20 Refinería Esmeraldas (2018)

En el año 2018 se realizó ensayos del asfalto AC-20 proveniente de la refinería esmeraldas por un estudiante de la Universidad Central del Ecuador para entender su comportamiento fisicoquímico del asfalto.

*Tabla 10: Propiedades de asfalto AC-20 de refinería esmeraldas realizado por estudiantes de la Universidad Central del Ecuador (2018)*

<b>Ensayo</b>	<b>Unidades</b>	<b>60-70</b>
Penetración	dmm	67.1
Punto de Inflamación	°C	244.73
Ductilidad	cm	134.58
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1.0211
Punto de reblandecimiento	°C	48.43

Elaborado por: *Darlin Gabriel Escobar España, 2018*

## CAPITULO III.-METODOLOGÍA.

### 3.1.- Determinación de los materiales y sus propiedades

#### Grano de Caucho Reciclado (GCR)

Gracias a la ayuda de la industria recicladora de caucho Ecocaucho S.A, una empresa ecuatoriana ubicada en Quito-Ecuador dedicada a la fabricación de productos conformados de caucho reciclado, mediante la gestión de neumáticos fuera de uso. Pudimos obtener nuestro grano de caucho. El cual fue tamizado que pase el tamiz número 40 para poder ser agregado a nuestro ligante asfáltico modificado.

#### Nano Arcilla

La búsqueda de la Nano Arcilla fue complicada ya que no se encuentra este material dentro de Ecuador. Debido a la pandemia la obtención de este material fue compleja, pero gracias a Alfa Chemistry una organización de investigación por contrato global que se encuentra ubicada en EE.UU Nueva York se pudo adquirir nuestra Nano Arcilla. Alfa Chemistry ha servido a las industrias farmacéuticas y biotecnológicas durante años y hoy está especializada en materiales químicos.

Tabla 11: Características de la Nanoarcilla Bentonita

<b>Numero de Catalogo</b>	ACM1302789
<b>Nombre Químico</b>	Nanoarcilla de Bentonita
<b>Categoría</b>	Nanomateriales Porosos
<b>Descripción</b>	Polvo seco; Polvo seco; Pellets Cristales Grandes; Líquido; Otro Sólido; POLVO GRIS A BLANCO O GRUMOS
<b>Sinónimos</b>	Montmorillonita; bentoquatam; Benclay; magma de bentonita; Bentonita Nanoarcilla, cálcico- sódica; filosilicato de aluminio
<b>Nombre IUPAC (La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada)</b>	Dioxosilano; oxo (oxoalumaniloxi) alumano; hidratar
<b>Peso Molecular</b>	180.1
<b>Formula Molecular</b>	$C_6H_{12}N_4O_9$
<b>SMILES (Sistema simplificado de entrada de líneas moleculares)</b>	O.O=[Al]O[Al]=O.O=[Si]=O
<b>InChI (Identificador químico internacional)</b>	InChI=1S/2Al.O2Si.H2O.3O/c;;1-3-2;;;/h;;;1H2;;;
<b>Punto de fusion</b>	>1200 °C
<b>Pureza</b>	99%, 99.9%, 99.99%, 99.999%
<b>Densidad</b>	Densidad Relativa (Agua=1): 2.5
<b>Solubilidad</b>	Insoluble en agua y solventes orgánicos comunes: Solubilidad en agua: Ninguna

<b>Apariencia</b>	Polco blanco a gris
<b>Masa Exacta</b>	179.925142
<b>Masa Mono isotópica</b>	179.925142
<b>Forma de Color</b>	Una arcilla que contiene cantidades apreciables del mineral arcilloso montmorillonita; amarillo claro o verde, crema, rosa, gris a negro solido-, el color en estado masico varia de blanco amarillento a casi negro. El polvo es de color crema marrón pálido. Polco impalpable de color claro a crema; La Arcilla bentonita spur por lo general tiene un espesor de 0.5 a 2 metros generalmente de color verde amarillento claro el afloramiento, volviéndose verde azulado lejos del afloramiento. Las sureñas o sub-bentonitas son cerosas y varían de azul cuando están frescas a amarillas cuando están meteorizadas. Terciario la bentonita varía de blanco a gris y amarillo; las bentonitas de calcio de Texas varían de 0,5 a 3 metros de espesor y varían de amarillo a verde a marrón oscuro; la bentonita de Cheto Arizona es de color blanco a gris claro.
<b>Olor</b>	Inodoro
<b>Estabilidad</b>	Las suspensiones son más estables a un pH superior a 7.
<b>Formula</b>	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>6</sub> Si
<b>APS (Persulfato de amonio (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>)</b>	≤25 μm

### **Asfalto 60/70**

Este asfalto se obtuvo gracias a la empresa Emulsiones del Ecuador EMULDEC CIA. LTDA. Esta empresa está dedicada a la producción y comercialización de emulsiones asfálticas para su uso en el mantenimiento y conservación vial. El asfalto proviene de PETROECUADOR de la refinería de esmeraldas, pero fue almacenada en EMULDEC.

## **3.2.- DETERMINACIÓN DE ENSAYOS**

### **Equipo de Laboratorio**

Los equipos empleados para esta investigación fueron requeridas gracias a la Universidad Nacional de Chimborazo y gracias a los laboratorios de Estudios Especializados en la ciudad de Riobamba.

#### **- Penetrómetro**

Un penetrómetro es un instrumento que mide la consistencia semilíquida o la dureza de materiales semisólidos midiendo la profundidad a la que un cono o una aguja

específica penetra en el material bajo una fuerza específica. (INEN, 2013).

- **Equipo manual, copa abierta Cleveland.**

Es un instrumento para medir el punto de inflamación. Consiste en una copa de prueba, una placa calefactora, un dispositivo de aplicación de llama, una fuente de calor y un soporte. Equipos abiertos de Cleveland, calentamientos y copas. (INEN I. E., 2013).

- **Viscosímetro Rotacional Brookfield**

Los viscosímetros de Brookfield se utilizan con frecuencia para medir la viscosidad de diversos materiales con comportamiento newtoniano y no newtoniano. Los viscosímetros de Brookfield determinan la viscosidad de un fluido midiendo la fuerza requerida para hacer girar un elemento sumergido (husillo) en el fluido de prueba. (Trujillo , Schmid , Lazos , & Galván , 2000)

## Ensayos

Una vez entendido que son propiedades mecánicas se continua con la elección de ensayos a realizarse. Tomando en cuenta la disponibilidad de equipos de laboratorio dentro y fuera de la universidad y el costo por ensayo se elegio tres ensayos: de penetración, punto de inflamación y de viscosidad.

*Tabla 12: Marco Normativo*

<b>Norma</b>	<b>Ensayos</b>
INV.E - 706	Penetración
INV.E - 709	Punto de Inflamación y Combustión
INV.E - 717	Viscosidad

Elaborado por: *Rojas 2022*



## CAPITULO IV.- RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Modificación de asfalto

La modificación de ligantes asfálticos con nanoarcillas mostró importantes beneficios en su comportamiento reológico. Esta modificación aumenta el valor del módulo complejo del material mientras disminuye el ángulo de fase. A pesar de que los beneficios están asociados a niveles bajos e intermedios de frecuencia se puede afirmar que la modificación es en general efectiva para mejorar la resistencia al daño por deformaciones permanentes y para mejorar la caracterización mecánica del asfalto. (Vargas, Posibilidades de Modificación de Asfaltos con Nano Arcillas, 2011)

Una vez obtenido todos los materiales se pudo elaborar las mezclas asfálticas por el método de vía húmeda. Para poder determinar el porcentaje óptimo de la nano arcilla y grano de caucho, se realizó un total de 6 mezclas. Se estableció 3 porcentajes de grano de caucho, igual que 3 porcentajes de nano arcilla como se muestra a continuación.

