

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La densidad es una característica muy importante para el inspector, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad es baja la cantidad de vacíos son mayores y la mezcla compactada será vulnerable al agua. Por lo tanto, para determinar la densidad del pavimento se tiene que hacer pruebas de laboratorio que en la actualidad se puede determinar las pruebas con un equipo no invasivo y que se puede lectura la densidad mientras el material está siendo puesto en obra.

Algunos investigadores han reconocido una correlación excelente entre las densidades de testigos y las mediciones con el densímetro PQI 380, sin embargo, hay estudios que solo lo recomiendan para su uso como control de calidad y no como aseguramiento de la calidad. Alex K. Apegyei señala que son ya numerosos los estados en EE.UU. que utilizan conjuntamente los equipos de densidad in situ y la determinación de densidad en testigos como criterios de aceptación del grado de compactación.

Rodrigo Romero, 2014 indicó que los equipos basados en impedancia magnética eran sensibles a la temperatura en la que se encuentra el pavimento asfáltico al momento de tomar la lectura del densímetro.

Durante la construcción de las capas que componen un pavimento de mezcla asfáltica en caliente, las determinaciones de las densidades se efectúan en las distintas etapas para controlar el efecto de los rodillos y asegurar una compactación que permita obtener la densidad mínima de diseño, el cual el equipo PQI-380 funciona por medio de impedancia eléctrica obteniendo con precisión lecturas de densidad en obra.

Lo que el autor propone hacer en el presente proyecto es evaluar la carpeta asfáltica a partir de la densidad, grado de compactación y temperatura en in situ con el equipo PQI-380 y verificando los diseños de mezclas asfálticas en laboratorio.

1.2 Situación problemática

La situación problemática radica en la necesidad de establecer un proceso de evaluación técnica eficaz utilizando el densímetro portátil PQI-380 durante la aplicación en obra de carpetas asfálticas. Esto ayudaría a garantizar que los pavimentos cumplan con las especificaciones requeridos, sean duraderos y eviten gastos innecesarios de reparación. Además, contribuiría a la optimización de los recursos públicos y a la implementación de mejoras en los pavimentos.

Durante la construcción de las carpetas asfálticas, se requiere de un equipo de trabajo con habilidades y conocimientos específicos en pavimentación y construcción de carreteras para realizar controles en obra que, con equipos de indicadores de calidad de pavimento, se podría obtener mejores resultados en la construcción.

1.2.1 Problema

¿Cómo evaluar técnicamente las carpetas asfálticas de 5 diferentes calles de la ciudad de Tarija, durante la puesta en obra?

1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema

Es necesario evaluar la calidad de las carpetas asfálticas que se realiza en las calles y avenidas de la ciudad de Tarija, verificar si se cumple con los parámetros de diseño y tiempos de vida útil.

➤ Factibilidad técnica

Es necesario conocer los parámetros de grado de compactación, densidad máxima, porcentajes de vacíos y la temperatura de compactado como factores de control de calidad.

➤ Factibilidad social

La población general de la ciudad de Tarija, necesita contar con calles pavimentadas de buena calidad, para que tenga una larga vida útil, y que a su vez proporcione confort y seguridad al momento de transitar por esos tramos.

➤ **Factibilidad académica**

Los resultados obtenidos del presente estudio, permitirá tener un referente académico para dar a conocer el estado en la que se encuentran las calles pavimentadas, verificando con el densímetro PQI380, los parámetros de control de calidad para poderlos comparar con otros estudios a lo largo de la vida útil de las carpetas asfálticas.

1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema

El estudio es posible realizarlo inmediatamente, según el cronograma de asfaltado de la brigada de pavimentación del Gobierno Autónomo Municipal de la provincia Cercado de Tarija. Las calles a pavimentar, están en diferentes distritos de la ciudad, para ello se realizará el estudio en 30 puntos de diferentes puntos.

1.3 Justificación

Se llegó a esta línea de trabajo debido a que se cuenta con el equipo y la capacitación suficiente para el manejo del densímetro PQI 380, y por la sentida necesidad de conocer la densidad de los pavimentos asfálticos en el lugar de la obra sin que éste implique demora en el tiempo en el proceso de la determinación de la densidad y el deterioro de la carpeta asfáltica.

El densímetro PQI 380 tiene como componente principal la placa de verificación, que corresponde únicamente al equipo en cuestión, el densímetro PQI 380 se encuentra en laboratorio de asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Como elemento importante de las carpetas asfálticas colocadas en obra, es conocer su calidad técnica, para ello se debe realizar un número considerado de ensayos, que permitan obtener un patrón de control de calidad.

Para ello es necesario contar con datos previos, como ser: Granulometría de diseño (servirá para verificación), dosificación (servirá para la verificación), tamaño máximo del agregado, densidad máxima de diseño, desviación estándar de producción y altura de la carpeta asfáltica de diseño. Estos datos serán proporcionados por el Laboratorio de Asfaltos de las Alcaldía de Tarija.

Por lo tanto, al contar con los datos iniciales para introducir al Densímetro PQI-380, se podrán determinar los siguientes parámetros: temperatura de compactado, densidad promedio, porcentaje de vacíos de la mezcla y el grado de compactación, según densidad y vacíos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la carpeta asfáltica durante su aplicación en obra en diferentes zonas de la ciudad de Tarija, utilizando el densímetro PQI-380 y los datos obtenidos en el laboratorio, con el fin de evaluar la calidad técnica de las mismas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la caracterización de los agregados pétreos y del cemento asfáltico.
- Determinar la densidad máxima a partir del Método Marshall.
- Obtener la información de los datos de diseño de las mezclas asfálticas, para introducir al densímetro PQI-380.
- Realizar lecturas en obra, durante la aplicación y compactación de la mezcla asfáltica, con el densímetro PQI-380, para medir las temperaturas, densidades y grado de compactación de la carpeta asfáltica.
- Evaluar los comportamientos de las temperaturas, densidades y grado de compactación de las carpetas asfálticas para verificar si cumplen los parámetros mínimos puestos en obra.
- Realizar un análisis estadístico de los datos recopilados para obtener una visión general de la calidad de las carpetas asfálticas evaluadas.
- Elaborar gráficas de referencia que muestren las densidades, temperaturas, grado de compactación y vacíos obtenidos en obra y compararlos con los resultados de los ensayos de laboratorios requeridos.

1.5 Hipótesis

La aplicación del densímetro portátil PQI-380 como herramienta de evaluación técnica durante la colocación de carpetas asfálticas en obras de pavimentación en la ciudad de Tarija mejorará significativamente la calidad y durabilidad de las carreteras, al garantizar un adecuado control de densidad, temperatura, grado de compactación y vacíos en las mezclas asfálticas.

