

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Análisis para la correlación de resultados de adherencia  
agregado asfalto, entre el método universal de  
caracterización de ligantes ucl y el ensayo  
de bandeja MTC-E520**

Arnaldo Roberto Castillo Juzcamayta

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2019

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y, sobre todo, felicidad.

A mis padres, Óscar y Sonia, que siempre han estado cuando los he necesitado, en los buenos y en los malos momentos, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos, por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar. A Fernando y Verónica, por llenar mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado.

A mi asesor y profesores, por la confianza, apoyo y dedicación. Por haber compartido conmigo sus conocimientos y, sobre todo, su amistad.

A mi abuela Amanda que, aunque ya no se encuentre con nosotros físicamente, siempre estará presente en mi corazón, por haber creído en mí hasta el último momento.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Óscar y Sonia. A mis hermanos, Fernando y Verónica. A mi abuela Amanda.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	iv
LISTA DE TABLAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
CAPÍTULO I .....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Formulación del problema .....	4
1.2.1. Problema general .....	4
1.2.2. Problemas específicos .....	4
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.4. Justificación e importancia .....	5
1.4.1. Justificación práctica .....	5
1.4.2. Justificación metodológica .....	5
1.5. Delimitación de la investigación .....	6
1.5.1. Delimitación espacial .....	6
1.5.2. Delimitación temporal .....	6
1.6. Hipótesis y descripción de variables .....	7
1.6.1. Hipótesis general .....	7
1.6.2. Hipótesis específicas .....	7
CAPÍTULO II .....	8

MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes del problema.....	8
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	8
2.1.2. Antecedentes internacionales .....	10
2.2. Bases teóricas.....	12
2.2.1. Asfalto .....	12
2.2.2. Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL).....	14
2.2.3. Adherencia en Bandeja MTC E 520.....	17
2.2.4. Asfalto modificado con polímeros .....	18
2.2.5. Quimibond .....	25
2.3. Definición de términos básicos.....	27
CAPÍTULO III .....	30
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	30
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	30
3.1.1. Método de investigación .....	30
3.1.2. Nivel .....	31
3.1.3. Tipo .....	31
3.2. Diseño de la investigación .....	32
3.3. Población y muestra .....	32
3.3.1. Población.....	32
3.3.2. Muestra .....	32
3.3.3. Muestreo .....	33
3.4. Variables .....	33
5.5. Operacionalización .....	34
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	35
3.6.2. Técnica de recolección de datos .....	35
CAPÍTULO IV .....	36
RESULTADOS .....	36
4.1. Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL).....	36

4.1.1.	Mezcla Patrón.....	36
4.1.2.	Caracterización por Granulometría MTC E 204 .....	37
4.1.3.	Ensayo Cántabro .....	50
4.2.	Adherencia en Bandeja MTC-E520 .....	68
	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	78
	Pérdida al Cántabro (UCL) – Mejorador de Adherencia.....	78
	Porcentaje de Adherencia (MTC E 520) – Mejorador de Adherencia.....	88
	Correlación de Adherencia (MTC E 520) – Pérdida al Cántabro (UCL).....	100
	RESUMEN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	102
	CONCLUSIONES.....	110
	RECOMENDACIONES.....	112
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
	Bibliografía .....	113
	ANEXOS .....	116
ANEXO 1.	Matriz de consistencia.....	112
ANEXO 2.	Panel fotográfico .....	113

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Porcentaje Pasante de Mezcla Patrón .....	16
Tabla 2: Información Técnica Quimibond.....	26
Tabla 3: Operacionalización de la variable.....	34
Tabla 4: Granulometría patrón UCL.....	37
Tabla 5: Análisis Granulométrico – Arena Procesada .....	38
Tabla 6: Análisis Granulométrico – Arena Natural.....	40
Tabla 7: Análisis Granulométrico – Piedra Chancada ½” .....	42
Tabla 8: Análisis Granulométrico – Piedra Chancada ¾” .....	44
Tabla 9: Mezcla de agregados por Marshall .....	46
Tabla 10: Pesos por porcentaje de Asfalto.....	48
Tabla 11: Briqueta para UCL .....	49
Tabla 12: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Natural .....	51
Tabla 13: Briqueta para UCL – Asfalto Modificado.....	53
Tabla 14: Pérdidas al Cántabro – Briqueta con Polímeros.....	54
Tabla 15: Briqueta para UCL – Asfalto Quimibond 0.3%.....	55
Tabla 16: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.3%.....	56
Tabla 17: Briqueta para UCL – Asfalto Quimibond 0.5%.....	58
Tabla 18: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.5%.....	59
Tabla 19: Briqueta para UCL – Asfalto Quimibond 0.7%.....	60
Tabla 20: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.7%.....	61
Tabla 21: Briqueta para UCL – Asfalto Quimibond 0.9%.....	63
Tabla 22: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.9%.....	64
Tabla 23: Briqueta para UCL – Asfalto Quimibond 1.1%.....	65
Tabla 24: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 1.1%.....	66
Tabla 25: Muestras a 1 día de sumergidas .....	70
Tabla 26: Muestras a 2 días de sumergidas .....	72



Tabla 27: Muestras a 3 días de sumergidas .....	74
Tabla 28: Muestras a 4 días de sumergidas .....	76
Tabla 29: Información descriptiva de Pérdida al Cántabro por Tipo de Aditivo.....	78
Tabla 30: Prueba de normalidad por Pérdida al Cántabro (%) .....	81
Tabla 31: Tabla de correlación bivariada por Pearson .....	87
Tabla 32: Información descriptiva de Porcentaje de Adherencia por Tipo de Aditivo .....	89
Tabla 33: Prueba de normalidad por adherencia (%).....	92
Tabla 34: Tabla de correlación bivariada por Spearman .....	98
Tabla 35: Intensidad de Correlación Bivariada.....	100
Tabla 36: Tabla de correlación bivariada por Spearman UCL - AB .....	101
Tabla 37: Resumen de pesos ensayo en Cántabro .....	102
Tabla 38: Resumen de porcentajes de método UCL.....	102
Tabla 39: Resumen general de porcentaje de adherencia .....	105
Tabla 40: Resumen de porcentajes de adherencia - % error .....	108
Tabla 41: Porcentajes de adherencia según diferencial por mejorador .....	109

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pavimento expuesto a saturación de agua constante - Huancayo .....	3
Figura 2: Fallas generadas por pérdida de adherencia y cohesión - Huancayo .....	3
Figura 3: Proceso de refinación del crudo de petróleo .....	14
Figura 4: Efectos de aditivo mejorador de adherencia .....	20
Figura 5: Diagrama de producción de asfaltos modificados con elastómeros .....	24
Figura 6: Profundidad de rodera por número de ejes .....	25
Figura 7: Granulometría de Arena Procesada.....	39
Figura 8: Granulometría de Arena Natural .....	41
Figura 9: Granulometría de Grava Chancada de ½” .....	43
Figura 10: Granulometría de Grava Chancada de ¾” .....	45
Figura 11: Granulometría de agregados según MAC – 2 .....	47
Figura 12: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Natural.....	52
Figura 13: Pérdidas al Cántabro – Briqueta con Polímeros.....	54
Figura 14: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.3% .....	57
Figura 15: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.5% .....	59
Figura 16: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.7% .....	62
Figura 17: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.9% .....	64
Figura 18: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 1.1% .....	67
Figura 19: Porcentajes de adherencia a 1 día de sumergidas.....	71
Figura 20: Porcentajes de adherencia a 2 días de sumergidas.....	73
Figura 21: Porcentajes de adherencia a 3 días de sumergidas.....	75
Figura 22: Porcentajes de adherencia a 2 días de sumergidas.....	77
Figura 23: Histograma para Muestra natural UCL.....	82
Figura 24: Histograma para Muestra con Polímeros UCL .....	83
Figura 25: Histograma para Muestra con 0.3% de Quimibond UCL.....	83

Figura 26: Histograma para Muestra con 0.5% de Quimibond UCL .....	84
Figura 27: Histograma para Muestra con 0.7% de Quimibond UCL .....	84
Figura 28: Histograma para Muestra con 0.9% de Quimibond UCL .....	85
Figura 29: Histograma para Muestra con 1.1% de Quimibond UCL .....	85
Figura 30: Diagrama de bigotes de Pérdida al Cántabro (%) .....	86
Figura 31: Porcentaje de Pérdida al Cántabro por tipo de aditivo .....	88
Figura 32: Histograma para Muestra natural AB .....	93
Figura 33: Histograma para Asfalto con Polímeros AB .....	93
Figura 34: Histograma para Quimibond al 0.3% AB .....	94
Figura 35: Histograma para Quimibond al 0.5% AB .....	94
Figura 36: Histograma para Quimibond al 0.7% AB .....	95
Figura 37: Histograma para Quimibond al 0.9% AB .....	95
Figura 38: Histograma para Quimibond al 1.1% AB .....	96
Figura 39: Diagrama de bigotes de Adherencia (%).....	97
Figura 40: Gráfica de Porcentaje de adherencia por tipo de aditivo .....	99
Figura 41: Resumen general de tipo de aditivo por número de revoluciones .....	103
Figura 42: Resumen general UCL por tipo de ligante.....	104
Figura 43: Resumen general por días de sumergido .....	106
Figura 44: Resumen general adherencia en bandeja por tipo de ligante.....	107
Figura 45: Equivalencia de porcentajes de adherencia .....	109

## RESUMEN

La presente tesis evalúa la correlación que existe entre el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) y el ensayo de adherencia en bandeja MTC-E520, debido a la presencia de humedad en la ciudad de Huancayo producto de las constantes lluvias y de los cambios bruscos de temperatura a lo largo del día, que generan pérdida de las propiedades adhesivas y cohesivas en el diseño de mezcla, haciendo que la durabilidad del pavimento sea afectada y, por consecuencia, la aparición temprana de fallas en el pavimento asfáltico. Es importante brindar una solución ante la presencia de estas condiciones climáticas, que usualmente son controladas a través de la aplicación de aditivos como el Quimibond y asfaltos modificados con polímeros que permitan mejorar las propiedades adhesivas de la mezcla asfáltica y, por consecuencia, aumentar la durabilidad del pavimento.

El fenómeno de saturación por agua de lluvia en la mezcla asfáltica y la variación brusca de temperatura acelera el proceso de oxidación y daña progresivamente al pavimento. Se tiene como objetivo medir la adherencia entre agregado asfáltico previamente y, en consecuencia, se analiza la correlación existente entre los cuantificadores de porcentaje de adherencia como enfoque principal de la presente investigación.

El asfalto modificado genera cambios en las propiedades del asfalto, entre estas actúa como mejorador de adherencia, encontrando un porcentaje de adherencia de 88% en comparación con la mezcla normal de 76%. El aditivo mejorador de adherencia Quimibond, trabajado a distintos porcentajes de adición (0.3%; 0.5%; 0.7%; 0.9% y 1.1%) en la mezcla asfáltica, presentó un aumento máximo de 92% en comparación con la mezcla convencional de 76%.

Finalmente, se obtuvo una correlación positiva significativa entre el Método Universal de Caracterización de Ligantes UCL y el ensayo de adherencia en bandeja MTC-E520.

**Palabras Clave:** Adhesión, mejorador de adherencia, asfalto modificado, Quimibond.

## ABSTRACT

This thesis evaluates the correlation that exists between the universal method of characterization of UCL Binders and the MTC-E520 tray adhesion test due to the presence of humidity in the city of Huancayo as a result of the constant rains and sudden changes in temperature at Throughout the day they generate loss of adhesive and cohesive properties in the mix design, causing the durability of the pavement to be affected and consequently the appearance of early failures in asphalt pavement. It is important to provide a solution to the presence of these climatic conditions, which are usually controlled through the application of additives such as Kimibom and polymer-modified asphalts that allow improving the adhesive properties of the asphalt mixture and consequently increasing the durability of the pavement.

The phenomenon of rainwater saturation in the asphalt mix and the abrupt temperature variation accelerates the oxidation process and progressively damages the pavement. The aim is to improve the adhesion between aggregate asphalt, previously analyzing the correlation between the adherence percentage quantifiers as the main focus of the present investigation.

The modified asphalt generates changes in the properties of the asphalt, among these it acts as an adhesion improver, finding an adhesion percentage of 88% compared to the normal mix of 76%. The Kimibom adhesion improving additive worked at different addition percentages (0.3%; 0.5%; 0.7%; 0.9% and 1.1%) in the asphalt mix showed a maximum increase of 92% compared to the conventional mix of 76%.

Finally, a significant positive correlation was obtained between the universal method of characterization of UCL binders and the MTC-E520 tray adherence test.

**Keywords:** Adhesion, adhesion improver, modified asphalt, Kimibom

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de sectores productivos y el incremento de la actividad económica se encuentra estrechamente ligado a la red vial disponible; por ello, el pavimento de una carretera tiene que cumplir ciertos parámetros para garantizar al usuario, principalmente, su seguridad y la más relevante condición de servicio; por ello, la selección de los materiales tales como los agregados y el cemento asfáltico juegan un papel importante para el diseño de mezcla. Existe una gran necesidad de mejorar las características de los pavimentos asfálticos ante su explotación para altas cargas y su durabilidad frente a su exposición a diversos climas; esto hace necesarias nuevas investigaciones en el campo de mezclas asfálticas para pavimentos.

Para el análisis, es necesario resaltar la función que cumple cada componente dentro de la mezcla asfáltica. Como uno de los componentes se tiene al cemento asfáltico que tiene como función específica la adhesión al agregado; este comportamiento se encuentra ligado al aumento o descenso de temperatura; por esto, se debe tener en cuenta el tipo de asfalto más ventajoso según el clima del lugar donde se implementará. Dentro del diseño de mezcla, muchas veces, se pasa por alto y no se presta atención a las propiedades físicas como son la durabilidad, adhesión y cohesión. Estas propiedades físicas indican la cantidad de tiempo que permanecerá el diseño de mezcla con sus características de diseño después de ser expuesto al proceso de degradación y desgaste. (Asociación de productores y pavimentadores asfálticos, 2014).

Los pavimentos expuestos a climas lluviosos tienden a presentar una mayor vulnerabilidad ante la pérdida de propiedades adhesivas y cohesivas. Los principales aspectos que se desean analizar en la presente investigación son los ensayos de determinación de porcentaje de adherencia en una mezcla bituminosa y su correlación para mejorar estas propiedades a través de aditivos mejoradores de adherencia.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

La adherencia en la mezcla asfáltica es uno de los pilares dentro del proceso de construcción vial que debe cumplir y garantizar las principales propiedades de las mezclas asfálticas. Se espera que trabaje en función a las exigencias en diseño y obedezca las propiedades del cemento asfáltico. Por otra parte, el pavimento puede presentar diversas fallas; estas se encuentran clasificadas por normativa, de acuerdo a la evaluación superficial y evaluación estructural, siendo estas predecesoras una de la otra. La adherencia, al no darle la importancia adecuada, puede ocasionar serios problemas en cuanto a funcionalidad, generando daños en la estructura del pavimento y afectando de manera importante su evaluación superficial, generando que el tiempo de vida útil de las vías se reduzca.

Una de las propiedades más estudiadas y desarrolladas debido a su mayor incidencia en la mezcla asfáltica y un adecuado comportamiento de las vías pavimentadas, según la Universidad Politécnica de Cataluña – España, es el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL), que ha sido desarrollado con la prioridad de su utilización en carreteras y tiene la finalidad de evaluar y caracterizar ligantes asfálticos que pretenden ser usados en mezclas asfálticas para capas de rodadura en carreteras, que sirven para

desarrollar un nuevo procedimiento que pretende medir la cohesión proporcionada por el ligante a una mezcla patrón y analizar la susceptibilidad con la temperatura, la acción del agua y el envejecimiento del ligante. (Pérez Jiménez, y otros, 2005). Asimismo, el ensayo de adherencia en bandeja MTC-E520, respaldado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, ampara que las mezclas bituminosas con el objeto de determinar el valor del porcentaje de adherencia entre un ligante bituminoso y agregado grueso a ser utilizado en un pavimento asfáltico y se cubre la determinación de un porcentaje en función a los requerimientos para los agregados gruesos exigidos en la MTC E-517, que determina la retención asfáltica en la superficie de agregado. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Actualmente, la presencia de lluvias genera un estado de saturación constante y un aumento en la humedad de la estructura del pavimento, siendo este mecanismo de deterioro de mezclas asfálticas que genera daño en el pavimento de forma que disminuye su resistencia mecánica y durabilidad, debido, principalmente, a su exposición al agua, lo que genera una pérdida de cohesión y adherencia. Este fenómeno, que genera el daño por humedad en la carpeta asfáltica, es complejo, debido a que involucra tanto los aspectos físicos, mecánicos, químicos y termodinámicos. En tal sentido, la presente tesis evalúa la adherencia en la mezcla asfáltica mediante el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) y su correlación con el ensayo de bandeja MTC – E520.

Finalmente, bajo estas consideraciones y como un indicador confiable mediante la correlación de resultados en porcentaje de adherencia (MTC E-520) y porcentaje de pérdida de masa al Cántabro (UCL), se obtiene un nuevo porcentaje según lo requerido en la MTC E-517, que determina la retención asfáltica en la superficie de agregado en función al Método Universal de Caracterización de Ligantes que presenta un conjunto de beneficios como son el contar con un resultado de adherencia en menor tiempo y un menor costo por ensayo. Logrando reducir el tiempo de obtención del porcentaje de adherencia y una reducción muy importante en los costos de ensayo en laboratorio para el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL).





Figura 1: Pavimento expuesto a saturación de agua constante - Huancayo

(Fuente: Diario Gestión)



Figura 2: Fallas generadas por pérdida de adherencia y cohesión - Huancayo

(Fuente: Propia)

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la relación entre el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) y el ensayo de bandeja MTC-E520 para determinar la adherencia agregado asfalto?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) determina el nivel de resistencia a la abrasión para comprobar la adherencia agregado asfalto?
- ¿Qué porcentaje de partículas manchadas permiten demostrar la adherencia de agregado asfalto de la muestra empleada a través del ensayo de bandeja MTC-E520?
- ¿Cuál es el resultado de correlacionar el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) y el ensayo de bandeja MTC-E520 para evaluar la adherencia agregado asfalto?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar la relación entre el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) y el ensayo de bandeja MTC-E520 para determinar la adherencia agregado asfalto.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar mediante el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) el nivel de resistencia a la abrasión para comprobar la adherencia agregado asfalto.

- Determinar, a través del ensayo de bandeja MTC-E520, el porcentaje de partículas manchadas con el fin de demostrar la adherencia agregado asfalto en la muestra empleada.
- Obtener una expresión que permita correlacionar los resultados del Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) y el ensayo de bandeja MTC-E520 para evaluar la adherencia agregado asfalto

## **1.4. Justificación e importancia**

### **1.4.1. Justificación práctica**

La presente investigación se realiza con el propósito de obtener información útil entre la correlación del Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) y el ensayo de adherencia en bandeja MTC-E520, que permite demostrar y comprender el comportamiento de la adherencia entre el agregado y el ligante en pavimentos asfálticos, exponiendo los beneficios en costos y tiempo del Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL), brindando así una solución al problema planteado en la presente tesis.

### **1.4.2. Justificación metodológica**

El análisis y el efecto que se obtiene en la cohesión y adherencia en el comportamiento de las mezclas asfálticas, mediante dos ensayos proyectados en laboratorio, evidencia un nuevo procedimiento para la aplicación de ensayos propuestos por el MTC-E520 de adherencia en bandeja y el Ensayo Universal de Caracterización de Ligantes (UCL), propuesto y estudiado por la Universidad de Cataluña – España.

### **1.4.3. Importancia**

La importancia del presente estudio radica en la búsqueda de la correlación del ensayo de adherencia en bandeja y el Método Universal de Caracterización de Ligantes; de esta manera, se implementaría y validaría los resultados obtenidos, para de este modo lograr su aplicación en la red vial de Huancayo, buscando mejorar la serviciabilidad de las carreteras que, a largo plazo, se traduce en un impacto positivo en la economía de la ciudad por la disminución en gastos por reparación vial.

## **1.5. Delimitación de la investigación**

### **1.5.1. Delimitación espacial**

El presente estudio se desarrollará en el distrito de Huancayo, por la característica principal que tiene esta ciudad: las constantes lluvias que generan un impacto en la adherencia y cohesión de las mezclas asfálticas y, de esta manera, aportar, mediante los ensayos en laboratorio, para determinar su correlación en búsqueda de los porcentajes de adherencia.

### **1.5.2. Delimitación temporal**

El presente estudio pretende correlacionar los resultados de dos ensayos con un respectivo procedimiento propio de cada ensayo para lo cual es importante tomar el tiempo recomendado según ambas metodologías y, de este modo, obtener resultados fidedignos que se estiman aproximadamente en 3 meses para su ejecución.

## **1.6. Hipótesis y descripción de variables**

### **1.6.1. Hipótesis general**

El Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) se relaciona con el ensayo de bandeja MTC-E520 para determinar la adherencia agregado asfalto.

### **1.6.2. Hipótesis específicas**

- El Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) determina el nivel de resistencia a la abrasión para comprobar la adherencia agregado asfalto.
- El ensayo de bandeja MTC-E520 obtiene un porcentaje superior al 70% de partículas manchadas, demostrando la adherencia agregado asfalto de la muestra empleada.
- Una expresión correlaciona los resultados del Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) y el ensayo de bandeja MTC-E520 para evaluar la adherencia agregado asfalto.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del problema

Las investigaciones y publicaciones en relación a este estudio con mayor aporte y argumentos sólidos son las siguientes:

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales

Según (Morante Moscol, 2017), en la tesis titulada: ***“Evaluación de la adherencia entre la concha de abanico y el ligante asfáltico”***. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad de Piura.

La investigación busca evaluar la adherencia entre la concha de abanico y el ligante asfáltico mediante los ensayos Riedel Weber (MTC E- 220) y adherencia en bandeja (MTC E-520).

Los resultados mostraron que la adhesividad de las valvas de las conchas de abanico es muy favorable en comparación con áridos locales (canteras La Débora y Chulucanas). La principal razón de esa diferencia es la naturaleza calcárea de la valva en comparación con la naturaleza silíceo de los agregados naturales. Esto explica la poca durabilidad de las mezclas asfálticas en la región y la necesidad de aditivos mejoradores de adherencia, teniendo la posibilidad de continuar evaluando las valvas como agregados en las diversas mezclas asfálticas para las pavimentaciones.

Según (Estrada Escalante, 2017), en la tesis de posgrado titulada: ***“Estudio Y Analisis De Desempeño De Mezcla Asfáltica Convencional Pen 85-100 Plus Y Mezcla Asfáltica Modificada Con Polímero Tipo Sbs Pg 70-28”***. Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil.

La investigación tiene como objetivo analizar el desempeño de la mezcla asfáltica convencional PEN 85 -100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70 – 28, teniendo en cuenta que en la ciudad de Cusco es convencional emplear el asfalto PEN 85-100.

Tiene como conclusión que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 - 28 demostró tener un mejor comportamiento mecánico y mucho mayor desempeño que la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, lo que fue demostrado a través de los resultados de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas (estabilidad y flujo), donde la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 - 28 presenta una estabilidad superior a la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus. (Estrada Escalante, 2017)

Según (Huamán Guerrero, y otros, 2012), en la tesis de posgrado titulada: **“La Deformación Permanente En Las Mezclas Asfálticas Y El Consecuente Deterioro De Los Pavimentos Asfálticos En El Perú”**. Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería de Transportes, LIMA – PERÚ, 2011.

La investigación busca determinar las causas más populares que ocasionan fallas en los pavimentos asfálticos e indagar qué estudios se deben realizar a la mezcla asfáltica para que se pueda disminuir efectos dañinos.

Tiene como conclusión la investigación de utilizar los criterios mínimos y máximos acerca del contenido de vacíos en la mezcla y asegurarlos tanto en la compactación de los especímenes en la fase de construcción del pavimento.

### 2.1.2. Antecedentes internacionales

Según (Urrego Aguilera, y otros, 2016), en la tesis **“Determinación De La Adherencia En Mezclas Asfálticas Elaboradas Con Asfaltos Convencionales Y Materiales De Peña Y Río”**, Bogotá – Colombia. Edward Camilo Urrego Aguilera y Cristian Camilo Ruiz Ramírez, alumnos de la Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia.

El propósito de la investigación fue evaluar el porcentaje de resistencia conservada como requisito de verificación de diseño de mezclas asfálticas relacionado con el valor porcentaje de adherencia mínimo exigido por la norma. (Urrego Aguilera, y otros, 2016)

Se evalúa el valor índice de adhesividad Riedel Weber para la combinación de los agregados de río y peña. En este ensayo, se buscó evaluar el comportamiento en la combinación de estos agregados después de realizar el ensayo. Posteriormente, se obtuvieron los valores en porcentaje de resistencia conservada o resistencia retenida por el ensayo tracción indirecta para los diferentes agregados pétreos; paralelo a esto se relacionan estos porcentajes con el mínimo exigido por el INVIAS en su artículo de especificaciones generales requeridas para la aprobación del diseño de mezclas asfálticas; también, en los resultados del ensayo Riedel Weber, se obtiene los valores de adhesividad; en estos radica la presente investigación. La información obtenida con los resultados logró trascender el alcance del proyecto con valores de adhesividad altos y porcentajes de resistencia conservada por encima de los permisibles por el Instituto Nacional de Vías. (Urrego Aguilera, y otros, 2016)

Según (Ontiveros Rojas, 2013), en la tesis de posgrado titulada: **“Evaluación de la adherencia entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones asfálticas”**. Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería Civil – Geotecnia.



La investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de adherencia de distintas emulsiones asfálticas que se emplean como material de liga entre las capas de pavimento. (Ontiveros Rojas, 2013)

Esta tesis de investigación evaluó distintas emulsiones asfálticas (ECR-1P, ECR 60-90, ECR60-110, ECR-2P, ECR65-90, ECS60-90 y Termoadherente), variando su contenido de asfalto y dosificación. Para ello, se realizó el ensayo de corte directo LCB regido por la norma española NLT- 328/08.

Según (Caicedo, 2014), en la tesis de pregrado titulada: ***“Estudio de la Susceptibilidad al Daño por Humedad de una Mezcla Asfáltica para Rodadura utilizando Asfalto 80-100 y su Relación con el Desempeño de Campo”***, determinó como objetivo encontrar la relación del daño por humedad de las mezclas asfálticas realizadas en laboratorio con su desempeño en campo.

Se obtuvo los resultados siguientes: en relación a las diferentes pruebas ejecutadas, se llegó a saber que el ensayo TSR no pudo emular todas las condiciones encontradas en el campo, puesto que no considera el tráfico al cual se dan a conocer las mezclas asfálticas. Los ensayos de módulo cambiante, ahuellamiento y fatiga no integran los ensayos de endurecimiento, por lo cual sería visible la consideración de utilizar un procedimiento que integre todas estas propiedades. Finalmente, y basado en los resultados del estudio, se sugiere continuar corriendo indagaciones en este campo de aplicación, ya que hay múltiples causantes y condiciones que afectan el estado de las mezclas asfálticas sin tener la posibilidad de integrar todos los estudios complementarios.

Por último, se fija como conclusiones, de acuerdo a la revisión literaria desarrollada y al aporte de esta investigación, que las mezclas asfálticas, a nivel nacional, presentan un daño prematuro con respecto al tiempo de diseño. Se debe evaluar por qué, a pesar de

que los materiales y el producto final cumplen la normativa colombiana, presentan una corta vida de servicio.

## **2.2. Bases teóricas**

En el desarrollo de la presente investigación, es necesario fundamentar los siguientes conceptos teóricos, necesarios para la interpretación de la realidad problemática y el análisis de los resultados obtenidos.

### **2.2.1. Asfalto**

#### **2.2.1.1. Generalidades de los asfaltos**

Dentro del nombre genérico de ligantes asfálticos, se tienen materiales de diferente procedencia, los asfaltos y los alquitranes, que tienen parecida apariencia y una secuencia de características aglomerantes. Los dos son materiales termoplásticos, viscosos, su color es negro y están formados por una mezcla complicada de hidrocarburos. (Estrada Escalante, 2017)

En la actualidad, en rutas, se utiliza el asfalto que puede ser proveniente de la naturaleza (rocas o lagos asfálticos) o artificial, el cual es un producto de la refinación del petróleo crudo mostrado en la Figura No. 3, que ilustra el desarrollo de destilación para la obtención del ligante en refinería. Dadas sus características de rigidez, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad, tiene una amplia variedad de aplicaciones en la creación de pavimentos asfálticos como son mezclas asfálticas, bases estabilizadas, riegos de sello, emulsiones asfálticas, riegos de liga, riegos de impregnación, etc.

El empleo de asfaltos naturales tiene una limitada utilización, aunque son, en la mayoría de los casos, de increíble calidad. Con la integración de esta clase de asfaltos a las mezclas asfálticas, se logran crear pavimentos muy resistentes a las deformaciones plásticas y, a la vez, tienen la posibilidad de una alta elasticidad.

La mayor parte de los asfaltos son semisólidos o rígidos a temperatura ambiente, su manipulación necesita un previo calentamiento, con la intención de disminuir su rigidez a un valor admisible para la operación deseada, así sea bombeo (en el manejo), la cubierta de agregados, riegos asfálticos, producción de mezclas asfálticas en ardiente, etc.

El calentamiento se ejecuta en depósitos apropiados, convenientemente protegidos y aislados en camiones cisterna o en camiones con tanques regadores, con equipos de serpentines de aceite, quemadores o con bombas en circuito cerrado para evadir sobrecalentamientos.

#### **2.2.1.2. Definición de asfaltos**

ASTM (American Society for Testing and Materials) lo define como un material cementante de color oscuro y de consistencia variable, cuya rigidez depende de la temperatura en que se encuentre. A temperatura ambiente, el asfalto se encuentra en estado sólido o semisólido, y, cuando su temperatura se eleva, se vuelve líquido. Esta condición permite que los agregados sean cubiertos completamente durante la mezcla. (Universidad Nacional de Ingeniería, 2006)

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, a altas temperaturas (135°C) es poco rígido, condición que permite que se adhiera fácilmente a las partículas del agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento que une los agregados en mezclas en caliente. (Universidad Nacional de Ingeniería, 2006)

Los asfaltos son una mezcla complicada de hidrocarburos de peso molecular alto, que se muestran con apariencia de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro. Son productos de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido que queda cuando se hayan extraído los elementos más rápidos y volátiles del petróleo. (Hernández Martínez, 2014)

Aunque el asfalto puede considerarse como un desecho, además puede verse como un producto de alta calidad, sobre el que se fundamenta parte importante de la creación de los firmes flexibles, catalogados además firmes asfálticos o firmes bituminosos, en virtud de este dúctil, maleable y tenaz material que los constituye y caracteriza. (Hernández Martínez, 2014)

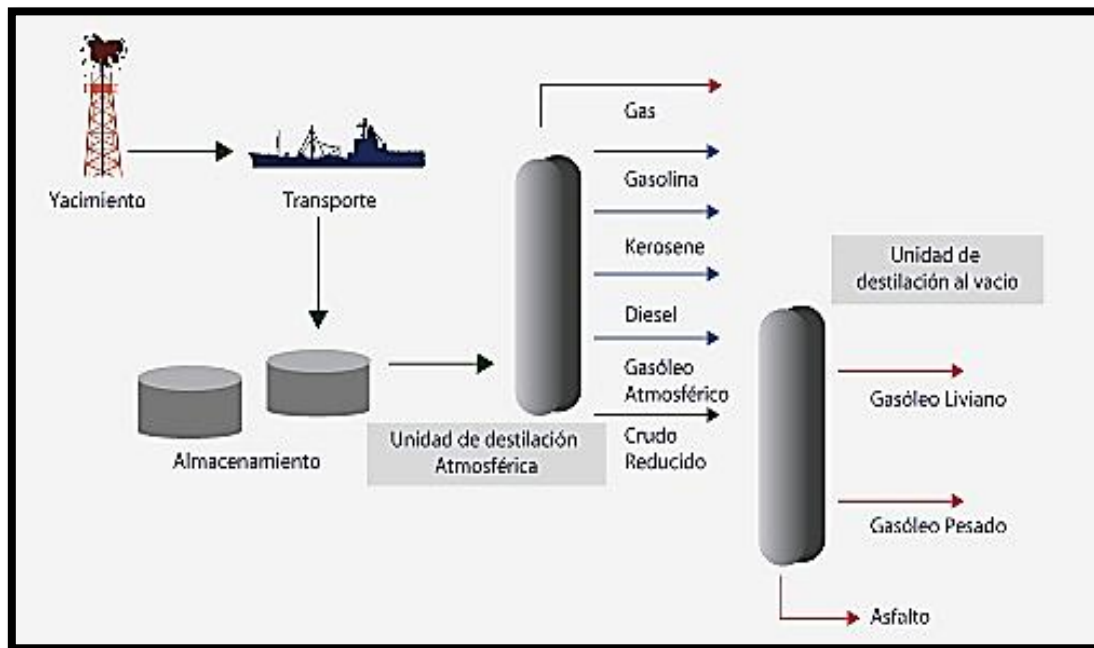


Figura 3: Proceso de refinación del crudo de petróleo  
(Fuente: Manual de Método Marshall -2016)

### 2.2.2. Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL)

Se tiene actualmente metodologías de caracterización y evaluación de desempeño. En la mezcla asfáltica, el uso de equipos muy costosos, con procesos de análisis complejos y con una demanda de tiempo amplio es común. En este caso, en referencia a la metodología de Superpave, en donde se realiza la correcta caracterización de la mezcla. Por ello, se busca plantear esta metodología con la finalidad de evaluar y caracterizar ligantes asfálticos basados en el ensayo de Cántabro de la norma española (NLT – 352/86), apoyado en la

normativa para el ensayo en la máquina de los Ángeles (NLT – 149/91).