*Tabla 13: Detalles de las modificaciones asfálticas realizadas con GCR.*

<b>Ligante asfáltico</b>	<b>GCR (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Rpm</b>
LA+GCR	10	180	60	3000
LA+GCR	15	180	60	3000
LA+GCR	20	180	60	3000

Elaborado por: *Rojas 2022*

*Tabla 14: Detalles de las modificaciones asfálticas realizadas con Nano Arcilla.*

<b>Ligante asfáltico</b>	<b>Nano Arcilla (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Rpm</b>
LA+NA	3	180	90	3000
LA+NA	5	180	90	3000
LA+NA	7	180	90	3000

Elaborado por: *Rojas 2022*

Con estas se realizarían mezclas con asfalto individuales las cuales serán sometidas a ensayos y así obtener los mejores porcentajes para la mezcla final de asfalto.

El procedimiento se seleccionó basándose en investigaciones previas y así hacer una comparación.

Gracias a esta comparación la temperatura establecida para todas las mezclas fue de 180°C, lo que varía es el tiempo donde las mezclas con grano de caucho serian de 60 minutos mientras que las mezclas con nano arcilla de 90 minutos, todos combinadas a una velocidad de 3000 rpm la cual se pudo lograr con la ayuda de dos taladros.

## Ensayo de Penetración con Grano de Caucho

Para tener un mejor entendimiento del efecto que tiene el grano de caucho a un ligante asfáltico convencional 60/70 se elaboró tres muestras con distintos porcentajes de GCR (10%, 15% y 20%) las cuales fueron sometidas a ensayos de penetración. Estos son los valores obtenidos:

*Tabla 15: Resultado Ensayo de Penetración de Mezcla LA+10%GCR*

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO								
No	DESCRIPCION	LECTURAL DIAL		LECTURA FINAL	VUELTA	DEFORMACION		DEFORMACION PROMEDIO (dmm)
		INICIO	FINAL			(plg)	(dmm)	
1	<b>MUESTRA 10/GCR</b>	143.00	24.00	119.00	0.001	0.12	30.23	
2	<b>MUESTRA 10/GCR</b>	178.00	63.00	115.00	0.001	0.12	29.21	
3	<b>MUESTRA 10/GCR</b>	206.00	90.00	116.00	0.001	0.12	29.46	29.63

Elaborado por: *Rojas 2022*

*Tabla 16: Resultado Ensayo de Penetración de Mezcla LA+15%GCR*

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO								
No	DESCRIPCION	LECTURAL DIAL		LECTURA FINAL	VUELTA	DEFORMACION		DEFORMACION PROMEDIO (dmm)
		INICIO	FINAL			(plg)	(dmm)	
1	<b>MUESTRA 15/GCR</b>	207.00	85.00	122.00	0.001	0.12	30.99	
2	<b>MUESTRA 15/GCR</b>	118.00	2.00	116.00	0.001	0.12	29.46	
3	<b>MUESTRA 15/GCR</b>	189.00	69.00	120.00	0.001	0.12	30.48	30.31

Elaborado por: *Rojas 2022*

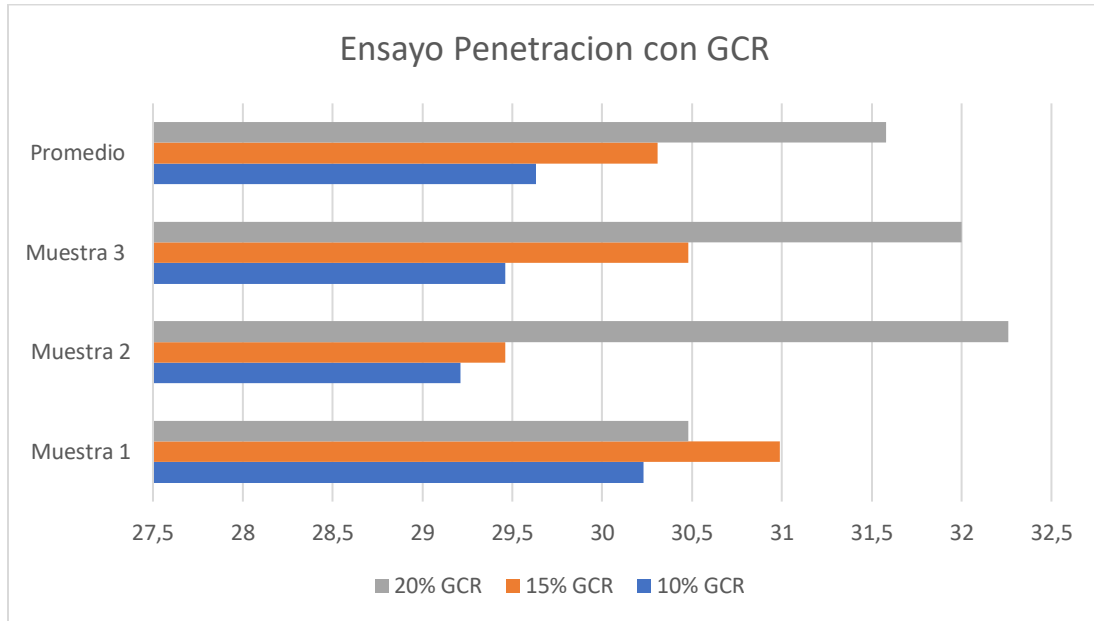
*Tabla 17: Resultado Ensayo de Penetración de Mezcla LA+20%GCR*

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO								
No	DESCRIPCION	LECTURAL DIAL		LECTURA FINAL	VUELTA	DEFORMACION		DEFORMACION PROMEDIO (dmm)
		INICIO	FINAL			(plg)	(dmm)	
1	<b>MUESTRA 20/GCR</b>	124.00	4.00	120.00	0.001	0.12	30.48	
2	<b>MUESTRA 20/GCR</b>	178.00	51.00	127.00	0.001	0.12	32.26	
3	<b>MUESTRA 20/GCR</b>	198.00	72.00	126.00	0.001	0.12	32.00	31.58

Elaborado por: *Rojas 2022*

Los resultados presentados del ensayo demuestran que el asfalto modificado con 10% de GCR presenta mayor rigidez debido a sus valores menores a la de 15% y 20%.

Figura 4: Resultado Ensayo de Penetración de Mezclas LA+GCR



Elaborado por: Rojas 2022

Según los resultados presentados en la figura 4 se puede identificar que mientras más grano de caucho contiene la mezcla menor será la rigidez que tendrá. Los valores son constantes y no varían por mucho a excepción de la muestra 1 del asfalto modificado con 20% de GCR que contiene un bajo valor al principio y rápidamente incrementa para la segunda muestra. Así se puede determinar que el 10% de GCR es la elección óptima entre los tres porcentajes.

### Ensayo de Penetración con Nano Arcilla

Para tener un mejor entendimiento del efecto que tiene la nano arcilla a un ligante asfáltico convencional 60/70 se elaboró tres muestras con distintos porcentajes de Nano Arcilla (3%, 5% y 7%) las cuales fueron sometidas a ensayos de penetración. Estos son los valores obtenidos:

Tabla 18: Ensayo de Penetración de Mezcla LA+3%Nano Arcilla

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO								
No	DESCRIPCION	LECTURAL DIAL		LECTURA		DEFORMACION (plg)	DEFORMACION (dmm)	DEFORMACION PROMEDIO (dmm)
		INICIO	FINAL	FINAL	VUELTA			
1	<b>MUESTRA 3/NA</b>	170.00	30.00	140.00	0.001	0.14	35.23	26.75
2	<b>MUESTRA 3/NA</b>	178.00	96.00	82.00	0.001	0.08	20.83	
3	<b>MUESTRA 3/NA</b>	177.00	83.00	94.00	0.001	0.09	23.88	

Elaborado por: Rojas 2022

Tabla 19: Ensayo de Penetración de Mezcla LA+5%Nano Arcilla

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO								
No	DESCRIPCION	LECTURAL DIAL		LECTURA FINAL	VUELTA	DEFORMACION		DEFORMACION PROMEDIO (dmm)
		INICIO	FINAL			(plg)	(dmm)	
1	MUESTRA 5/NA	198.00	21.00	177.00	0.001	0.18	44.96	45.30
2	MUESTRA 5/NA	196.00	18.00	178.00	0.001	0.18	45.21	
3	MUESTRA 5/NA	199.00	19.00	180.00	0.001	0.18	45.72	