1.6 Operacionalización de las variables

1.6.1 Variable independiente

x = Datos de diseño de las mezclas asfálticas.

Tabla 1.1 Conceptualización de la variable independiente

Variable independiente	Conceptualización	Dimensión	Valor/Acción
Datos de diseño de las mezclas asfálticas	<p>Se refiere a los datos de diseño de las mezclas asfálticas que se determinan en laboratorio, previo a su fabricación.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Granulometría de diseño. ➤ Tamaño máximo del agregado. ➤ Densidad máxima de diseño. ➤ Desviación estándar de producción. ➤ Altura de la carpeta asfáltica de diseño. 	Mezcla asfáltica	<p>mm</p> <p>mm</p> <p>kg/m³</p> <p>kg/m³</p> <p>mm</p>

Fuente: Elaboración propia

1.6.2 Variable dependiente

y = Propiedades técnicas

Tabla 1.2 Conceptualización de la variable dependiente

Variable independiente	Conceptualización	Dimensión	Valor/Acción
Propiedades técnicas	Son las propiedades de las mezclas asfálticas que se pueden evaluar en obra durante su compactado. <ul style="list-style-type: none"> ➤ Temperatura de compactado. ➤ Densidad promedio. ➤ % de vacíos de la mezcla. ➤ Grado de compactación, según densidad y vacíos. 	Carpeta asfáltica	°C kg/m ³ % %

Fuente: Elaboración propia

1.7 Identificación del tipo de investigación

Investigación cuantitativa:

Este tipo de investigación se realiza para obtener y evaluar información utilizando un enfoque estadístico y matemático. Utiliza una gran cantidad de datos que provienen de diferentes fuentes para evaluar y encontrar discrepancias en ellos.

Los datos cuantitativos, generalmente se presentan en forma de gráficos, tablas y estadísticas. Estos se pueden recopilar con la ayuda de encuestas o cuestionarios, y posteriormente, se utilizan para encontrar una correlación o un patrón de comportamiento que se puede beneficiar el tema de la investigación.

1.8 Unidades de estudio y decisión muestral

1.8.1 Unidad de estudio

- Carpeta asfáltica.

1.8.2 Población

- Carpetas asfálticas de la ciudad de Tarija.

1.8.3 Muestra

- Carpetas asfálticas de 5 calles la ciudad de Tarija.

1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo

Para el presente estudio se aplica el muestreo por conveniencia, no aleatorio, porque se realiza el estudio en 30 puntos de 5 calles de la ciudad de Tarija, según cronograma de la brigada de pavimentado de la Alcaldía de Tarija.

1.9 Métodos y técnicas empleadas

1.9.1 Métodos

El método utilizado para este trabajo de investigación se asumió a partir de las lecturas con el equipo PQI-380 la cual estudiaremos, caracterizaremos y lectura las propiedades mecánicas del pavimento flexible.

1.9.2 Técnicas

La técnica aplicada de lectura es el modo Single o Individual ya que nos permite realizar lecturas más rápidas en in situ, se realizar lecturas del margen derecho, central y izquierdo del pavimento, este método de lectura nos proveerá los siguientes datos: grado de compactación, densidad y temperatura.

Esta modalidad solo es capaz de almacenar una medida a la vez, la cual puede ser rechazada, aceptada o registrada y almacenada en ese punto en la memoria del equipo.

Las técnicas empleadas en este trabajo serán probabilísticas, estadísticas y analíticas debido a que todas las muestras tendrán las mismas probabilidades.

Ensayos previos a realizar

➤ **Ensayos a realizarse para los agregados**

Método para tamizar y determinar la granulometría ASTM E40 – AASHTO T27-99

Método para determinar el equivalente de arena ASTM D2419 – AASHTO T176

Método para determinar el desgaste de Los Ángeles ASTM E 131 – AASHTO T96

Método para determinar el peso específico del agregado grueso ASTM C-127 (Grava, Gravilla)

Método para determinar el peso específico del agregado fino ASTM C-128

➤ **Ensayos a realizarse para el cemento asfáltico**

Ensayo para determinar la ductilidad ASTM D113 – AASHTO T51

Ensayo de penetración ASTM D5 - AASHTO T49

Ensayo para determinar del peso específico ASTM D71 – AASHTO T229

Ensayo para determinar el punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland ASTM D1310 – AASHTO T79

Ensayo de punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola ASTM D36 - AASHTO T53-96

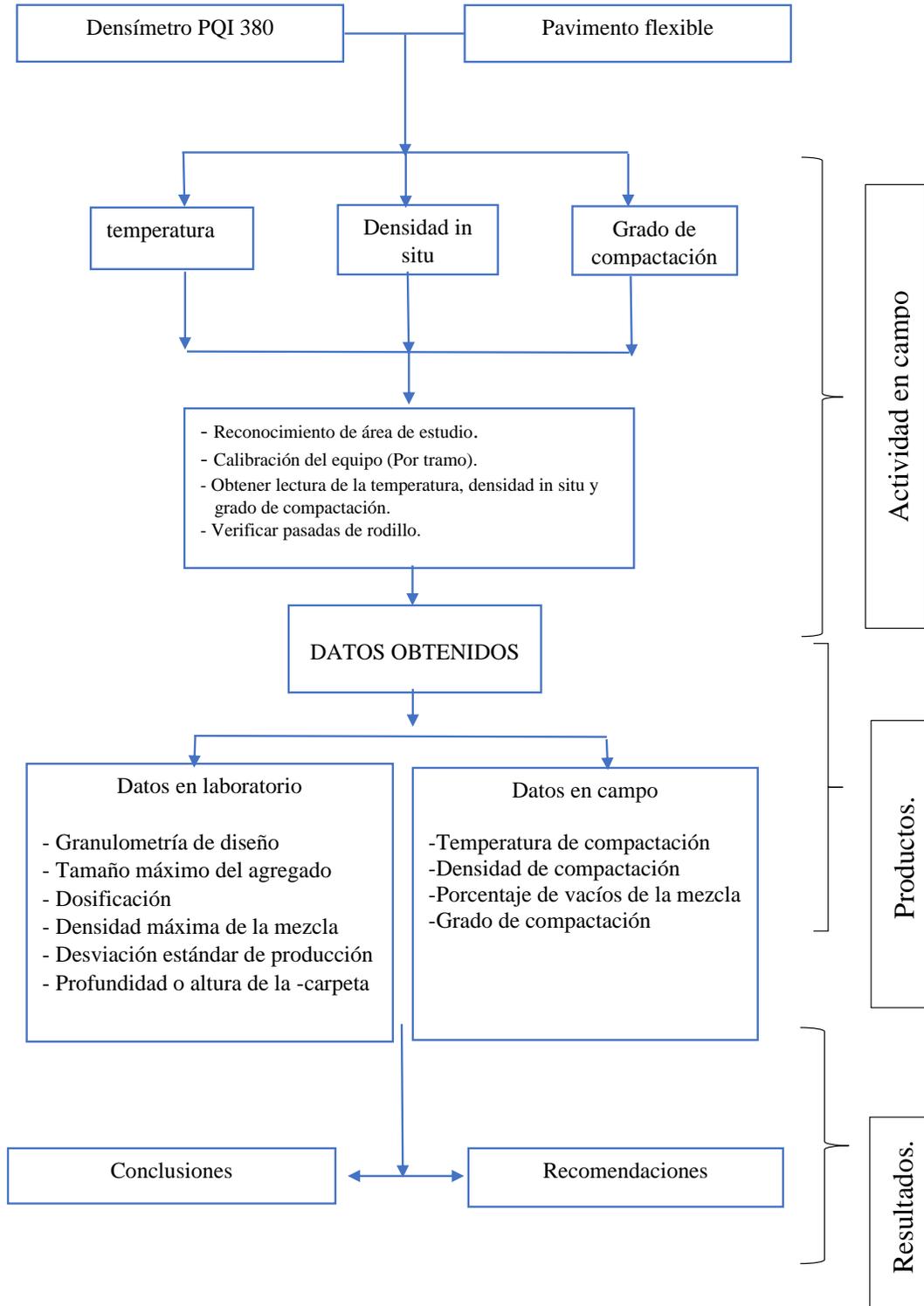
Ensayo para determinar la viscosidad Saybolt Furol ASTM D244