#### **2.2.2.1. Método UCL**

Propuesto y desarrollado con el fin de evaluar y caracterizar ligantes asfálticos que van a ser usados en mezclas asfálticas para capas de rodadura de carreteras. Las propiedades estudiadas son las siguientes:

- El envejecimiento producido por los efectos del entorno (aire y calor) genera oxidación y envejecimiento de los ligantes, solidificando la mezcla.
- La cohesión o el poder aglutinante de la mezcla.
- La adhesividad que se refiere a la adherencia ligante agregado bajo el efecto del agua.
- La susceptibilidad térmica cuando los ligantes asfálticos son materiales visco-elásticos, sus propiedades varían con la temperatura y frecuencia de carga.

#### **2.2.2.2. Ensayo Cántabro (NLT – 352/ 86)**

Este ensayo logra valorar indirectamente la cohesión, enlazamiento de las partículas que la componen, también la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante la influencia abrasiva y de succión originados por el tráfico.

Para la realización del ensayo se sigue el siguiente procedimiento:

- Se halla la masa de cada probeta con 0.1 g de aproximación y se anota el valor obtenido P1.
- La probeta se introduce a la máquina de los Ángeles. La máquina de los Ángeles debe estar limpia y sin las cargas abrasivas usadas comúnmente, luego se enciende el motor haciendo girar el tambor a la misma velocidad recomendada en la norma NLT – 149 de 3.1 a 3.5 rad/s, durante 100, 200 y 300 vueltas.

- Finalmente, se retira la probeta y se pesa otra vez con la misma aproximación y registrando el dato de P2.
- El resultado se calcula según la pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, a través de la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

Pc = Valor de la pérdida por desgaste en porcentaje

P1 = Masa inicial tomada de la probeta en gramos

P2 = Masa final tomada de la probeta en gramos

### 2.2.2.3. Mezcla Patrón

De acuerdo a los estudios y ensayos realizados por la Universidad Politécnica de Cataluña, se debe fabricar una mezcla patrón a partir de agregados sanos y limpios con un desgaste de los Ángeles inferior al 25%, y de una absorción inferior al 1,5%. Se han utilizado dos granulometrías abiertas de diferente tamaño:

Tabla 1: Porcentaje Pasante de Mezcla Patrón

Malla (mm)	Porcentaje Pasante (%)	
	Granulometría T - 5	Granulometría T - 10
12.5	100	100
10.0	100	82
5.0	100	38
2.5	80	6
0.63	0	0

Fuente: Referencias (1), (2) y (3)

Es recomendable usar la granulometría T – 5, por ser la que resulta con menores dispersiones durante el ensayo cántabro y proporciona mayor porcentaje de vacíos en la mezcla, esto hace más fácil que circule el aire por la probeta en el ensayo de oxidación.

La probeta se elabora siguiendo el procedimiento y normativa de Marshall, pero utilizando en la compactación solamente 50 golpes por cara. El peso del agregado para la elaboración de la probeta suele ser de 1000 gramos. El porcentaje del ligante asfáltico es de 4,5 % PTA (peso total de agregado).

Las condiciones del ensayo a estudiar varían según la variable analizada; es decir, la susceptibilidad térmica, adhesividad o envejecimiento.

Si se pretende estudiar la susceptibilidad térmica, las probetas se tienen que mantener en el horno o congelador a la temperatura deseada (varía desde -30 °C a 60 °C), durante el tiempo necesario para que las probetas tomen la temperatura de ensayo, tomando como recomendación realizar el ensayo en una habitación a 25 °C y tomando la máxima diligencia en la máquina de los Ángeles.

Para analizar la adhesividad, las probetas tienen que ensayarse en la máquina de los Ángeles, en una temperatura de 25 °C, debiendo transcurrir un día desde que se retira del baño María (las condiciones de inmersión de las probetas pueden variar según las necesidades del estudio, pero se recomiendan 4 días a 49 °C o 1 día a 60 °C) y su ensayo.

Por último, si se desea analizar el envejecimiento, se tiene que someter a las probetas a envejecimiento a 163 °C durante distintos periodos de tiempo (5, 10, 15 y 20 horas), y luego se ensayan en la máquina de los Ángeles a una temperatura de 25 °C.

### **2.2.3. Adherencia en Bandeja MTC E 520**

El ensayo tiene como objetivo determinar el porcentaje de adherencia entre un ligante bituminoso y una muestra representativa de la grava que se va a emplear en un pavimento asfáltico.

Se usa como referencia la normativa I.N.V. E – 740 – 07.

#### **2.2.3.1. Procedimiento de ensayo MTC E 520**

- Se calienta el ligante a la temperatura de distribución (125 °C) y se vierte en la bandeja en cantidad suficiente para obtener una película de un espesor de 1,5 mm a 2 mm.
- Enfriar hasta 50 °C – 60 °C.
- Se coloca, una por una, las cincuenta partículas (las cuales deben estar secas al horno) en la película de asfalto. Se deja enfriar por media hora y después se coloca la bandeja en un horno a 60 °C durante 24 horas.
- Se agrega agua hasta cubrir las piedras y se deja la bandeja a temperatura ambiente por cuatro días.
- Se quita las partículas, una por una, mediante un movimiento vertical y se evalúa mediante un análisis visual el porcentaje de la superficie de cada partícula que aún tiene asfalto pegado.

#### **2.2.4. Asfalto modificado con polímeros**

El asfalto modificado es aquel que a través de un proceso de mezclado a altas temperaturas y un esfuerzo cortante se le incorporan polímeros con el objetivo de formar una “red” tridimensional que atrapa dentro de su composición a las moléculas de asfalto. La red formada absorbe gran parte de los esfuerzos a los que se vería sometido naturalmente el asfalto en un pavimento.

Algunos cementos de asfalto requieren modificaciones para cumplir con las especificaciones. La modificación del cemento asfáltico se ha practicado durante más de 50 años, pero ha recibido mayor atención en la última década. Existen numerosos aditivos aglutinantes disponibles en el mercado hoy en día. Los beneficios del cemento de



asfalto modificado solo se pueden obtener mediante una selección juiciosa de los modificadores. No todos los modificadores son apropiados para todas las aplicaciones. En general, el cemento asfáltico debe modificarse para lograr los siguientes tipos de mejoras (Roberts et al., 1996):

- Menor rigidez (o viscosidad) a las altas temperaturas asociadas con la construcción. Facilita el bombeo del ligante asfáltico líquido, así como la mezcla y compactación de la mezcla asfáltica caliente.
- Mayor rigidez a altas temperaturas de servicio. Esto reducirá la formación de surcos y empujones.
- Baja rigidez y propiedades de relajación más rápidas a bajas temperaturas de servicio. Esto reducirá el craqueo térmico.
- Mayor adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado en presencia de humedad. Esto reducirá la probabilidad de desnudarse. La Figura 4 muestra dos muestras agregadas de la misma fuente después de haber sido recubiertas con aglomerante asfáltico. El aglutinante de asfalto usado con la muestra de la izquierda no contiene aditivo mejorador de adherencia, lo que resultó en casi ninguna adhesión de aglomerante de asfalto agregado. El aglomerante de asfalto utilizado con la muestra de la derecha contiene un 0,5% (en peso de aglomerante de asfalto) de un aditivo mejorador de adherencia, lo que resulta en una buena adhesión del aglomerante de asfalto y agregados.



Figura 4: Efectos de aditivo mejorador de adherencia

Fuente: Technologyc Road Magazine

Además del cemento asfáltico, otras tres formas de asfalto se usan de manera prominente en la industria de la pavimentación:

- Asfalto emulsionado. El asfalto emulsionado es una suspensión de pequeños glóbulos de cemento asfáltico en agua, que es asistido por un agente emulsionante (como el jabón). Las emulsiones tienen viscosidades más bajas que el asfalto puro (plano) y, por lo tanto, se pueden usar en aplicaciones de baja temperatura. Después de aplicar una emulsión, el agua se evapora y solo queda el cemento asfáltico. Las emulsiones se utilizan a menudo como abrigos principales y abrigos de tachuela.
- Reducir el asfalto. Una reducción de asfalto es una combinación de cemento asfáltico y disolvente de petróleo. Al igual que las emulsiones, los recortes se utilizan porque su viscosidad es menor que la del asfalto puro y, por lo tanto, se puede usar en aplicaciones de baja temperatura. Después de aplicar una reducción, el solvente se evapora y solo queda el cemento asfáltico. Las reducciones son mucho menos comunes hoy en día porque el solvente del petróleo es más caro que el agua y puede

ser una preocupación ambiental. Los recortes se utilizan normalmente como abrigos primarios y abrigos de tachuela.

- **Asfalto espumado.** El asfalto espumado se forma combinando aglutinante de asfalto caliente con pequeñas cantidades de agua fría. Cuando el agua fría entra en contacto con el aglutinante de asfalto caliente, se convierte en vapor que queda atrapado en pequeñas burbujas de asfalto (World Highways, 2001).

El resultado es una espuma de asfalto de gran volumen y película delgada. Este estado de espuma de alto volumen solo dura unos minutos, después de lo cual el aglutinante de asfalto recupera sus propiedades originales. El asfalto espumado se puede usar como un aglutinante en la estabilización del curso de suelo o base, y a menudo se usa como agente estabilizante en el reciclaje en lugar frío.

#### **2.2.4.1. Compatibilidad Polímero - Asfalto**

Se puede decir que un asfalto y un polímero son compatibles solo cuando pueden combinarse sin que exista una separación de fases y no se llegue a una rotura en el equilibrio coloidal del ligante. La compatibilidad dependerá estrictamente del tipo de polímero que se trate, de la composición química del asfalto y del proceso empleado para su elaboración.

Como polímeros idóneos para mejorar las propiedades de los asfaltos en el uso vial, se tienen a aquellos que cumplan con las siguientes características en su composición:

- Cadena general lo suficientemente larga.
- Baja polaridad, esto facilita la compatibilidad asfáltica.
- Un peso molecular elevado sin exceder su valor; de esta manera, se reduce el riesgo por excesiva viscosidad y problemas de dispersión.

- Una baja temperatura de transición vítrea, para, de esta forma, solucionar los problemas de deformaciones tempranas a bajas temperaturas.

Como indicación de que existe una compatibilidad entre el ligante y el polímero es la necesaria existencia de una estabilidad adecuada de la mezcla utilizando el método de Zenke. Este método consiste, en resumen, en atestar un tubo de pasta de dientes con el asfalto modificado, manteniéndolo en reposo durante un número específico de días bajo una temperatura elevada, luego medir las propiedades de la parte inferior y superior del tubo cuando se enfríe. Si en ambos lados las propiedades son iguales, entonces se puede afirmar que el asfalto o ligante empleado es compatible con el polímero elegido.

Por otro lado, este ensayo es adecuado, principalmente, para determinar estabildades al almacenamiento y muestra limitaciones cuando se trata de establecer si una mezcla de asfalto modificado es o no compatible. El que un asfalto modificado sea inestable al almacenamiento no quiere decir que exista incompatibilidad entre el polímero elegido y el ligante. Por el contrario, si un asfalto modificado es estable al almacenamiento, se supone que se trata de un sistema compatible.

La afinidad en las mezclas de asfaltos y polímeros se puede medir más pertinentemente por Calorimetría Diferencial de Barrido, ya que, debido a la existencia de compatibilidad, se determina gracias a la aproximación de los valores de las temperaturas de transición vítrea. Adicionalmente, algunos estudios aseveran que los polímeros cuyos parámetros de solubilidad de Hildebrand se encuentran entre los rangos de 7.6 y 8.6 son más compatibles con los ligantes. A continuación, se muestran algunos ejemplos:

- Copolímero de acetato y de etileno de vinilo, EVA 7,6
- Copolímero de propileno, etileno y un dieno, EPDM 8,0
- Copolímero de butadieno y estireno, SBR, 8,3

- Polisopreno, IR: 8,1
- Poliolefinas: 7,8
- Polibutadieno, BR: 8,6

Se tiene que los polímeros con parámetros de solubilidad de alrededor de 7.6 se mezclan bien con el ligante rico en saturados; en tanto que los que se encuentran aproximadamente en 8.6 requieren ligantes con un elevado nivel de partículas aromáticas.

En conclusión, la necesidad de la existencia de compatibilidad entre el polímero y el ligante es uno de los factores más primordiales, objeto de investigación para obtener la mezcla idónea; sin embargo, la compatibilidad también puede ser corregida al incorporar distintos tipos de aditivos, manteniendo una agitación continua.

#### **2.2.4.2. Preparación de mezclas con asfalto modificado**

Existen tres formas recomendadas para incorporar el polímero en el asfalto convencional:

- La producción de asfalto modificado en una fábrica con local separado y transporte de producto final hacia una planta de asfalto.
- La preparación de asfalto modificado con el uso de un mezclador auxiliar en una planta de asfalto.
- La incorporación del polímero directamente en la composición de mezcla asfáltica durante el proceso de mezcla de asfalto y los agregados.

La producción masiva en fábrica, que se encuentra separada del lugar de operación, significa un mayor control en la calidad y mejor dispersión del polímero en el asfalto.

Como segunda alternativa, se tiene el garantizar una mejor incorporación directa del polímero durante el proceso de mezcla.

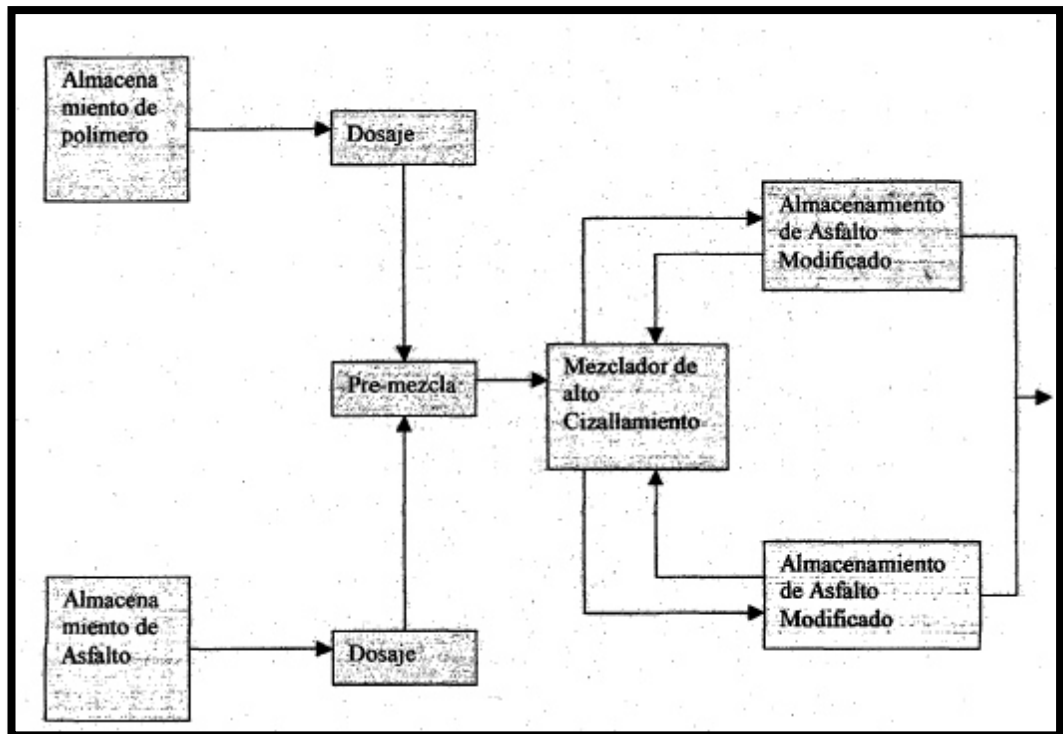


Figura 5: Diagrama de producción de asfaltos modificados con elastómeros

Fuente: “Utilización de aditivos polímeros en Pavimentos Flexibles”

### 2.2.4.3. Objetivos

Los objetivos de la modificación de asfaltos con polímeros son los siguientes:

- Contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas y, de esta manera, reducir las deformaciones permanentes (como el ahuellamiento) de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando así su rigidez.
- Disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad.
- Finalmente, también se permite disponer de un asfalto de mejores propiedades adhesivas y de mayor durabilidad.

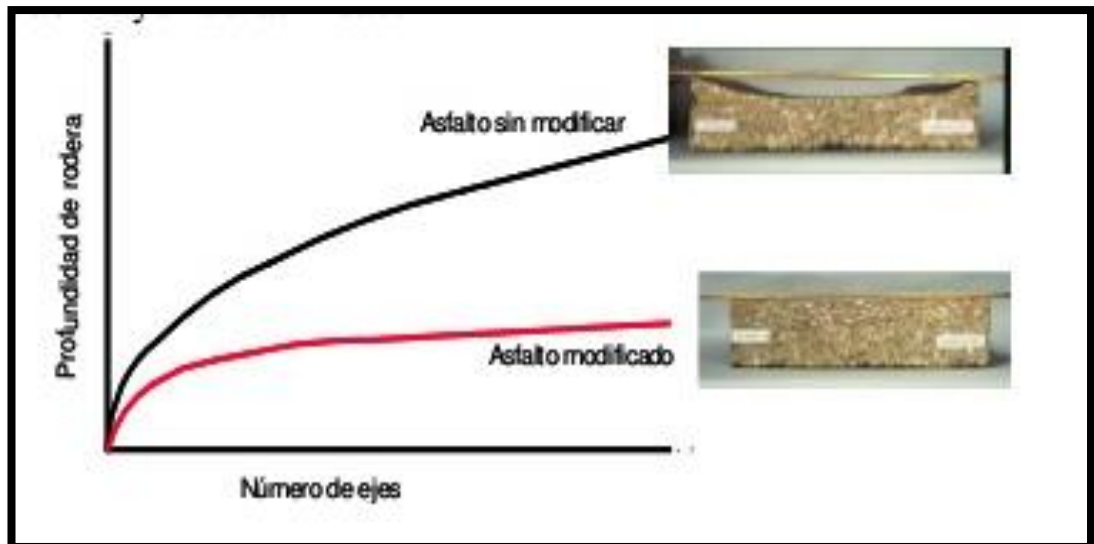


Figura 6: Profundidad de rodadura por número de ejes

Fuente: TDM Asfaltos especificaciones de asfalto modificado con polímeros

### 2.2.5. Quimibond

Es un aditivo líquido que contiene derivados del amoníaco y ayuda a que el agregado y el asfalto trabajen en conjunto de manera adecuada, impidiendo que se formen bolsas de agua que puedan afectar la adherencia entre el cemento asfáltico y el agregado. La función de este aditivo es que la mezcla asfáltica se desempeñe de mejor manera y, debido a sus compuestos, también permite que el pavimento tenga una cohesión óptima durante un largo tiempo. El empleo de este aditivo es sencillo, ya que no debe someterse a altas temperaturas y así se evita la producción de gases tóxicos.

Se puede aplicar en asfalto en caliente para una buena adherencia entre los agregados y el concreto asfáltico, en mezclas frías también mejora la adherencia, mejora el comportamiento de los riegos de impregnación y de los riegos de liga. Pero se recomienda que se emplee en ciertas situaciones, como cuando los agregados a emplear son difíciles de manejar, cuando hay un ambiente con alta humedad

y cuando los agregados poseen altos porcentajes de presencia de sílice.

Los beneficios que tiene este aditivo es que es fácil de emplear y dosificar; ya que es líquido, no va a afectar a los operarios, pues no posee algún olor tóxico y que alarga la vida útil del asfalto.

El empleo de este aditivo es muy sencillo, ya que no necesita agitarse o calentarse. La dosificación varía del 0.3 al 0.8% del peso del cemento asfáltico y se aplica por inyección a la carga del asfalto o mediante el tanque de almacenaje.

### 2.2.5.1. Información técnica

Tabla 2: Información Técnica Quimibond

<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>CONTENIDO</b>
<b>Color :</b>	Azul
<b>Contenido de aminas:</b>	400 – 600 (563 aprox. por cilindro)
<b>Propiedades físicas (T° = 25 °C):</b>	Líquido
<b>Viscosidad (T° = 25°C):</b>	2000 – 6500 cs
<b>Densidad:</b>	0.93 – 0.97 kh/l ( 0.95kg/l en promedio)
<b>Reacción a la gasolina:</b>	Insoluble
<b>Reacción al agua:</b>	Soluble
<b>Reacción al alcohol Isopropílico:</b>	Soluble

Fuente: Química Suiza SA



### 2.3. Definición de términos básicos

- Asfalto.

Es un material viscoso, pegajoso y de color plomo (gris oscuro). Se usa mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos. En las mezclas asfálticas, es utilizado como aglomerante para la creación de rutas, autovías o autopistas. Se encuentra en el petróleo crudo. El asfalto es una sustancia que constituye la parte más pesada del petróleo crudo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013 pág. 24)

- Mezcla Asfáltica.

Radica en un añadido de asfalto y materiales minerales (mezcla de numerosos tamaños de áridos y finos) que se intercalan juntos, se alargan en capas y se compactan. Gracias a sus características, es el material más habitual en los proyectos de creación para firmes de rutas, aeropuertos y aparcamientos, y gracias a sus buenas características como impermeabilizante, además, se utiliza en el núcleo de algunas presas como impermeabilizante. (Bautista Sánchez, 2012 pág. 37)

- Adhesión y Cohesión.

Adhesión es la aptitud del asfalto para adherirse al añadido en la mezcla de pavimento. Cohesión es la aptitud del asfalto de sostener firmemente, en su puesto, las partículas de añadido en el pavimento terminado. (Bautista Sánchez, 2012 pág. 14)

- Impermeabilidad.

Es la resistencia al paso de aire y agua al interior del pavimento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

- Estabilidad.

La seguridad de un asfalto es su aptitud de soportar desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento permanente tiene la capacidad de sostener su forma y lisura bajo cargas repetidas; un pavimento desequilibrado lleva a cabo ahuellamientos (canales),

ondulaciones (corrugación) y otras señales que indican cambios en la mezcla. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013 pág. 23)

- Saturación vehicular.

Tiene relación con la condición de un fluido vehicular urbano que se ve sobrepasado debido al exceso de demanda de las fuentes, produciendo incrementos en la época de viaje y vías saturadas. Este fenómeno se produce frecuentemente en las horas punta u horas pico, y resulta frustrante para los automovilistas, debido a que resulta en pérdidas de tiempo y consumo elevado de combustible. (Caicedo, 2014 pág. 47)

- Asfalto

Un material cementante, entre carmelita oscuro y negro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que se muestran en la naturaleza o se consiguen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones cambiantes, de la mayor parte de los petróleos crudos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013 pág. 34).

- Estructura del pavimento

La constitución del pavimento en sus capas compuestas de mezclas de asfalto y añadido, o con una conjunción de capas de asfalto y capas de añadido sin tratar, ubicadas sobre una sub rasante tratada o sin tratar.

- Quimibond

Las aminas grasas se fabrican a partir de los ácidos grasos que tienden a reaccionar fácilmente con amoníaco para formar nitrilos de cadena larga que se hidrogenan y, de esta manera, permiten obtenerlas. Los usos principales de estos son agentes de actividad superficial, como emulsificantes, inhibidores de corrosión y modificadores de viscosidad. (Kirk, 2007)

- **Asfalto modificado**

El asfalto modificado consiste en aquel que, mediante un proceso de mezclado a altas temperaturas y esfuerzos cortantes, se le incorpora un aditivo con el objetivo de formar una red tridimensional en su estructura química, simulando las cargas a las que se ve sometido. (López Laberian, 2014)

- **Antistripping**

Es un agente basado en una formulación estadounidense. Es un aditivo para aumentar la vida útil prolongada de los caminos bituminosos. Debido a sus propiedades únicas, ayuda a crear una fuerte unión entre el asfalto y el agregado, lo que evita la penetración del agua, evitando así la formación de pozos y un mayor deterioro de las carreteras. (Yuva B, 2014)

- **Erosión**

Es el desgaste o deterioro que se produce en la superficie de un cuerpo por acción de agentes externos, como el viento o el agua, o por la fricción continua de otros cuerpos. (Pérez Porto, 2009)

- **MAC**

Mezclas asfálticas en caliente se definen como una combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante. Las cantidades relativas de agregados y de material ligante determinan las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla. (Zúñiga Rosa, 2015).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Métodos y alcance de la investigación**

##### **3.1.1. Método de investigación**

Según (Ramón Ruiz, 2007), el método científico consiste en un proceso de explicar fenómenos mediante la observación, establecer la relación entre hechos que permitan obtener nuevos conocimientos.

En la presente investigación, se busca profundizar los conocimientos adquiridos a través de ensayos en laboratorio que, mediante la deducción, permitan controlar las variables bajo un rigor racional que permita comprobar los resultados de adherencia agregado asfalto.

Bajo estas consideraciones, en la presente investigación, se aplicará el método científico con el fin de realizar el análisis para la correlación de resultados de adherencia agregado asfalto.

### **3.1.2. Nivel**

(Osega Gago , 2011) el nivel de investigación se refiere al grado de detalle con el que se toma un fenómeno o evento de una investigación.

Se observa el comportamiento de las variables que se respaldan en los ensayos realizados en laboratorio, que cumplen con el nivel correlacional porque tienen como propósito conocer la relación o grado de asociación que existe entre las dos variables en un contexto en particular que permiten un grado de predicción.

El presente estudio tiene como propósito analizar la correlación de resultados de adherencia agregado asfalto entre el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) y el ensayo de bandeja MTC-E520, ya que se dará un valor ante el hecho de conocer el comportamiento de estas variables y su relación para aportar información relevante.

### **3.1.3. Tipo**

(Valderrama Mendoza, 2015) el tipo de investigación aplicada depende de sus descubrimientos y aportes teóricos para poder generar beneficios y bienestar a la sociedad.

El tipo de investigación es aplicada por la aplicación práctica y concreta para resolver el problema en mención; para esto, se utiliza un enfoque cuantitativo porque manipula datos probatorios estructurados en cifras para recopilar información concreta como son los datos estructurados de los diferentes ensayos a realizar. Bajo estas consideraciones, la presente investigación es del tipo aplicada, ocupándose del proceso de relación entre lo ejecutado y lo investigado, debido a que depende de los resultados.

### **3.2. Diseño de la investigación**

Según (Hérmendez Sampieri, 2014), el diseño de investigación experimental se basa en conceptos lógicos que siguen la tendencia científica, teniendo en cuenta la observación realizada en condiciones controladas para, de esta manera, llegar a resultados fidedignos.

En la presente investigación, se pretende establecer experiencias a través de los ensayos en laboratorio donde se contrastan y comprueban las hipótesis planteadas; se realizan tratamientos en laboratorio para obtener el comportamiento de la variable independiente que son los ensayos de adherencia (Método de Caracterización de Ligantes, UCL, y Ensayo adherencia en bandeja MTC-E520) a través de la manipulación intencional con el fin de asignar distintos valores, medir la variable dependiente y controlar la situación experimental.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

Según (Jiménez Paneque, 2002), la población es el total de las partes de las muestras que cuentan con algunas características en común en un momento determinado.

Las muestras usadas en la caracterización físico – química fueron obtenidas de la producción de la planta chancadora de Pilcomayo, cuidando de obtener muestras representativas para los análisis del laboratorio. Para tal efecto, se estimó una población de 1.200 toneladas de agregado. (Producción promedio del día de ensayo).

#### **3.3.2. Muestra**

Según (Hérmendez Sampieri, 2014), la muestra tiende a medir la correlación que existe entre las variables.

Se estima una muestra de 250 kilogramos de agregado proveniente de Pilcomayo, conformada por 150 kilogramos para el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) y 100 briquetas para

el ensayo de bandeja MTC-E520, bajo las mismas condiciones de diseño y procedimiento de obtención en los agregados.

### **3.3.3. Muestreo**

Según (Valderrama Mendoza, 2015), en este tipo de muestreo, existe una modificación controlada de las variables en estudio, ya que se selecciona la muestra dando prioridad a razones de comodidad y según su criterio.

La muestra es del tipo no probabilística, porque el subgrupo constituido de la población es elegido por los elementos que no dependen de la probabilidad, sino de las características de la investigación.

## **3.4. Variables**

### **3.4.1. Variables Independientes**

- Método de Caracterización de Ligantes (UCL)
- Ensayo adherencia en bandeja MTC-E520

### **3.4.2. Variable Dependiente**

- Adherencia.

## 5.5. Operacionalización

Tabla 3: Operacionalización de la variable

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
ADHERENCIA EN BANDEJA	Ensayo que cuantifica el grado al que las partículas tienden a aferrarse a una superficie.	Normativa que determina la adherencia en un diseño de mezcla asfáltica.	Ensayo a 1 día	Adherencia en bandeja MTC E 520	Ficha recolección de datos	Razón
			Ensayo a 2 día	MTC E 520 modificado con polímeros.		
			Ensayo a 3 día	MTC E 520 al 0.3% de aditivo.		
			Ensayo a 4 día	MTC E 520 al 1.1% de aditivo.		
METODO DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES	Método que comprende la caracterización de un ligante en sus distintas propiedades.	Conjunto de ensayos a distintas condiciones que evalúa la adherencia dentro de ella.	Ensayos a:	Método Universal de Ligantes UCL	Ficha recolección de datos	Razón
			100 revoluciones	UCL modificado con polímeros.		
			200 revoluciones	UCL al 0.3% de aditivo.		
			300 revoluciones	UCL al 1.1% de aditivo.		
ADHERENCIA	Son las fuerzas que interactúan entre sí en un adhesivo sensible para unir dos partes. (Bautista Sánchez, 2012)	Características físicas que representa el porcentaje de adhesión de la estructura de la mezcla asfáltica en caliente	PORCENTAJE DE ADHESION	Adherencia en bandeja MTC E 520	Ficha recolección de datos	Razón
				Método Universal de Ligantes UCL		
				Correlación		
			RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	Adherencia en bandeja MTC E 520		
Correlación median Ecuación						

Fuente: Elaboración propia



### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

Los instrumentos están constituidos por las fichas de recolección de datos de los ensayos a realizar en la presente investigación

Además, las fichas de campo servirán para registrar los datos de los ensayos de laboratorio, donde se van a tomar datos que posteriormente van a ser procesados bajo la normativa y los parámetros de adherencia en bandeja y el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL).

#### **3.6.2. Técnica de recolección de datos**

Se empleará como técnica de recolección de datos la observación directa, ya que, al realizar los ensayos en laboratorio, es necesario cumplir un análisis de los resultados obtenidos para, de esta manera, redactar la interpretación.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL)**

El Método Universal de Caracterización de Ligantes o UCL se encuentra basado en el estudio del desgaste que se origina en una mezcla bituminosa cuando se encuentra sometida a la variación de temperatura, presencia de agua y el envejecimiento de betún. Este método tiene la finalidad de analizar el comportamiento de la adherencia del ligante y el agregado con la mezcla a partir del desgaste obtenido a través del ensayo cántabro.

Este método fue desarrollado por el departamento de Infraestructura de Transporte de la Universidad Politécnica de Cataluña, para el estudio y análisis de propiedades funcionales del ligante. El ensayo en mención determina el grado de cohesión de la mezcla bituminosa mediante el efecto de abrasión y, adicionalmente, evalúa el efecto de la temperatura ante la acción del agua.

##### **4.1.1. Mezcla Patrón**

Debido a los estudios realizados, se fabrica una mezcla patrón a partir del agregado limpio y sano. Para la presente investigación, se utilizaron dos granulometrías abiertas de tamaños distintos.

Tabla 4: Granulometría patrón UCL

Malla (mm)	% Pasante	
	Granulometría T-5	Granulometría T-10
12.5	100	100
10.0	100	82
5.0	100	38
2.5	80	6
0.63	0	0

Fuente: Evaluación de la cohesión y susceptibilidad térmica de los Ligantes bituminosos mediante el método funcional UCL CILA España, 2002.

De las granulometrías propuestas por el método UCL en la Tabla 4, se empleó la T-5, ya que es la más recomendada y brinda menores valores de dispersión en ensayo de cántabro y proporciona un mayor porcentaje de vacíos en la mezcla bituminosa, lo que facilita la circulación de aire por la probeta en el ensayo de oxidación.

La briqueta se elabora siguiendo el procedimiento Marshall convencional, pero se emplea la compactación con únicamente 50 golpes por cara. El peso del agregado para la elaboración de probeta es de 1250 gramos y el porcentaje de ligante (PEN 85 - 100) es de 4,5% del peso total de la probeta. Las condiciones de ensayo de cada briqueta son distintas según la variable que se pretende estudiar; en este caso, para la evaluación de la adherencia, las probetas se ensayan en la máquina los Ángeles a 25°C, luego de transcurrir un día desde la extracción del baño María a 60°C.

#### 4.1.2. Caracterización por Granulometría MTC E 204

Para la obtención de la caracterización mediante el diseño de Marshall, es necesario determinar la clasificación de los agregados mediante la aplicación del análisis granulométrico de arena y grava proveniente de la cantera de Pilcomayo.

A continuación, se mostrará los ensayos granulométricos realizados en laboratorio. En la Tabla 5, se tiene el análisis granulométrico de la arena procesada con el peso retenido obtenido en cada malla, luego se halla el porcentaje de material retenido parcial y acumulado para obtener el porcentaje pasante que se necesita para representar gráficamente la curva granulométrica.

Tabla 5: Análisis Granulométrico – Arena Procesada

<b>Malla</b>		<b>Peso</b>	<b>% Ret.</b>	<b>% Ret.</b>	<b>% que</b>
<b>Tamiz</b>	<b>mm.</b>	<b>(gr)</b>	<b>Parcial</b>	<b>Acum.</b>	<b>Pasa</b>
<b>2 1/2"</b>	63.500				
<b>2"</b>	50.600				
<b>1 1/2"</b>	38.100				
<b>1"</b>	25.400				
<b>3/4"</b>	19.050				
<b>1/2"</b>	12.700				
<b>3/8"</b>	9.525				
<b>1/4"</b>	6.350				100.0
<b>4</b>	4.760	423.00	16.92	16.92	83.08
<b>8</b>	2.360	715.50	28.62	45.54	54.46
<b>10</b>	2.000	129.00	5.16	50.70	49.30
<b>16</b>	1.190	311.50	12.46	63.16	36.84
<b>30</b>	0.600	525.00	21.00	84.16	15.84
<b>40</b>	0.420	88.00	3.52	87.68	12.32
<b>50</b>	0.300	79.75	3.19	90.87	9.13
<b>80</b>	0.180	9.75	0.39	91.26	8.74
<b>100</b>	0.149	6.00	0.24	91.50	8.50
<b>200</b>	0.074	12.50	0.50	92.00	8.00
<b>&lt; 200</b>		200.00	8.00	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7, se observa la curva granulométrica obtenida con los porcentajes pasantes en cada malla; para el análisis granulométrico se empleó 2.5 kilogramos de arena procesada según lo recomendado en la normativa de ensayo de materiales.