Elaborado por: Rojas 2022

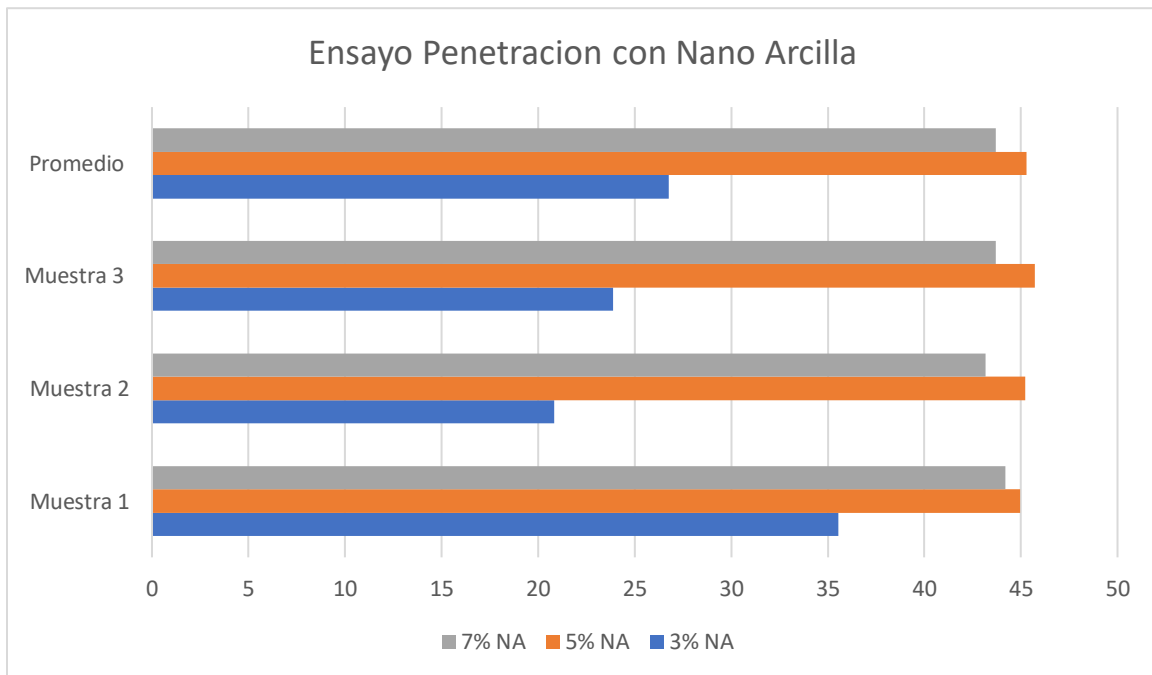
Tabla 20: Ensayo de Penetración de Mezcla LA+7%Nano Arcilla

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO								
No	DESCRIPCION	LECTURAL DIAL		LECTURA FINAL	VUELTA	DEFORMACION		DEFORMACION PROMEDIO (dmm)
		INICIO	FINAL			(plg)	(dmm)	
1	MUESTRA 7/NA	188.00	14.00	174.00	0.001	0.17	44.20	43.69
2	MUESTRA 7/NA	187.00	17.00	170.00	0.001	0.17	43.18	
3	MUESTRA 7/NA	180.00	8.00	172.00	0.001	0.17	43.69	

Elaborado por: Rojas 2022

Los resultados presentados del ensayo demuestran que el asfalto modificado con 3% de Nano arcilla presenta mayor rigidez debido a sus valores menores a la de 5% y 7%.

Figura 5: Resultados Resultado Ensayo de Penetración de Mezclas LA+ Nano Arcilla



Elaborado por: Rojas 2022

Según los resultados presentados en la figura 5 se puede observar un aumento y disminución en valores cuando sube el porcentaje de nanoarcilla aplicada a la mezcla con el ligante asfáltico. Los valores no son constantes y la muestra con 3% de nanoarcilla contiene el valor promedio con mayor rigidez entre los tres. Así se puede determinar que el 3% de Nano Arcilla es la elección óptima entre los tres porcentajes.

### Ensayo Punto de Inflamación

Como los ensayos previos se realizó el de inflamación con los dos tipos de aditivos (GCR y Nanoarcilla). Cada uno con su porcentaje respectivo como se muestra en la tabla 13 y 14. Obteniendo los siguientes resultados.

*Tabla 21: Resultado Ensayo Punto de Inflamación de LA+GCR*

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO					
No	DESCRIPCIÓN	LECTURA INICIAL (°C)	PRESIÓN	FACTOR DE CORRECCIÓN	PUNTO
			BAROMÉTRICA LABORATORIO (mmHg)		INFLAMACIÓN CORREGIDO (°C)
1	<b>MUESTRA 10/GCR</b>	261.00	731	0.096	261.00
2	<b>MUESTRA 15/GCR</b>	260.00	731	0.096	260.00
3	<b>MUESTRA 20/GCR</b>	255.00	731	0.096	255.00

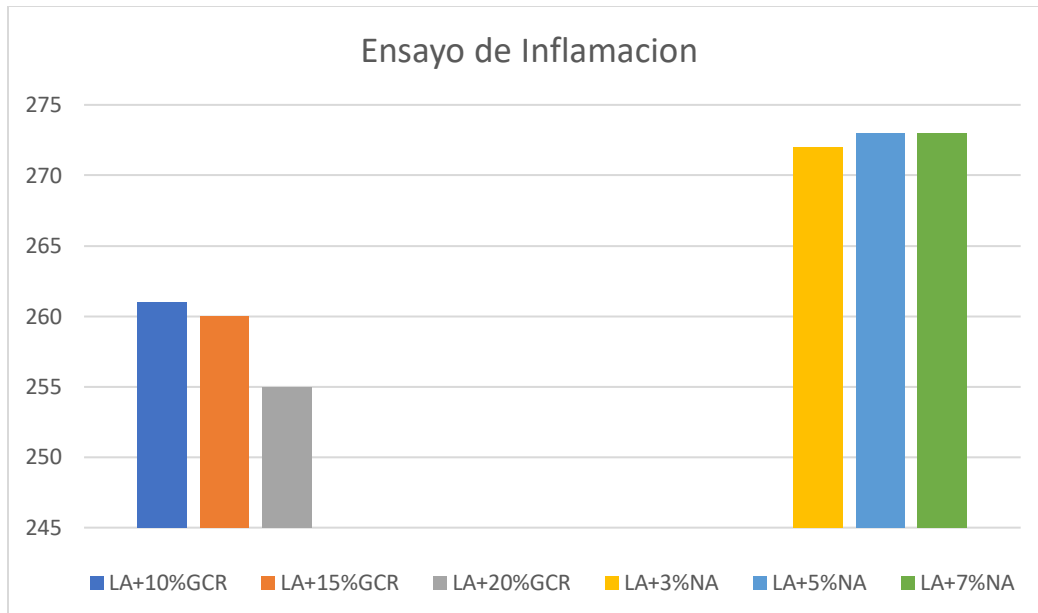
Elaborado por: *Rojas 2022*

*Tabla 22: Resultado Ensayo Punto de Inflamación de LA+ Nano Arcilla*

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO					
No	DESCRIPCIÓN	LECTURA INICIAL (°C)	PRESIÓN	FACTOR DE CORRECCIÓN	PUNTO
			BAROMÉTRICA LABORATORIO (mmHg)		INFLAMACIÓN CORREGIDO (°C)
1	<b>MUESTRA 3/NA</b>	272.00	731	0.096	272.00
2	<b>MUESTRA 5/NA</b>	273.00	731	0.096	273.00
3	<b>MUESTRA 7/NA</b>	273.00	731	0.096	273.00

Elaborado por: *Rojas 2022*

Figura 6: Comparación Resultados de Ensayo de Inflamación



Elaborado por: Rojas 2022

Los resultados obtenidos en ambos ensayos demuestran que en la mezcla de 10% y 15% de GCR no varían por mucho con una diferencia de un centígrado entre ambas, mientras que la de 20% tiene un valor mucho menor. Se puede observar que los valores de las muestras con nanoarcilla no varían por mucho con una diferencia de un centígrado entre las muestras con nano arcilla de 5% y 7% que llegan a una temperatura igual de 273°C y la de 3% con un valor menor a 272°C.