➤ **Determinación el contenido óptimo de cemento asfáltico**

Se aplicará el Método Marshall para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla en caliente que se realizará, se logrará aplicando diferentes porcentajes de asfalto partiendo de 4,5%, 5%, 5,5%, 6,0% 6,5% y 7,0% de esta manera se logrará determinar el óptimo.

1.10 Procedimiento de aplicación

Flujograma de actividades



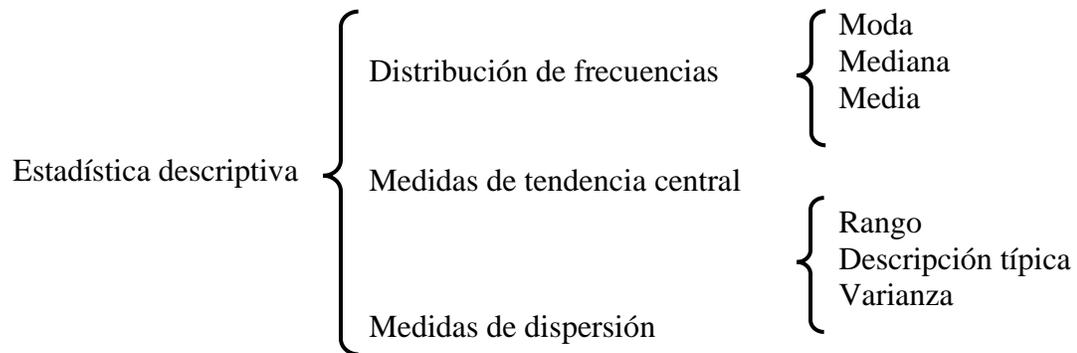
1.11 Procesamiento de la información

Tratamiento estadístico

Ciencia que utiliza conjuntos de datos numéricos para obtener, a partir de ellos, inferencias basadas en el cálculo de probabilidades.

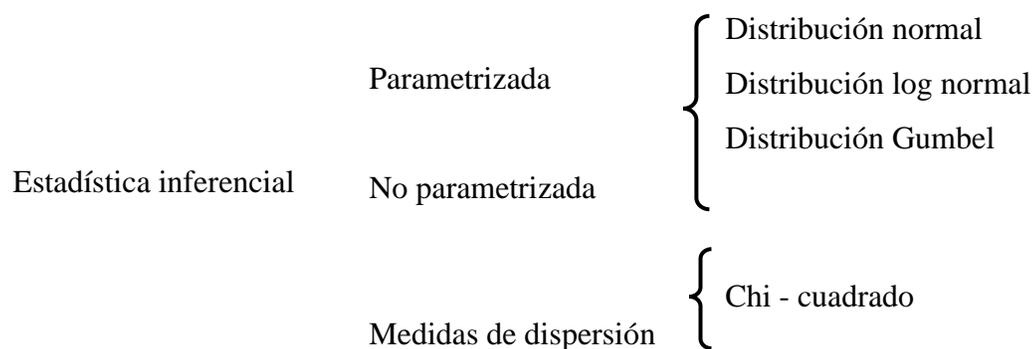
➤ Estadística descriptiva

Son procedimientos empleados para organizar y resumir conjuntos de observaciones en forma cuantitativa. El resumen de ellos puede hacerse mediante tablas, gráficos o valores numéricos.



➤ Estadística inferencial

Son métodos empleados para inferir algo acerca de una población basándose en los datos obtenidos a partir de una muestra. Los datos estadísticos son cálculos aritméticos realizados sobre los valores obtenidos en una porción de la población, seleccionada según criterios rigurosos.



1.12 Alcance de la investigación

El trabajo estará enmarcado dentro del siguiente alcance.

El presente trabajo tiene como objetivo principal la evaluación de las calles que han sido asfaltadas en la ciudad de Tarija durante la gestión 2022, utilizando el Densímetro PQI-380 como herramienta de medición. Se recopilarán datos relacionados con densidades, temperaturas, grado de compactación y vacíos de las calles asfaltadas.

Realizarás lecturas de datos en intervalos específicos, es decir, después de cada dos volquetas de nueve cubos, lo que garantizará una evaluación periódica y representativa.

Las áreas de evaluación se encuentran en diferentes barrios de Tarija, que incluyen Obrajes, San Antonio, El Constructor, Mercado Abasto Del Sur y Barrio Aranjuez. Esto asegura la representatividad de diversas zonas de la ciudad.

Las pruebas se llevarán a cabo en los laboratorios de Asfalto y Hormigones, así como en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Utilizarás el equipo necesario para realizar las mediciones.

Los materiales utilizados en la mezcla (agregados y cemento asfáltico) se obtendrán del Gobierno Autónomo Municipal de Tarija y de la chancadora Fernández.