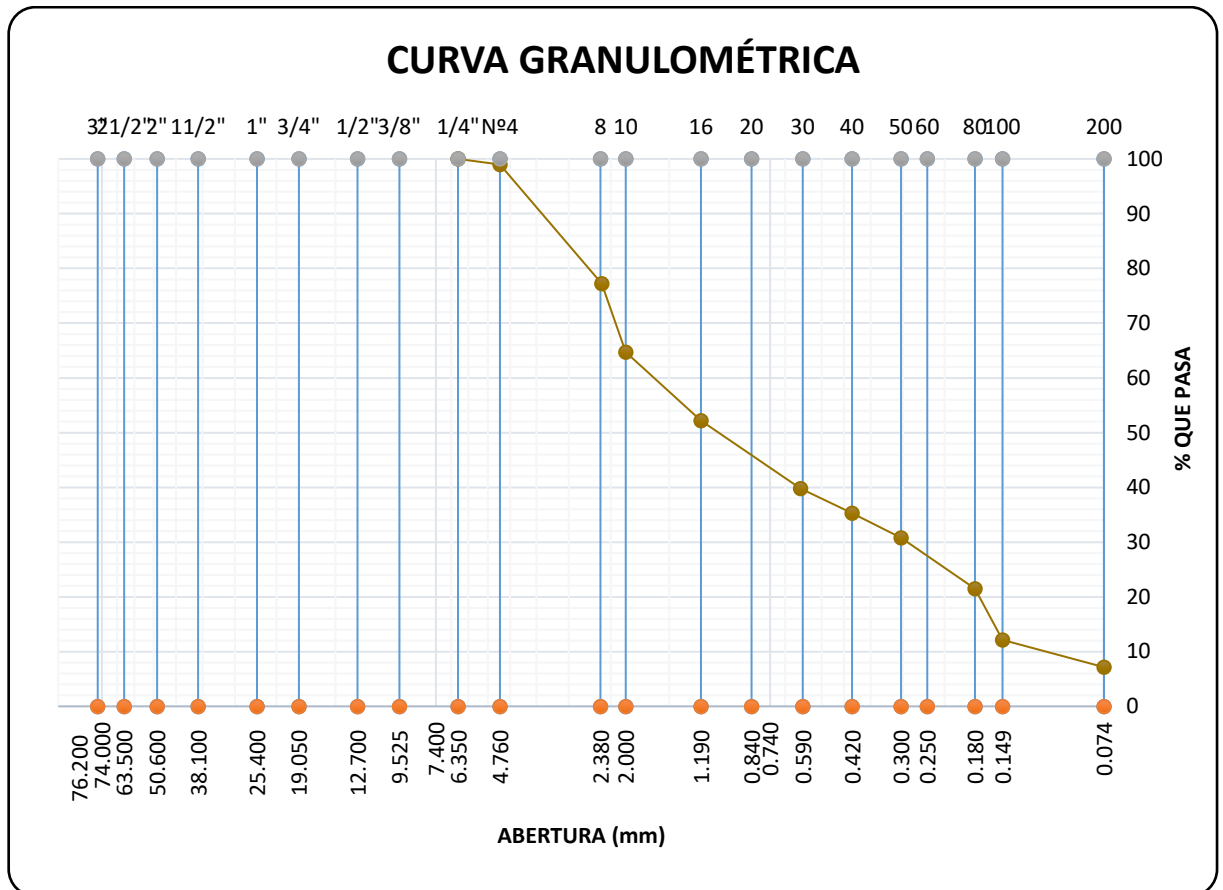


Figura 7: Granulometría de Arena Procesada

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6, se puede observar el análisis granulométrico de la arena natural con los pesos retenidos obtenidos en los tamices, luego hallando el porcentaje de material retenido parcial y acumulado, y, de esta manera, se halla el porcentaje pasante que se necesita para representar gráficamente la curva granulométrica dentro del uso recomendado.

Con el ensayo granulométrico, se logra caracterizar los agregados finos y se obtiene como resultado que el porcentaje de material fino dentro de la combinación de ambos se encuentra en el rango recomendado según la normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones; se aplica el método del tanteo para la obtención de material fino necesario para el diseño de mezcla asfáltica.

Tabla 6: Análisis Granulométrico – Arena Natural

Malla		Peso	% Ret	% Ret	% que
Tamiz	mm.	(gr)	Parcial	Acum.	Pasa
<b>1 1/2"</b>	38.100				
<b>1"</b>	25.400				
<b>3/4"</b>	19.050				
<b>1/2"</b>	12.700				
<b>3/8"</b>	9.525				
<b>1/4"</b>	6.350				100.0
<b>4</b>	4.760	231.50	9.26	9.26	90.74
<b>8</b>	2.360	327.25	13.09	22.35	77.65
<b>10</b>	2.000	64.50	2.58	24.93	75.07
<b>16</b>	1.190	208.00	8.32	33.25	66.75
<b>30</b>	0.600	379.00	15.16	48.41	51.59
<b>40</b>	0.420	314.00	12.56	60.97	39.03
<b>50</b>	0.300	407.50	16.30	77.27	22.73
<b>80</b>	0.180	68.25	2.73	80.00	20.00
<b>100</b>	0.149	150.00	6.00	86.00	14.00
<b>200</b>	0.074	100.00	4.00	90.00	10.00
<b>&lt; 200</b>		250.00	10.00	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 8, la curva granulométrica obtenida con los porcentajes pasantes en cada tamiz, para el ensayo granulométrico,

se empleó 2.5 kilogramos de material (arena zarandeada), según lo especificado en la normativa MTC E 204.

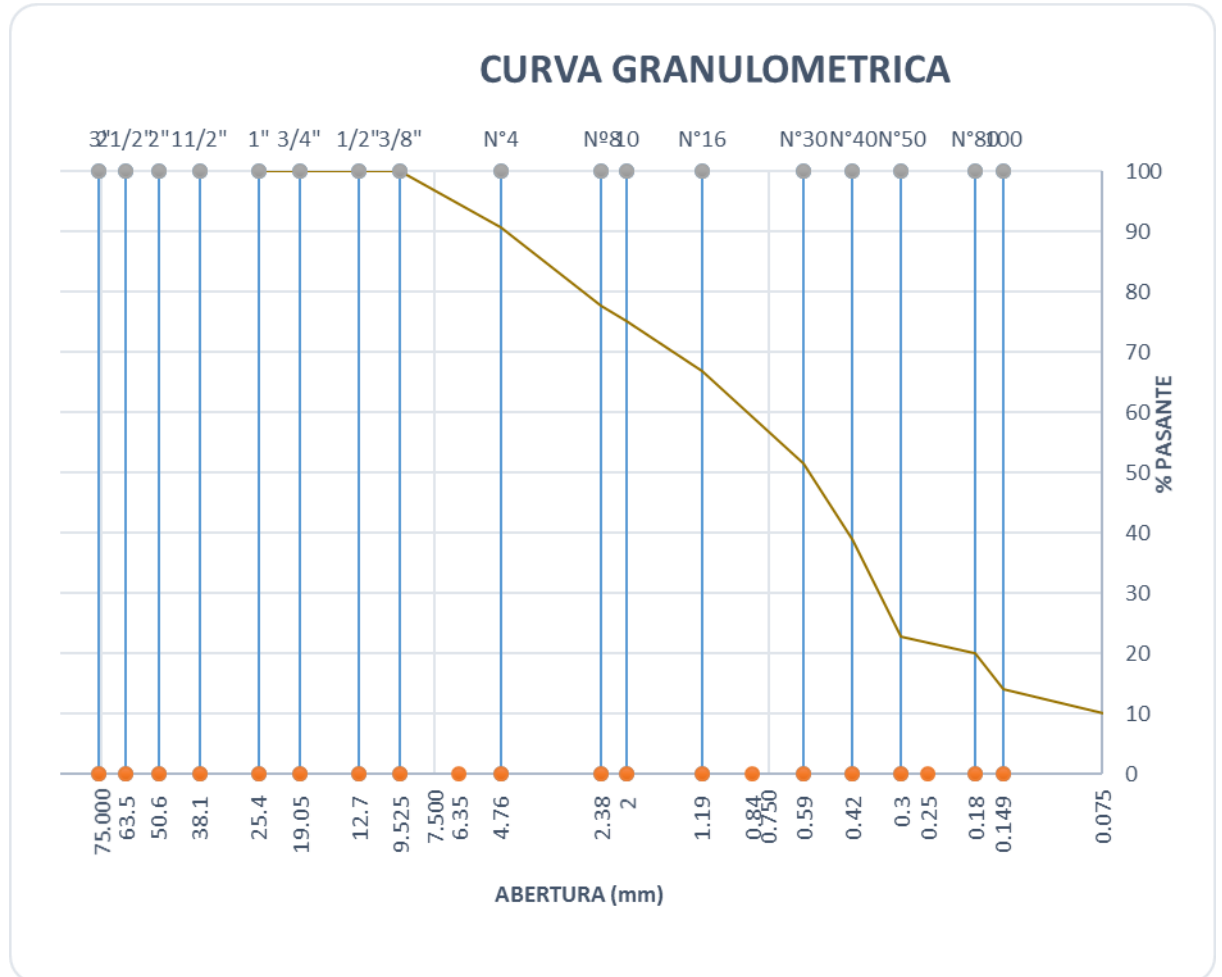


Figura 8: Granulometría de Arena Natural

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7, se tiene el ensayo granulométrico de la piedra chancada de ½” con el peso retenido obtenido en cada tamiz, luego se procede a hallar el porcentaje de material retenido parcial y acumulado; de esta manera, se obtiene el porcentaje pasante que se necesita para representar gráficamente la curva granulométrica.

Para analizar la granulometría de la piedra chancada de ½”, se tomó una muestra de 2.5 kilogramos de grava; de esta manera, se toma el

peso que indica la normativa del Ministerio de Transportes MTC E 204.

Tabla 7: Análisis Granulométrico – Piedra Chancada ½”

Mallas		Peso	% Ret	% Ret	% que
Tamiz	mm.	(gr.)	Parcial	Acum.	Pasa
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.600				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	379.75	15.19	15.19	84.81
3/8"	9.525	1134.75	45.39	60.58	39.42
1/4"	6.350	958.75	38.35	98.93	1.07
4	4.760	19.50	0.78	99.71	0.29
8	2.360	7.25	0.29	100.00	0.00
10	2.000	0.00	0.00	100.00	0.00
16	1.190	0.00	0.00	100.00	0.00
20	0.840	0.00	0.00	100.00	0.00
30	0.600	0.00	0.00	100.00	0.00
100	0.149	0.00	0.00	100.00	0.00
200	0.074				
< 200					

Fuente: Elaboración propia



En la Figura 9, la curva granulométrica obtenida con los porcentajes pasantes en cada tamiz, para el ensayo granulométrico, se empleó 2.5 kilogramos de material (piedra chancada de 1/2”), según lo especificado en la normativa MTC E 204.

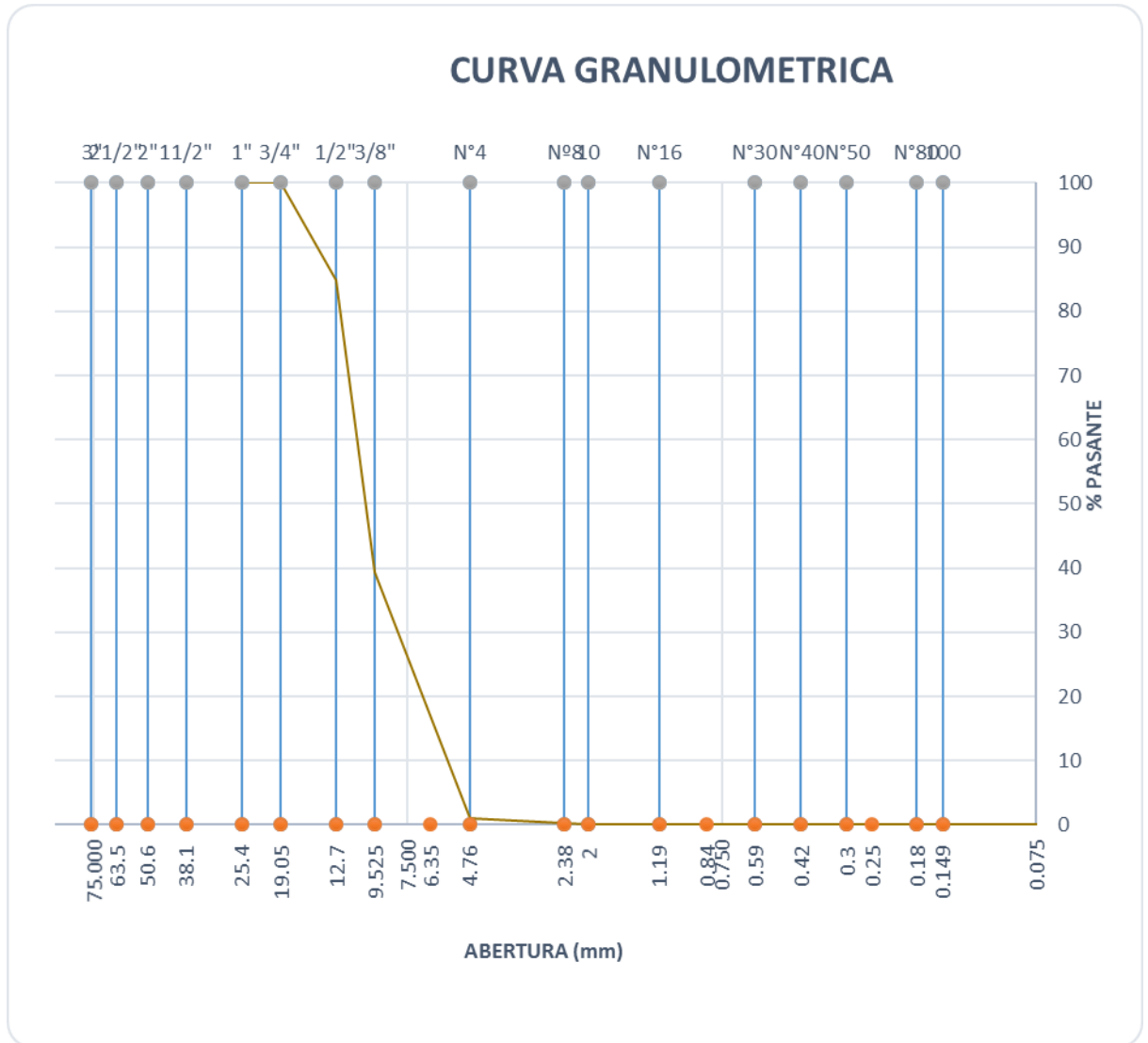


Figura 9: Granulometría de Grava Chancada de 1/2”

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8, se tiene el ensayo granulométrico de la piedra chancada de 3/4” con el peso retenido obtenido en cada tamiz, luego se halla el porcentaje de material retenido parcial y acumulado.

Para analizar el ensayo granulométrico de la piedra chancada de  $\frac{3}{4}$ ", se tomó una muestra representativa de 2.5 kilogramos de material granular y se toma el peso que indica la normativa del Ministerio de Transportes MTC E 204.

Tabla 8: Análisis Granulométrico – Piedra Chancada  $\frac{3}{4}$ "

Mallas		Peso	% Ret	% Ret	% que
Tamiz	mm.	(gr)	Parcial	Acum.	Pasa
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.600				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	1217.75	48.71	48.71	51.29
1/2"	12.700	660.50	26.42	75.13	24.87
3/8"	9.525	301.75	12.07	87.20	12.80
No4	4.760	296.25	11.85	99.05	0.95
8	2.360	18.00	0.72	99.77	0.23
10	2.000	5.75	0.23	100.00	0.00
16	1.190				
20	0.840				
30	0.600				
40	0.420				
50	0.300				
60	0.250				
80	0.180				
100	0.149				
200	0.074				
< 200					

Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 10, la curva granulométrica obtenida con los porcentajes pasantes en cada tamiz, para el ensayo granulométrico, se empleó 2.5 kilogramos de material (piedra chancada de  $\frac{3}{4}$ "), según lo especificado en la normativa MTC E 204.

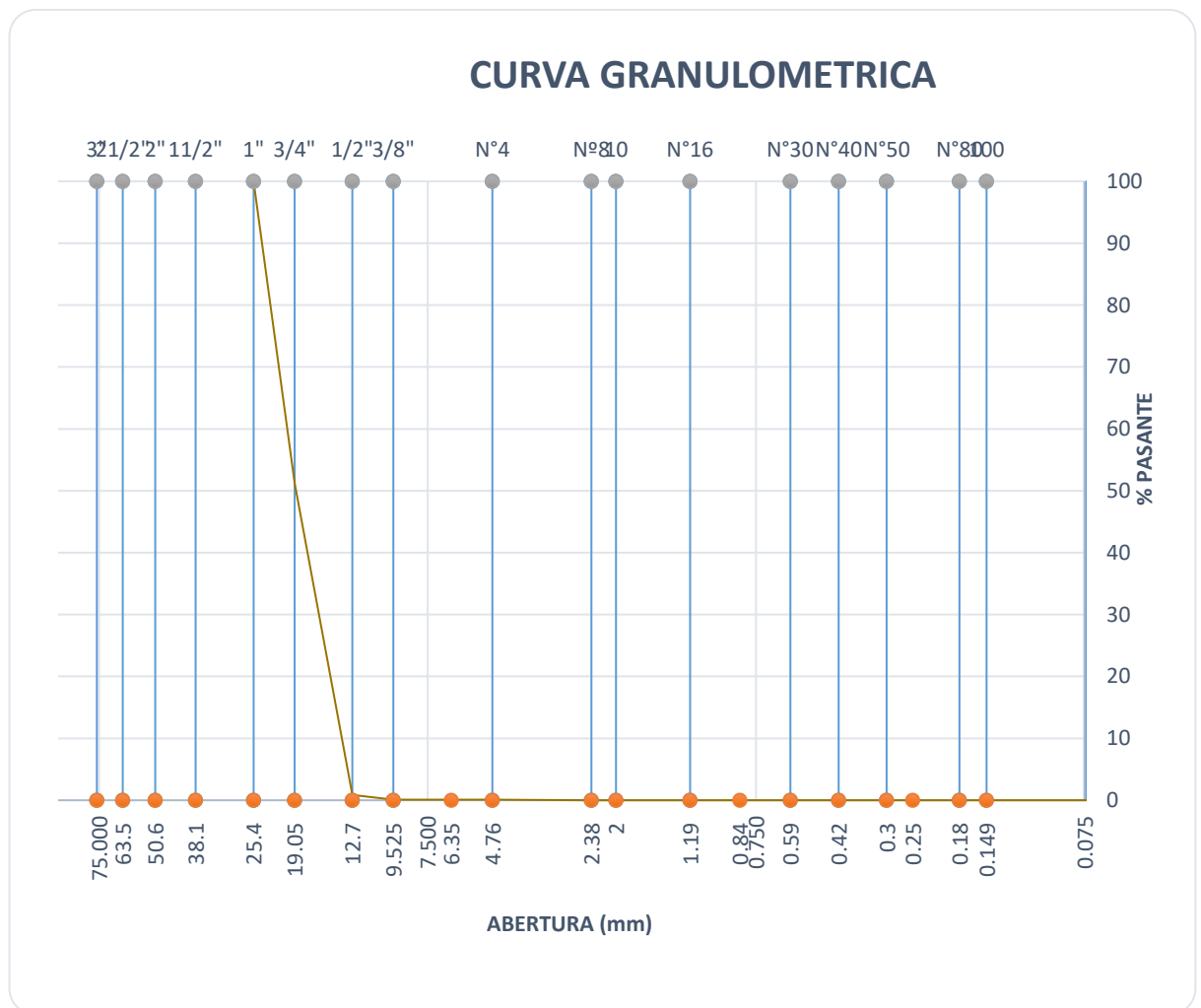


Figura 10: Granulometría de Grava Chancada de  $\frac{3}{4}$ "

Fuente: Elaboración propia

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se brinda un porcentaje a trabajar en el diseño de mezcla como recomendación según la normativa técnica de MAC – 1.

En la Tabla 9, se analiza usando la metodología de Marshall de acuerdo a las especificaciones de MAC – 1; se tiene que el tamaño

máximo del agregado es de ¾" y se observa el porcentaje de material pasante de proporciones por cada agregado por el método del tanteo, buscando que la combinación de agregados se encuentre dentro del rango sugerido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. En este caso, el filler es tomado con un porcentaje de cero, debido a que las arenas presentan un alto contenido de finos dentro de su composición.

Tabla 9: Mezcla de agregados por Marshall

Mallas		Porcentajes pasantes (%)						Especificaciones			
Tamiz	mm.	PIEDRAS			ARENAS			MEZCLA	MAC - 1		
Agregados		<i>pedra 3/4"</i> <i>CRUSHING</i>	<i>pedra 1/2"</i> <i>CRUSHING</i>		Arena Zarandeada	Arena Chancada	filler		MTC		
Proporciones		3/4"	1/2"		ZARANDEADA	CHANCADA	FIL	100.0%			
		20.0%	23.0%		35.0%	22.0%	0.0%				
1"	25.400	100.000	100.00		100.0	100.0	100.0	100	-	100	
3/4"	19.050	51.290	100.00		100.0	100.0	100.0	90.3	80	100	
1/2"	12.700	24.870	84.81		100.0	100.0	100.0	81.5	67	85	
3/8"	9.525	12.800	39.42		100.0	100.0	100.0	68.6	60	77	
Nº 4	4.760	0.950	1.07		90.7	83.1	100.0	50.5	43	54	
Nº 8	2.360	0.230	0.29		77.7	54.5	100.0	39.3			
Nº 10	2.000	0.000	0.00		75.1	49.3	100.0	37.1	29	45	
Nº 16	1.180	0.000	0.00		66.8	36.8	100.0	31.5			
Nº 30	0.600	0.000	0.00		51.6	15.8	100.0	21.5			
Nº 40	0.420	0.000	0.00		39.0	12.3	100.0	16.4	14	25	
Nº 50	0.300	0.000	0.00		22.7	9.1	100.0	10.0			
Nº 80	0.180	0.000	0.00		20.0	8.7	100.0	8.9	8	17	
Nº 100	0.150	0.000	0.00		14.0	8.5	100.0	6.8			
Nº 200	0.074	0.0	0.00		10.0	8.0	100.0	5.3	4	8	
pasa					0.0	0.0	0.0	0.0			

Fuente: Elaboración propia

De la mezcla de agregados propuestos por el método UCL en la Tabla 4, se empleó la T-5 siendo la más recomendada, debido a que cumple con el análisis de mezcla propuesto en la Tabla 9.

Las briquetas serán sometidas al ensayo del cántabro no siendo necesario realizar el análisis de óptimo porcentaje de asfalto, debido a que la normativa de UCL determina que se trabaje con 4,5% de asfalto en la mezcla. Según la metodología de Marshall, esta combinación de mezcla debe cumplir los rangos dentro de las especificaciones de MAC – 1. En la Figura 11, se muestra cómo la mezcla cumple los parámetros.

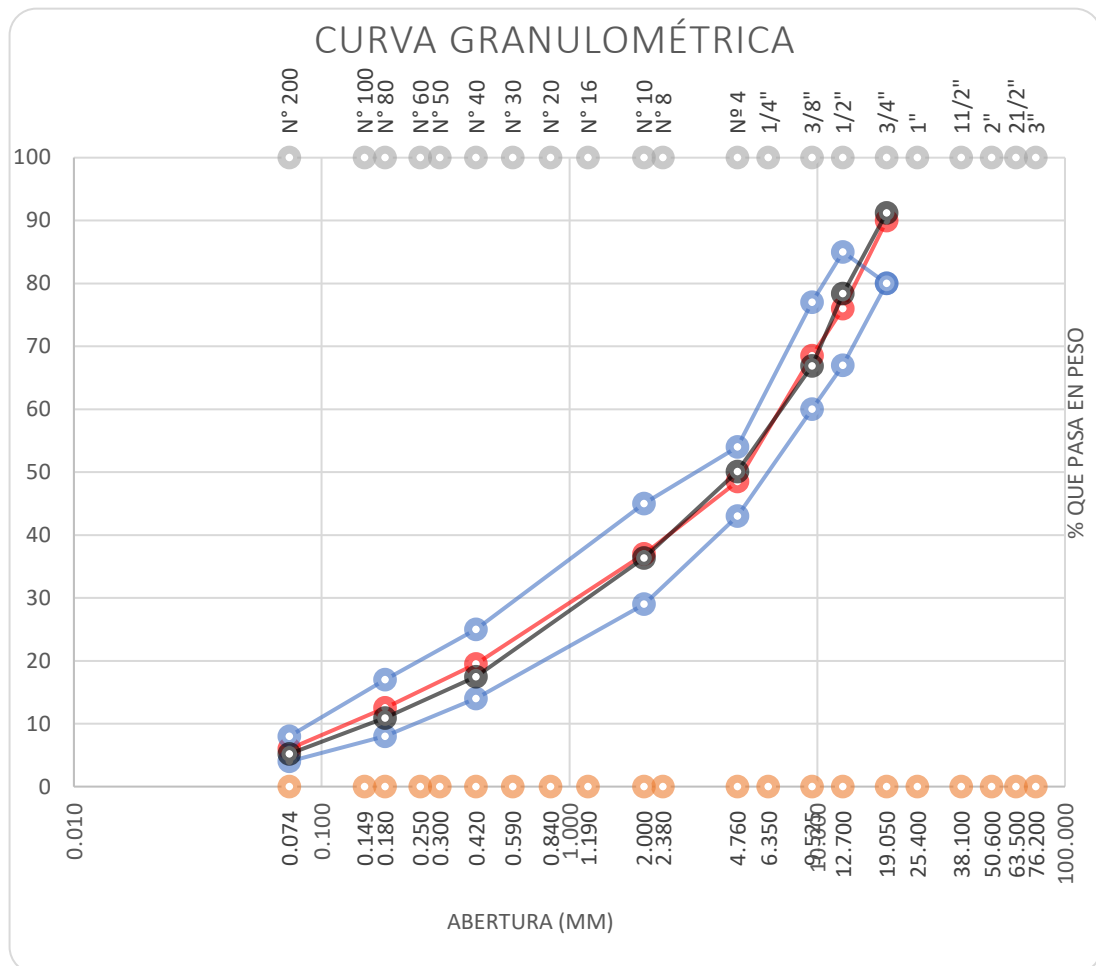


Figura 11: Granulometría de agregados según MAC – 1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10, se tiene la combinación de mezcla de los materiales finos y gruesos necesarios por cada tamiz.

Tabla 10: Pesos por porcentaje de Asfalto

Mat	% Asfalto	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
		Malla					
Arena Chancada	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	44.7	44.4	44.2	44.0	43.7	43.5
	# 10	89.2	88.7	88.3	87.8	87.3	86.9
	< #10	130.2	129.5	128.8	128.1	127.4	126.8
	SUB TOTAL	<b>264.0</b>	<b>262.6</b>	<b>261.3</b>	<b>259.9</b>	<b>258.5</b>	<b>257.1</b>
Arena Zarandeada	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	38.9	38.7	38.5	38.3	38.1	37.9
	# 10	65.8	65.5	65.1	64.8	64.4	64.1
	< #10	315.3	313.7	312.0	310.4	308.7	307.1
	SUB TOTAL	<b>420.0</b>	<b>417.8</b>	<b>415.6</b>	<b>413.4</b>	<b>411.3</b>	<b>409.1</b>
piedra 1/2" CRUSHING	3/4"	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
	1/2"	<b>41.9</b>	<b>41.7</b>	<b>41.5</b>	<b>41.3</b>	<b>41.1</b>	<b>40.8</b>
	3/8"	<b>125.3</b>	<b>124.6</b>	<b>124.0</b>	<b>123.3</b>	<b>122.7</b>	<b>122.0</b>
	# 4	<b>105.8</b>	<b>105.3</b>	<b>104.7</b>	<b>104.2</b>	<b>103.6</b>	<b>103.1</b>
	# 10	<b>2.2</b>	<b>2.1</b>	<b>2.1</b>	<b>2.1</b>	<b>2.1</b>	<b>2.1</b>
	< #10	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>
	SUB TOTAL	<b>276.0</b>	<b>274.6</b>	<b>273.1</b>	<b>271.7</b>	<b>270.3</b>	<b>268.8</b>
piedra 3/4" CRUSHING	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	180.3	179.4	178.4	177.5	176.6	175.6
	3/8"	29.0	28.8	28.7	28.5	28.4	28.2
	# 4	28.4	28.3	28.1	28.0	27.8	27.7
	# 10	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	< #10	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	SUB TOTAL	<b>240.0</b>	<b>238.8</b>	<b>237.5</b>	<b>236.3</b>	<b>235.0</b>	<b>233.8</b>
		1200.0	1193.8	1187.5	1181.3	1175.0	1168.8
<b>PEN 85-100</b>		50.0	56.3	62.5	68.8	75.0	81.3
<b>QUIMIBOND</b>		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL, MUESTRA</b>		<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11, se tiene la dosificación exacta de agregado y asfalto, debido a que, según la metodología del UCL, es necesario emplear la briqueta con 4,5% de asfalto para el ensayo de cántabro.

Tabla 11: Briqueta para UCL

Material	% Asfalto	4.50
	Mallas	
Arena Chancada	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	44.4
	#16	88.7
	< #16	129.5
	SUB TOTAL	<b>262.6</b>
Arena Natural	3/4"	0.0
	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	38.7
	# 16	65.5
	< #16	313.7
	SUB TOTAL	<b>417.8</b>
piedra 1/2" CRUSHING	3/4"	<b>0.0</b>
	1/2"	<b>41.7</b>
	3/8"	<b>124.6</b>
	# 4	<b>105.3</b>
	# 16	<b>2.1</b>
	< #16	<b>0.8</b>
	SUB TOTAL	<b>274.6</b>
piedra 3/4" CRUSHING	3/4"	0.0
	1/2"	179.4
	3/8"	28.8
	# 4	28.3
	# 8	1.7
	< #8	0.5
	SUB TOTAL	<b>238.8</b>
		1193.8
<b>PEN 85 - 100</b>		<b>56.3</b>
		0.0
<b>TOTAL, DE MUESTRA</b>		<b>1250.0</b>

#### 4.1.3. Ensayo Cántabro

Este ensayo nos permite cuantificar la cohesión y adherencia a través de la pérdida por desgaste, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla. Para la realización del ensayo, se preparan muestras según el diseño de mezcla especificado en la Tabla 11.

El procedimiento de cálculo se realiza con la siguiente formula:

$$P_c = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

Pc = Porcentaje de la pérdida por desgaste (%)

P1 = Masa inicial de la briqueta (Kg)

P2 = Masa final de la briqueta (Kg)

Se analiza la adherencia en seco tras inmersión y, de esta manera, se estudia la resistencia de la mezcla bituminosa ante la acción del agua. Esta propiedad física depende de la cohesión y la envuelta que produce el ligante sobre el agregado, ya que el agua tiende su traslado que termina en un descenso de la cohesión de la mezcla.

Para esto, se ensaya una serie de probetas en la máquina de los Ángeles por cada relación volumétrica, sumergidas a una temperatura de 60°C durante un periodo de 24 horas en baño María y luego se retira dejándolas reposar por otras 24 horas; después de transcurrido este tiempo, se someten las briquetas al ensayo de cántabro, sometiendo a 300 revoluciones, luego se analizará el comportamiento de la briqueta según la recomendación de la normativa de UCL, tomando lecturas a 100, 200 y 300 revoluciones.

Finalmente, se analizó este comportamiento con dos aditivos distintos, teniendo la siguiente configuración de briquetas para el estudio de su comportamiento ante la abrasión.



- Briqueta Natural, sin modificar.
- Briqueta con Polímeros, elaborada con asfalto modificado con polímeros.
- Briqueta con 0.3% de Quimibond.
- Briqueta con 0.5% de Quimibond.
- Briqueta con 0.7% de Quimibond.
- Briqueta con 0.9% de Quimibond.
- Briqueta con 1.1% de Quimibond.

Al aumentar las revoluciones del ensayo, las pérdidas aumentan para todos los tipos de ligante ensayados; esto aumentará a medida que vayan pasando de 100 a 200 y a 300 revoluciones. Este hecho llega a ser significativo, ya que la finalidad de correlacionar este ensayo con el de adherencia en bandeja cuantifica las pérdidas obtenidas y a 300 revoluciones pierde la sensibilidad del ensayo.

### **Briqueta Natural**

Se emplea el diseño de mezcla a 4,5% de asfalto (PEN 85 – 100), usado convencionalmente en la ciudad de Huancayo; para esto, se emplean las dosificaciones de la Tabla 11.

En la Tabla 12, se tiene el porcentaje de las pérdidas luego del ensayo de cántabro de la briqueta sin modificar. Estas pérdidas se encuentran relacionadas al peso que van perdiendo por desprendimiento a medida que aumentan las revoluciones.

Tabla 12: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Natural

<b>B. Natural</b>	<b>% Perdidas</b>
<b>100 revoluciones</b>	9.11
<b>200 revoluciones</b>	16.81
<b>300 revoluciones</b>	21.62

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 12, se representa la tendencia según el porcentaje de pérdidas al cántabro y el número de revoluciones de 100, 200 y 300 vueltas de la briqueta sin modificar.