### Elección de Valores para Mezcla Final

Gracias a los ensayos previos se estableció los porcentajes óptimos para la realización de la mezcla final donde serán utilizados 10% de grano de caucho y 3% de nano arcilla ya que estas presentaron las características mecánicas con mejores propiedades para una mezcla asfáltica eficaz.

Tabla 23: Detalles de las modificaciones asfálticas realizadas con GCR + Nano Arcilla

Ligante asfáltico	GCR (%)	Nano Arcilla (%)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Rpm
LA+GCR+NA	10	3	180	90	3000

Elaborado por: Rojas 2022

## Ensayo de Viscosidad

Para realizar este ensayo se siguió los pasos del INV.E 717 -13, donde se precalienta el soporte de las capsulas para las muestras, junto con la capsula para la muestra y el vástago seleccionado. Una vez esté listo la muestra asfáltica se montan en el equipo de viscosidad rotacional, se ajusta la velocidad de rotación a 20 rpm y se ajusta el lector digital, para que indique la viscosidad en pascales – segundos (Pa-s). Por un periodo mínimo de 10 minutos la muestra de asfalto se equilibra a la temperatura deseada, durante ese periodo se pone a rotar el vástago y así observar la viscosidad. (INVIAS, 2013).

Los siguientes datos fueron registrados en los ensayos de viscosidad, las muestras sometidas a este ensayo fueron las óptimas (LA+10%GCR y LA+3% Nano Arcilla) determinadas gracias a los ensayos anteriores.

*Tabla 24:Resultado Ensayo Viscosidad de LA+ 10%GCR*

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO						
No	DESCRIPCIÓN	TEMPERATURA ENSAYO (°C)	VELOCIDAD DE GIRO (rpm)	TORQUE MEDIO (%)	VISCOSIDAD (Pa-s)	VISCOSIDAD (Pa-s)
1	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	65	60	32.10	150.00	153.333
2	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	65	60	32.10	150.00	
3	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	65	60	32.10	160.00	
1	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	105	60	32.10	2.54	2.583
2	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	105	60	32.10	2.54	
3	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	105	60	32.10	2.67	
1	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	135	60	32.10	0.28	0.303
2	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	135	60	32.10	0.28	
3	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	135	60	32.10	0.35	
1	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	145	60	32.10	0.250	0.217
2	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	145	60	32.10	0.200	
3	<b>MUESTRA 10% GCR</b>	145	60	32.10	0.200	

Elaborado por: *Rojas 2022*

*Tabla 25:Resultado Ensayo Viscosidad de LA+ 3%Nano Arcilla*

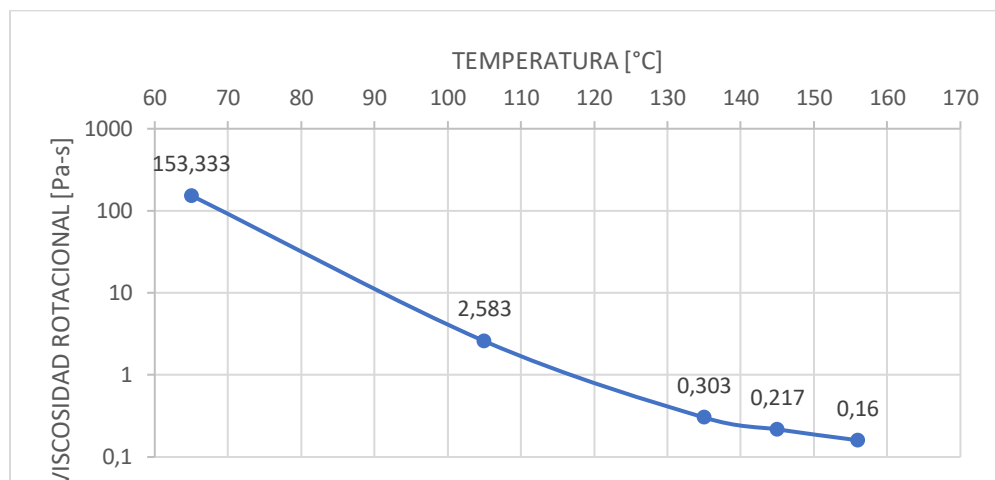
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO						
No	DESCRIPCIÓN	TEMPERATURA ENSAYO (°C)	VELOCIDAD DE GIRO (rpm)	TORQUE MEDIO (%)	VISCOSIDAD (Pa-s)	VISCOSIDAD (Pa-s)
1	<b>MUESTRA 3% NA</b>	65	60	31.48	230.00	225.00
2	<b>MUESTRA 3% NA</b>	65	60	31.48	235.00	
3	<b>MUESTRA 3% NA</b>	65	60	31.48	210.00	
1	<b>MUESTRA 3% NA</b>	105	60	31.48	2.80	2.907
2	<b>MUESTRA 3% NA</b>	105	60	31.48	2.86	
3	<b>MUESTRA 3% NA</b>	105	60	31.48	3.06	
1	<b>MUESTRA 3% NA</b>	135	60	31.48	0.35	0.390
2	<b>MUESTRA 3% NA</b>	135	60	31.48	0.38	

3	<b>MUESTRA 3% NA</b>	135	60	31.48	0.44	
1	<b>MUESTRA 3% NA</b>	145	60	31.48	0.250	
2	<b>MUESTRA 3% NA</b>	145	60	31.48	0.200	
3	<b>MUESTRA 3% NA</b>	145	60	31.48	0.330	0.260

Elaborado por: *Rojas 2022*

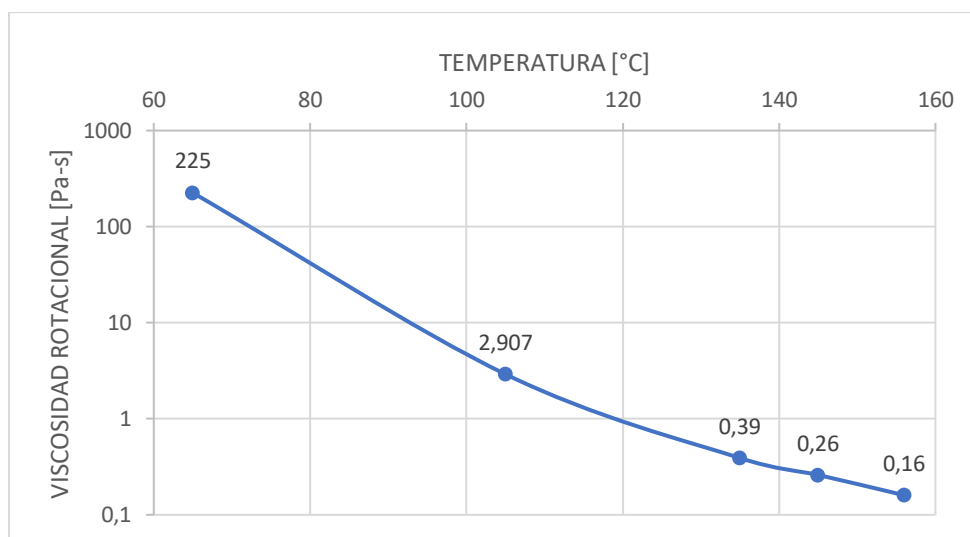
Se decidió tomar cuatro temperaturas para este ensayo de 65, 105, 135 y 145 grados centígrados. Gracias a esto fue posible desarrollar la curva reológica de cada muestra. Determinando la temperatura de compactación de 135°C para la muestra de LA+10%GCR y 145% para la muestra de LA+3%Nano Arcilla. Debido a las propiedades del viscosímetro la temperatura máxima que puede llegar el equipo es a 145°C, por este motivo no se pudo determinar la temperatura de mezclado.