CAPÍTULO II

**CONCEPTUALIZACIÓN DEL
TEMA**

CAPÍTULO II

CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA

2.1 Definición del Pavimento

La Estructura del Pavimento se define como un conjunto de capas superpuestas, horizontales, de diferentes materiales y espesores. Estas estructuras estratificadas, se apoyan en la Subrasante y las cuales deben distribuir y transmitir las cargas de tráfico durante un período de varios años, sin deterioros que afecten la seguridad y comodidad de los usuarios o a la propia integridad del Pavimento. Las características estructurales de cada una de las capas están relacionadas con los materiales empleados en la estructura del pavimento, en particular las características mecánicas, y espesores de estas capas. Los suelos y agregados, forman diversos espesores de obra utilizadas en estructuras de pavimento, las más empleadas son las siguientes:

- Capas Granulares, naturales y artificiales.
- Mezclas Bituminosas, compuestas por áridos embebidos en un ligante bituminoso. Reciben diferentes denominaciones en función de su apariencia, constitución y puesta en obra. Se emplea en las capas superficiales de los pavimentos flexibles.
- Hormigones: forman el pavimento rígido adoptando diversas configuraciones hormigones vibrados en masa, armado, compactados con Rodillo.

2.1.1 Funciones de un pavimento

Un pavimento es una estructura construida sobre un suelo de fundación apropiada (Subrasante), tiene por finalidad resistir, transmitir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos, además de proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática, tratándose principalmente de actividades multidisciplinario donde están involucrados conceptos y técnicas de la geotecnia, calidad de materiales y tipo de transporte de circulación en la vía, las condiciones de funcionamiento vehicular en una

vía no pavimentada son precarias, generando limitaciones en las velocidades de desplazamiento y cargas de los vehículos, elevando los costos de operación (mantenimiento y combustible). Mejorar las condiciones de transpirabilidad, hace necesarias la construcción y diseño óptimos de un pavimento acorde a las necesidades del lugar.

2.1.2 Pavimento flexible

Pavimentos flexibles o asfálticos. En general, están constituidos por una capa delgada de mezcla asfáltica construida sobre una capa de base y una capa de sub-base las que usualmente son de material granular. Estas capas descansan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante.

Figura 2.1 Paquete estructural pavimento flexible



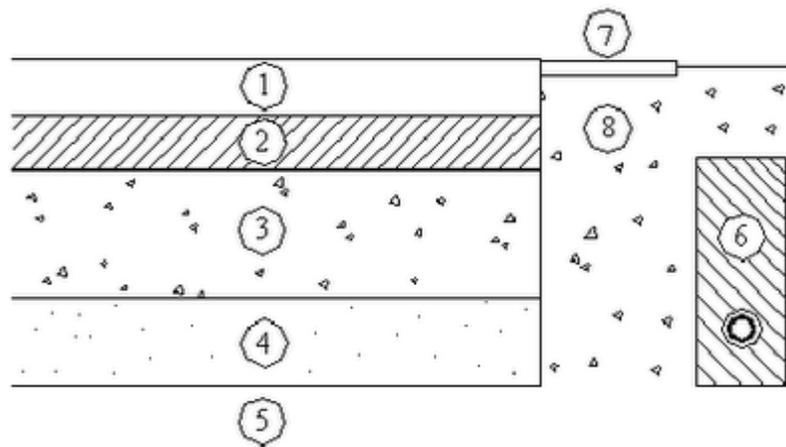
Fuente: Universidad Tecnológica Nacional de Rosario

La capa de rodadura de un pavimento flexible puede construirse con un hormigón bituminoso, mezclas de arena y betún, o mediante tratamientos superficiales con riegos bituminosos. Está sometida a los esfuerzos máximos y condiciones más severas impuestas por el clima y el tráfico. La capa de base se compone generalmente de áridos, que han sido tratados o no con cemento portland, cal, asfalto u otros agentes estabilizantes. Esta capa tiene como principal función, la de soportar las cargas aplicadas y distribuir estas cargas a la sub-base o al terreno. La capa de sub-base se compone de materiales menor calidad y costo que los empleados en la capa de base. Se componen de materiales estabilizados o no, o de terreno estabilizado. Las sub-bases transmiten cargas al terreno y en algunos casos

pueden actuar de colaborador del drenaje de las aguas del subsuelo y para prevenir la acción destructiva de las heladas.

En la figura se muestra esquemáticamente, los componentes principales de un pavimento asfáltico (Estructural de un pavimento flexible). Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser el resultado de un estudio geotécnico adecuado. En los pavimentos camineros, la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base; la fundación está formada por las capas de sub-base y suelo compactado.

Figura 2.2 Componentes principales de un pavimento flexible



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional de Rosario

Sección típica de un pavimento flexible (Capas que componen la estructura).

1. Capa de rodadura.
2. Capa base.
3. Capa Subbase.
4. Suelo compactado (terraplén o subrasante mejorada).
5. Subrasante.
6. Sub-drenaje longitudinal.
7. Revestimiento de hombreras.
8. Sub-base de hombreras.

La capa de rodadura o revestimiento asfáltico tiene las siguientes funciones:

Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.

Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.

Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa.

La capa base tiene las siguientes funciones:

Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas sub-base y suelo natural.

Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.

Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

La capa sub-base está constituida por un material de capacidad de soporte superior a la del suelo compactado y se utiliza para permitir la reducción del espesor de la capa base.

La capa de suelo reforzado, puede estar presente en una estructura de pavimento, para poder reducir el espesor de la capa sub-base.

El suelo compactado o subrasante mejorada, es el mismo suelo del terraplén, que esta escarificado y compactado una cierta profundidad dependiendo de su naturaleza o de las especificaciones del proyecto.

2.2 Carpetas asfálticas

2.2.1 Características de los materiales pétreos

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos.

Los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas son suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de depósitos naturales denominados minas o de rocas, los cuales, por lo general requieren cribado y triturado para utilizarse.

Las características más importantes que deben tener a satisfacción los materiales pétreos para carpetas asfálticas son granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. La granulometría es de mucha importancia y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales se cubren por completo con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambia la superficie a cubrir. Ya que la superficie por revestir resulta afectada al aumentar o disminuir los linos que cuando hay cambio en las partículas gruesas, las especificaciones toleran más los cambios en éstas que en aquéllos. Al estudiar cada tipo de carpeta asfáltica, se mencionarán las granulometrías necesarias y las tolerancias correspondientes.

2.3 Diseño de mezclas asfálticas

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado.

Características y comportamiento de la mezcla:

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire (o simplemente vacíos).
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

2.3.1 Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

2.3.2 Vacíos de aire (o simplemente vacíos)

“Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios para que pueda fluir el asfalto”. Según Geman Paiva Ipanaque (Diseño de mezclas asfálticas).