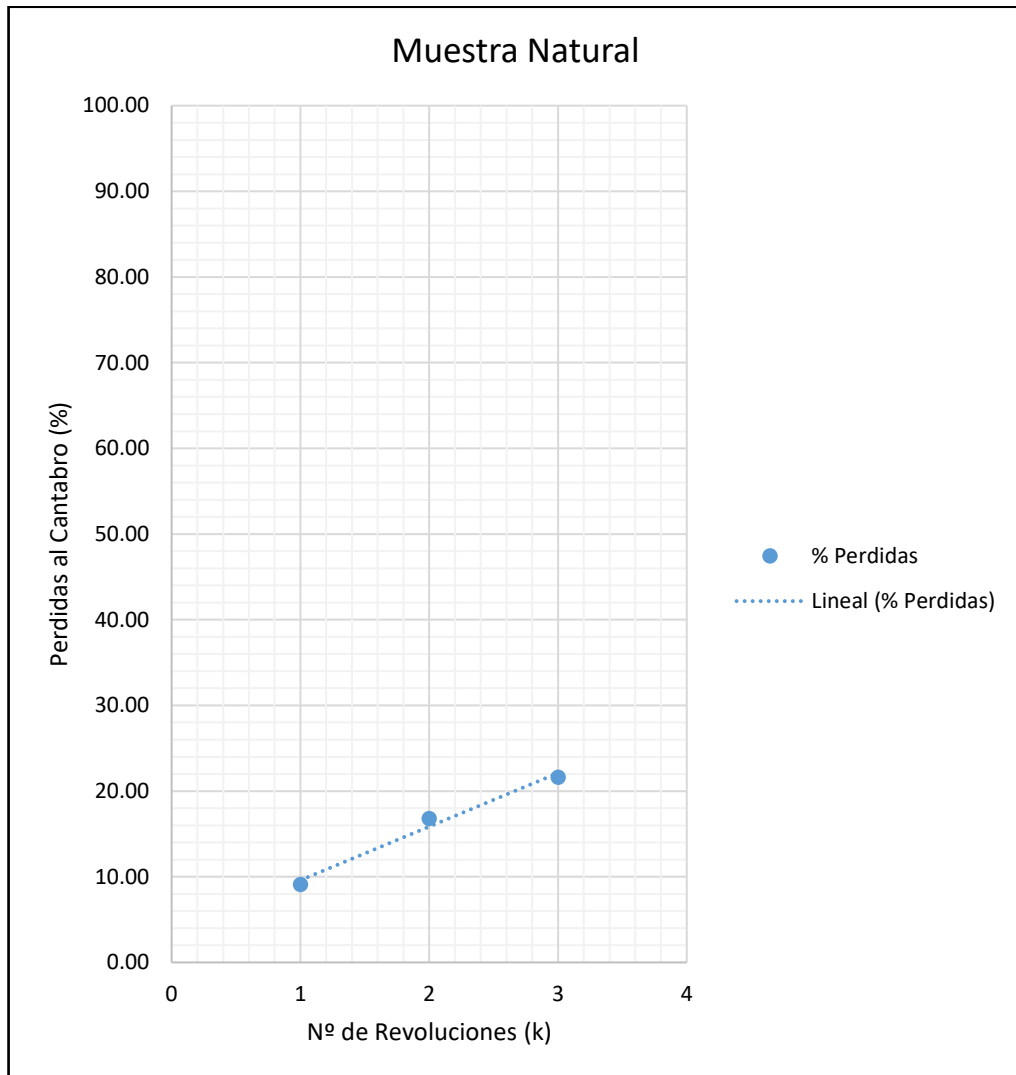


Figura 12: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Natural

Fuente: Elaboración propia

### **Briqueta con polímeros**

Se emplea el diseño de mezcla a 4,5% de asfalto (asfalto modificado con polímeros), según lo indicado por la normativa UCL; para esto, se emplea las dosificaciones especificadas en la Tabla 13.

Tabla 13: Briqueta para UCL – Asfalto Modificado

Material	% Asfalto	4.50
	Mallas	
Arena Chancada	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.8
	#16	223.5
	< #16	249.3
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>477.5</b>
Arena Procesada	3/4"	0.0
	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.3
	# 16	121.7
	< #16	184.4
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>310.4</b>
piedra 1/2" CRUSHING	3/4"	0.0
	1/2"	0.0
	3/8"	7.9
	# 4	179.6
	# 16	14.8
	< #16	0.6
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>
piedra 3/4" CRUSHING	3/4"	0.0
	1/2"	116.7
	3/8"	62.3
	# 4	23.3
	# 8	0.6
	< #8	0.0
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>
		1193.8
<b>ASFALTO TDM</b>		<b>56.3</b>
<b>QUIMIBOND</b>	0%	0.0
<b>TOTAL DE MUESTRA</b>		<b>1250.0</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13, se tiene el porcentaje de las pérdidas luego del ensayo de cántabro de la briqueta modificada con polímeros; estas pérdidas se relacionan al peso que se pierde por desprendimiento a medida que aumentan las revoluciones.

Tabla 14: Pérdidas al Cántabro – Briqueta con Polímeros

<b>B. Polímero</b>	<b>% Perdidas</b>
<b>100 revoluciones</b>	3.35
<b>200 revoluciones</b>	7.40
<b>300 revoluciones</b>	11.21

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13, se observa la tendencia que presenta el porcentaje de pérdidas al cántabro y el número de revoluciones de 100, 200 y 300 vueltas de la briqueta sin modificar.

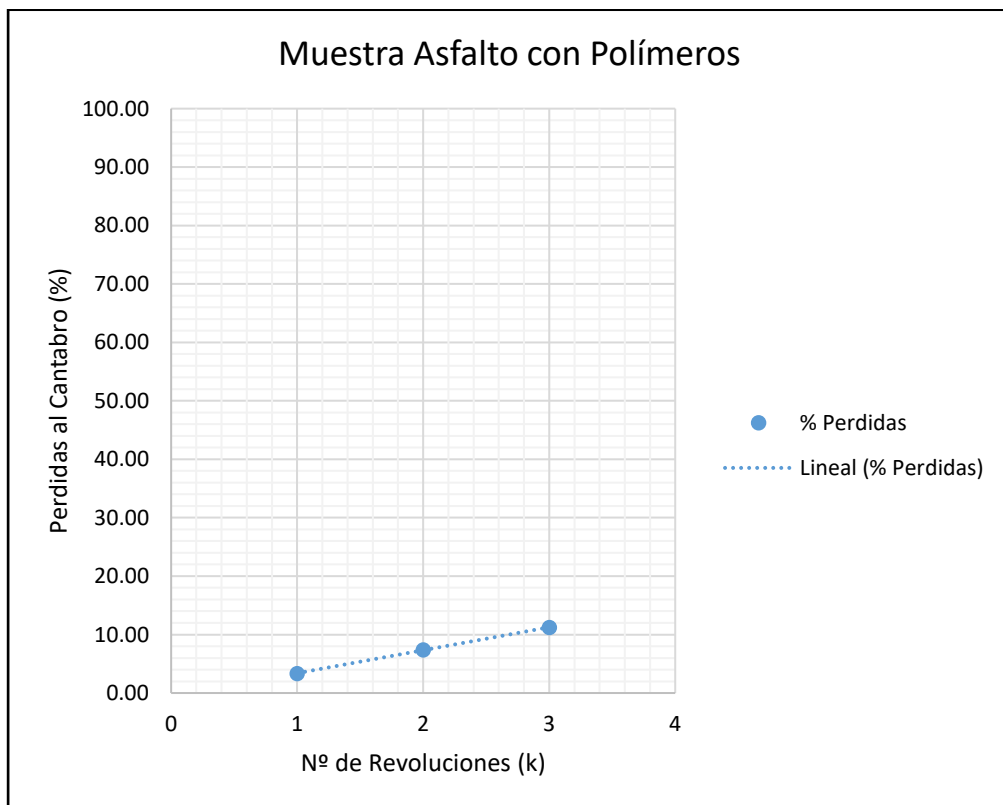


Figura 13: Pérdidas al Cántabro – Briqueta con Polímeros

Fuente: Elaboración propia

### Briqueta con Quimibond 0.3%

Se emplea el diseño de mezcla a 4,5% de asfalto (Asfalto modificado con Quimibond al 0.3%), evaluando el aditivo mejorador de adherencia a distintos porcentajes para analizar su comportamiento según las dosificaciones de la Tabla 15.

Tabla 15: Briqueta para UCL – Asfalto Quimibond 0.3%

Material	% Asfalto	4.50%
	Mallas	
Arena Chancada	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.8
	#16	223.5
	< #16	249.3
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>477.5</b>
Arena Procesada	3/4"	0.0
	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.3
	# 16	121.7
	< #16	184.4
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>310.4</b>
piedra 1/2" CRUSHING	3/4"	<b>0.0</b>
	1/2"	<b>0.0</b>
	3/8"	<b>7.9</b>
	# 4	<b>179.6</b>
	# 16	<b>14.8</b>
	< #16	<b>0.6</b>
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>
piedra 3/4" CRUSHING	3/4"	0.0
	1/2"	116.7
	3/8"	62.3
	# 4	23.3
	# 8	0.6
	< #8	0.0
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>

		1193.8
<b>PEN 85 - 100</b>		<b>56.3</b>
<b>QUIMIBOND</b>	0.3%	3.75
<b>TOTAL, DE MUESTRA</b>		<b>1250.0</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 16, se tiene el porcentaje de las pérdidas luego del ensayo de cántabro de la briqueta con Quimibond al 0.3%; estas pérdidas se relacionan al peso que pierden por desprendimiento a medida que aumentan las revoluciones.

Tabla 16: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.3%

<b>B. 0.3% K</b>	<b>% Perdidas</b>
<b>100 revoluciones</b>	3.80
<b>200 revoluciones</b>	7.14
<b>300 revoluciones</b>	9.62

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13, se presenta la tendencia según el porcentaje de pérdidas al cántabro según el número de revoluciones de 100, 200 y 300 vueltas de la briqueta con Quimibond al 0.3%.

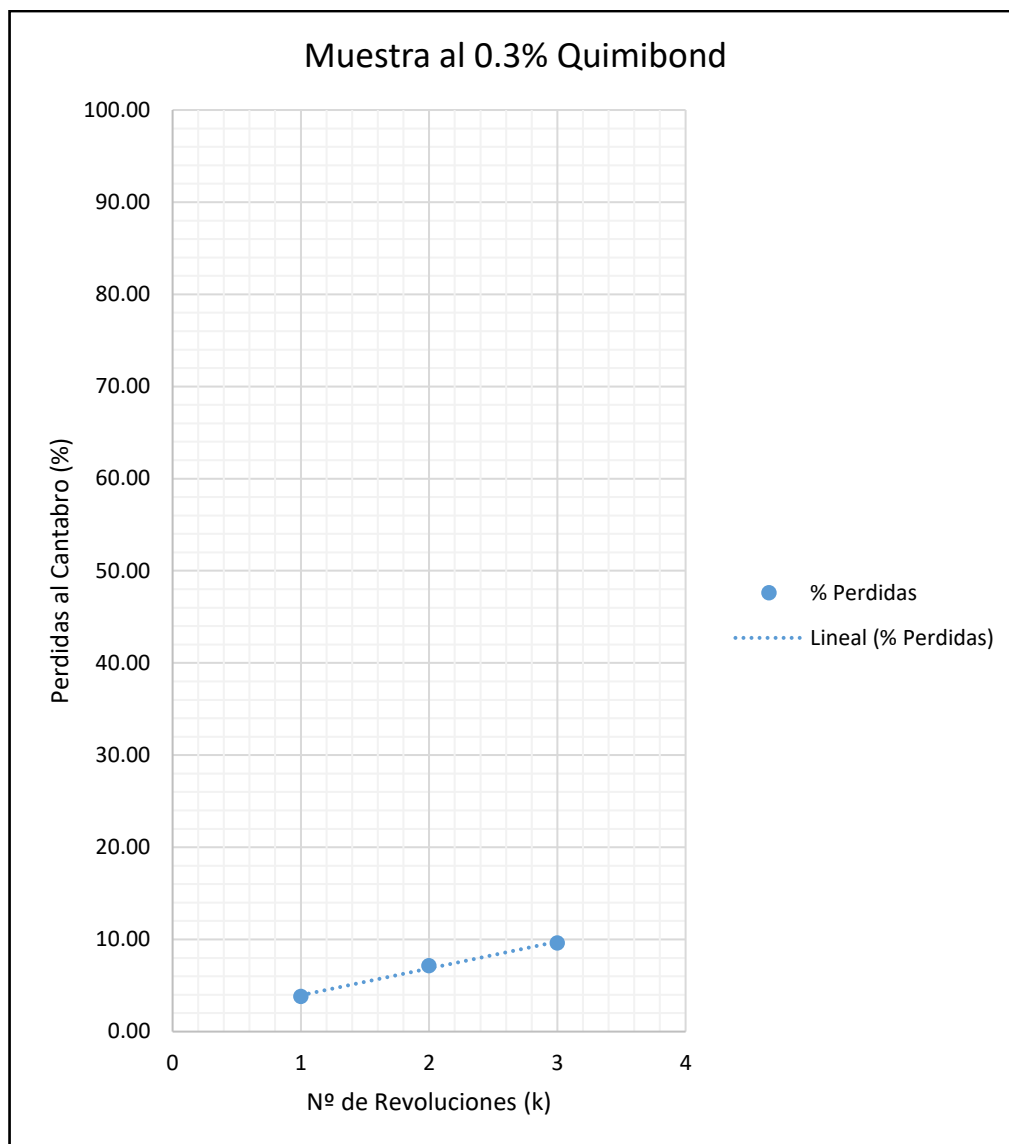


Figura 14: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.3%

Fuente: Elaboración propia

### **Briqueta con Quimibond 0.5%**

Se emplea el diseño de mezcla a 4,5% de asfalto (asfalto modificado con Quimibond al 0.5%), evaluando el aditivo mejorador de adherencia a distintos porcentajes para analizar su comportamiento; según esto, se emplea las dosificaciones de la Tabla 17.

Tabla 17: Briqueta para UCL – Asfalto Quimibond 0.5%

Material	% Asfalto	4.50%
	Mallas	
Arena Chancada	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.8
	#16	223.5
	< #16	249.3
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>477.5</b>
Arena Procesada	3/4"	0.0
	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.3
	# 16	121.7
	< #16	184.4
<b>SUB TOTAL</b>	<b>310.4</b>	
piedra 1/2" CRUSHING	3/4"	<b>0.0</b>
	1/2"	<b>0.0</b>
	3/8"	<b>7.9</b>
	# 4	<b>179.6</b>
	# 16	<b>14.8</b>
	< #16	<b>0.6</b>
<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>	
piedra 3/4" CRUSHING	3/4"	0.0
	1/2"	116.7
	3/8"	62.3
	# 4	23.3
	# 8	0.6
	< #8	0.0
<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>	
		1193.8
<b>PEN 85 - 100</b>		<b>56.3</b>
<b>QUIMIBOND</b>	0.5%	6.25
<b>TOTAL, DE MUESTRA</b>		<b>1250.0</b>

Fuente: Elaboración propia



En la Tabla 18, se tiene el porcentaje de las pérdidas luego del ensayo de cántabro de la briqueta con Quimibond al 0.5%; estas pérdidas se encuentran relacionadas al peso que pierden por desprendimiento a medida que aumentan las revoluciones.

Tabla 18: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.5%

<b>B. 0.5% K</b>	<b>% Perdidas</b>
<b>100 revoluciones</b>	2.97
<b>200 revoluciones</b>	4.95
<b>300 revoluciones</b>	8.49

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 15, se observa la tendencia según el porcentaje de pérdidas al cántabro y el número de revoluciones de 100, 200 y 300 vueltas de la briqueta con Quimibond al 0.5%.

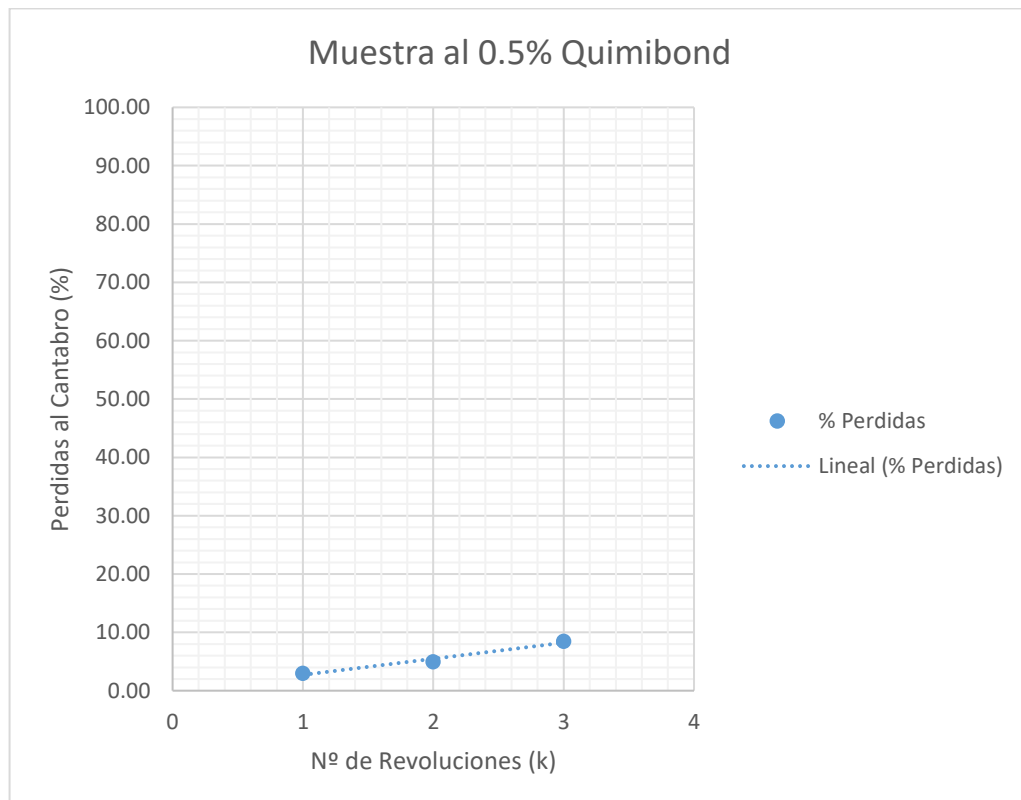


Figura 15: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.5%

Fuente: Elaboración propia

### Briqueta con Quimibond 0.7%

Se emplea el diseño de mezcla a 4,5% de asfalto (asfalto modificado con Quimibond al 0.7%), evaluando el aditivo mejorador de adherencia a distintos porcentajes para analizar su comportamiento; para esto, se emplea las dosificaciones de la Tabla 19.

Tabla 19: Briqueta para UCL – Asfalto Quimibond 0.7%

Material	% Asfalto	4.50%
	Mallas	
Arena Chancada	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.8
	#16	223.5
	< #16	249.3
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>477.5</b>
Arena Procesada	3/4"	0.0
	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.3
	# 16	121.7
	< #16	184.4
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>310.4</b>
piedra 1/2" CRUSHING	3/4"	<b>0.0</b>
	1/2"	<b>0.0</b>
	3/8"	<b>7.9</b>
	# 4	<b>179.6</b>
	# 16	<b>14.8</b>
	< #16	<b>0.6</b>
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>
piedra 3/4" CRUSHING	3/4"	0.0
	1/2"	116.7
	3/8"	62.3
	# 4	23.3
	# 8	0.6
	< #8	0.0

	<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>
		1193.8
<b>PEN 85 - 100</b>		<b>56.3</b>
<b>QUIMIBOND</b>	0.7%	8.75
<b>TOTAL, DE MUESTRA</b>		<b>1250.0</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 20, se tiene el porcentaje de las pérdidas luego del ensayo de cántabro de la briqueta con Quimibond al 0.7%; estas pérdidas se relacionan según el peso que van perdiendo por desprendimiento a medida que aumentan las revoluciones.

Tabla 20: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.7%

<b>B. 0.7% K</b>	<b>% Perdidas</b>
<b>100 revoluciones</b>	1.40
<b>200 revoluciones</b>	3.52
<b>300 revoluciones</b>	5.37

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 16, se presenta la tendencia según el porcentaje de pérdidas al cántabro según el número de revoluciones de 100, 200 y 300 vueltas de la briqueta con Quimibond al 0.7%.

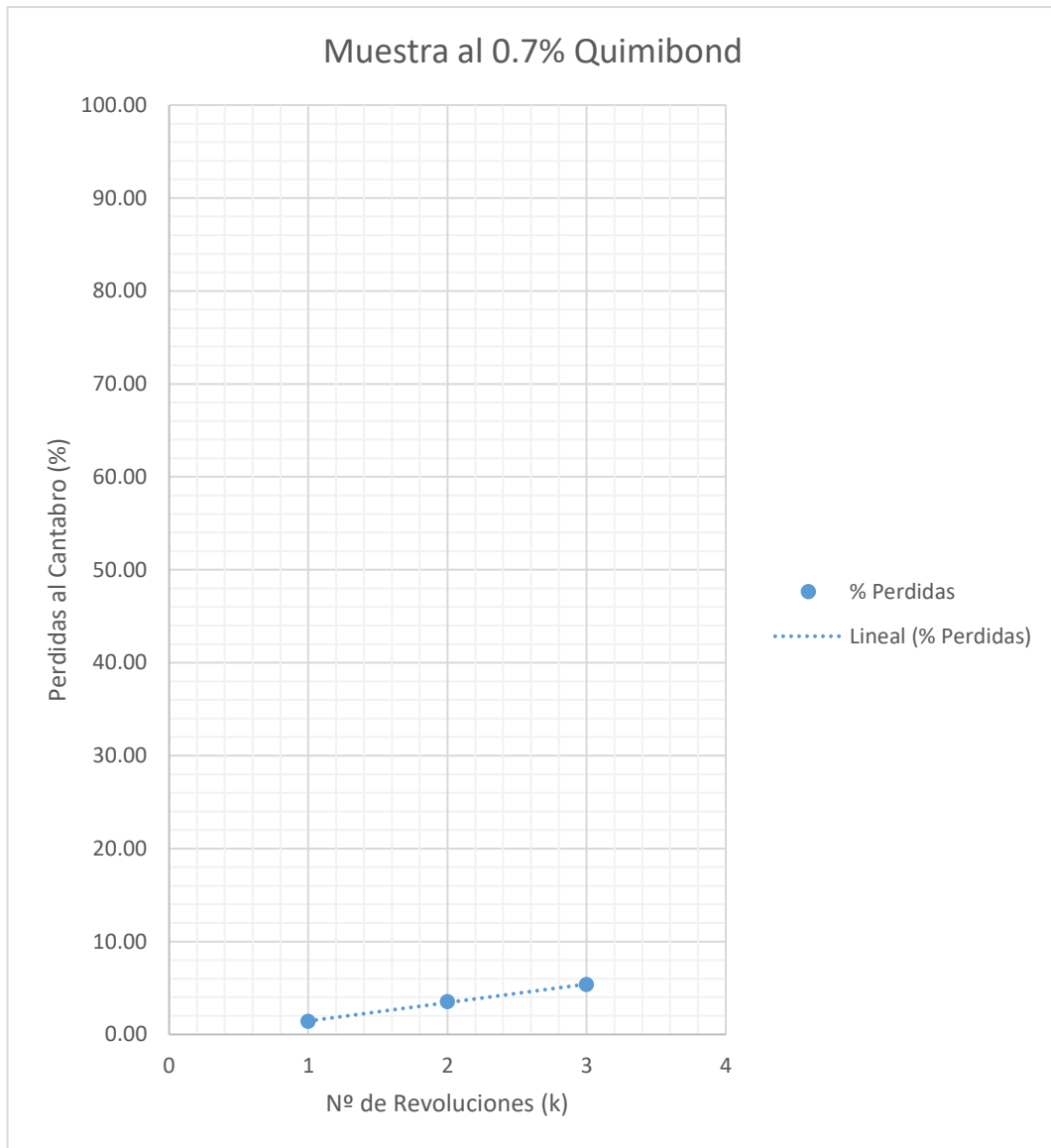


Figura 16: Pérdidas al Cántabro – Briquea Quimibond al 0.7%

Fuente: Elaboración propia

### **Briquea con Quimibond 0.9%**

Se emplea el diseño de mezcla a 4,5% de asfalto (asfalto modificado con Quimibond al 0.9%), evaluando el aditivo mejorador de adherencia por distintos porcentajes para analizar su comportamiento; para esto, se emplea las dosificaciones de la Tabla 21.

Tabla 21: Briqueta para UCL – Asfalto Quimibond 0.9%

Material	% Asfalto	4.50%
	Mallas	
Arena Chancada	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.8
	#16	223.5
	< #16	249.3
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>477.5</b>
Arena Procesada	3/4"	0.0
	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.3
	# 16	121.7
	< #16	184.4
<b>SUB TOTAL</b>	<b>310.4</b>	
piedra 1/2" CRUSHING	3/4"	<b>0.0</b>
	1/2"	<b>0.0</b>
	3/8"	<b>7.9</b>
	# 4	<b>179.6</b>
	# 16	<b>14.8</b>
	< #16	<b>0.6</b>
<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>	
piedra 3/4" CRUSHING	3/4"	0.0
	1/2"	116.7
	3/8"	62.3
	# 4	23.3
	# 8	0.6
	< #8	0.0
<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>	
		1193.8
<b>PEN 85 - 100</b>		<b>56.3</b>
<b>QUIMIBOND</b>	0.9%	11.25
<b>TOTAL, DE MUESTRA</b>		<b>1250.0</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 22, se tiene el porcentaje de las pérdidas luego del ensayo de cántabro de la briqueta con Quimibond al 0.9%; estas pérdidas están relacionadas al peso que van perdiendo por desprendimiento a medida que aumentan las revoluciones.

Tabla 22: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.9%

<b>B. 0.9% K</b>	<b>% Perdidas</b>
<b>100 revoluciones</b>	1.40
<b>200 revoluciones</b>	3.76
<b>300 revoluciones</b>	5.67

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 17, se observa la tendencia según el porcentaje de pérdidas al cántabro según el número de revoluciones de 100, 200 y 300 vueltas de la briqueta con Quimibond al 0.9%.

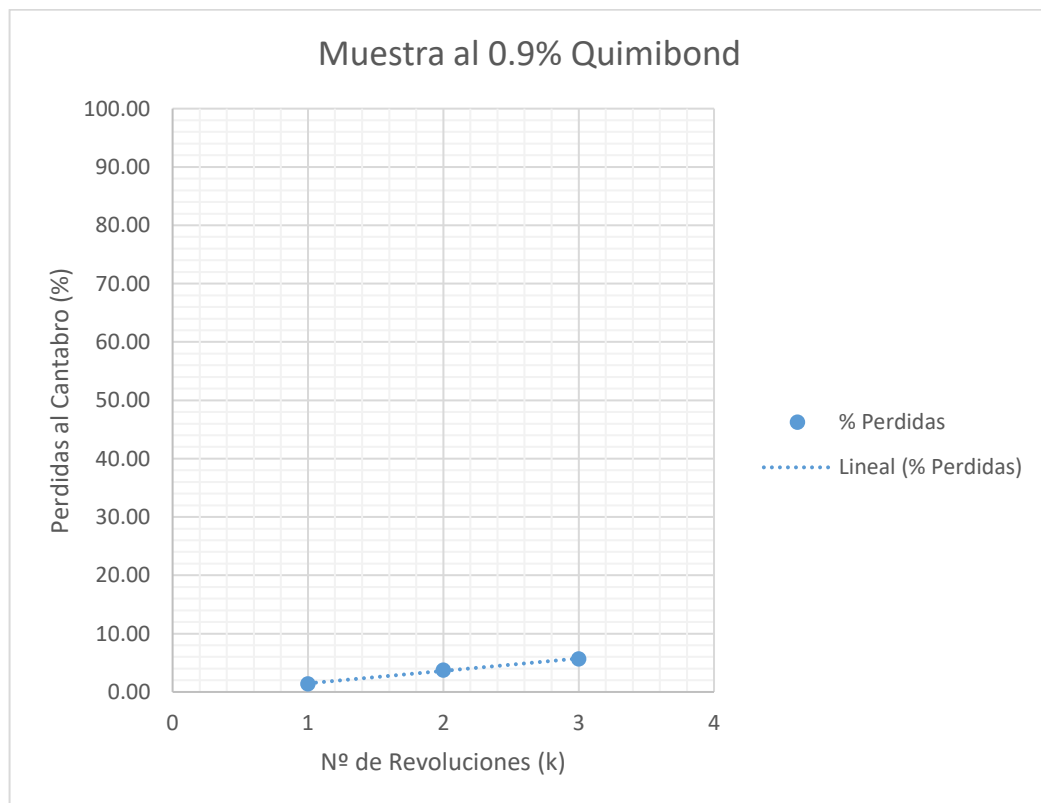


Figura 17: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 0.9%

Fuente: Elaboración propia

### Briqueta con Quimibond 1.1%

Se emplea el diseño de mezcla a 4,5% de asfalto (asfalto modificado con Quimibond al 1.1%), evaluando el aditivo mejorador de adherencia por distintos porcentajes para analizar su comportamiento; para esto, se emplea las dosificaciones de la Tabla 23.

Tabla 23: Briqueta para UCL – Asfalto Quimibond 1.1%

Material	% Asfalto	4.50%
	Mallas	
Arena Chancada	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.8
	#16	223.5
	< #16	249.3
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>477.5</b>
Arena Procesada	3/4"	0.0
	1/2"	0.0
	3/8"	0.0
	# 4	4.3
	# 16	121.7
	< #16	184.4
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>310.4</b>
piedra 1/2" CRUSHING	3/4"	<b>0.0</b>
	1/2"	<b>0.0</b>
	3/8"	<b>7.9</b>
	# 4	<b>179.6</b>
	# 16	<b>14.8</b>
	< #16	<b>0.6</b>
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>
piedra 3/4" CRUSHING	3/4"	0.0
	1/2"	116.7
	3/8"	62.3
	# 4	23.3

	# 8	0.6
	< #8	0.0
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>202.9</b>
		1193.8
<b>PEN 85 - 100</b>		<b>56.3</b>
<b>QUIMIBOND</b>	1.1%	13.75
<b>TOTAL, DE MUESTRA</b>		<b>1250.0</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 24, se tiene el porcentaje de las pérdidas luego del ensayo de cántabro de la briqueta con Quimibond al 1.1%; estas pérdidas se relacionan con el peso que van perdiendo por desprendimiento a medida que aumentan las revoluciones.

Tabla 24: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 1.1%

<b>B. 1.1% K</b>	<b>% Perdidas</b>
<b>100 revoluciones</b>	2.99
<b>200 revoluciones</b>	5.75
<b>300 revoluciones</b>	8.74

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18, se presenta la tendencia según el porcentaje de pérdidas al cántabro según el número de revoluciones de 100, 200 y 300 vueltas de la briqueta con Quimibond al 1.1%.



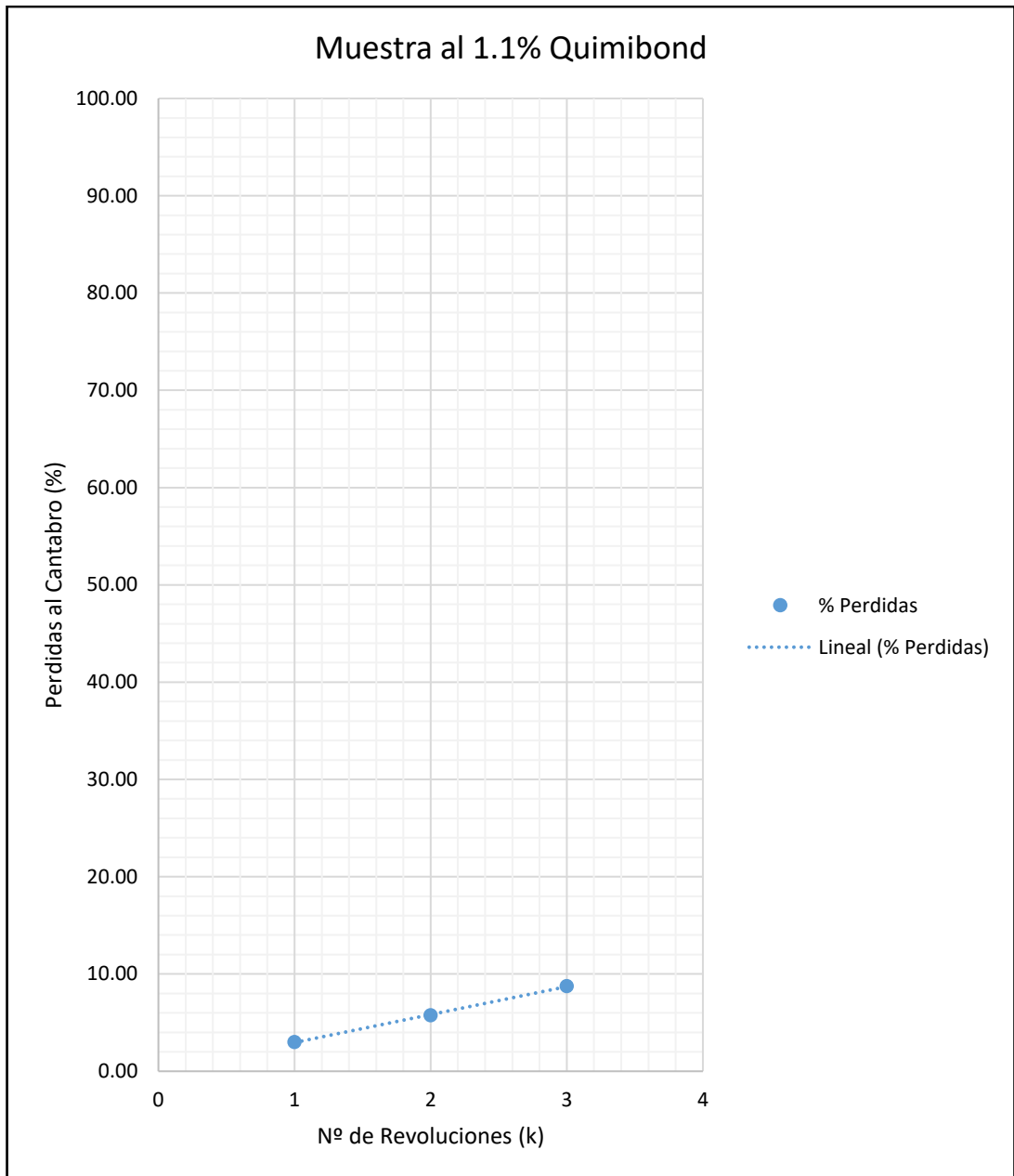


Figura 18: Pérdidas al Cántabro – Briqueta Quimibond al 1.1%

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Adherencia en Bandeja MTC-E520

Para analizar el ensayo de adherencia en bandeja, es importante determinar visualmente el porcentaje de adherencia entre un ligante bituminoso y una muestra representativa de grava que se va a utilizar en una mezcla asfáltica. La normativa más detallada sobre el ensayo referenciado, según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, es la INVE E 740/13.