*Figura 7: Curva Reológica: Viscosidad vs Temperatura de muestra LA+10% GCR*



Elaborado por: *Rojas 2022*

*Figura 8: Curva Reológica: Viscosidad vs Temperatura de muestra LA+3% Nano Arcilla*



Elaborado por: *Rojas 2022*



## Resultados de Muestra Final

Una vez preparado la muestra final de grano de caucho y nano arcilla como mostrado en la tabla 20 se continuo con los ensayos de penetración, de inflamación y por último de viscosidad donde se obtuvieron los siguientes resultados.

*Tabla 26: Ensayo de Penetración de Mezcla LA+10%GCR y 3%Nano Arcilla*

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO								
No	DESCRIPCION	LECTURAL DIAL		LECTURA	VUELTA	DEFORMACION		DEFORMACION PROMEDIO (dmm)
		INICIO	FINAL	FINAL		(plg)	(dmm)	
1	<b>MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA</b>	150.00	18.00	132.00	0.001	0.13	33.53	
2	<b>MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA</b>	147.00	17.00	130.00	0.001	0.13	33.02	33.36
3	<b>MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA</b>	149.00	17.00	132.00	0.001	0.13	33.53	

Elaborado por: *Rojas 2022*

*Tabla 27: Resultado Ensayo Punto de Inflamación de LA+ 10%GCR y 3%Nano Arcilla*

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO					
No	DESCRIPCIÓN	LECTURA INICIAL (°C)	PRESIÓN	FACTOR DE CORRECCIÓN	PUNTO
			BAROMÉTRICA LABORATORIO (mmHg)		INFLAMACIÓN CORREGIDO (°C)
1	<b>MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA</b>	205.00	729	0.102	205.00
2	<b>MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA</b>	197.00	729	0.105	197.00

Elaborado por: *Rojas 2022*

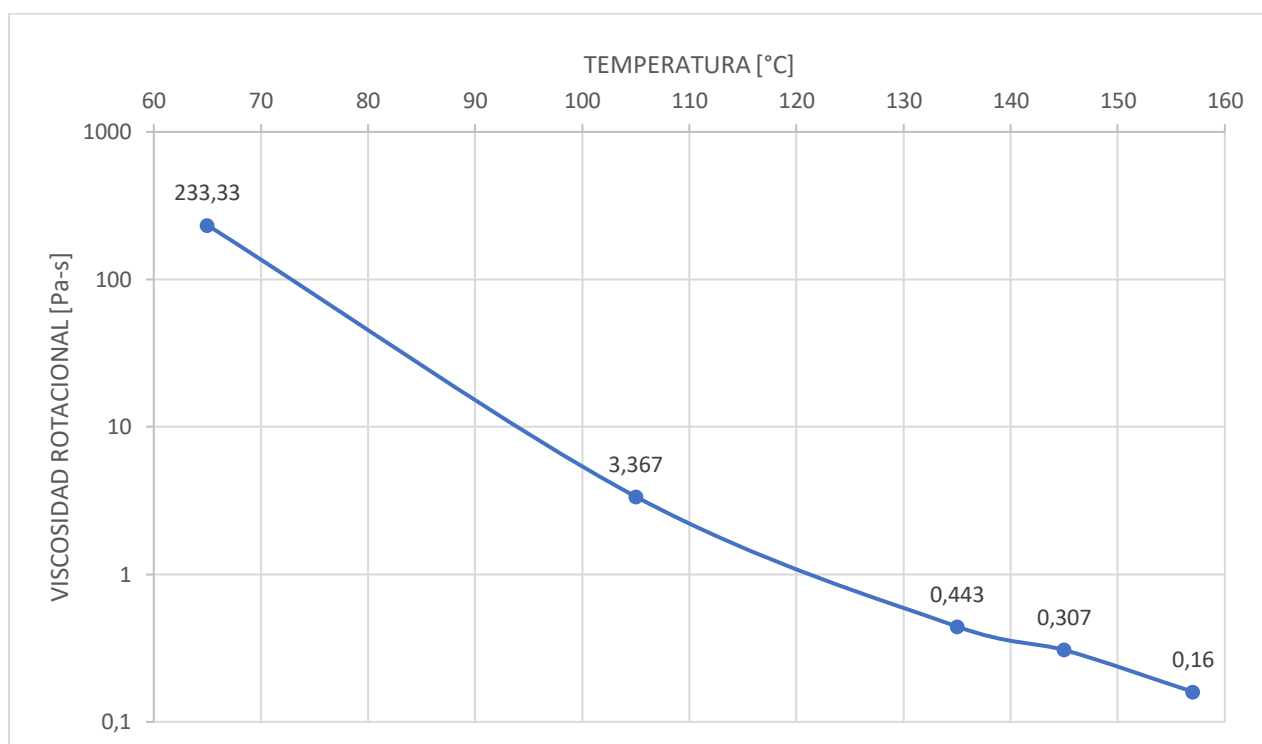
*Tabla 28: Resultado Ensayo Viscosidad de LA+ 10%GCR y 3%Nano Arcilla*

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO						
No	DESCRIPCIÓN	TEMPERATURA ENSAYO (°C)	VELOCIDAD	TORQUE	VISCOSIDAD (Pa-s)	VISCOSIDAD (Pa-s)
			DE GIRO (rpm)	MEDIO (%)		
1	<b>MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA</b>	65	60	33.60	230.00	
2	<b>MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA</b>	65	60	33.60	235.00	233.33
3	<b>MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA</b>	65	60	33.60	235.00	
1	<b>MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA</b>	105	60	33.60	3.20	
2	<b>MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA</b>	105	60	33.60	3.40	3.367
3	<b>MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA</b>	105	60	33.60	3.50	

1	MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA	135	60	33.60	0.41	
2	MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA	135	60	33.60	0.45	0.443
3	MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA	135	60	33.60	0.47	
1	MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA	145	60	33.60	0.310	
2	MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA	145	60	33.60	0.290	0.307
3	MUESTRA 10%GCR + 3% NANO ARCILLA	145	60	33.60	0.320	

Elaborado por: *Rojas 2022*

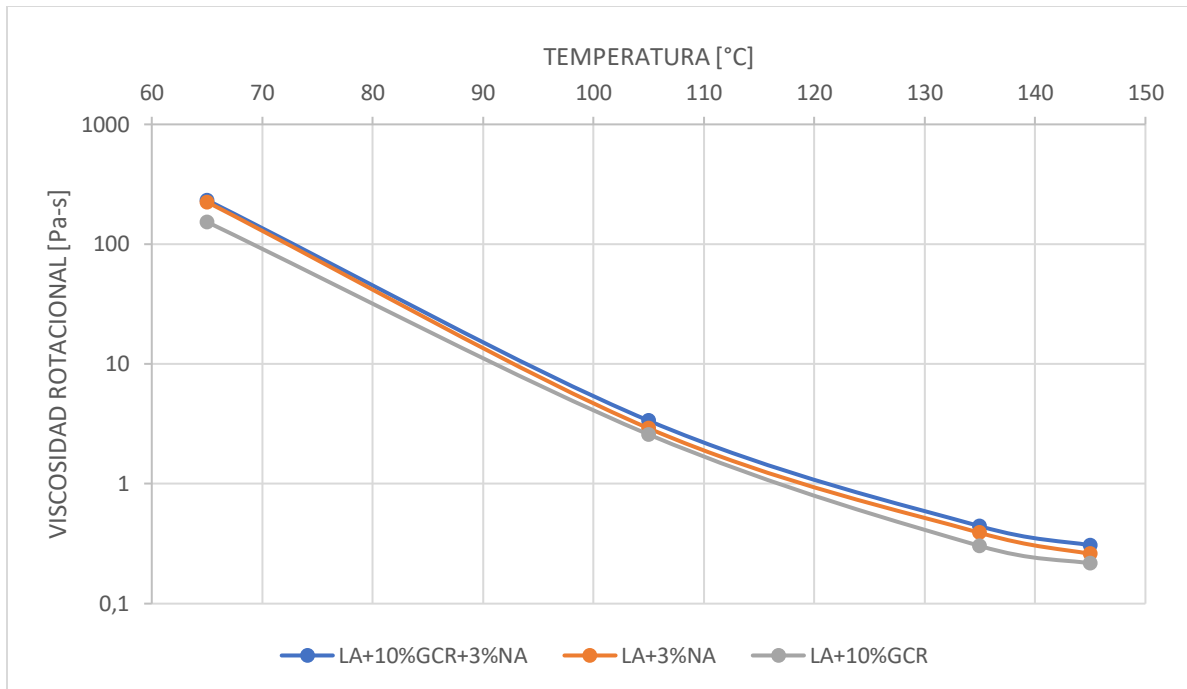
Figura 9: Curva Reológica: Viscosidad vs Temperatura de muestra LA+10%GCR y 3% NA



Elaborado por: *Rojas 2022*

La viscosidad llegó a su máximo valor obtenido de 233.33 Pa-s con el adición de los 10% de GCR y 3% de Nano arcilla. Los resultados pudieron resaltar que la temperatura de compactación es aproximadamente 145°C como se indica en la tabla 28 y en la figura 9.