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

“La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la

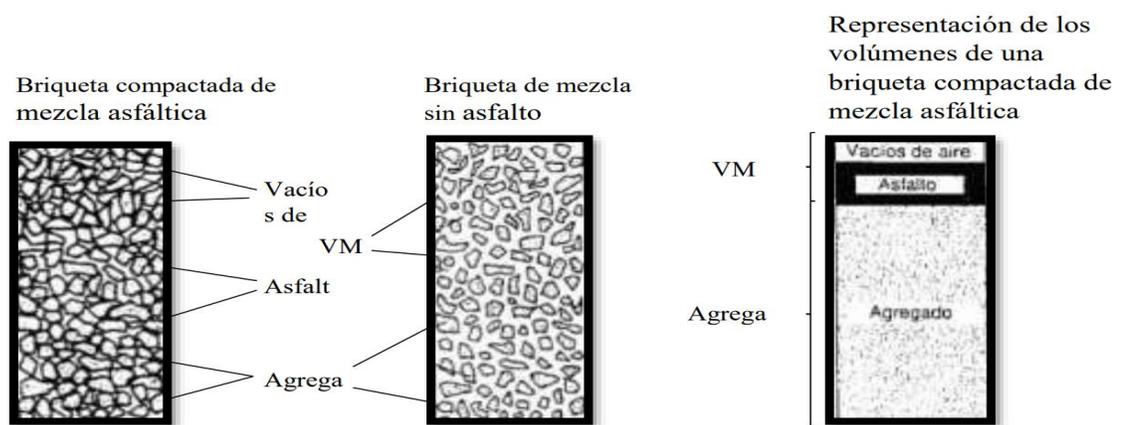
densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos”. Según Geman Paiva Ipanaque (Diseño de mezclas asfálticas)

2.3.3 Vacíos en el agregado mineral

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla. La fig. 2.1. Ilustra el concepto de VMA y la tabla 2.1. Presenta los valores requeridos.

Figura 2.3 Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada (nota: para simplificar el volumen de asfalto absorbido no es mostrado)



Fuente: Tomado del Capítulo IV - Diseño de mezclas asfálticas (Biblioteca UDEP

- Universidad de Piura)

Tabla 2.1 Vacíos en el agregado mineral (Requisitos de VMA)

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3,0	4,0	5,0
1,18	No. 16	21,5	22,5	23,5
2,36	No. 8	19,0	20,0	21,0
4,75	No. 6	16,0	17,0	18,0
9,50	3/8	14,0	15,0	16,0
12,50	1/2	13,0	14,0	15,0
19,00	3/4	12,0	13,0	14,0
25,00	1,0	11,0	12,0	13,0
37,50	1,5	10,0	11,0	12,0

Fuente: Tomado del capítulo IV - Diseño de mezclas asfálticas (Biblioteca UDEP - Universidad de Piura)

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar el contenido de asfalto.

2.3.4 Contenido de asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por

otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0,075 mm (Nº 200)). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará. En vez de hacer ajuste arbitrario, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar

ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas.

El contenido asfáltico se refiere a la cantidad de asfalto presente en una mezcla asfáltica o asfalto en sí mismo. El asfalto es un material viscoso y pegajoso derivado del petróleo, que se utiliza comúnmente en la construcción de carreteras y pavimentos. En las mezclas asfálticas, el contenido asfáltico es un factor crucial que afecta las propiedades físicas y mecánicas del material.

Se expresa generalmente como un porcentaje del peso total de la mezcla. Este porcentaje puede variar según el tipo de mezcla, el propósito del pavimento y las condiciones climáticas locales. Un contenido asfáltico adecuado es esencial para garantizar que la mezcla tenga la cohesión y la durabilidad necesarias para soportar las cargas del tráfico.

2.3.5 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

2.3.5.1 Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y liSura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en pavimentos.

Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento

Causas

- Exceso de asfalto en la mezcla
- Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla

- Agregado redondeado con pocas superficies trituradas

Efectos

- Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación.
- Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
- Ahuellamiento y canalización.

2.3.5.2 Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden

a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

Causas y efectos de una poca durabilidad

Causas

- Bajo contenido de asfaltos
- Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación
- Agregados susceptibles al agua (Hidrofílicos)

Efectos

- Endurecimiento rápido del asfalto desintegración por pérdida de agregado.
- Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
- Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

2.3.5.3 Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

Causas y efectos de la permeabilidad

Causas

- Bajo contenido de asfalto
- Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño
- Compactación inadecuada

Efectos

- Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
- El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
- Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

2.3.5.4 Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado y la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá

tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado y demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad

Causas

- Tamaño máximo de partícula grande
- Demasiado agregado grueso
- Temperatura muy baja de mezcla
- Demasiada arena de tamaño medio
- Bajo contenido de relleno mineral
- Alto contenido de relleno mineral

Efectos

- Superficie áspera, difícil de colocar
- Puede ser difícil de compactar
- Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
- La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
- Mezcla tierna, altamente permeable
- Mezcla muy viscosa, difícil de manejar y poco durable.

2.3.5.5 Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada en bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

2.3.5.6 Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga

Causas

- Bajo contenido de asfalto
- Vacíos altos de diseño
- Falta de compactación
- Espesor inadecuado de pavimento

Efectos

- Agrietamiento por fatiga
- Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
- Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
- Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

2.3.5.7 Resistencia al deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento.

La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr - 40 min/hr.

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de

textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm - 1/2 pulgada. Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito.

Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento

Causas

- Exceso de asfalto
- Agregado mal graduado o con mala textura
- Agregado pulido en la mezcla

Efectos

- Exudación, poca resistencia al deslizamiento
- Pavimento liso, posibilidad de hidropelante
- Poca resistencia al deslizamiento

2.4 Densidad de campo

La densidad es una propiedad física de la materia que se define como la proporción de la masa de un objeto a su volumen.

Esta relación entre masa y volumen de una sustancia o mezcla es lo que define la propiedad física de la densidad:

$$\text{Densidad} = \text{Masa} / \text{Volumen}$$

La densidad es una propiedad intensiva de la materia definida como la relación de la masa y un objeto dividida por su volumen. La masa es la cantidad de materia que contenida en un objeto y comúnmente se la mide en unidades de gramo g. El volumen es la cantidad de espacio ocupado por la cantidad de la materia y es comúnmente expresado en centímetros cúbicos cm^3 o en mililitros ml. Por consiguiente, las unidades comunes usadas para

expresar la densidad son los gramos por mililitros g/ml y gramos por centímetro cúbicos g/cm³.

La densidad del asfalto puede variar según su composición y condiciones específicas, como la temperatura. Sin embargo, a continuación, se proporciona una tabla aproximada de densidades para diferentes tipos de asfalto a una temperatura típica de 25 grados Celsius (77 grados Fahrenheit):

Tabla 2.2 Tablas de densidades. Por Mart Arre H

Asfalto	Min.	Max.	unidad
Asfalto caliente (HMA):	2,2	2,4	g/cm ³
Asfalto modificado con polímeros	2,3	2,4	g/cm ³
Asfalto modificado con caucho	2,3	2,4	g/cm ³
Asfalto modificado con asfalto modificado con polímeros	2,35	2,4	g/cm ³

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/50303062/tablas>

Estos valores son aproximados y pueden variar según la composición exacta del asfalto y las condiciones de construcción. Siempre se deben seguir las especificaciones del proyecto o las normativas locales para determinar la densidad específica requerida en un proyecto de pavimentación de asfalto.