Este ensayo reporta la afinidad que existe entre el agregado grueso y el ligante asfáltico, según la INVE E 740/13, que consiste en colocar una pequeña lámina de asfalto sobre una bandeja, en donde se acomodan 50 partículas de agregado grueso y, según la normativa, se dejan 4 días en un baño de agua a 50 °C para, finalmente, evaluar de forma visual la adherencia que existe entre estos componentes.

De igual forma, como el objetivo de la presente investigación es correlacionar el método UCL y el ensayo de adherencia en bandeja, se tomará el porcentaje de adherencia por cada día de sumergido en agua; es decir, se analizará a 1, 2, 3 y 4 días de sumergidos en baño María, comparándolo con el porcentaje de pérdida de masa al cántabro a 100, 200 y 300 revoluciones.

### Procedimiento de cálculo

Una vez realizada la inspección visual de cada partícula, se calcula el porcentaje de partícula de agregado (por número) que tiene una cobertura de ligante asfáltico según la clasificación:

- Completamente descubiertos – Se considera como cero.
- Parcialmente descubierto – Se cuenta como una unidad.
- Cubiertas – Se cuenta dos unidades.

Se tiene que el porcentaje de partículas cubiertas en la muestra se calcula como la suma de estos porcentajes redondeados al 2% más cercano.

Finalmente, se analiza este comportamiento con dos aditivos distintos, teniendo la siguiente configuración de bandejas para el estudio de su comportamiento ante la exposición al agua.

- Bandeja Natural, sin modificar.
- Bandeja con Polímeros, asfalto modificado con polímeros.
- Bandeja con 0.3% de Quimibond.
- Bandeja con 0.5% de Quimibond.
- Bandeja con 0.7% de Quimibond.
- Bandeja con 0.9% de Quimibond.
- Bandeja con 1.1% de Quimibond.

Se tiene que cumplir una progresión de pérdida en el porcentaje de adherencia a medida que pasan los días de sumergido, ya que la normativa especifica que, para casos de investigación, se controle estos valores de adherencia a 1,2,3 y 4 días de sumergido, teniendo en cuenta siempre que el valor de adherencia real es el tomado a los 4 días.

### **Adherencia en Bandeja - Día 1**

En la Tabla 25, se puede observar las muestras en la clasificación descrita a 1 día de sumergidas en baño María a 50 °C. También se ve la clasificación de cada partícula de agregado evaluada teniendo un valor de 0% cuando el porcentaje de adherencia es menor al 25%. Un valor de 1% cuando se encuentra entre un 25% y 75% de adherencia y un valor de 2% cuando el porcentaje de adherencia es mayor al 75%.

Tabla 25: Muestras a 1 día de sumergidas

<b>1 día</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Muestra</b>	Menos 25%	25% - 75%	Mas 75%
<b>B. Natural</b>	1	8	41
<b>B. Polímero</b>	0	3	47
<b>B. 0.3% K</b>	2	1	47
<b>B. 0.5% K</b>	0	3	47
<b>B. 0.7% K</b>	0	2	48
<b>B. 0.9% K</b>	1	1	48
<b>B. 1.1% K</b>	2	3	45

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 19, se tiene el porcentaje de adherencia obtenido a 1 día de sumergido a 50 °C en baño María por cada muestra y los aditivos empleados en la evaluación de desprendimiento de ligante.

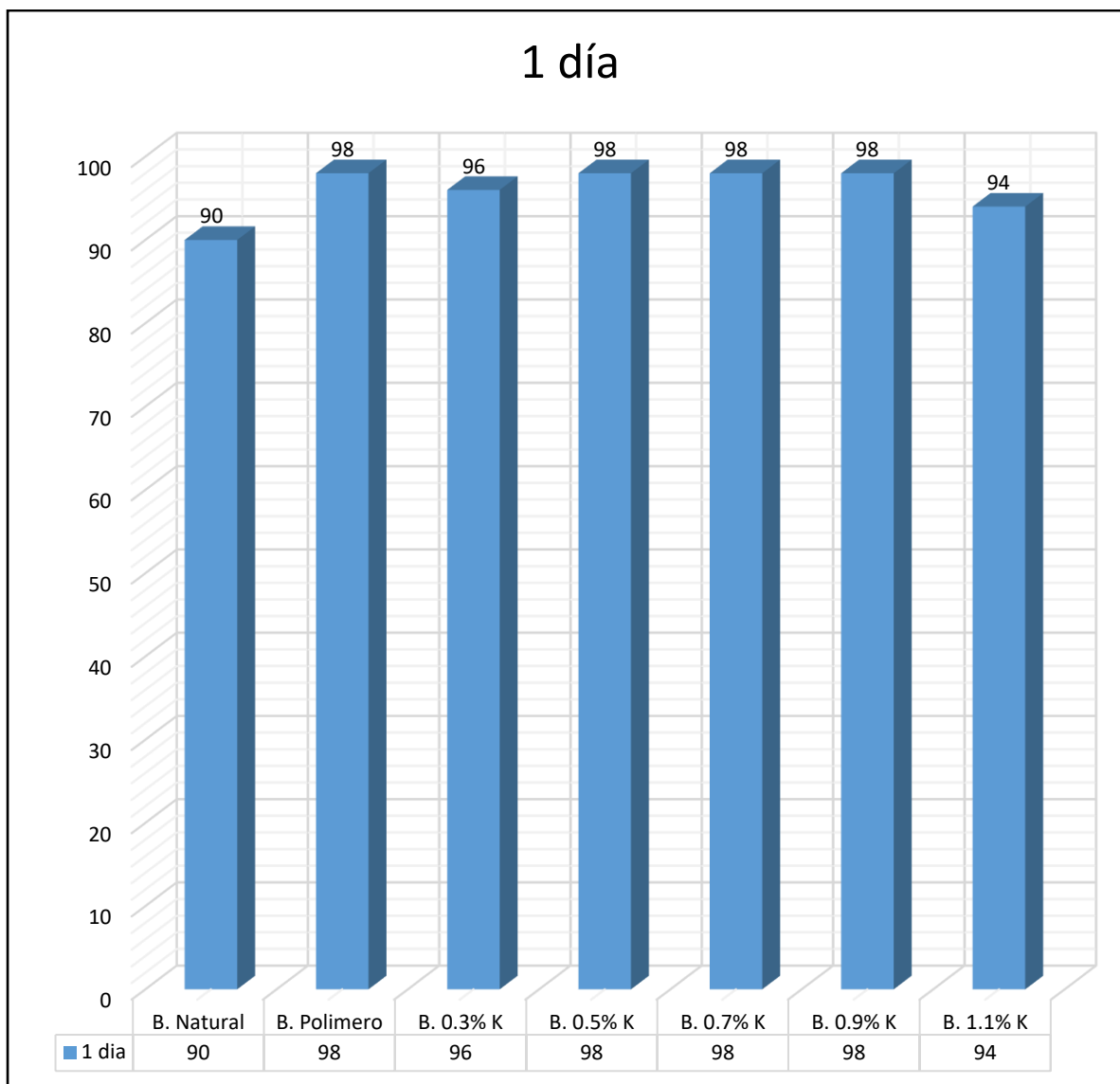


Figura 19: Porcentajes de adherencia a 1 día de sumergidas

Fuente: Elaboración propia

### Adherencia en Bandeja - Día 2

En la Tabla 26, se puede observar las muestras en la clasificación descrita a 2 días de sumergidas en baño María a 50 °C. También se ve la clasificación de cada partícula de agregado evaluada teniendo un valor de 0% cuando el porcentaje de adherencia es menor al 25%, un valor de 1% cuando se encuentra entre un 25% y 75% de adherencia y un valor de 2% cuando el porcentaje de adherencia es mayor al 75%.

Tabla 26: Muestras a 2 días de sumergidas

<b>2 día</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Muestra</b>	Menos 25%	25% - 75%	Mas 75%
<b>B. Natural</b>	3	11	36
<b>B. Polímero</b>	0	9	41
<b>B. 0.3% K</b>	2	2	46
<b>B. 0.5% K</b>	1	3	46
<b>B. 0.7% K</b>	0	5	45
<b>B. 0.9% K</b>	0	4	46
<b>B. 1.1% K</b>	2	5	43

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 20, se tiene el porcentaje de adherencia obtenido a 2 días de sumergido a 50 °C en baño María por cada muestra y aditivos empleados en la evaluación de desprendimiento de ligante.

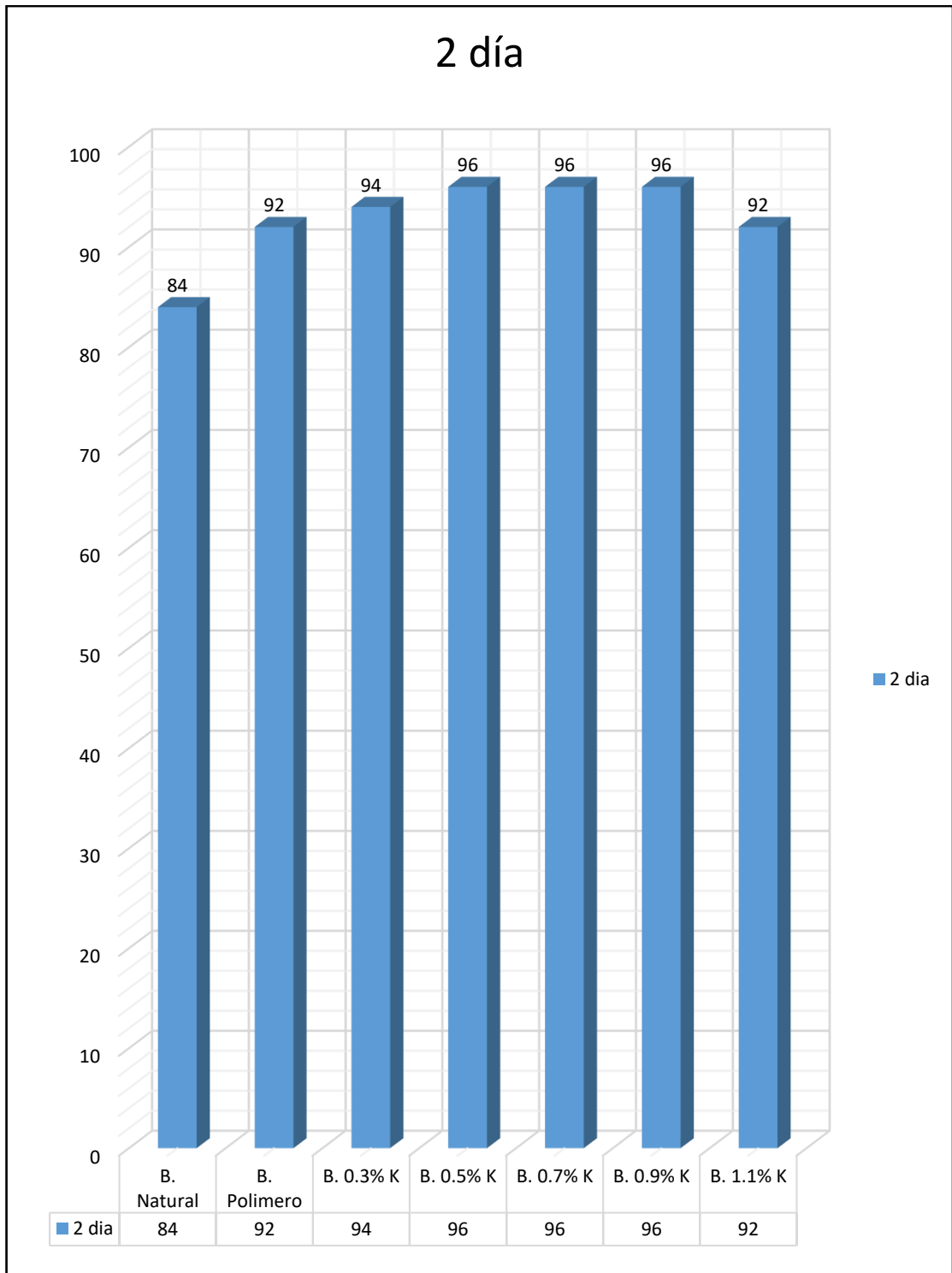


Figura 20: Porcentajes de adherencia a 2 días de sumergidas

Fuente: Elaboración propia

### Adherencia en Bandeja - Día 3

En la Tabla 27, se observa las muestras en la clasificación descrita a 3 días de sumergido en baño María a 50 °C. También se ve la clasificación de cada partícula de agregado evaluada teniendo un valor de 0% cuando el porcentaje de adherencia es menor al 25%, un valor de 1% cuando se encuentra entre un 25% y 75% de adherencia y un valor de 2% cuando el porcentaje de adherencia es mayor al 75%.

Tabla 27: Muestras a 3 días de sumergidas

3 día	0	1	2
Muestra	Menos 25%	25% - 75%	Mas 75%
B. Natural	7	7	36
B. Polímero	1	8	41
B. 0.3% K	1	8	41
B. 0.5% K	2	5	43
B. 0.7% K	0	7	43
B. 0.9% K	0	6	44
B. 1.1% K	1	8	41

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 21, se tiene el porcentaje de adherencia obtenido a 3 días de sumergido a 50 °C en baño María por cada muestra y aditivos empleados en la evaluación de desprendimiento de ligante.



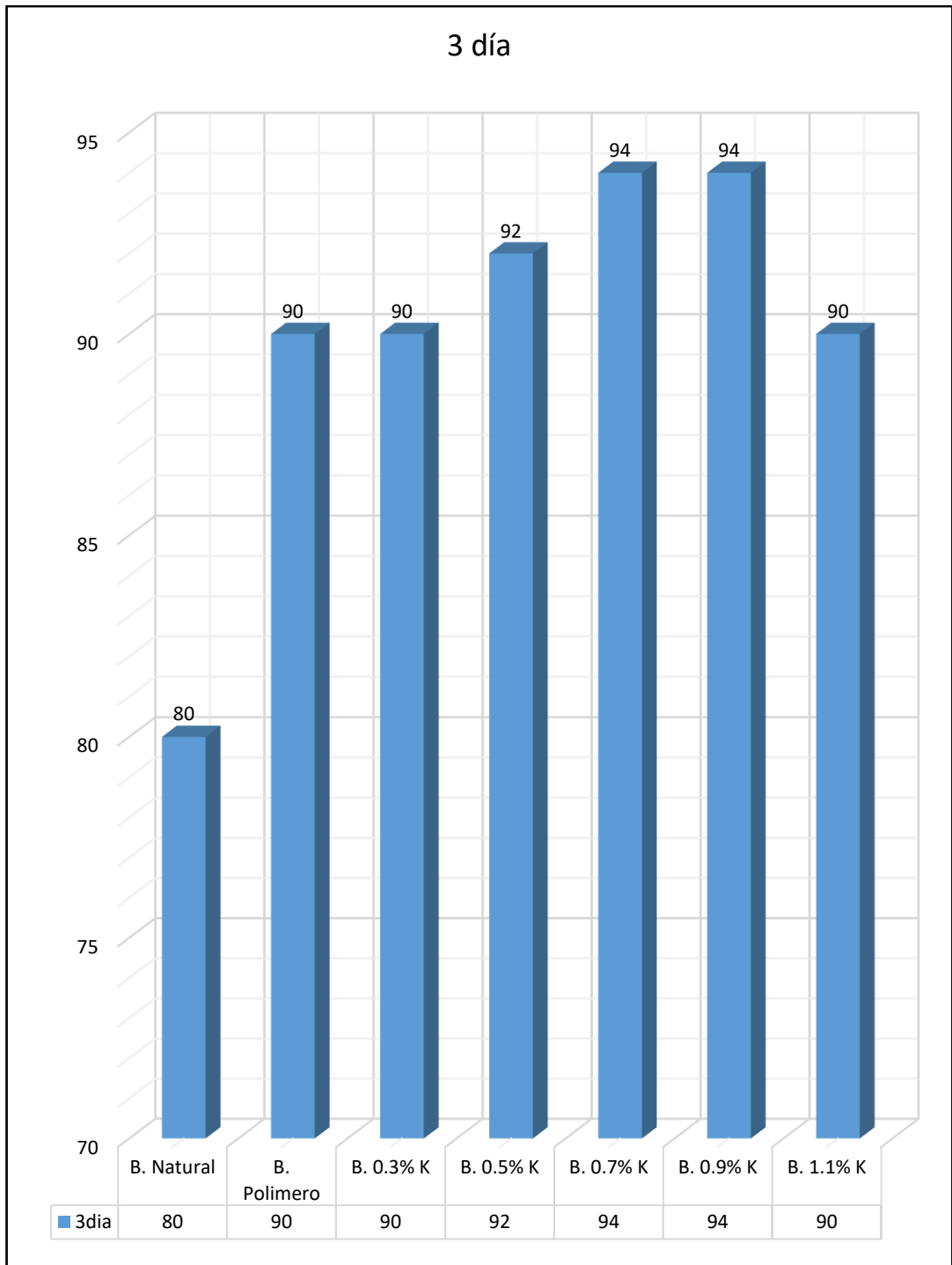


Figura 21: Porcentajes de adherencia a 3 días de sumergidas

Fuente: Elaboración propia

#### **Adherencia en Bandeja - Día 4**

En la Tabla 28, se puede observar las muestras en la clasificación descrita a 4 días de sumergido en baño María a 50 °C. También se ve la clasificación de cada partícula de agregado evaluada teniendo un valor de 0% cuando el porcentaje de adherencia es menor al 25%, un valor de 1% cuando se encuentra entre un 25% y 75% de adherencia y un valor de 2% cuando el porcentaje de adherencia es mayor al 75%.

Tabla 28: Muestras a 4 días de sumergidas

<b>4 día</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Muestra</b>	Menos 25%	25% - 75%	Mas 75%
<b>B. Natural</b>	4	16	30
<b>B. Polímero</b>	3	7	40
<b>B. 0.3% K</b>	2	8	40
<b>B. 0.5% K</b>	2	7	41
<b>B. 0.7% K</b>	2	5	43
<b>B. 0.9% K</b>	1	8	41
<b>B. 1.1% K</b>	2	9	39

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 22, se tiene el porcentaje de adherencia obtenido a 4 días de sumergido a 50 °C en baño María por cada muestra y aditivos empleados en la evaluación de desprendimiento de ligante.

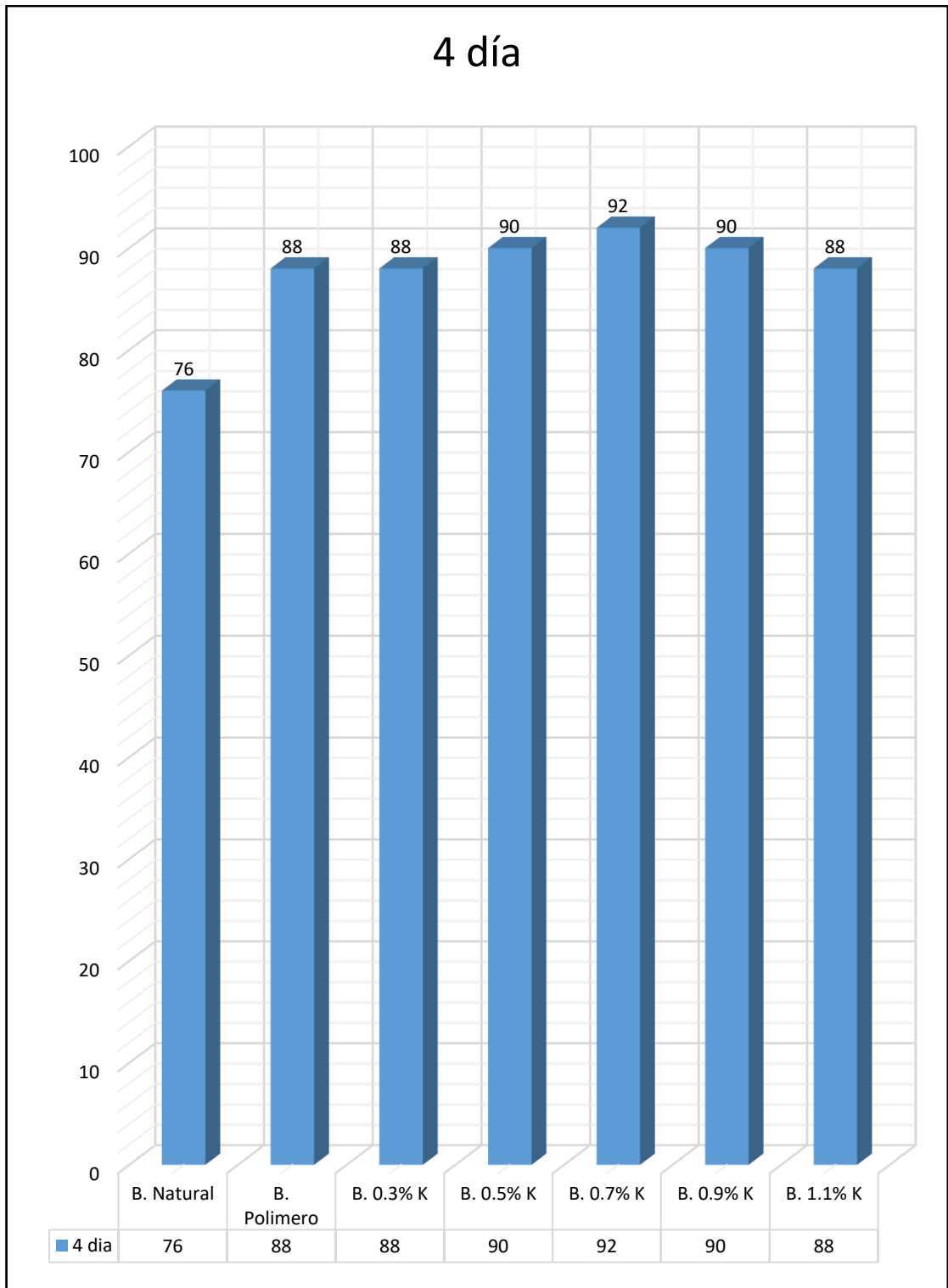


Figura 22: Porcentajes de adherencia a 4 días de sumergidas

Fuente: Elaboración propia

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### Pérdida al Cántabro (UCL) – Mejorador de Adherencia

El análisis estadístico en la presente investigación tiene una gran importancia, debido a que se pretende encontrar la correlación que existe entre los resultados obtenidos bajo la metodología del UCL y el ensayo de adherencia en bandeja MTC E-520 y, de este modo, determinar la correlación estadística. Es necesario definir la normalidad de los resultados obtenidos; este análisis se realiza en el programa SPSS para la determinación de las ecuaciones que grafican el comportamiento de los resultados en la búsqueda de la correlación de los ensayos propuestos.

En la Tabla 29, se presentan los datos descriptivos de los resultados obtenidos del porcentaje de pérdida al cántabro por el tipo de muestra estudiada; es importante realizar el análisis estadístico para determinar el nivel de correlación que existe entre las variables.

Tabla 29: Información descriptiva de Pérdida al Cántabro por Tipo de Aditivo

Descriptivos					
	Tipo de Aditivo		Estadístico	Error estándar	
Pérdida al Cántabro (%)	M. Natural	Media	15,8467	3,64331	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,1708	
			Límite superior	31,5225	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	16,8100		
		Varianza	39,821		
		Desviación estándar	6,31039		
		Mínimo	9,11		
		Máximo	21,62		
		Rango	12,51		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	-,671	1,225	
		Curtosis	.	.	
		M. Polímeros	Media	7,3200	2,26934

	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-2,4442	
		Límite superior	17,0842	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		7,4000	
	Varianza		15,450	
	Desviación estándar		3,93061	
	Mínimo		3,35	
	Máximo		11,21	
	Rango		7,86	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,092	1,225
	Curtosis		.	.
Q. 0.3%	Media		6,8533	1,68619
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-,4018	
		Límite superior	14,1084	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		7,1400	
	Varianza		8,530	
	Desviación estándar		2,92057	
	Mínimo		3,80	
	Máximo		9,62	
	Rango		5,82	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,437	1,225
	Curtosis		.	.
Q. 0.5%	Media		5,4700	1,61456
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-1,4769	
		Límite superior	12,4169	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		4,9500	
	Varianza		7,820	
	Desviación estándar		2,79650	
	Mínimo		2,97	
	Máximo		8,49	
	Rango		5,52	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,808	1,225

	Curtosis		.	.
Q. 0.7%	Media		3,4300	1,14692
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-1,5048	
		Límite superior	8,3648	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,5200	
	Varianza		3,946	
	Desviación estándar		1,98653	
	Mínimo		1,40	
	Máximo		5,37	
	Rango		3,97	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,203	1,225
	Curtosis		.	.
Q. 0.9%	Media		3,6100	1,23492
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-1,7034	
		Límite superior	8,9234	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,7600	
	Varianza		4,575	
	Desviación estándar		2,13895	
	Mínimo		1,40	
	Máximo		5,67	
	Rango		4,27	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,314	1,225
	Curtosis		.	.
Q. 1.1%	Media		5,8267	1,66032
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-1,3171	
		Límite superior	12,9705	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		5,7500	
	Varianza		8,270	
	Desviación estándar		2,87577	
	Mínimo		2,99	
	Máximo		8,74	
	Rango		5,75	

Rango intercuartil	.	.
Asimetría	,120	1,225
Curtosis	.	.

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

En la Tabla 30, se presenta la prueba de normalidad realizada para los resultados de pérdida por cántabro y el tipo de aditivo empleado; en este caso, la normalidad de los datos será analizada por Shapiro – Wilk, ya que la cantidad de muestras estudiadas son menores a 50; la importancia de realizar la prueba de normalidad con estas variables es que definen el coeficiente de correlación que se realiza por Pearson o Spearman.

Tabla 30: Prueba de normalidad por Pérdida al Cántabro (%)

Pruebas de normalidad							
	Tipo de Aditivo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pérdida al Cántabro (%)	M. Natural	,227	3	.	,983	3	,747
	M. Polímeros	,177	3	.	1,000	3	,966
	Q. 0.3%	,206	3	.	,993	3	,837
	Q. 0.5%	,240	3	.	,974	3	,691
	Q. 0.7%	,185	3	.	,998	3	,925
	Q. 0.9%	,195	3	.	,996	3	,884
	Q. 1.1%	,178	3	.	,999	3	,956

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

Según la prueba de normalidad analizada por Shapiro – Wilk, se presentan valores de significancia mayores a 0,50 en todos los tipos de aditivo estudiados, siendo el análisis de correlación para estas variables por el coeficiente de Pearson.

En las siguientes figuras, se muestran los histogramas que presentan simetría en su distribución, por lo que no es necesario excluir datos no paramétricos según la pérdida al cántabro y la frecuencia evaluada.

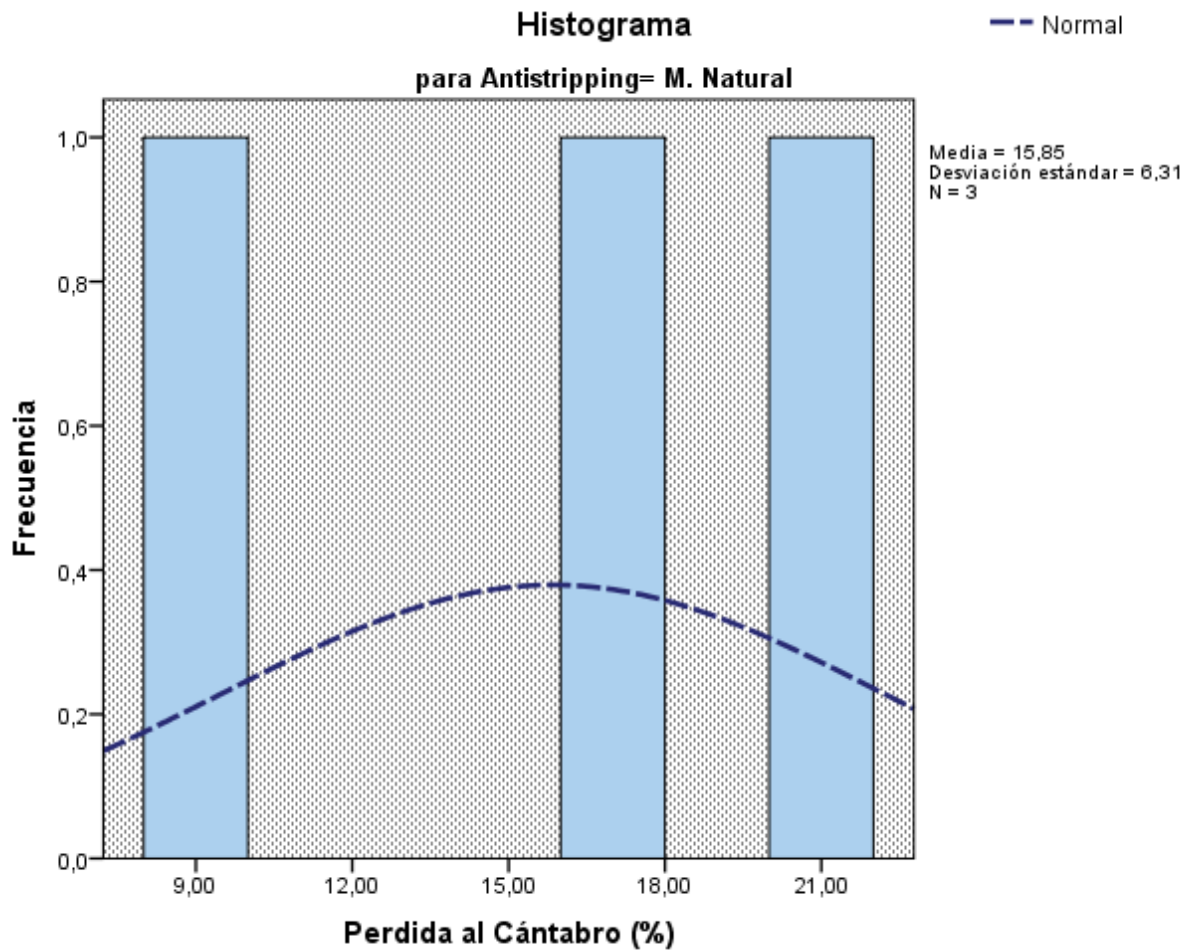


Figura 23: Histograma para Muestra natural UCL

Fuente: Elaboración propia (SPSS)