Figura 10: Curva Reológica: Viscosidad vs Temperatura de las 3 muestras



Elaborado por: *Rojas* 2022

## CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1.-Conclusiones

- Cabe destacar que la combinación de partículas de caucho y nanoarcilla mejoró el desempeño del ligante asfáltico 60/70. La mecánica de este se nota en las propiedades, así como en su penetración para determinar la rigidez y dureza del asfalto. Lo mismo ocurre con su viscosidad
- Las pruebas de penetración ayudaron a demostrar una mejor rigidez del adhesivo con un 10 % de GCR, con una desviación promedio de 29,63 dmm. Mientras que la nanoarcilla al 3% exhibió una deformación promedio de 26.75 dmm. De esta forma se obtuvo un porcentaje óptimo de ligante asfáltico de muestra principal + 10% GCR y 3% nanoarcilla, lo que resultó en una reducción de la rigidez con una deformación promedio de 33.36 dmm. Estos valores son 69.17 dmm en los resultados de 2017 y 78 dmm en los resultados de 2021 en comparación con el desempeño del betún AC-20 convencional obtenido de Refinería Esmeralda, 67.1 dmm fue la penetración obtenida por la Universidad Central del Ecuador. Se descubrió que la adición de estos polímeros aumentaba la rigidez del adhesivo porque la aguja penetraba a una profundidad menor que la de los adhesivos convencionales cuando se realizaban pruebas de penetración.
- De acuerdo con nuestros resultados obtenidos al probar el punto de inflamación cuando la muestra se calienta, la respuesta más rápida se obtiene para las muestras de nanoarcilla LA+10% GCR y LA+1%, que alcanzan el punto de inflamación primero. a 261°C y 271°C. La muestra final de LA+10% GCR y 3% nanoarcilla respondió al calor mucho más rápido con una temperatura promedio de 201°C en comparación con el betún AC-20 convencional de la refinería de Esmeraldas, que alcanzó los 295.29°C. En 2017 y 286°C. en 2021. Con 244.73°C siendo la temperatura alcanzada por la Universidad Central del Ecuador. Esto es importante para el uso en campo, ya que 201 °C es la temperatura más alta a la que se puede procesar y almacenar el betún sin riesgo de ignición, el cemento asfáltico se calienta con el cemento durante el almacenamiento para mantener la viscosidad del material lo suficientemente baja. para ser bombeado. El ligante AC-20 convencional necesita una mayor cantidad de energía producida para llegar a las temperaturas adecuadas para su almacenamiento donde nuestro ligante requiere de menos energía y tiempo.
- Para el ensayo de viscosidad se utilizaron tres muestras (LA+10%GCR, LA+3%NA y LA+10%GCR+3%NA), se determinó la viscosidad de cada muestra por su propia reología con la ayuda de un viscosímetro rotacional Curvas. Los mejores resultados obtenidos fueron para la muestra LA+10%GCR+3%NA con una viscosidad de 233,33 Pa-s, mientras que los otros valores para la muestra de gránulos de caucho al 10% fueron 153,33 Pa-s y

225,00 Pa-s con muestra de Nanoarcilla al 3 %.

- Es importante entender el efecto de diferentes temperaturas en las 3 muestras (LA+10%GCR, LA+3%NA y LA+10%GCR+3%NA) sujetas a pruebas de viscosidad. entre 135°C y 145°C para llevarlos a la temperatura de compactación. Al ensayar las viscosidades y temperaturas alcanzadas, se puede observar que las muestras se comportan más como asfalto convencional que como asfalto modificado según la curva de reología de Surfax. Compare con la misma tabla de viscosidad realizada por estudiantes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en 2015. Una vez que la viscosidad alcanza entre 0.15 y 0.19 Pa-s se alcanza la temperatura de mezcla, a estas temperaturas el asfalto tiene menor rigidez y es más fácil de mezclar. Al tratar la mezcla como un ligante convencional en su viscosidad no es necesario implementar otro método en el campo para su mezclado así se mantendría el mismo tiempo y energía por la temperatura.

#### **4.2.-Recomendaciones**

- Es importante tener en cuenta que dentro del país no hay disponibilidad de nano arcilla y su obtención puede tener un costo elevado dependiendo de donde se obtenga.
- Para los ensayos tener en mente donde encontrar los equipos necesarios para ellos ya que algunos no se consiguen con tanta facilidad.
- Es recomendable al momento de hacer las mezclas asfálticas tener un ayudante o acompañante que pueda asistir con el manejo de los equipos.
- Siempre utilizar el equipo de seguridad necesaria como gafas, guantes y gorra por las temperaturas elevadas del asfalto y así prevenir cualquier accidente.

## CAPITULO V.- BIBLIOGRAFÍA

- (INEN), I. E. (2013). *CERA DE PISOS. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DE LA PASTA*. Quito: Norma Técnica Ecuatoriana.
- Arellano, V. S. (2019). *Criterios para la Estandarización de emulsiones asfálticas para riego de imprimación cumpliendo con las normativas vigentes en el Ecuador*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Camacho, A. (2021). *Petriecuador informe de resultados*. Atacames: Petroecuador.
- Cardenas, J., & Fonseca, E. (2009). *MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE ASFALTO CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMERO RECICLADO, ESTUDIADA DESDE LA RELACIÓN VISCOSIDAD-TEMPERATURA*. Medellín: Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Chamorro Arellano, V. S. (2019). *Criterios para la Estandarización de emulsiones asfálticas para*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- CLAROS, C. M., & CASTRO CELIS, L. C. (2017). *IMPLEMENTACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR)*. Bogota: UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.
- Cornejo, L. (30 de diciembre de 2015). "La nanotecnología y los materiales de construcción". Obtenido de En: Nuevas tecnologías y los materiales de construcción. [en línea]: <http://nuevastecnologiasymateriales.com/la-nanotecnologia-y-los-materialesde-construccion/>
- Energía, G. (2010). *Galp*. Obtenido de Galp: <https://www.galpennergia.com/ES/ProdutosServicos/Produtos/Ligantes-asfalticos/Paginas/Ligantes-asfalticos.aspx>
- Escobar España, D. G. (2018). *COMPORTAMIENTO FÍSICOQUÍMICO DEL ASFALTO PRODUCIDO EN LA REFINERÍA ESMERALDAS MODIFICADO CON POLÍMERO*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Euroresidentes. (6 de junio de 2018). "¿Qué es la nanotecnología?". Obtenido de ¿Nanotecnología : qué es? [en línea]: <https://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia.htm>
- Francisco, M. N., & Larrea Mejía, D. F. (2017). *Diferencia de torque y potencia en función del rin del neumático*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- INEN, I. E. (2013). *PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN Y FUEGO EN COPA ABIERTA CLEVELAND*. Quito : Norma Técnica Ecuatoriana.
- INEN, S. E. (2017). *ESTADÍSTICAS CEMENTO ASFALTO GRADO DE VISCOSIDAD*. Esmeraldas: NORMA NTE INEN 2515-2010.
- INVIAS. (2013). *DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO UN VISCOSÍMETRO ROTACIONAL*. En materiales y mezclas asfálticas y prospección de pavimentos.
- Lopez Perez, D. J., & Puma Vasquez, C. J. (2017). *Caracterización de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cemento asfáltico modificado con polímeros SBS y RET, mediante la determinación del módulo de rigidez*. Quito: Universidad Central Del Ecuador.
- MOP-001-F-2002, R. d. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES*. Quito.
- Pacheco-Torgal, F., Diamanti, M. V., Nazari, A., Goran-G, C., Pruna, A., & Amirkhanian, S.