La temperatura es considerada uno de los agentes ambientales que influyen de manera directa en el comportamiento de los pavimentos, modificando su rigidez, debido a las características termoplásticas del material que constituye las capas asfálticas de los pavimentos flexibles. A medida que aumenta la temperatura, las capas del pavimento asfáltico se vuelven menos rígidas y cuando disminuye se incrementa la rigidez de estas capas. Este efecto se aprecia en mayor grado en las capas de rodadura, generando estados tensionales de origen térmico que se superponen a los generados por la acción del tráfico, lo que trae consigo un efecto en la durabilidad de la estructura.

2.5 Densidad de campo utilizando densímetro PQI 380

El Indicador de Calidad de Pavimento (PQI) es un procedimiento de medición “no nuclear” de la densidad in situ. El equipo utiliza ondas eléctricas para medir la constante dieléctrica del material. La densidad de la mezcla asfáltica es directamente proporcional a la medida de esta constante, y los dispositivos electrónicos del equipo convierten las señales de campo en interpretaciones de la densidad. El procesador de datos calcula esta densidad corregida por la humedad que pueda estar presente en el pavimento.

Este dispositivo utiliza un voltaje continuo de baja frecuencia, determinando la densidad, o nivel de compactación, por la respuesta del campo eléctrico del detector del dispositivo, a los cambios en la impedancia eléctrica de la matriz del material. Esta impedancia es una función de la constante dieléctrica del material y del aire atrapado en los huecos de la capa compactada. Debido a que la constante dieléctrica del aire es muy inferior a la del pavimento, cuando la compactación se incrementa, la constante dieléctrica combinada aumenta al disminuir el porcentaje de aire en la mezcla. Un estudio realizado por Romero concluye que para el control de calidad en mezclas bituminosas en caliente es un método perfectamente aceptable y que, por su rapidez, constituye un procedimiento idóneo para las mediciones de densidad in situ.

El equipo, densímetro PQI 380 es un dispositivo para la determinación de densidad in situ en pavimentos asfálticos sin extracción de testigos. Las experiencias con este equipo en mezclas bituminosas en caliente, recogidas en diferentes fuentes bibliográficas, muestran que las densidades medidas in situ con el PQI son muy similares a las obtenidas mediante la extracción de testigos. En un artículo se expone la primera etapa de un proyecto de investigación que tiene por objeto analizar los resultados de mediciones efectuadas con el densímetro PQI en mezclas bituminosas donde se utiliza emulsión asfáltica como ligante. Se comprueba la variabilidad de la densidad obtenida con el equipo para este tipo de mezclas, y se comparan los resultados con otros métodos de medida de densidad in situ.

El densímetro no nuclear se basa en el principio de impedancia eléctrica. La impedancia eléctrica del material a ensayar es proporcional a la constante dieléctrica e inversamente proporcional al volumen de huecos y al porcentaje de compactación, es decir, el campo

eléctrico va a variar en función de la densidad. El campo eléctrico es transmitido a través del material, desde la placa censora del equipo. Luego la impedancia es medida y utilizada en el cálculo de la densidad de ese conjunto específico como la simulación consol ilustra la Figura N° 2.2.

De la bibliografía estudiada sobre el empleo del equipo PQI en la determinación de densidades in situ en mezclas bituminosas en caliente destacan los siguientes trabajos: Bryan C. Smith, se determinan medidas de densidad por métodos nucleares y no nucleares, a partir de la información recogida de ocho proyectos de pavimentación ejecutados en el Estado de Virginia. Se llegó a la conclusión, que aplicando una corrección a los datos del PQI basada en un índice de humedad, determinado a partir de los valores obtenidos en este estudio y para las condiciones específicas del mismo, las medidas obtenidas con este equipo correlacionaban mejor con las mediciones de densidad de testigos que las medidas obtenidas con el nuclear.

2.5.1 Densidad por medio del densímetro PQI 380

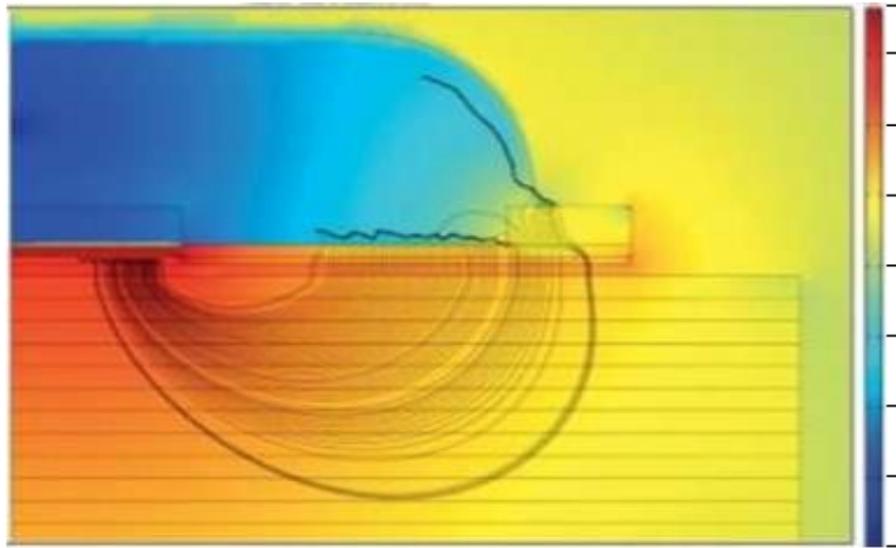
El Pavement Quality Indicator (PQI) Modelo 380 de TransTech usa tecnología de última generación para obtener lecturas precisas de la densidad de pavimentos asfálticos. Sus principales características son:

- No requiere de una licencia especial ni incorpora fuentes radiactivas.
- Ligero y de fácil uso
- 12 horas de operación en obra.
- Mide la densidad en unidades comunes (Libras/Pie cúbico y Kilogramos/Metro cúbico).
- Mide la humedad relativa y la compensa si es necesario.
- Guarda en memoria un número ilimitado de registros.
- Descarga de datos al ordenador mediante dispositivo USB de memoria flash (formato de archivos de texto delimitado por punto y coma).

El nuevo equipo denominado Densímetro no nuclear fue introducido en el campo internacional, el cual funciona por medio de impedancia eléctrica.

El equipo PQI 380 emplea espectroscopia de impedancia para medir la respuesta eléctrica del asfalto en el que se va a calcular la densidad. Como puede observarse en la simulación consol que se muestra a continuación, el equipo mide la impedancia y la emplea en el cálculo de la densidad de ese aglomerado en particular.