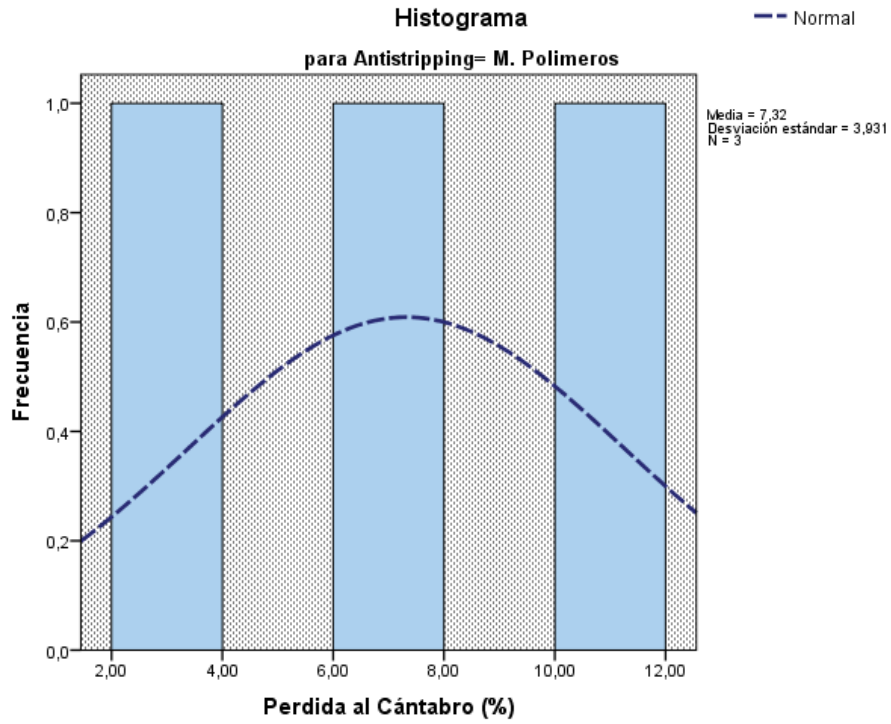


Figura 24: Histograma para Muestra con Polímeros UCL

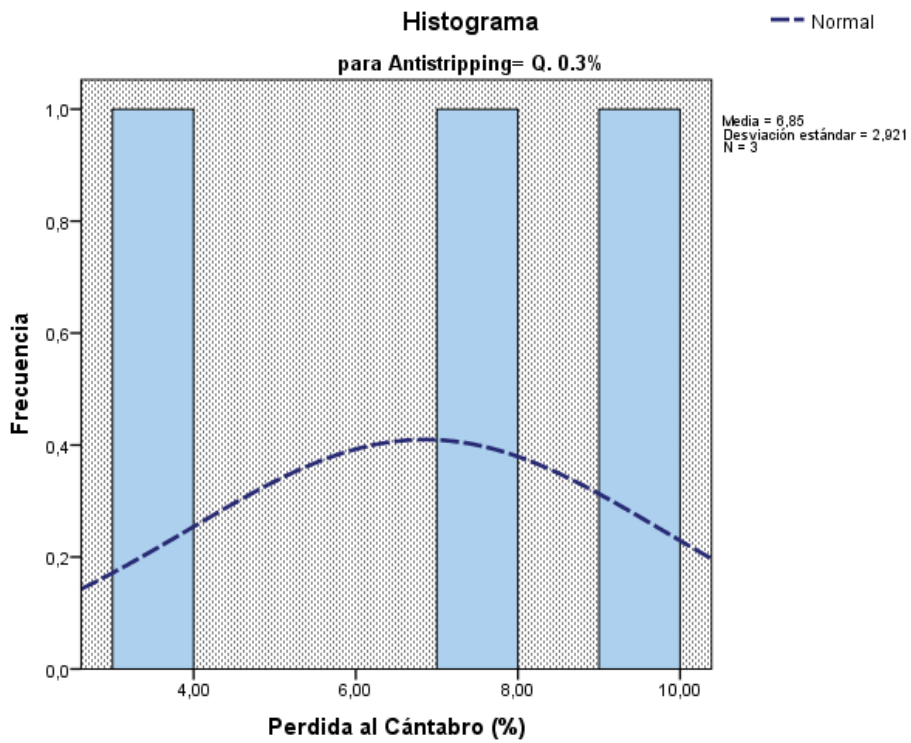


Figura 25: Histograma para Muestra con 0.3% de Quimibond UCL

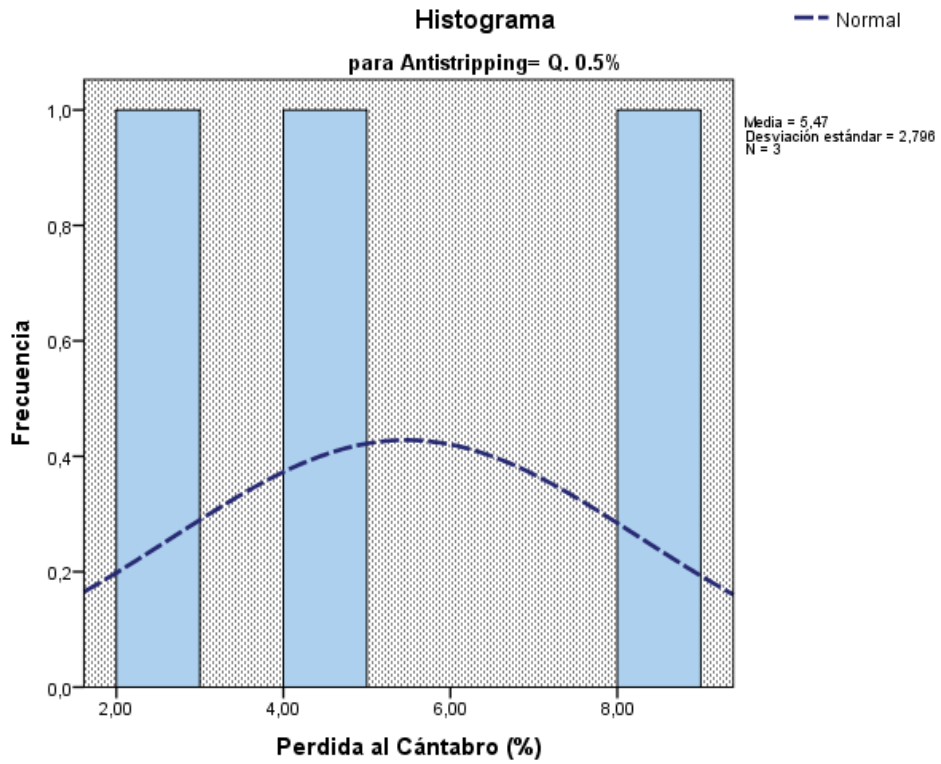


Figura 26: Histograma para Muestra con 0.5% de Quimibond UCL

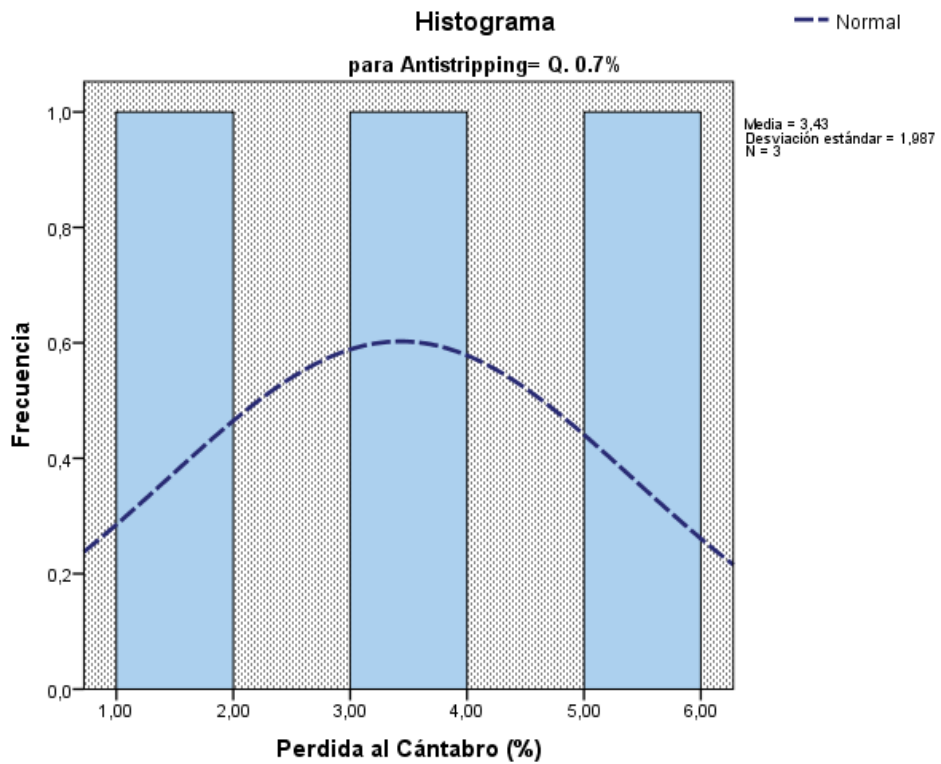


Figura 27: Histograma para Muestra con 0.7% de Quimibond UCL

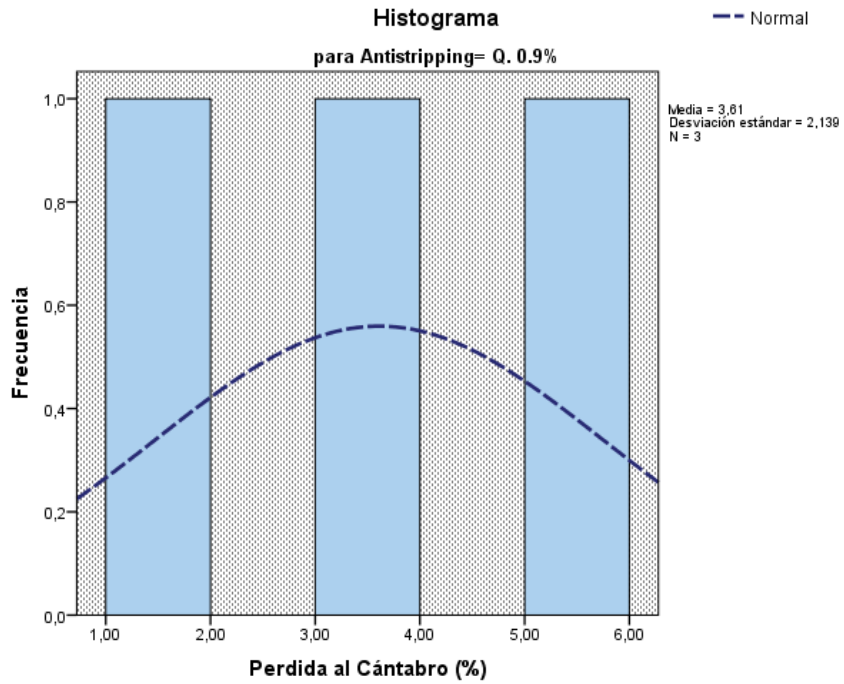


Figura 28: Histograma para Muestra con 0.9% de Quimibond UCL

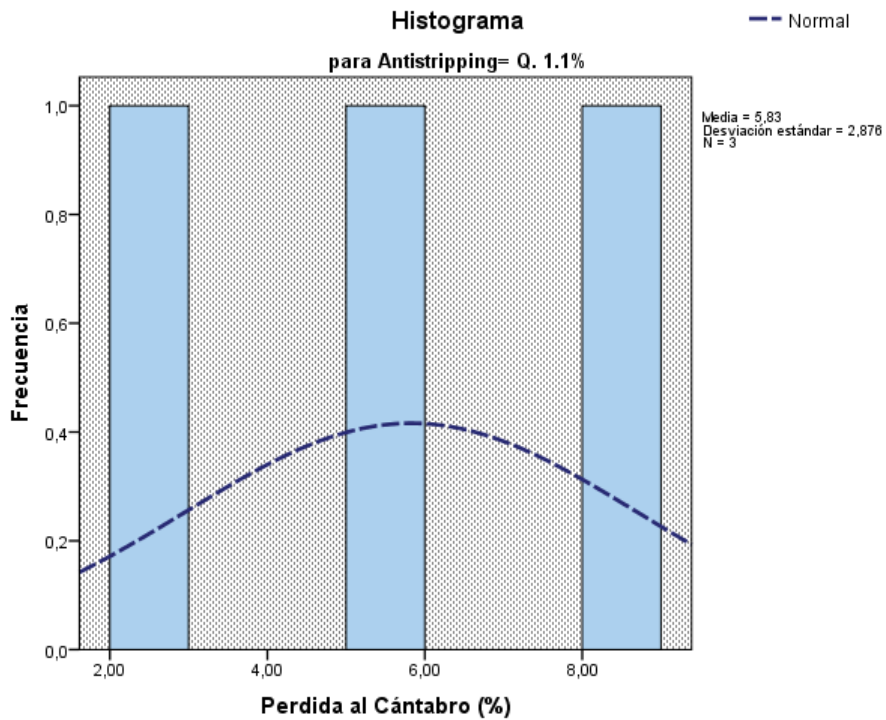


Figura 29: Histograma para Muestra con 1.1% de Quimibond UCL

En la Figura 30, se muestra el diagrama de bigotes de los resultados obtenidos; se presenta los rangos para verificar que los valores están entre los límites máximos y mínimos permisibles; en la dicha figura, se cumple con los rangos en todos los tipos de aditivos ensayados.

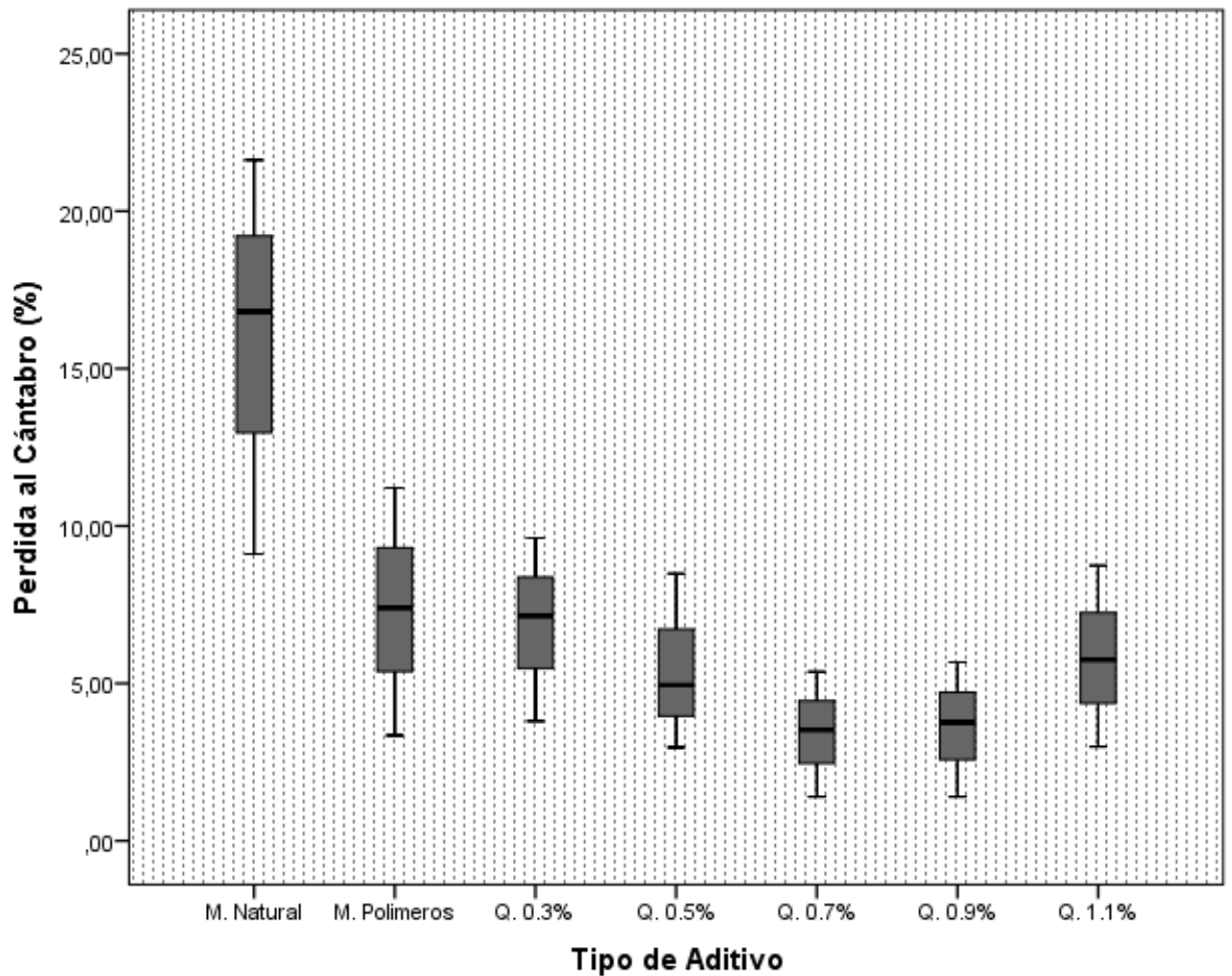


Figura 30: Diagrama de bigotes de Pérdida al Cántabro (%)

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

Obtenida la distribución según la prueba de normalidad y los valores de significancia de estos, se realiza el análisis por correlación bivariada según el coeficiente de Pearson donde se plantea las siguientes hipótesis:

Ho:  $\rho = 0$  (No existe correlación entre el porcentaje de pérdida al cántabro y el tipo de aditivo empleado)

Hi:  $\rho \neq 0$  (Existe correlación entre el porcentaje de pérdida al cántabro y el tipo de aditivo empleado)

En la Tabla 31, se presenta una correlación bivariada analizada por el tipo de aditivo y la pérdida al cántabro, teniendo de esta manera una rho de -0.601, que es diferente de 0, por lo que se puede afirmar la hipótesis de que existe correlación entre el porcentaje de pérdida al cántabro y el tipo de aditivo empleado.

Según el valor de correlación obtenido, se puede clasificar dentro de los rangos permisibles obteniendo, de esta manera, una “correlación negativa considerable”.

Tabla 31: Tabla de correlación bivariada por Pearson

<b>Correlaciones</b>			
		<b>Tipo de Aditivo</b>	<b>Perdida al Cántabro (%)</b>
Tipo de Aditivo	Correlación de Pearson	1	-,601**
	Sig. (bilateral)		,004
	N	21	21
Perdida al Cántabro (%)	Correlación de Pearson	-,601**	1
	Sig. (bilateral)	,004	
	N	21	21

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

En la Figura 31, se presenta el gráfico final de los resultados obtenidos del porcentaje de pérdida al cántabro por el tipo de aditivo empleado; de esta manera, se obtiene la ecuación del UCL que será correlacionada con la ecuación de los datos obtenidos por el porcentaje de adherencia del ensayo MTC-E520 para determinar el grado de correlación que existe entre ambas.

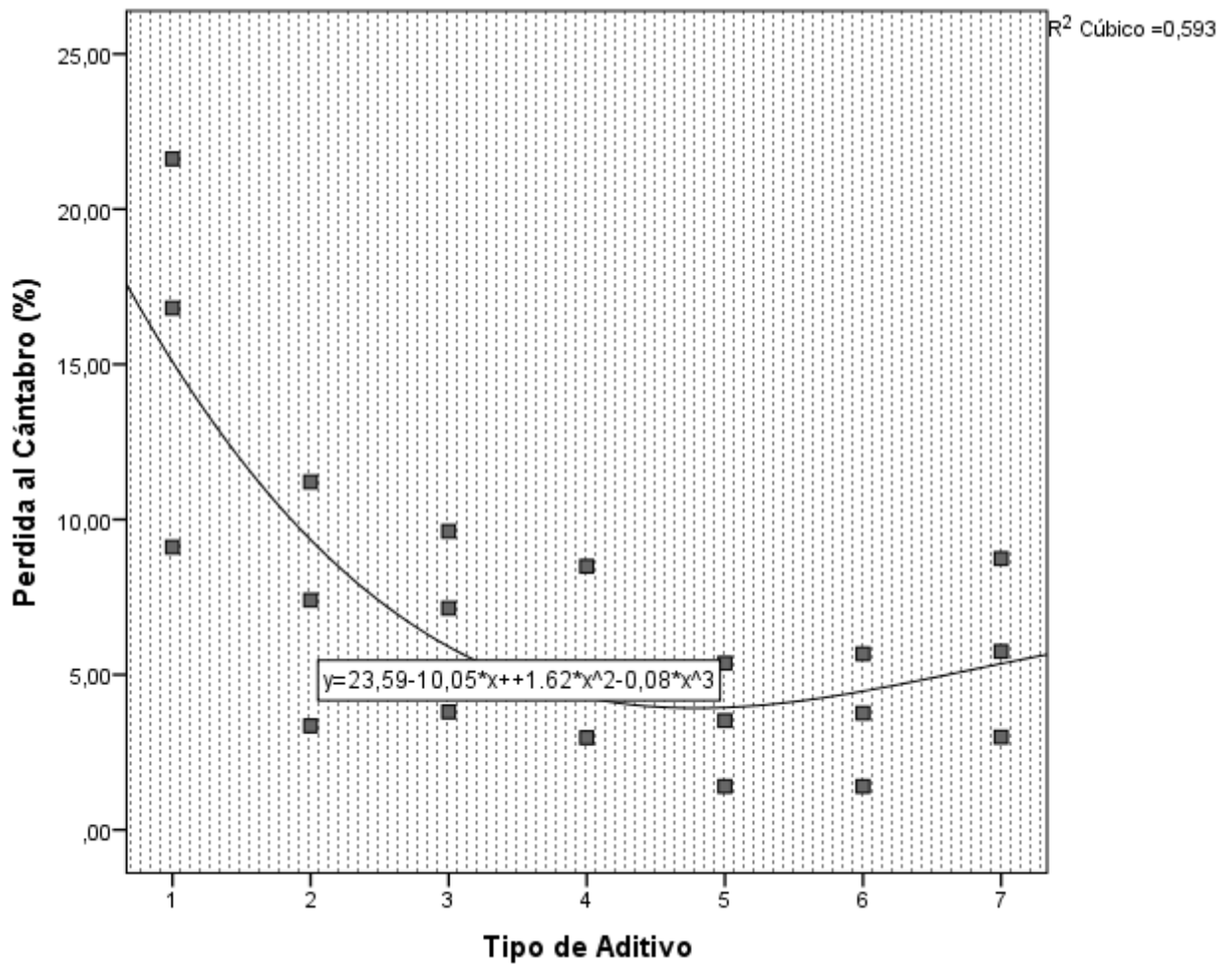


Figura 31: Porcentaje de Pérdida al Cántabro por tipo de aditivo

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

### Porcentaje de Adherencia (MTC E 520) – Mejorador de Adherencia

En la Tabla 32, se presenta los resultados obtenidos del porcentaje de adherencia según el tipo de muestra estudiada; es importante realizar el análisis estadístico para determinar el nivel de correlación que existe entre las variables.

Tabla 32: Información descriptiva de Porcentaje de Adherencia por Tipo de Aditivo

Descriptivos					
		Tipo de Aditivo	Estadístico	Error estándar	
Porcentaje de Adherencia (%)	M. Natural	Media	83,33	4,055	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	65,89	
			Límite superior	100,78	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	84,00		
		Varianza	49,333		
		Desviación estándar	7,024		
		Mínimo	76		
		Máximo	90		
		Rango	14		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	-,423	1,225	
		Curtosis	.	.	
		M. Polímeros	Media	92,67	2,906
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	80,16	
			Límite superior	105,17	
	Media recortada al 5%		.		
	Mediana		92,00		
	Varianza		25,333		
	Desviación estándar		5,033		
Mínimo	88				
Máximo	98				
Rango	10				
Rango intercuartil	.				
Asimetría	,586		1,225		
Curtosis	.		.		
Q. 0.3%	Media		92,67	2,404	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	82,32		
		Límite superior	103,01		
	Media recortada al 5%	.			

	Mediana		94,00	
	Varianza		17,333	
	Desviación estándar		4,163	
	Mínimo		88	
	Máximo		96	
	Rango		8	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,293	1,225
	Curtosis		.	.
Q. 0.5%	Media		94,67	2,404
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	84,32	
		Límite superior	105,01	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		96,00	
	Varianza		17,333	
	Desviación estándar		4,163	
	Mínimo		90	
	Máximo		98	
	Rango		8	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,293	1,225
	Curtosis		.	.
Q. 0.7%	Media		95,33	1,764
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	87,74	
		Límite superior	102,92	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		96,00	
	Varianza		9,333	
	Desviación estándar		3,055	
	Mínimo		92	
	Máximo		98	
	Rango		6	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,935	1,225
	Curtosis		.	.
Q. 0.9%	Media		94,67	2,404



	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	84,32	
		Límite superior	105,01	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		96,00	
	Varianza		17,333	
	Desviación estándar		4,163	
	Mínimo		90	
	Máximo		98	
	Rango		8	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,293	1,225
	Curtosis		.	.
Q. 1.1%	Media		91,33	1,764
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	83,74	
		Límite superior	98,92	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		92,00	
	Varianza		9,333	
	Desviación estándar		3,055	
	Mínimo		88	
	Máximo		94	
	Rango		6	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,935	1,225
	Curtosis		.	.

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

En la Tabla 30, se presenta la prueba de normalidad realizada para los resultados de porcentaje de adherencia y el tipo de aditivo empleado; en este caso, la normalidad de los datos será analizada por Shapiro – Wilk, ya que la cantidad de muestras estudiadas son menores a 50; la importancia de realizar la prueba de normalidad con estas variables es que estas definirán el coeficiente de correlación que se realizará ya sea por Pearson o Spearman.

Tabla 33: Prueba de normalidad por adherencia (%)

Pruebas de normalidad							
	Tipo de Aditivo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de Adherencia (%)	M. Natural	,204	3	.	,993	3	,843
	M. Polímeros	,219	3	.	,987	3	,780
	Q. 0.3%	,292	3	.	,923	3	,463
	Q. 0.5%	,292	3	.	,923	3	,463
	Q. 0.7%	,253	3	.	,964	3	,637
	Q. 0.9%	,292	3	.	,923	3	,463
	Q. 1.1%	,253	3	.	,964	3	,637

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

Según la prueba de normalidad realizada y analizada por Shapiro – Wilk, se presentan valores de significancia menores a 0,50 en los tipos de aditivo estudiados, por lo que el análisis de correlación para estas variables será por el coeficiente de Spearman. Antes de realizar el análisis de correlación, es necesario verificar los histogramas de simetría de los tipos de aditivos empleados.

En las siguientes figuras, se muestran los histogramas que presentan simetría en su distribución por lo que no es necesario excluir datos no paramétricos según la pérdida al cántabro y la frecuencia evaluada.