- (2018). *Nanotechnology in Eco-efficient Construction: Materials, Processes and Applications*. Woodhead Publishing.
- Paez Garcia, A. I., & Valarezo Vargas, A. E. (2015). *DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON ADICIÓN DE CAUCHO PULVERIZADO POR VÍA HÚMEDA*. Quito: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR.
- Reyes Ortiz, O. J., Valdes, G. A., & Salazar, M. (2009). *Influencia de la Tipología del Ligante en las Propiedades Mecánicas de una Mezcla Asfáltica Densa*. Bogota : Informacion Tecnologica Vol.-20 No 6.
- Surfax, G. (19 de Enero de 2018). *GrupoSurfax*. Obtenido de DETERMINACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y COMPACTACIÓN MEDIANTE LA VISCOSIDAD A CORTE CERO: <https://gruposurfax.wordpress.com/2018/01/19/determinacion-de-las-temperaturas-de-mezclado-y-compactacion-mediante-la-viscosidad-a-corte-cero/>
- Trujillo , s., Schmid , w., Lazos , R., & Galván , M. (2000). *INCERTIDUMBRE EN LA CALIBRACIÓN DE VISCOSÍMETROS BROOKFIELD*. Santiago de Querétaro: Centro Nacional de Metrología, Laboratorio de Viscosidad.
- Vargas, J. P. (2011). *Posibilidades de Modificación de Asfaltos con Nano arcillas*. Bogota: Universidad de los Andes.
- Vargas, J. P. (2011). *Posibilidades de Modificación de Asfaltos con Nano Arcillas*. Bogota: Universidad de los Andes.
- Verdezoto, C. (2016). *Elaboración de una Mezcla para Carpeta de Rodadura de Pavimento*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

## ANEXOS



**Anexo 1:** Asfalto 60/70

**Elaborado por:** Rojas 2022





**Anexo 2:** Frasco de Nanoarcilla Bentonita de Alfa Chemistry

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 3:** Nano arcilla bentonita

**Elaborado por:** Rojas 2022

**Certificate of Analysis**

Product Name: Bentonite  
Catalog No.: ACM1302789  
CAS No.: 1302-78-9  
Batch No.: A21X01102  
Retest Date: 2024. 1. 9

Test	Specification	Result
Appearance	Light gray powder	Conforms
MICROBIAL LIMITS	ABSENT	Conforms
pH of a 2% SUSPENSION @ 25 °C	9.5-10.5	9.6
LOSS ON DRYING	5.0-8.0%	7.7%
GEL FORMATION	≤ 2mL	0.25mL
SWELLING POWER	≥ 24mL	36.0mL
As	≤ 5ppm	4ppm
Pb	≤ 0.004%	0.0005%
Conclusion	Correspond	

*Adolf Jones*

Adolf Jones, Manager  
Quality Control  
Alfa Chemistry

Alfa Chemistry. All rights reserved.

2200 Smithtown Avenue, Room 1, Ronkonkoma,  
NY 11779-7329, USA  
[Alfa Products](#) | [Alfa Services](#) | [Alfa Resources](#)

Tel: 516-662-5404  
Fax: 516-927-0118  
Email: [info@alfa-chemistry.com](mailto:info@alfa-chemistry.com)

**Anexo 4:** Certificado de análisis de la nanoarcilla

**Fuente:** Rojas 2022



**Anexo 5: Tamizado de Grano de Caucho**

**Elaborado por: Rojas 2022**



**Anexo 6:** Resultado de tamización de grano de caucho.

**Elaborado por:** Rojas 2022





**Anexo 7:** Total obtenido de la tamización de grano de caucho.

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 8:** Resultado final del grano del caucho después de limpieza de fibras

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 9:** Primera Instalación para mezclas asfálticas modificadas con GCR

**Elaborado por:** Rojas 2022





**Anexo 10:** Instalación en laboratorio para modificación de asfalto.

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 11:** Medición de peso de grano de caucho para mezclas asfálticas modificadas.

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 12:** Transformando asfalto a estado líquido por método vía húmeda

**Elaborado por:** Rojas 2022





**Anexo 13:** Monitoreo de temperatura para modificación de asfalto con GCR.

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 14:** Control de temperatura a 180°C de las mezclas modificadas con GCR.

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 15:** Segunda Instalación para modificación de asfalto con nano arcilla.

**Elaborado por:** Rojas 2022





**Anexo 16:** Control de temperatura a 180°C modificación de asfalto con nano arcilla.

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 17:** Preparación de tazas para ensayo de penetración.

**Elaborado por:** Rojas 2022





**Anexo 18:** Calentamiento de asfalto modificado con 10% de GCR por método de vía húmeda

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 19:**Calentamiento de asfalto modificado con 15% y 20% de GCR por método de vía húmeda

**Elaborado por:** Rojas 2022



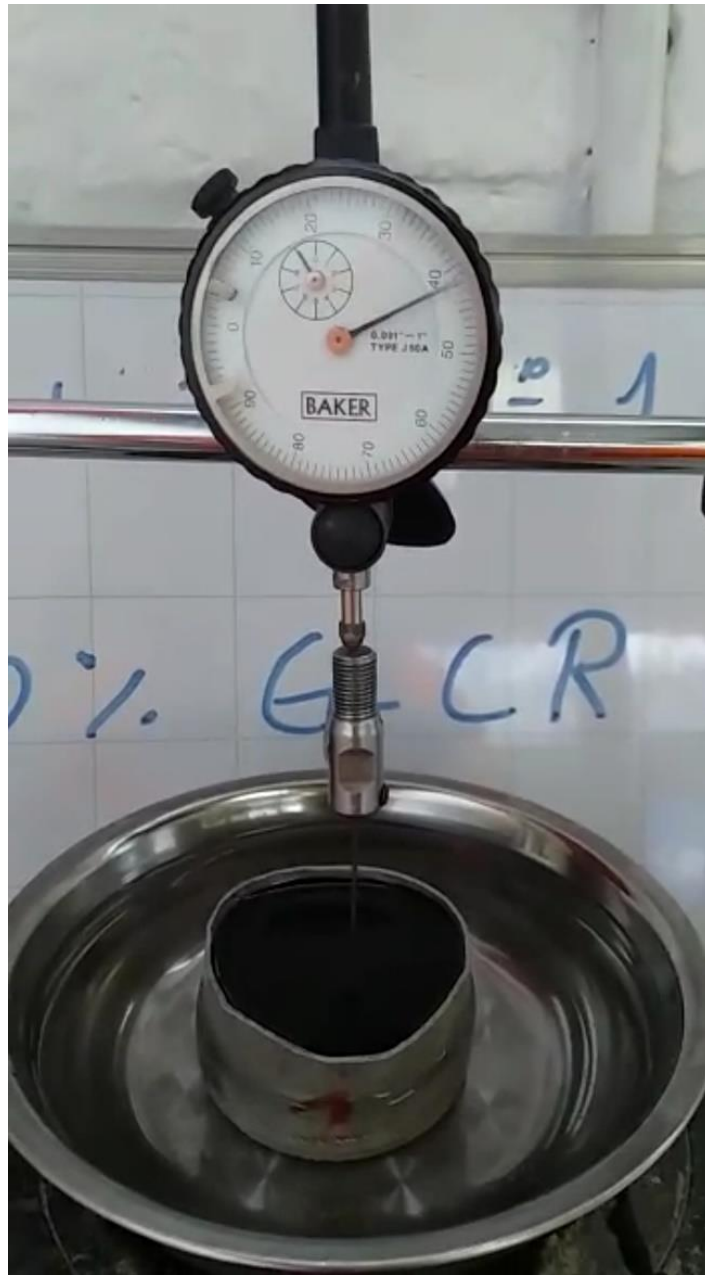
**Anexo 20:** Colocación de asfalto modificado en tazas para ensayo de penetración.