Figura 2.4 Simulación consol del densímetro



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

2.5.2 Partes y accesorios

El equipo medidor de densidad in situ cuenta con los siguientes componentes:

- Una maleta de almacenamiento y transporte.
- Un manual de instrucciones.
- Un equipo PQI-380.
- Un mango del equipo PQI380.
- Un cargador de batería: 120/220V CA a 12 VCD.
- Cargador de coche.

2.5.3 Paquetes de baterías

Figura 2.5 Partes del densímetro PQI 380



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

2.5.4 Procedimiento

Antes de utilizar el Equipo PQI380 por primera vez, se tiene que configurar el equipo para realizar medidas y grabar datos correctamente. A continuación, se deberá de seguir estos pasos antes de utilizar el equipo:

Instalar y cargar las baterías.

1. Arrancar el software.
2. Poner la fecha y hora local.
3. Configurar el GPS.
4. Seleccionar las unidades de medida.
5. Seleccionar el registro de datos.
6. Definir el material que se está ensayando (Detalles de la mezcla).
7. Detallar del proyecto (Para la función de registro de datos).
8. Seleccionar el Modo de Medida.

2.5.5 Modos de lectura

El PQI380 tiene cuatro modos de lectura: Sencillo, Promedio, Continuo y de Segregación.

Figura 2.6 Modos de lectura



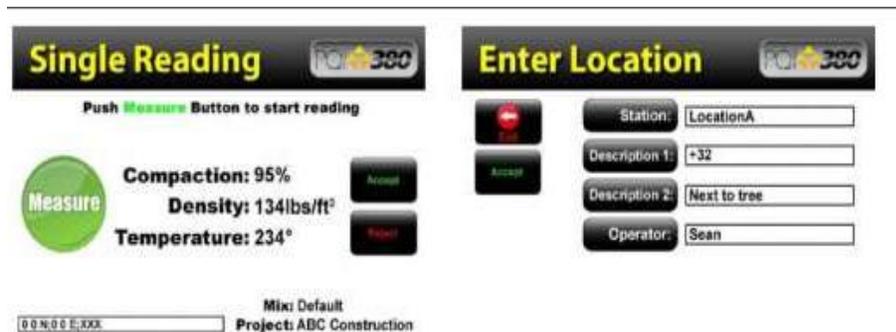
Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Con el modo continuo y de segregación no se guardan los datos. Con los modos sencillos y promedio solo se guardan los datos si está activada la función de registro de datos.

2.5.5.1 Modo de lectura sencillo

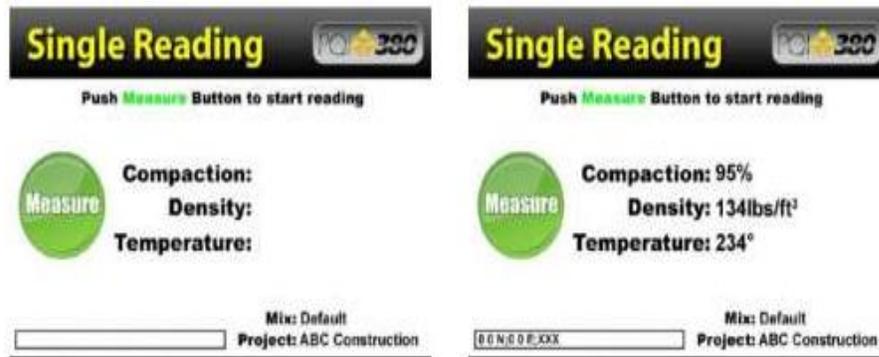
Para empezar a tomar lecturas se debe pulsar MeaSure. Si la función de registro de datos no está activada, el equipo mostrará los resultados de la primera lectura y esperará a la siguiente.

Figura 2.7 Modo de lectura sencilla



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Figura 2.8 Confirmación del modo de lectura sencilla



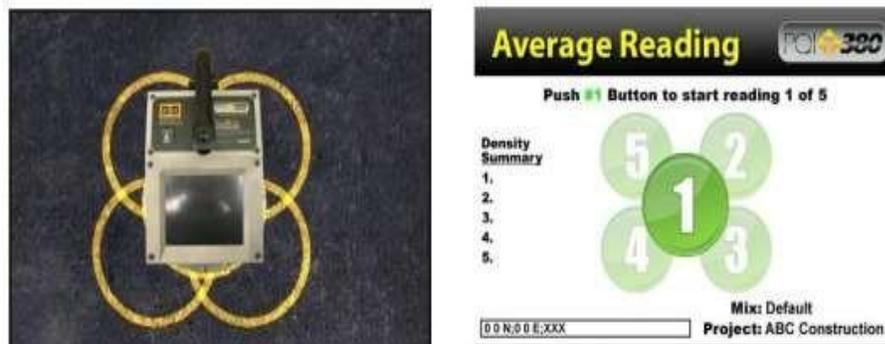
Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Si la función de registro de datos esta activa, aparecerá los botones Accept (aceptar) y Reject (rechazar) para esa lectura. Cuando la acepte aparecerá la pantalla Enter Location (introducir situación) para poder guardar información específica de dicha ubicación. Pulse Accept inmediatamente para saltarse esta pantalla o cuando haya terminado de editar.

2.5.5.2 Modo de lectura promedio

Se toma cinco lecturas para el promedio en forma de hoja de trébol. Aparecerá resaltado en pantalla el número de la lectura sí como la posición en la que debería estar colocado el equipo.

Figura 2.9 Modos de lectura promedio

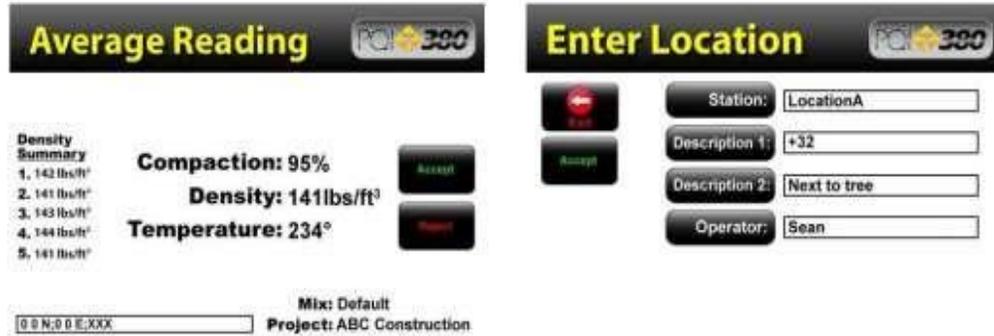


Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Cuando el equipo esté colocado en la superficie plana pulse One (uno). Cuando se haya tomado la lectura Uno, en el resumen de densidades aparecerá la lectura individual de

densidad y aparecerá resaltado el botón verde con el número Dos. Mueva el equipo a esta posición y pulse 2. Y así se repite lo mismo para las cinco lecturas.