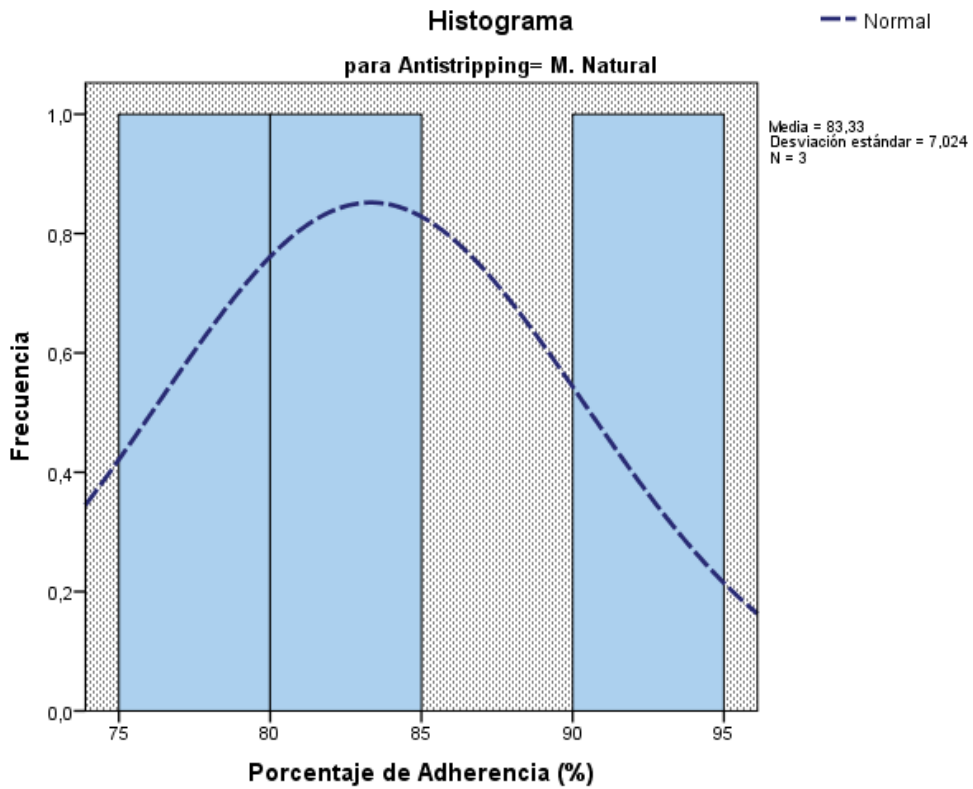


Figura 32: Histograma para Muestra natural AB

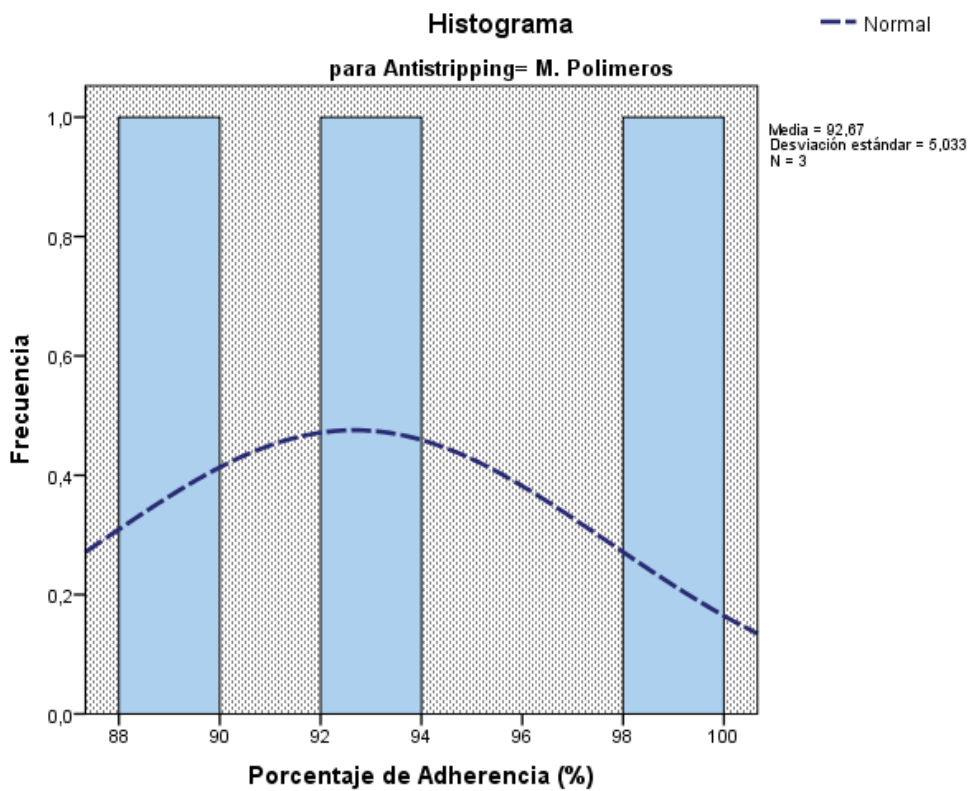


Figura 33: Histograma para Asfalto con Polimeros AB

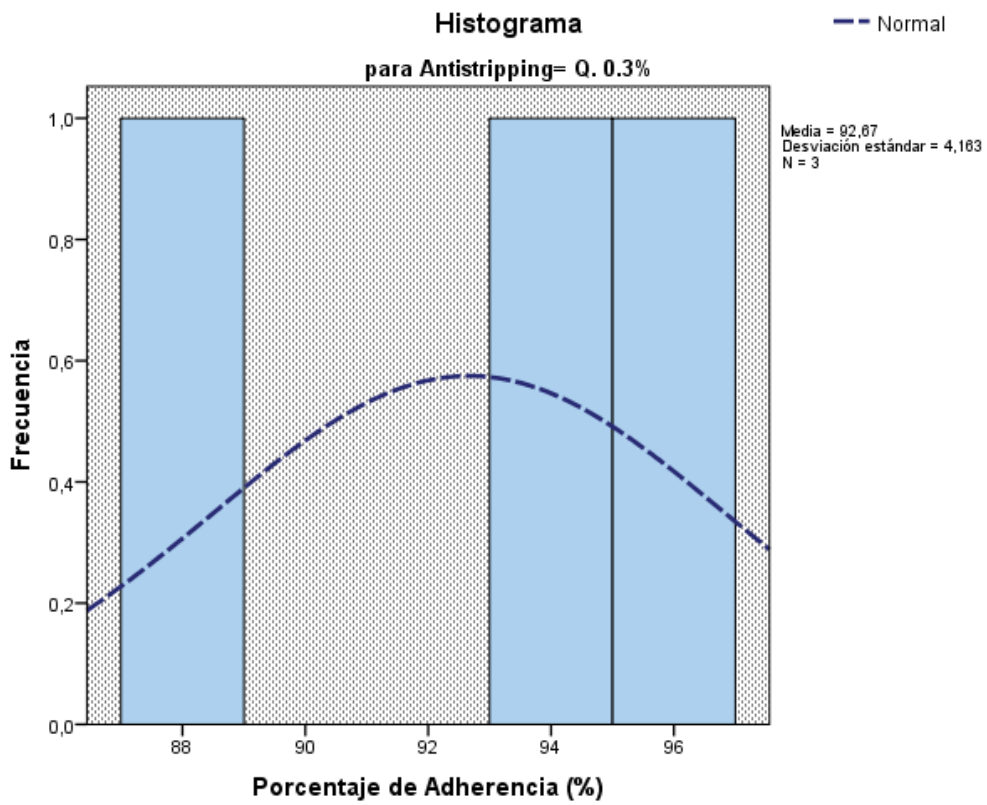


Figura 34: Histograma para Quimibond al 0.3% AB

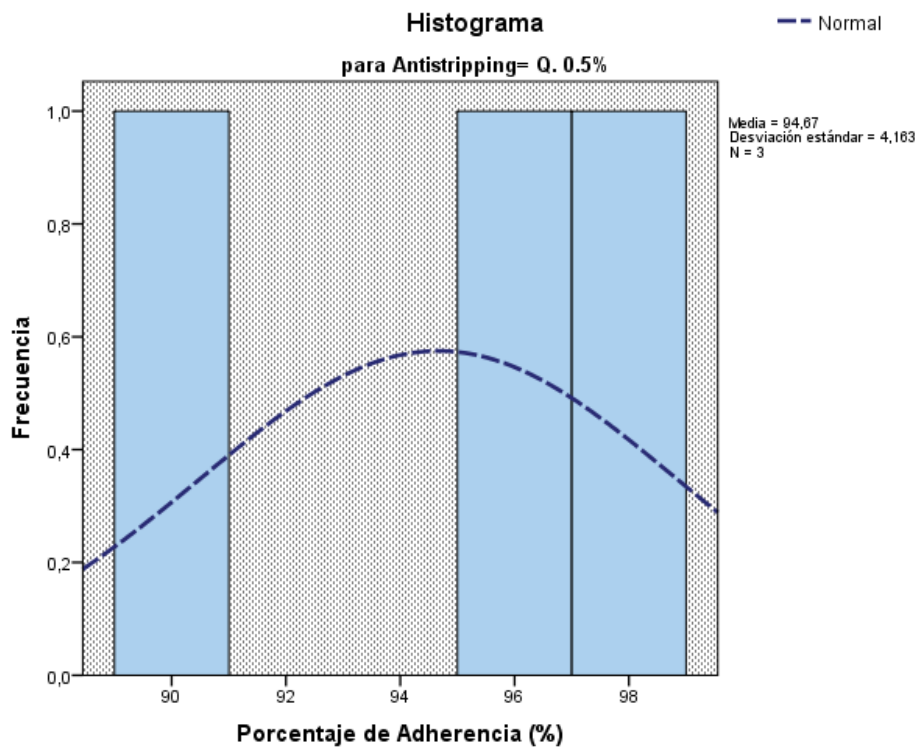


Figura 35: Histograma para Quimibond al 0.5% AB

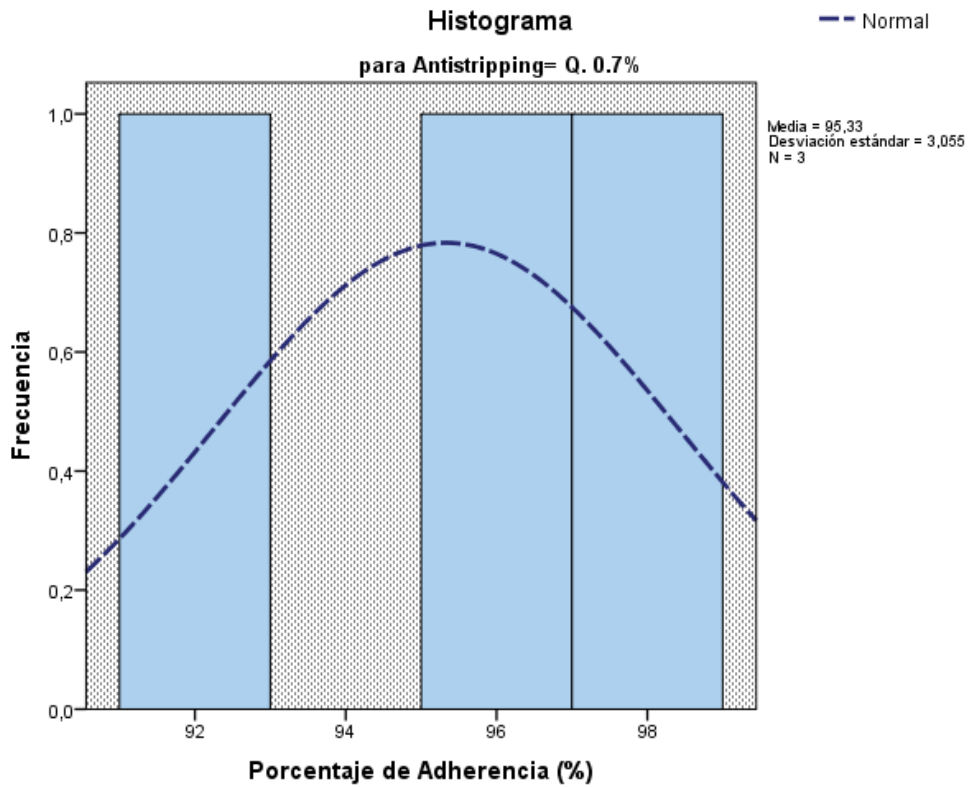


Figura 36: Histograma para Quimibond al 0.7% AB

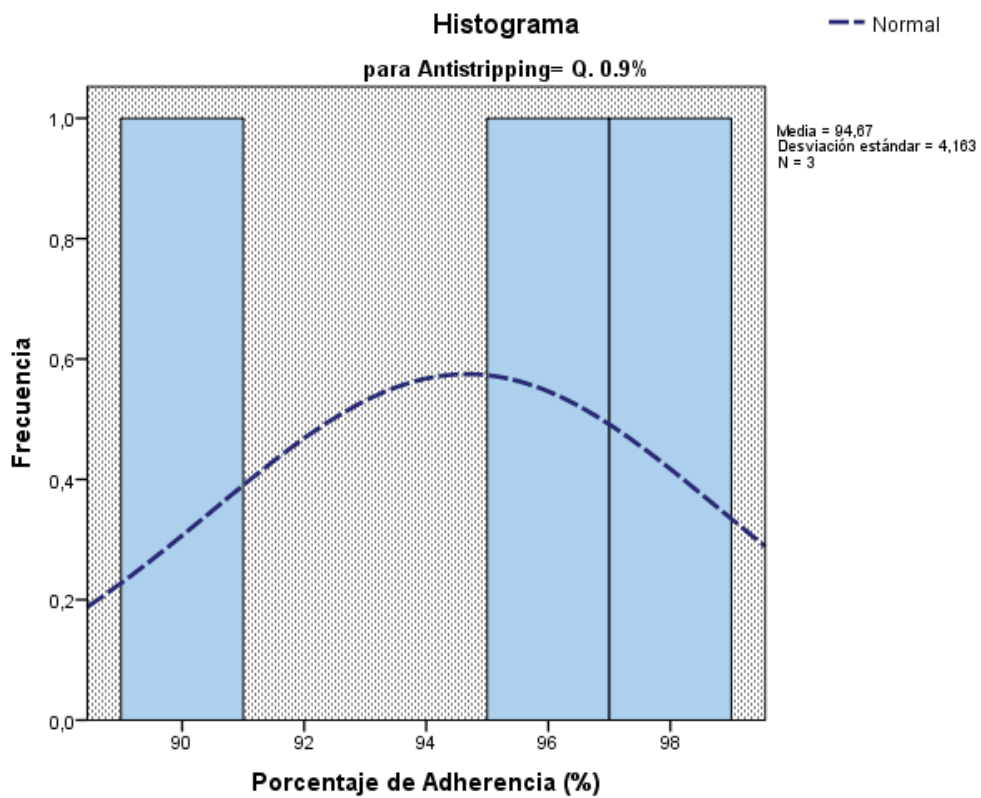


Figura 37: Histograma para Quimibond al 0.9% AB

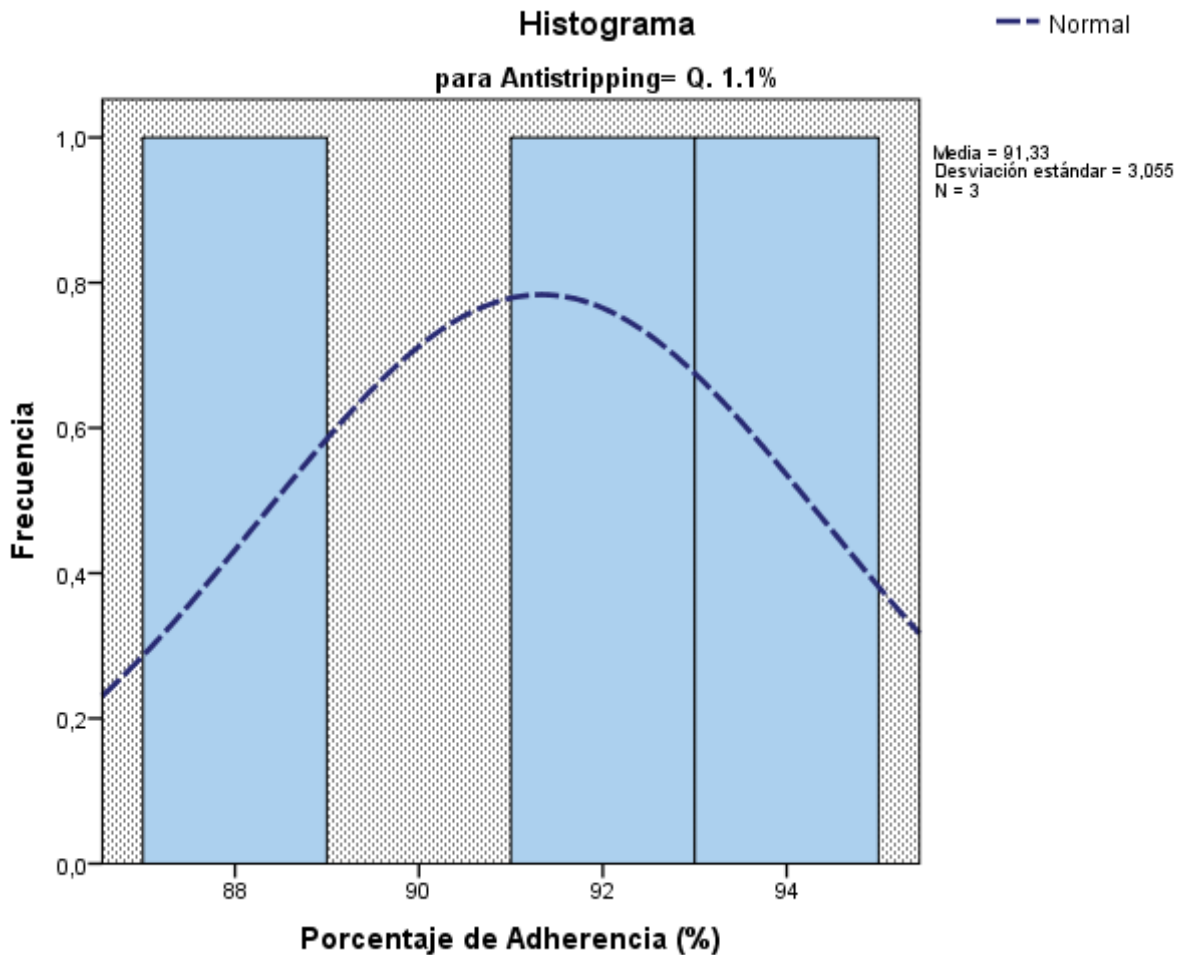


Figura 38: Histograma para Quimibond al 1.1% AB

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

En la Figura 39, se presenta el diagrama de bigotes de los resultados obtenidos; se presentan los rangos para verificar que todos los valores están dentro de los límites máximos y mínimos permisibles; en caso de encontrar un dato fuera de los rangos, se tendría que eliminar ese dato antes de realizar la elaboración gráfica pertinente para la obtención de la ecuación.

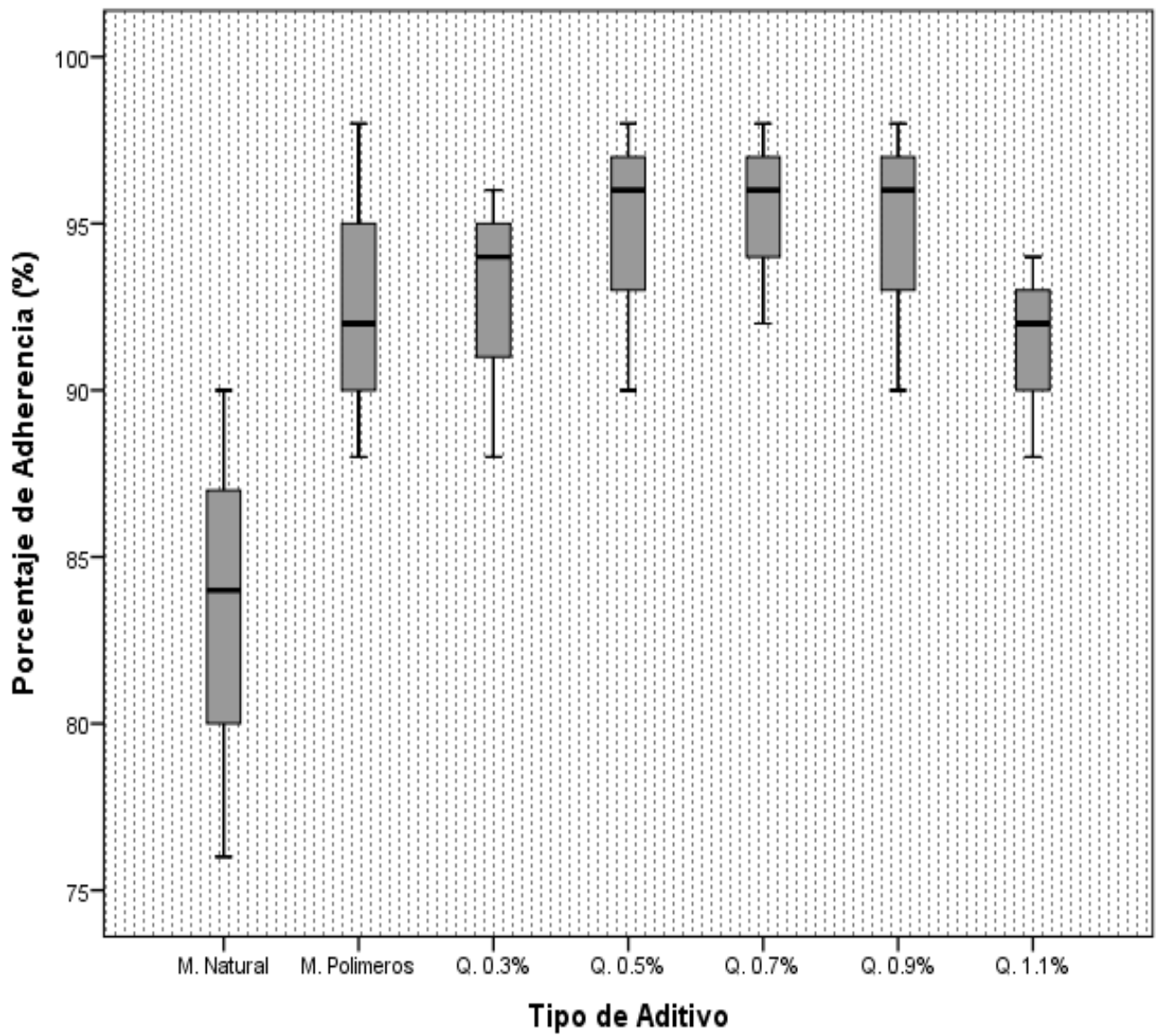


Figura 39: Diagrama de bigotes de Adherencia (%)

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

Obtenida la distribución según la prueba de normalidad y los valores de significancia de estos, se realizará el análisis por correlación bivariada, según el coeficiente de Spearman donde se plantea las siguientes hipótesis:

Ho:  $\rho = 0$  (No existe correlación entre el porcentaje de adherencia y el tipo de aditivo empleado)

Hi:  $\rho \neq 0$  (Existe correlación entre el porcentaje de adherencia y el tipo de aditivo empleado)

En la Tabla 34, se tiene la tabla de correlación bivariada analizada por tipo de aditivo y la pérdida al cántabro, teniendo, de esta manera, una rho de 0.306, que es diferente de 0, por lo que se afirma la hipótesis planteada y, por consiguiente, existe correlación entre el porcentaje de adherencia MTC-E520 y el tipo de aditivo empleado.

Según el valor de correlación obtenido, se puede clasificar dentro de los rangos permisibles obteniendo, de esta manera, una “correlación positiva media”.

Tabla 34: Tabla de correlación bivariada por Spearman

Correlaciones			Porcentaje de Adherencia (%)	Tipo de Aditivo
Rho de Spearman	Porcentaje de Adherencia (%)	Coeficiente de correlación	1,000	,316
		Sig. (bilateral)	.	,163
		N	21	21
Tipo de Aditivo	Coeficiente de correlación	Coeficiente de correlación	,316	1,000
		Sig. (bilateral)	,163	.
		N	21	21

Fuente: Elaboración propia (SPSS)



En la Figura 40, se presenta el gráfico final de los resultados obtenidos del porcentaje de adherencia y el tipo de aditivo empleado; de esta manera, se obtiene la ecuación del MTC-E520 que será correlacionada con la ecuación de los datos obtenido por el método UCL para determinar el grado de correlación que existe entre ambas.

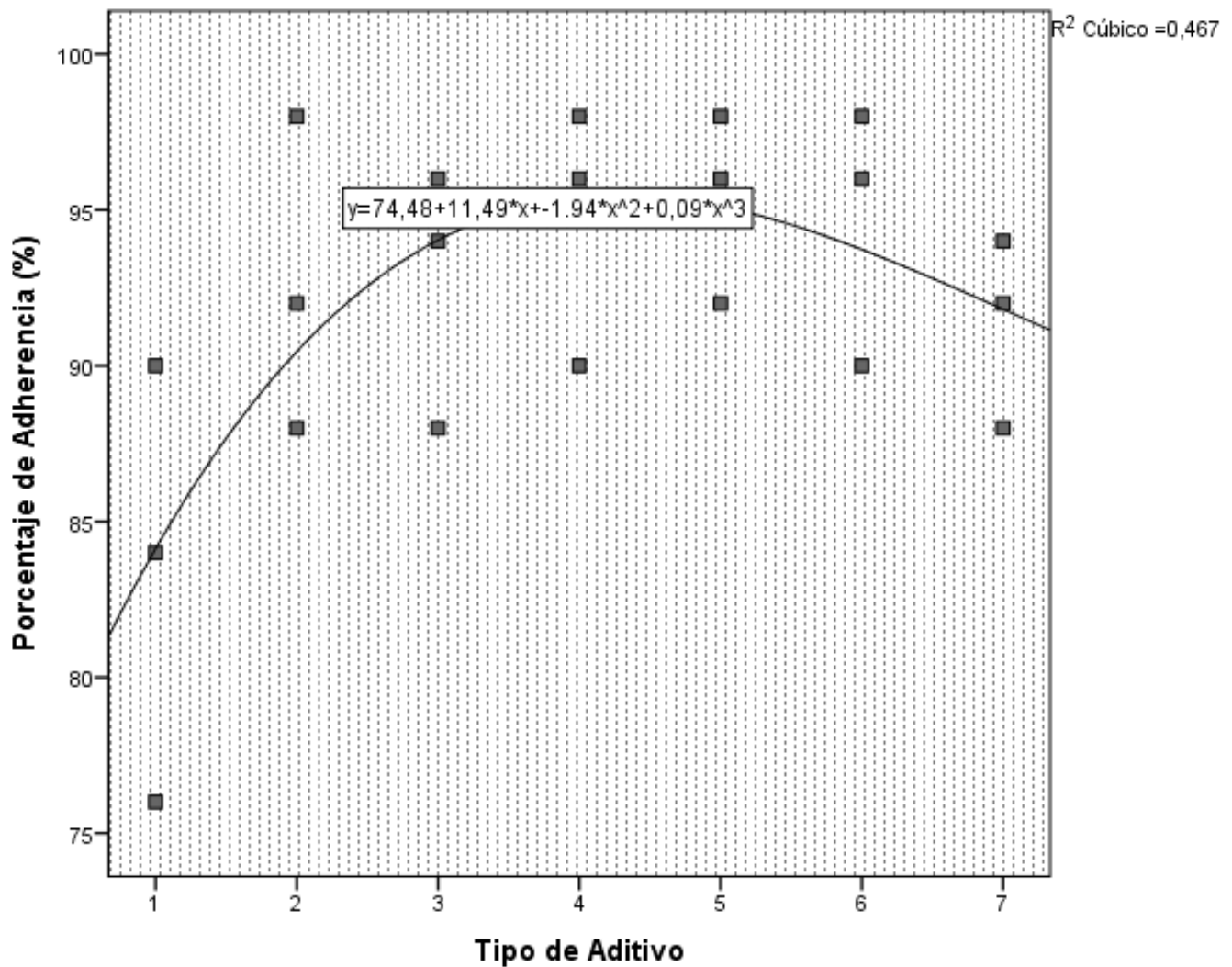


Figura 40: Gráfica de Porcentaje de adherencia por tipo de aditivo

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

### **Correlación de Adherencia (MTC E 520) – Pérdida al Cántabro (UCL)**

Obtenida la distribución según la prueba de normalidad de ambos ensayos y los valores de significancia de estos, se realiza el análisis por correlación bivariada según el coeficiente de Spearman, donde se plantea las siguientes hipótesis:

Ho:  $\rho = 0$  (No existe correlación entre el porcentaje de adherencia MTC E-520 y el porcentaje de pérdida al cántabro UCL)

Hi:  $\rho \neq 0$  (Existe correlación entre el porcentaje de adherencia MTC E-520 y el porcentaje de pérdida al cántabro UCL)

En la Tabla 36, se obtiene la correlación bivariada analizada por porcentaje de adherencia MTC E-520 y el porcentaje de pérdida al cántabro UCL, obteniendo una rho de -0.939, que es diferente de 0, por lo que se puede afirmar la hipótesis de que existe correlación entre el porcentaje de adherencia MTC E-520 y el porcentaje de pérdida al cántabro UCL.

En la Tabla 35, se presenta los rangos de correlación permisibles que clasifican la intensidad de correlación que existe entre ambas variables; en este caso analizado por el coeficiente de Spearman, debido a que al analizar UCL se trabajó con el coeficiente de Pearson, pero al trabajar los valores de adherencia en bandeja se obtuvo un análisis con coeficiente de Spearman.

Tabla 35: Intensidad de Correlación Bivariada

RANGOS	TIPO DE CORRELACIÓN
<b>-0.91 a -1.00</b>	Correlación negativa perfecta
<b>-0.76 a -0.90</b>	Correlación negativa muy fuerte
<b>-0.51 a -0.75</b>	Correlación negativa considerable
<b>-0.11 a -0.50</b>	Correlación negativa media
<b>-0.01 a -0.70</b>	Correlación negativa débil

<b>0.00</b>	No existe correlación
<b>+0.01 a +0.10</b>	Correlación positiva débil
<b>+0.11 a +0.50</b>	Correlación positiva media
<b>+0.51 a +0.75</b>	Correlación positiva considerable
<b>+0.76 a +0.90</b>	Correlación positiva muy fuerte
<b>+0.90 a +1.00</b>	Correlación positiva perfecta

Según el valor de correlación obtenido, se puede clasificar dentro de los rangos permisibles obteniendo, de esta manera, una “correlación negativa perfecta”.

Tabla 36: Tabla de correlación bivariada por Spearman UCL - AB

### Correlaciones UCL - AB

			Porcentaje de Adherencia (%)	Perdida al Cántabro (%)
Rho de Spearman	Porcentaje de Adherencia (%)	Coefficiente de correlación	1,000	-,939**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	21	21
	Perdida al Cántabro (%)	Coefficiente de correlación	-,939**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	21	21

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

## RESUMEN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según el análisis de resultados obtenidos, se correlacionan el método UCL y el ensayo de adherencia en bandeja para evaluar el porcentaje de adherencia y cohesión como propiedades físicas de vital importancia para una estructura asfáltica.

### Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL)

En la Tabla 37, se obtiene el resumen de los pesos obtenidos a través del ensayo de cántabro variando la cantidad de revoluciones por cada muestra a estudiar.

Tabla 37: Resumen de pesos ensayo en Cántabro

(Kg)	B. Natural	B. Polímero	B. 0.3% K	B. 0.5% K	B. 0.7% K	B. 0.9% K	B. 1.1% K
<b>Peso Inicial</b>	1235.7	1222.5	1252.1	1243.1	1253.3	1248.9	1245.9
<b>Peso 100 r</b>	1123.1	1181.5	1204.5	1206.2	1235.7	1231.4	1208.6
<b>Peso 200 r</b>	1028	1132	1162.7	1181.6	1209.2	1202	1174.3
<b>Peso 300 r</b>	968.5	1085.4	1131.7	1137.6	1186	1178.1	1137

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 38, se tiene el resumen general de los resultados obtenidos por porcentaje de pérdida de peso en el ensayo de cántabro, teniendo la tendencia de una mayor pérdida de masa mientras más revoluciones se le aplique a cada muestra.

Tabla 38: Resumen de porcentajes de método UCL

(%)	B. Natural	B. Polímero	B. 0.3% Q	B. 0.5% Q	B. 0.7% Q	B. 0.9% Q	B. 1.1% Q
<b>Peso 100 - revoluciones</b>	9.11	3.35	3.80	2.97	1.40	1.40	2.99
<b>Peso 200 - revoluciones</b>	16.81	7.40	7.14	4.95	3.52	3.76	5.75
<b>Peso 300 - revoluciones</b>	21.62	11.21	9.62	8.49	5.37	5.67	8.74

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 41, se puede afirmar que la muestra natural sin mejorador de adherencia presenta un mayor porcentaje de pérdida al cántabro; es decir, el porcentaje de

adherencia es el más bajo, lo que implica que presenta fallas tempranas. El asfalto modificado con polímero presenta un buen comportamiento ante el porcentaje de pérdida al cántabro. El aditivo que presenta el mejor comportamiento ante el porcentaje de pérdida al cántabro es el Quimibond en dosificaciones de 0.7% y 0.9%.

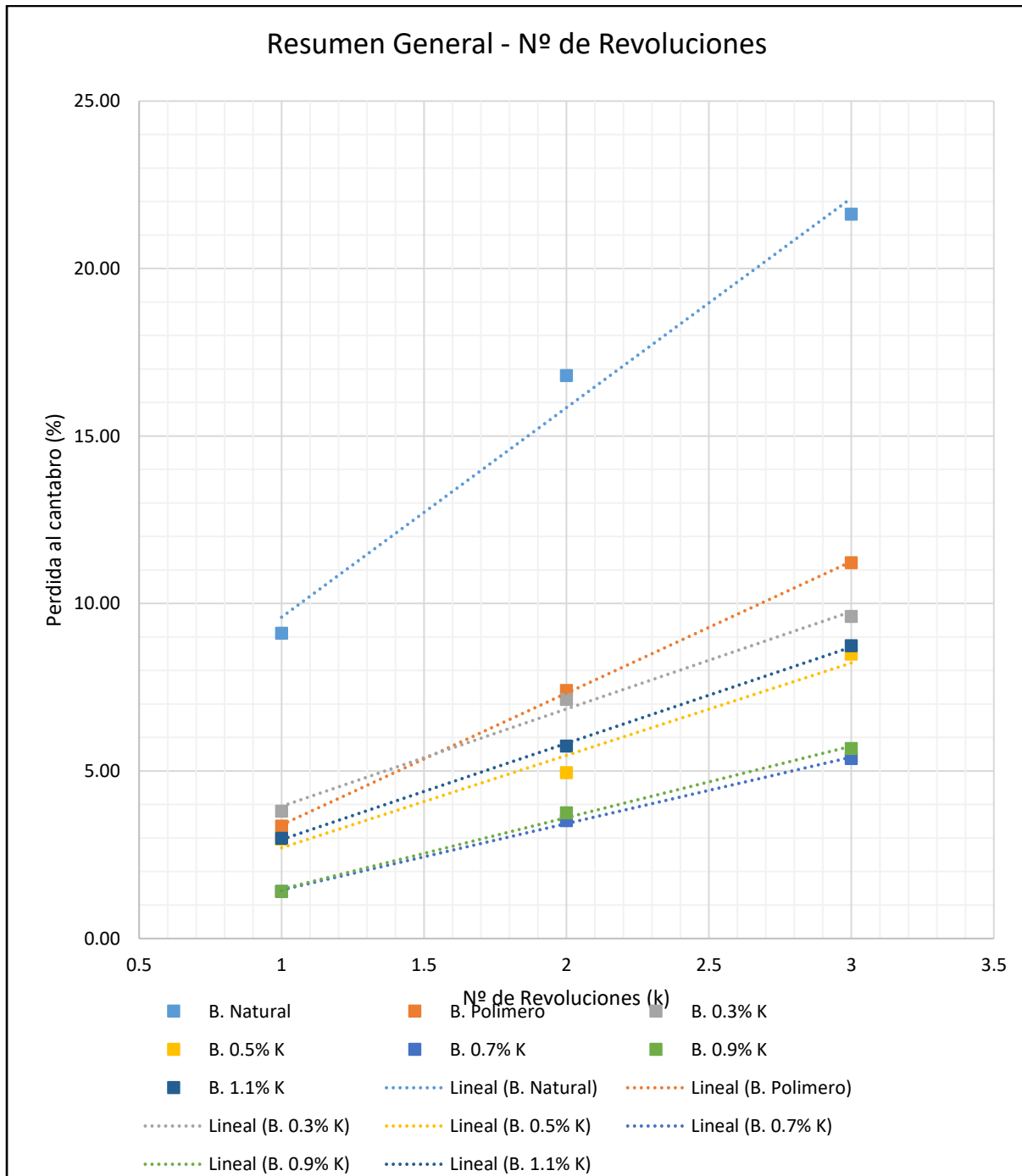


Figura 41: Resumen general de tipo de aditivo por número de revoluciones  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 42, se observa un comportamiento específico del Quimibond en forma de campana, teniendo, de esta manera, a los porcentajes más altos de pérdida a la combinación de 0.3%, 0.5% y 1.1%. De la misma forma, y con una variación mínima, la combinación de 0.7% y 0.9% presenta la mejor resistencia al porcentaje de pérdida al cántabro.

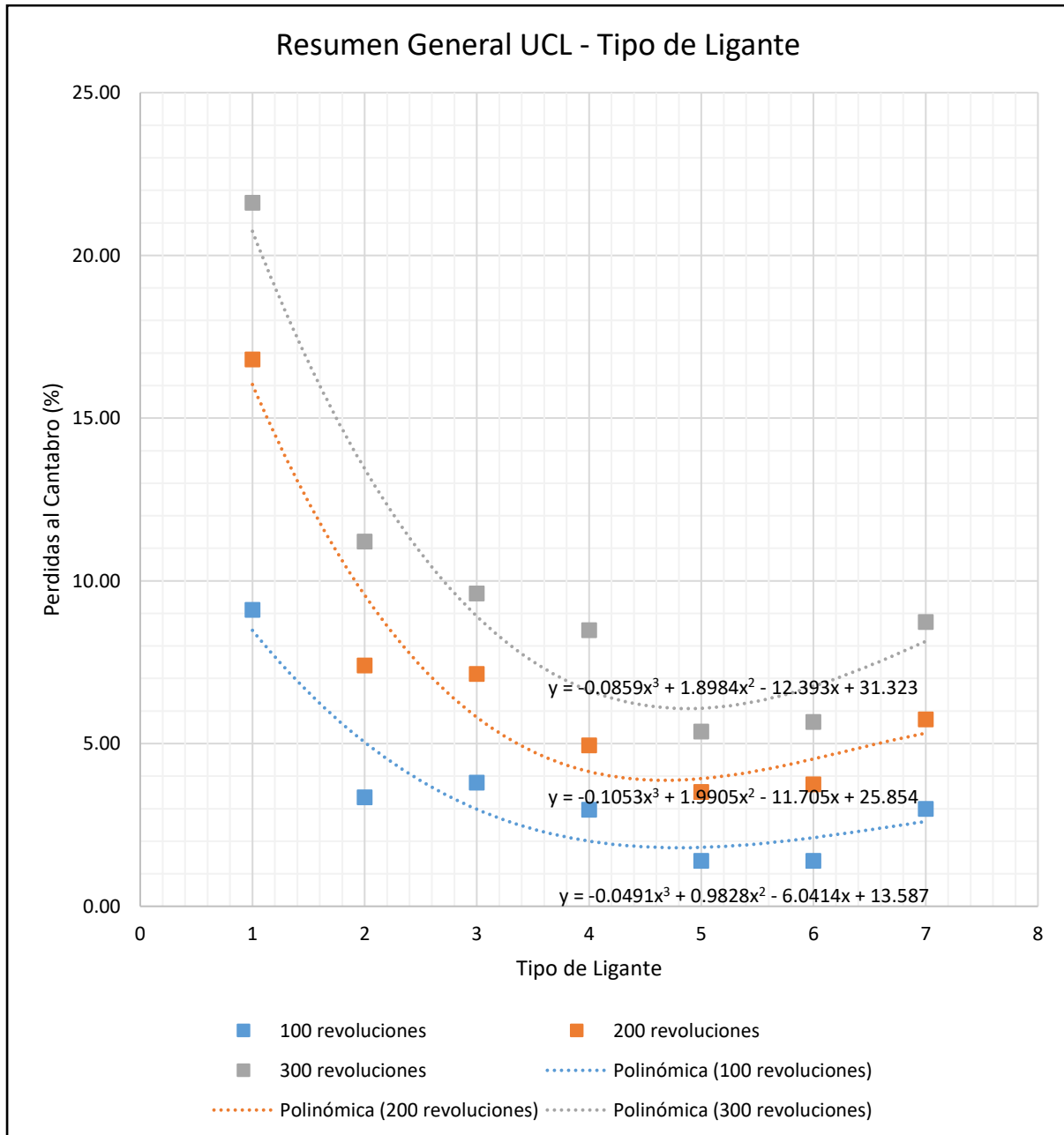


Figura 42: Resumen general UCL por tipo de ligante

Fuente: Elaboración propia

### Adherencia en Bandeja (MTC E 520)

En la Tabla 39, se presenta el resumen general del porcentaje de adherencia obtenido a lo largo de los 4 días y por cada muestra evaluada.

Es importante resaltar que no hubo fragmentado o quebrado de las partículas de agregado durante el ensayo MTC-E520.

Tabla 39: Resumen general de porcentaje de adherencia

	1 día	2 día	3 día	4 día
<b>B. Natural</b>	90	84	80	76
<b>B. Polímero</b>	98	92	90	88
<b>B. 0.3% K</b>	96	94	90	88
<b>B. 0.5% K</b>	98	96	92	90
<b>B. 0.7% K</b>	98	96	94	92
<b>B. 0.9% K</b>	98	96	94	90
<b>B. 1.1% K</b>	94	92	90	88

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 43, se presenta el mismo comportamiento evaluado con el método UCL, teniendo la muestra sin mejorador de adherencia los valores más bajos de porcentaje de adherencia. Tenemos también que el Quimibond en sus combinaciones de 0.7% y 0.9% de aditivo mejorador de adherencia son los que presentan el mejor comportamiento y los valores más altos de porcentaje de adherencia entre el ligante y las partículas de agregado grueso.