**Elaborado por:** Rojas 2022



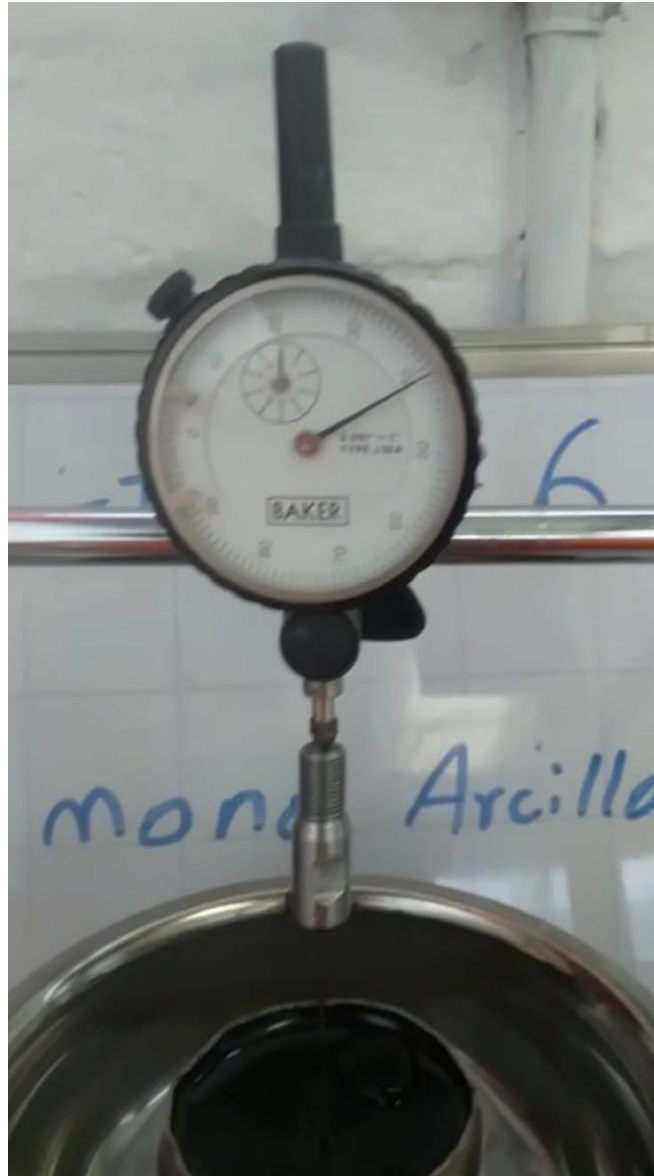
**Anexo 21:** Monitoreo de temperatura de las muestras en baño maría

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 22:** Ensayo de penetración de asfalto modificado con GCR

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 23:** Ensayo de penetración de asfalto modificado con nano arcilla

**Elaborado por:** Rojas 2022



**Anexo 24:** Ensayo punto de inflamación de asfalto modificado

**Elaborado por:** Rojas 2022





**Anexo 25:** Ensayo de viscosidad con viscosímetro rotacional

**Elaborado por:** Rojas 2022



**EP - PETROECUADOR  
INFORME DE RESULTADOS**



Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con  
ACREDITACIÓN No. SAE LEN 13-002.

GERENCIA: GERENCIA DE REFINACION REFERENCIA: PROPRQ # 08 (2021-10-21)  
ORGANIZACIÓN: M01\_REFINERÍA ESMERALDAS PRODUCTO ANALIZADO: 0280 ASFALTO AC-20  
INFORME NO. M01-1049-2021 CODIGO MUESTRA: ECC-21-1778

DATOS CLIENTE	
NOMBRE	JEFE DE CONTROL Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN (ING. ALEJANDRO CAMACHO)
DIRECCIÓN	Km 7 1/2 Antigua Vía Atacames.
TELÉFONO	062994000 (85070, 85074)
SOLICITADO POR	ING. VICTOR GARCIA - ESP. DE PROGRAMACION DE LA PRODUCCION

DATOS DE LA MUESTRA			
ORIGEN DE LA MUESTRA	AO-V15	HORA TOMA DE MUESTRA	00:00:47
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	2021/10/22		
CANTIDAD DE MUESTRA	1500 ml		
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2021/10/22	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	00:15:11
LUGAR TOMA DE MUESTRA	ASFALTOS	PUNTO DE MUESTREO	AFORO DE TANQUE

DATOS DE ANÁLISIS			
TEMPERATURA AMBIENTE	23.8 °C		
HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE	65.6 %HR	PRESION BAROMETRICA	101.0 kPa
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	2021/10/22 00:20:12	FECHA FINALIZACION DE LOS ENSAYOS	2021/10/22 05:45:47
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME	2021/10/22		

RESULTADOS							
PARÁMETRO	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN <sup>(1)</sup>		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	U <sup>(2)</sup>
	(ASTM_INEN)	INTERNO	MÍN.	MÁX.			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 140 °F (60 °C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	160	240	180,0	Pa.s	±5 %
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 275 °F (135 °C)	ASTM D2170_NTE INEN 810/1981	V03.06.01.03-T-23	300	-	350,0	mm <sup>2</sup> /s	±1.9 %
PENETRACIÓN 77 °F (25 °C 100 G. 5s)	ASTM D5_NTE INEN 918	V03.06.01.03-T-20	80	-	78	dtmm	±4 dtmm
PUNTO DE INFLAMACIÓN	ASTM D92_NTE INEN 808	V03.06.01.03-T-21	232	-	286	°C	±5 °C
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO*	ASTM D2042_NTE INEN 915	V03.06.01.03-T-31	99	-	99,94	%P	-
RESIDUO DE ENSAYOS DE PELÍCULA FINA EN HORNO ROTATORIO*	N/A	V03.06.01.03-T-30	N/A	N/A	N/A	-	-
VISCOSIDAD 60°C*	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	-	800	648,0	Pa.s	±N/A
DUCTILIDAD 77 °F (25 °C) 5cm/min*	ASTM D113_NTE INEN 916	V03.06.01.03-T-24	50	-	65,0	cm	-
GRAVEDAD API A 60 °F (15.6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE	7,1	*API	±N/A
DENSIDAD RELATIVA (15.6/15.6°C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE	1,0209	-	±N/A
GRAVEDAD ESPECÍFICA 25/25 °C	ASTM 70	V03.06.01.03-T-57	REPORTE	REPORTE	1,010	-	±0,002
PUNTO DE ABLANDAMIENTO*	ASTM D36		-	-	48,2	°C	-
ÍNDICE DE PENETRACIÓN*	ASTM D5		-1,5	1	-0,6	-	-
CAMBIO DE MASA*	ASTM D2872	V03.06.01.03-T-30	-	1	-0,200	%P	-
*API OBSERVADO: 14.385							
TEMPERATURA OBSERVADA: 93.4 °C							
OBSERVACIONES:							

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD  
EDGAR FABRICIO  
CAMPOVERDE  
LASTRA  
Firmado digitalmente por EDGAR FABRICIO CAMPOVERDE LASTRA  
Fecha: 2021.10.22 10:54:45 -05'00'  
AUTORIZADO POR: JEFE DE LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD

NOTAS:  
Los datos del cliente, origen, fecha, hora, muestra, parámetro o análisis requerido de la muestra, es información proporcionada por el cliente.  
Los datos de este informe corresponden únicamente a las propiedades de la muestra analizada en el laboratorio.  
Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra como se recibió.  
Los resultados se aplican únicamente a la muestra como se recibió, no se deberá reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad.  
Sin la aprobación del Especialista y/o Jefe de Control de Calidad, no se deberá reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad.  
Los ensayos marcados con (\*) NO están dentro del alcance de la acreditación del SAE.  
Los ensayos marcados con (\*) NO están dentro del alcance de la acreditación del SAE, excepto si la información es suministrada por el cliente y esta afecte la validez de los resultados.  
Los ensayos marcados con (\*) NO están dentro del alcance de la acreditación del SAE, excepto si la información es suministrada por el cliente y esta afecte la validez de los resultados.

**Anexo 26: Propiedades de Ligante Bituminoso AC-20**

**Fuente: Rojas 2022**