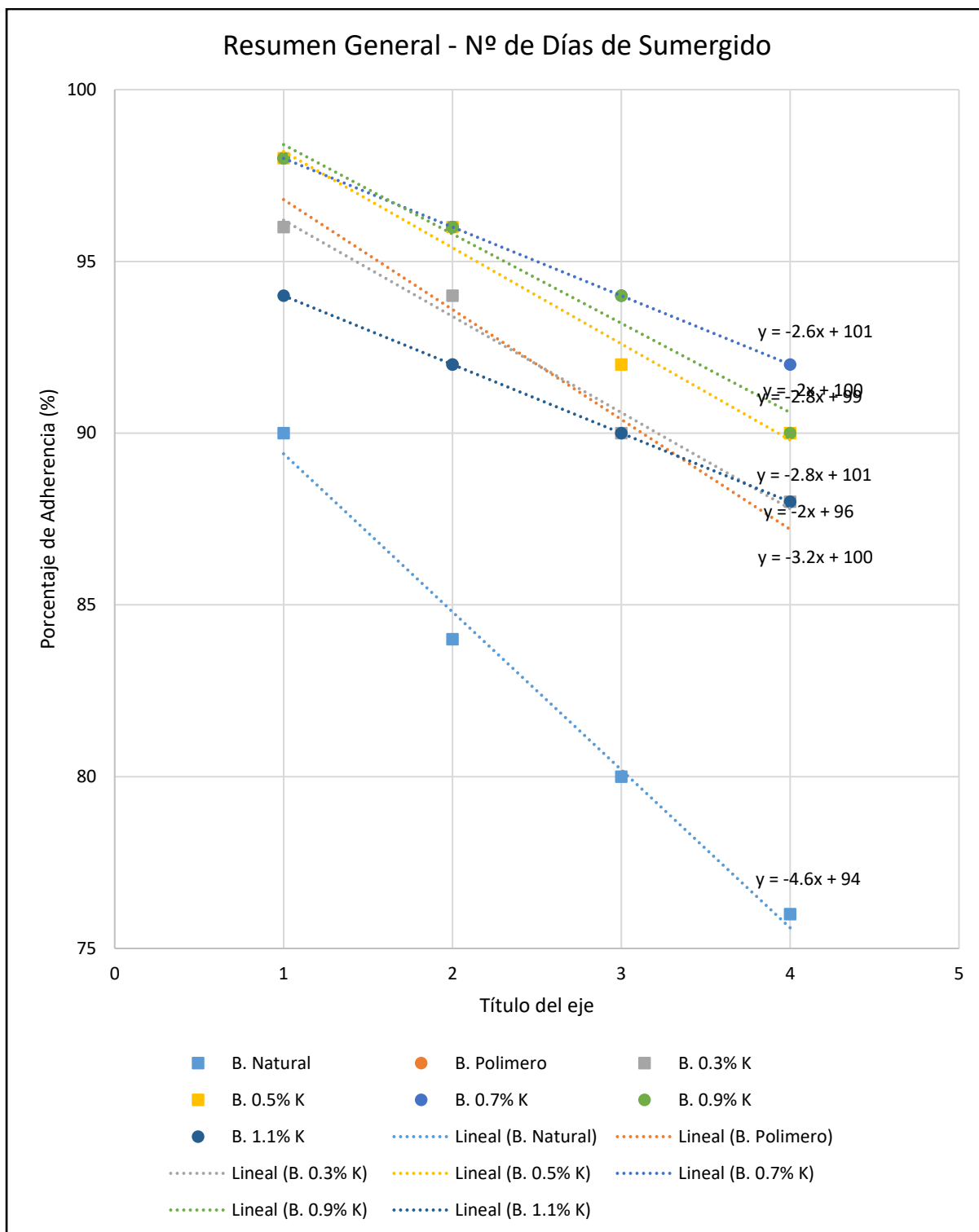


Figura 43: Resumen general por días de sumergido

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 43, se observa un comportamiento específico del Quimibond en forma de campana, teniendo, de esta manera, a los porcentajes más altos de pérdida a la



combinación de 0.3%, 0.5% y 1.1%. De la misma forma y con una variación mínima, la combinación de 0.7% y 0.9% presenta la mejor resistencia al porcentaje de pérdida al cántabro, de forma invertida al método de UCL.

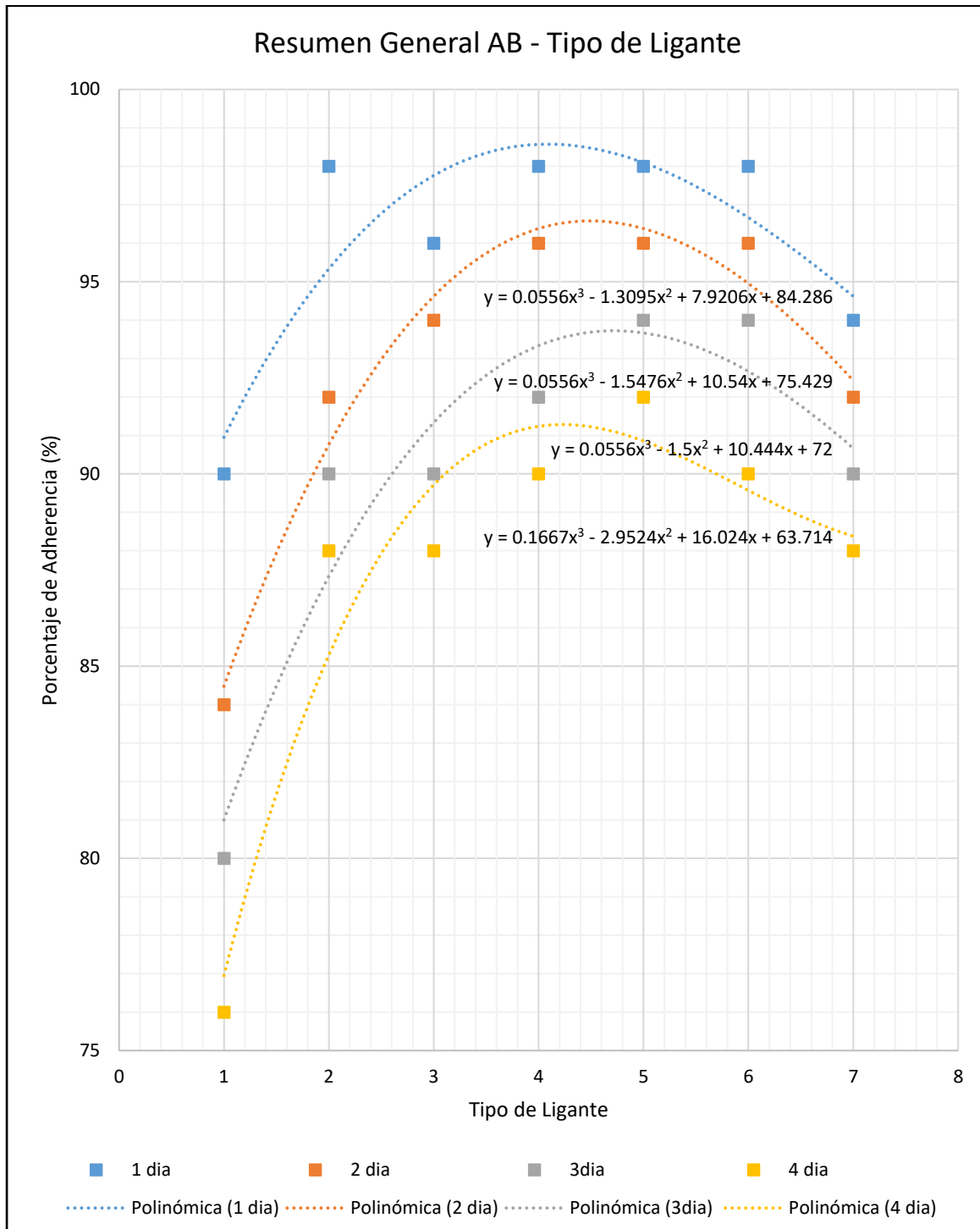


Figura 44: Resumen general adherencia en bandeja por tipo de ligante

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 40, se tienen los porcentajes de adherencia obtenidos con los dos ensayos realizados, con lo cual, mediante el empleo de las ecuaciones, se obtiene el valor de adherencia equivalente. Estos valores resultan en un margen de error que va entre un +/- 5%. Además, el porcentaje de pérdida en adherencia es equivalente a medida que aumentan los días y las revoluciones de los ensayos según el análisis realizado en la siguiente tabla.

Tabla 40: Resumen de porcentajes de adherencia - % error

<b>BANDEJA</b>	<b>1 día</b>	<b>2 día</b>	<b>3 día</b>	<b>4 día</b>
B. Natural	90	84	80	76
B. Polímero	98	92	90	88
B. 0.3% K	96	94	90	88
B. 0.5% K	98	96	92	90
B. 0.7% K	98	96	94	92
B. 0.9% K	98	96	94	90
B. 1.1% K	94	92	90	88
<b>UCL</b>	<b>100 revol.</b>	<b>200 revol.</b>	<b>200 revol.</b>	<b>300 revol.</b>
B. Natural	9.11	16.81	16.81	21.62
B. Polímero	3.35	7.40	7.40	11.21
B. 0.3% K	3.80	7.14	7.14	9.62
B. 0.5% K	2.97	4.95	4.95	8.49
B. 0.7% K	1.40	3.52	3.52	5.37
B. 0.9% K	1.40	3.76	3.76	5.67
B. 1.1% K	2.99	5.75	5.75	8.74
% Error Natural	-2	0	-5	-4
% Error Pol	3	2	0	2
% Error 0.3 K	-1	0	-5	-4
% Error 0.5 K	0	0	-4	-4
% Error 0.7 K	0	0	-2	-2
% Error 0.9 K	0	1	-2	-4
% Error 1.1 K	-4	-3	-5	-4

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 41, se tienen los porcentajes resultantes con cada uno de los ensayos; empleando la diferencia de adherencia obtenida con los diferentes aditivos se logra obtener una equivalencia de resultados como se observa en la figura 45; la ecuación de equivalencia relativa obtenida emplea el valor de “X” como el porcentaje de pérdida al cántabro según UCL y el valor de “Y” como el porcentaje de adherencia según el ensayo de Bandeja.

Tabla 41: Porcentajes de adherencia según diferencial por mejorador

%	UCL	ADH
B. Natural	21.62	76
B. Polímero	11.21	88
B. 0.3% K	9.62	88
B. 0.5% K	8.49	90
B. 0.7% K	5.37	92

Fuente: Elaboración propia

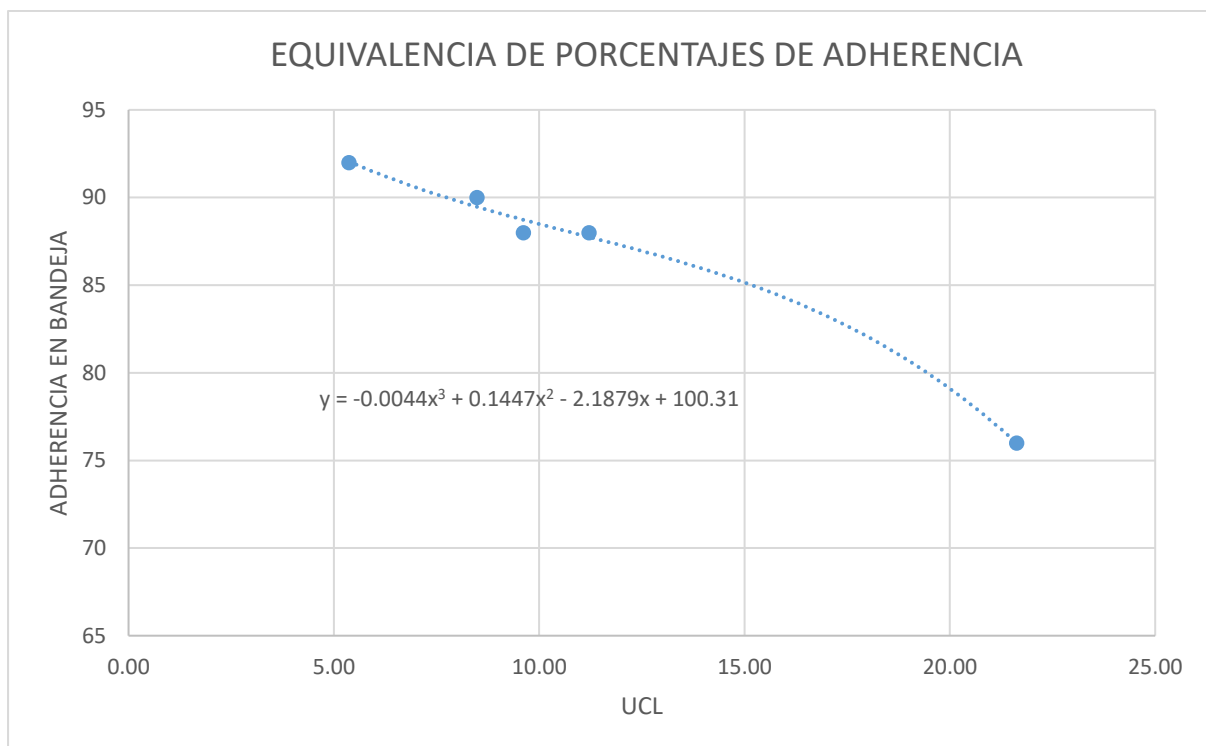


Figura 45: Equivalencia de porcentajes de adherencia

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- Existe correlación entre el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) y el ensayo de bandeja MTC-E520. Esta relación entre ambos ensayos es inversamente proporcional; es decir, que un mayor porcentaje de adherencia representa un menor porcentaje de pérdida al cántabro. Asimismo, se encontró una relación significativa entre el porcentaje de adherencia evaluado a un día y la pérdida al cántabro con 100 revoluciones; también el porcentaje de adherencia evaluado a dos y tres días con la pérdida al cántabro con 200 revoluciones, mientras que el valor del porcentaje de pérdida al cántabro se encuentra dentro del rango de los valores obtenidos en los resultados de porcentaje de adherencia a 4 días de sumergido. Esto simula el daño inducido para la evaluación de la adherencia con el método de caracterización de ligantes UCL en un tiempo más reducido, lo cual se traduce en menores costos de ensayo.
- Los valores de resistencia a la abrasión por porcentaje de pérdida al cántabro sugieren una mejora considerable de hasta un 75,16% de la muestra original sin mejorador de adherencia. Debido a que la muestra natural sin mejorador de adherencia presentó un 21.62% de pérdida al cántabro, mientras que el asfalto modificado con polímero presentó un 11.21% de pérdida al cántabro y, finalmente, el aditivo que presentó un mejor comportamiento ante la resistencia a la pérdida al cántabro es el Quimibond en sus combinaciones de 0.7% y 0.9% con unos valores de pérdida de 5.37% y 5.67% respectivamente. Finalmente, es necesario mencionar que un mayor porcentaje al 0.9% de mejorador de adherencia Quimibond perjudica su función, ya que al trabajar con 1.1% de Quimibond aumenta la pérdida al cántabro en 8.74%. Este diferencial obtenido mediante los mejoradores de adherencia nos permite aseverar que el ensayo de bandeja MTC-E520 requiere más recursos y tiempo para la determinación del porcentaje de adherencia.
- Los valores de porcentaje de adherencia analizados con el ensayo de adherencia en bandeja MTC-E520 sugiere una mejora de un 17.39% de mejora al porcentaje de adherencia entre el ligante y el material granular. La muestra

natural sin mejorador de adherencia presentó un 76% de adherencia, mientras que el asfalto modificado con polímeros presentó un 88% de adherencia, y el aditivo mejorador de adherencia Quimibond presentó dos porcentajes óptimos de 0.7% y 0.9% con valores de adherencia de 90% y 92% respectivamente. Finalmente, es importante mencionar que al emplear un mayor porcentaje al 0.9% de mejorador de adherencia Quimibond perjudica el correcto funcionamiento del aditivo, ya que al trabajar con 1.1% de Quimibond bajó el porcentaje de adherencia analizado al valor de 88%.

- La correlación que existe entre ambos ensayos se presenta en los resultados en una escala de porcentaje de 0% a 100%, por lo que al realizar un ajuste a la fórmula del Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL) podríamos obtener un valor equivalente al porcentaje de adherencia evaluado con el ensayo de la bandeja MTC-E520,  $y = 100 - (-0.0859x^3 + 1.8984x^2 - 12.393x + 31.323)$  para el resultado final a 300 revoluciones y adherencia en bandeja analizada a 4 días de sumergido en baño María, donde se obtiene un margen del +/- 5% para la equivalencia de porcentajes según la ecuación de  $y = -0.0044x^3 + 0.1447x^2 - 2.1879x + 100.31$ , donde el valor de "X" es el porcentaje de pérdida al cántabro según UCL y el valor de "Y" es el porcentaje de adherencia según el ensayo de Bandeja. Esto se encuentra estrictamente delimitado a la correlación realizada en la presente investigación, debido a que se emplean factores determinados por el tipo de mejorador usado para encontrar la reciprocidad entre ambos ensayos con la finalidad de aplicar la metodología UCL como ensayo que determina la adherencia en una mezcla asfáltica.

## RECOMENDACIONES

- Los ensayos de adhesión elaborados con UCL demuestran que la naturaleza y composición del filler de aportación utilizado en la mezcla bituminosa puede variar las propiedades de la misma frente al efecto del agua o de la temperatura; por ello, sería importante realizar una investigación que incorpore el filler como componente de la briqueta elaborada con el método de UCL para la evaluación de la temperatura y cohesión del pavimento.
- Se recomienda analizar la susceptibilidad térmica de la mezcla asfáltica si se pretende emplear el PEN 85-100 en climas relativamente adversos; es decir, en climas constantemente cálidos o fríos, ya que la presente investigación realizada en un clima intermedio podría variar sus resultados ante un factor térmico adverso, donde lo prudente sería emplear un tipo de PEN asfáltico distinto.
- Todos buscamos métodos de evaluación que simulen la situación real en campo; sin embargo, en ocasiones, estos ensayos demandan de mucho tiempo como es el caso del ensayo de adherencia en bandeja, que en total dura alrededor de 5 días como mínimo. Por ello, se recomienda el empleo del método de UCL que permite optimizar el tiempo.
- Finalmente, se recomienda el uso de un aditivo mejorador de adherencia en la ciudad de Huancayo, especialmente en calles con un tráfico muy elevado, ya que este problema, en conjunto con el efecto del agua producto de las intensas lluvias en el pavimento, genera desprendimiento o peladuras que deterioran el pavimento rápidamente y al emplear un aditivo mejorador de adherencia se alargaría el tiempo de vida útil del pavimento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Bibliografía

**González Castellanos, Roberto. 2003.** Metodología de la Investigación Científica para las ciencias Técnicas. Cuba : Universidad de Mantanzas, 2003.

**Hernández Sampieri, Roberto. 2014.** Metodología de la investigación. México : McGraw Hill, 2014.

**Jimenez Paneque, Rosa. 2002.** Metodología de la investigación. Habana : Ciencia Médicas, 2002.

**Ministerio de Transporte y Comunicaciones. 2013.** Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción - Manual de Carreteras EG-2013. Lima : s.n., 2013.

**Muller, Wayne Bernard. 2016.** Caracterización de la humedad dentro de los pavimentos granulares no unidos utilizando un radar de penetración de tierra con desplazamiento múltiple. Australia : The University Of Queensland, 2016.

**Osega Gago , Dullo. 2011.** Aprender y enseñar investigación científica. Huancavelica : Juan Jose Ore, 2011.

**Ramírez González, Alberto. 2003.** Metodología de la Investigación. Bogotá : Javeriana, 2003.

**Ramón Ruíz, Raúl. 2007.** El Método Científico y sus etapas. Mexico : Esfinge, 2007.

**Salour, Farhad. 2015.** Influencia de la humedad en el comportamiento estructural de los pavimentos. Stockholm : Royal Institute of Technology, 2015.

**Universidad Nacional de Ingeniería. 2006.** Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos. Lima : Instituto de Construcción y Gerencia, 2006.

**Valderrama Mendoza, Santiago. 2015.** Pasos para elaborar una investigación científica. Lima : San Marcos, 2015.

**Valeriano Turbo, Wilbert y Catacora Mendoza, Adhemir. 2014.** Comportamiento del Diseño de Mezcla Asfáltica Tibia, con adición de Zeolita

para la Pavimentación de la ciudad de Juliaca. Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2014.

**Bautista, Sánchez Mónica Andrea. 2012.** *Características del Asfalto en el comportamiento de Mezclas Asfálticas MDC-2 del INVIAS.* Bogotá : Universidad Militar Nueva Granada, 2012.

**Crespin, Molina Rafael Alexander, Santa, Cruz Jovel Ismael Ernesto y Torres, Linares Pablo Alberto. 2012.** *Aplicación del Método Superpave y granulometría Superpave en el Diseño de Mezcla Asfálticas en Caliente con Asfalto clasificación Grado de Desempeño.* Salvador : Universidad de El Salvador, 2012.

**Estrada, Escalante Víctor Rafael. 2017.** *Estudio y Análisis de desempeño de Mezcla Asfáltica convencional PEN 85-100 Plus y Mezcla Asfáltica Modificada con Polímero Tipo SBS PG 70-28.* Cusco : Universidad Andina de Cusco, 2017.

**Flores, Dean Orestes Carrasco. 2014.** *Estudio comparativo entre mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas con emulsiones tibias.* Piura : s.n., 2014.

**Flores, Yancachajlla Herbert Daniel. 2014.** *Ensayo Marshall.* Arequipa : Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2014.

**González, Larrea Sebastián. 2015.** *Estado del arte en el estudio de la Adherencia entre el Asfalto y el Agregado Mineral.* Guayaquil : Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2015.

**Hernández, Martínez Óscar. 2014.** *Comportamiento de las mezclas asfálticas a diferentes niveles de compactación.* México D.F : s.n., 2014.

**Huamán Guerrero, Nestor y Chang Albitres, Carlos. 2012.** *La deformación permanente en las Mezclas Asfálticas y el consecuente deterioro de los Pavimentos Asfálticos en el Perú.* Perú : s.n., 2012.

**Ibañez Aguilera. 2003.** *USO DE EMULSIONES.* 2003.

**Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para construcción". 2013.** 2013.

**Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2013.** *Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción - Manual de Carreteras EG-2013.* Lima : s.n., 2013.

—. **2013.** *MANUAL DE CARRETERAS - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.* Lima : s.n., 2013.

—. **2016.** *Manual de Ensayo de Materiales.* Lima : s.n., 2016.



- Miranda, Rebolledo Ricardo Javier. 2010.** *Deterioros en Pavimentos Flexibles y Riguidos.* Valdivia : Universidad Austral de Chile, 2010.
- Miro, Recasens Rodrigo. 2015.** *Efecto de la accion del agua y del nvejecimiento en la resistencia a la fisuración de las mezclas bituminosas.* Barcelona : s.n., 2015.
- Morea, Francisco. 2011.** *Deformaciones permanentes en Mezclas Asfálticas.* La Plata : Universidad Nacional de La Plata, 2011.
- Moreno, Chavez Marcelo Andres. 2011.** *Efecto de la presencia de humedad en el comportamiento de Mezcla Asfáltica sometidas a ensayo de carga (Norma NLT-173/84).* Santiago : s.n., 2011.
- Ordoñez, Huaman Abel. 2001.** *Manual de Laboratorio Ensayos para Pavimentos.* Lima : Universidad Nacional de Ingenieria, 2001.
- Plaza, Torralvo Sara Catherine y Rincon, Caicedo Ginna Tatiana. 2014.** *Estudio de la susceptibilidad al daño por humedad de una Mezcla Asfáltica para rodadura utilizando asfalto 80-100 y su relacion con el desempeño en campo.* Bogota : s.n., 2014.
- Ramirez Montenegro, Marco Antonio. 2015.** *Optimizacion de las Mezclas Asfálticas en frio utilizando Asfalto liquido MC-30 y agregados de las canteras San Martin y Cerro Campana.* La Libertad : s.n., 2015.
- Universidad Nacional de Ingenieria. 2006.** *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos.* Lima : Instituto de Construccion y Gerencia, 2006.
- Valeriano, Turbo Wilbert y Catacora, Mendoza Adhemir. 2014.** *Comportamiento del Diseño de Mezcla Asfáltica Tibia, con adicion de Zeolita para la Pavimentacion de la ciudad de Juliaca.* Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2014.
- Yarango, Serrano Eduardo Manuel. 2014.** *"Rehabilitación de la Carretera de Acceso a la Sociedda Minera Cerro Verde (S.M.C.V) desde la Prog. Km 0+000 hasta el Km 1+900, en el Distrito de Uchumayo, Arequipa. Empleando el Sistema Bitufor para Reducir la Reflexión de Grietas y Proongar Pavimento".* Lima : Universidad Ricardo Palma, 2014

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. Matriz de consistencia

### TITULO: “Análisis para la correlación de resultados de adherencia agregado asfalto, entre el Método Universal de Caracterización de Ligantes UCL y el ensayo de bandeja MTC E 520”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
<p><b>PROBLEMA GENERAL:</b> ¿Cuál es la relación entre el método universal de caracterización de ligantes UCL y el ensayo de bandeja MTC-E520 para determinar la adherencia agregado asfalto?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL:</b> Analizar la relación entre el método universal de caracterización de ligantes UCL y el ensayo de bandeja MTC-E520 para determinar la adherencia agregado asfalto</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b> El método universal de caracterización de ligantes UCL se relaciona con el ensayo de bandeja MTC-E520 para determinar la adherencia agregado asfalto</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>V.I. 1: MTC E520</p>	<p><b>Dimensiones:</b> Ensayo a 1 día Ensayo a 2 día Ensayo a 3 día Ensayo a 4 día</p>	<p><b>Indicador 1:</b> - Adherencia en bandeja MTC E 520. <b>Indicador 2:</b> - Evaluada al 0.3% <b>Indicador 3:</b> - Evaluada al 1.1% <b>Indicador 4:</b> - Evaluada con polímeros.</p>	<p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Experimental:</b> Método que fundamenta en el método científico.</p> <p><b>NIVEL Correlacional:</b> Investigación correlacional pretende medir el grado de relación.</p>
<p><b>PROBLEMAS ESPECIFICOS:</b> ¿De qué manera el método universal de caracterización de ligantes UCL determina el nivel de resistencia a la abrasión para comprobar la adherencia agregado asfalto?</p>	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b> Determinar mediante el método universal de caracterización de ligantes UCL el nivel de resistencia a la abrasión para comprobar la adherencia agregado asfalto</p>	<p><b>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</b> El método universal de caracterización de ligantes UCL determina el nivel de resistencia a la abrasión para comprobar la adherencia agregado asfalto</p>				
<p>¿Qué porcentaje de partículas manchadas permiten demostrar la adherencia de agregado asfalto de la muestra empleada a través del ensayo de bandeja MTC-E520?</p>	<p>Determinar a través del ensayo de bandeja MTC-E520 el porcentaje de partículas manchadas con el fin de demostrar la adherencia agregado asfalto en la muestra empleada</p>	<p>El ensayo de bandeja MTC-E520 obtiene un porcentaje superior al 70% de partículas manchadas demostrando la adherencia agregado asfalto de la muestra empleada.</p>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b></p> <p>Adherencia</p>	<p><b>Dimensiones:</b> Porcentaje de adhesión</p> <p>Resistencia a la abrasión</p>	<p><b>Indicador 1:</b> - Adherencia en bandeja MTC E 520. <b>Indicador 2:</b> - Método Universal de Ligantes UCL. <b>Indicador 3:</b> - Correlación median Ecuación. <b>Indicador 1:</b> - Adherencia en bandeja MTC E 520. <b>Indicador 2:</b> - Método Universal de Ligantes UCL. <b>Indicador 3:</b> - Correlación median Ecuación.</p>	<p><b>INSTRUMENTOS</b> - Tablas para recolección de datos. -Softwares SPSS, Excel.</p> <p><b>RECOLECCION DE MUESTRAS</b> Probetas para los Ángeles (20) Muestras de Adherencia en bandeja (20) Briquetas para resistencia (50)</p>
<p>¿Cuál es el resultado de correlacionar el método universal de caracterización de ligantes UCL y el ensayo de bandeja MTC-E520 para evaluar la adherencia agregado asfalto?</p>	<p>Obtener una expresión que permita correlacionar los resultados del método universal de caracterización de ligantes UCL y el ensayo de bandeja MTC-E520 para evaluar la adherencia agregado asfalto</p>	<p>Una expresión correlaciona los resultados del método universal de caracterización de ligantes UCL y el ensayo de bandeja MTC-E520 para evaluar la adherencia agregado asfalto</p>				

## ANEXO 2. Panel fotográfico

Anexo 1: Se seleccionó el material grueso por método de cuarteo.



Anexo 2: La norma indica usar el material pasante de la malla N°1/2 a su vez retenida en la malla N°3/4.



Anexo 3: Se tamizó el material con las mallas N°1/2 y N°3/8.



Anexo 4: En las taras, se observa el material seleccionado para realizar el ensayo. en la bandeja se aprecia el material desechado que se retiene en la malla N°1/2 y pasa la malla N°3/8.





Anexo 5: Se lavó el material seleccionado para realizar el ensayo de adherencia en bandeja y eliminar partículas finas e impurezas, luego se deja secar y se mantiene el material frío.



Anexo 6: Se vertió sobre la bandeja 35 gramos de asfalto a 150°C.



Anexo 7: 35 gramos de asfalto.



Anexo 8: Se calienta el asfalto hasta conseguir una lámina uniforme en toda la bandeja, seguidamente se coloca el material uno por uno con un movimiento vertical y firme, colocando 50 piedras por bandeja.



Anexo 9: Antes de colocar las bandejas en el horno, se dejó reposar durante una hora a temperatura ambiente.



Anexo 10: Se dejó el horno durante 24 horas a una temperatura de  $60 \pm 2$  °C.





Anexo 11: Luego de 24 horas, se retiró las bandejas.



Anexo 12: Las bandejas se sometieron a baño María durante 4 días a una temperatura de  $50 \pm 2$  °C. Día 1.



Anexo 13: Día 2



Anexo 14: Día 3



Anexo 15: Día 4





Anexo 16: El cuarto día se bajó la temperatura del baño María a 24 °C durante una hora.



Anexo 17: Al finalizar una hora a la temperatura de 24 °C, se retiró las bandejas del baño María.



Anexo 18: Se observa las muestras al finalizar el baño María.



Anexo 19: Se retira con un movimiento firme y en vertical cada partícula de agregado grueso



Anexo 20: Finalmente, con ayuda de un alicate, se procedió a retirar piedra por piedra y se realizó una inspección visual para conocer el porcentaje de asfalto retenido en el área de contacto con el asfalto, clasificándolas en porcentajes: <25%, entre 25% - 75% y >75%.



Anexo 21: Aditivo empleado – Quimibond 3000





Anexo 22: Aditivo empleado – Asfalto con polímeros TDM



Anexo 23: Se tomó el peso inicial de cada briqueta que contiene muestra natural.





Anexo 24: Se tomó el peso inicial de cada briqueta que contiene asfalto modificado TDM



Anexo 25: Se tomó el peso inicial de cada briqueta que contiene aditivo Quimibond en porcentajes de 0,3% 0,5% 0,7% 0,9% y 1,1%



Anexo 26: Se llevó las briquetas al laboratorio de la Universidad Continental para realizar las pruebas en la máquina de los Ángeles.



Anexo 27: Sin hacer uso de las esferas en la máquina de los Ángeles, se colocó cada briqueta y se llevó a cabo 100 revoluciones.



Anexo 28: Seguidamente, se procedió a pesar cada briqueta que contiene asfalto con muestra natural, después de 100 revoluciones.



Anexo 29: Briqueta que contiene asfalto modificado TDM, después de 100 revoluciones.





Anexo 30: Briqueta que contiene aditivo Quimibond en porcentajes de 0,3% 0,5% 0,7% 0,9% y 1,1%, después de 100 revoluciones.



Anexo 31: Se volvió a colocar cada briqueta y se realizó 100 revoluciones adicionales.



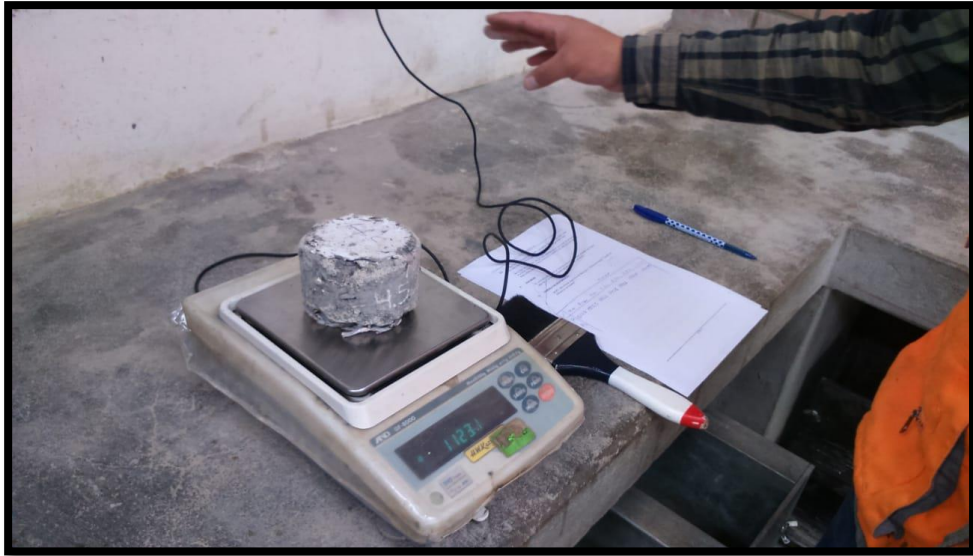
Anexo 32: Nuevamente, se procedió a pesar cada briqueta que contiene asfalto con muestra natural, después de 200 revoluciones, evidenciando una pérdida de masa en las briquetas.



Anexo 33: Briqueta que contiene asfalto modificado TDM, después de 200 revoluciones.



Anexo 34: Briqueta que contiene aditivo Quimibond en porcentajes de 0,3% 0,5% 0,7% 0,9% y 1,1%, después de 200 revoluciones.



Anexo 35: Se volvió a colocar cada briqueta, por última vez, en la máquina de los Ángeles, con 100 revoluciones adicionales, haciendo un total de 300 revoluciones.





Anexo 36: Finalmente, se procedió a pesar cada briqueta que contiene asfalto con muestra natural, después de 300 revoluciones.



Anexo 37: Briqueta que contiene asfalto modificado TDM, después de 300 revoluciones.



Anexo 38: Briqueta que contiene aditivo Quimibond en porcentajes de 0,3% 0,5% 0,7% 0,9% y 1,1%, después de 300 revoluciones..



Anexo 39: En la bandeja, se puede observar que las briquetas adoptaron una forma redondeada debido a la pérdida de masa.