Figura 2.10 Visualización de la lectura promedio



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Después de efectuar la quinta lectura, el equipo mostrará las cinco lecturas individuales bajo el epígrafe Density Summary (Resumen de densidades) situado a la izquierda, y el promedio de compactación, densidad y temperatura de las cinco lecturas aparecerá en el centro de la pantalla. El equipo no guarda las lecturas individuales, solo guarda las lecturas promedio. Si se necesita lecturas individuales, esta será la última vez que aparezca en pantalla. Si la función de registro de datos esta activada el equipo permite aceptar (Accept) o rechazar (Decline) la lectura promedio actual. Si se rechaza no se guardará en el archivo de datos y el equipo esperará para realizar otro conjunto de lecturas. Si la función de registro de datos esta desactivada el equipo únicamente mostrará los promedios y esperará para realizar el siguiente conjunto de lecturas (Next Reading).

Figura 2.11 Confirmación del modo de lectura promedio



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Si el registro de datos está activado y desea guardar la lectura promedio que aparece en la pantalla, pulse Accept. Como sucedía en el modo de lectura sencillo, aparecerá la pantalla Enter Location (introducir situación) con la que se puede guardar información específica de esa ubicación. Pulse Accept inmediatamente para saltarse esta pantalla o cuando haya terminado de editar.

2.5.5.3 Modo de lectura continuo

Con este modo no se guardan datos. Para empezar a tomar lecturas se presiona MeaSure.

Figura 2.12 Modos de lectura continuo



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Después de apretar el botón MeaSure (Medida) el modo continuo mostrará de forma continuada y actualizada la compactación, densidad y temperatura hasta que pulse el botón STOP, como se muestra en la Figura 2.12.

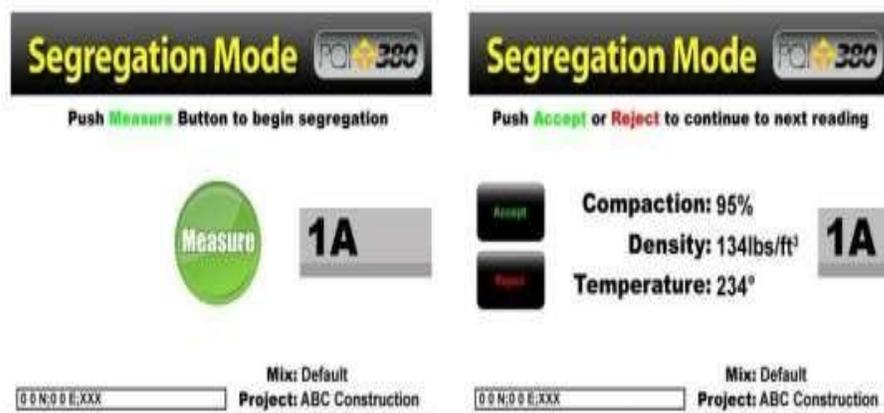
2.5.5.4 Modo de lectura de segregación

Con este modo no se guardan datos. Asegúrese de anotar las lecturas individuales, si desea utilizarlas. Este modo copia al del PQI-380 en el que se toma dos lecturas (A y B) para cada ubicación.

La segregación es la separación de las partículas gruesas y finas de árido en la mezcla asfáltica. Una mezcla segregada normalmente tendrá fluctuaciones de densidad en el material acabado.

El modo de segregación del PQI-380 se puede usar convenientemente para medir las variaciones de densidad que resultan de la segregación de la mezcla. La operación en Modo Segregación está diseñada según procedimiento de ensayos utilizados por algunas compañías. El PQI-380 se usa para tomar una serie de lecturas en ubicaciones predeterminadas sobre la capa de aglomerado. Las variaciones de los datos se calculan cuando se hayan tomado todas las lecturas.

Figura 2.13 Modos de lectura de segregación



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Coloque el PQI380 en la primera ubicación predeterminada en la capa de aglomerado y pulse MeaSure para obtener la lectura 1A para la ubicación 1. Si es necesario, anote los resultados de la lectura en este momento. Cada vez que se tome una lectura aparecerá las opciones “Accept” (aceptar) o “Reject” (rechazar) como se muestra en la Figura de arriba. En cada ubicación se toman dos lecturas (‘A’ y ‘B’) y se calcula el valor medio. En el caso de equipos nucleares es necesario determinar la medida de dos lecturas por ubicación debido a su pobre repetibilidad. El PQI380 tiene una repetibilidad excelente por lo que no serían necesarias dos lecturas, pero se toman dos por razones de compatibilidad con los procedimientos de ensayos con equipos nucleares existentes. Si está conforme con la primera lectura pulse Accept (Aceptar).

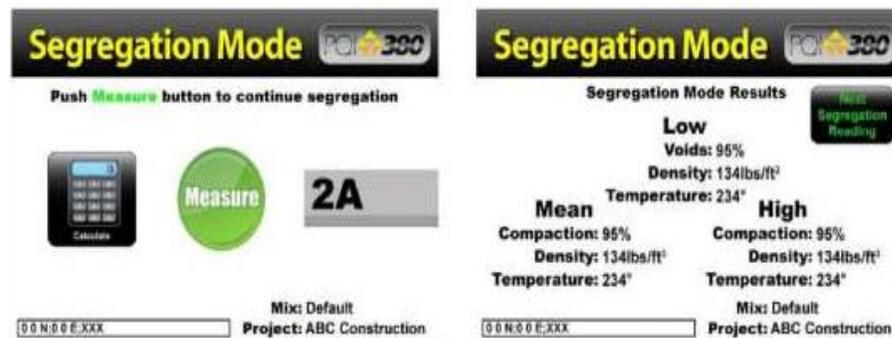
Figura 2.14 Toma de dato en el punto 1 B



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

El PQI380 le pedirá tomar la siguiente lectura en la misma ubicación, 1B. Pulse MeaSure. Aparecerán en pantalla los resultados de la lectura 1B para la ubicación 1 y el equipo esperará a que los acepte o rechace.

Figura 2.15 Toma de dato en el punto 2 A



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Si está satisfecho con la siguiente lectura anote los resultados (si es necesario), pulse Accept. El PQI380 mostrará ahora en pantalla el botón “Calculate” (Calcular) y le pedirá que se mueva a la ubicación 2 para efectuar la primera lectura (2A). Cuando haya aceptado el último par de lecturas pulse Calculate. El equipo mostrara en pantalla el porcentaje de compactación, densidad y temperatura para las lecturas más bajas, más alta y para la media.

2.5.6 Calibración del equipo

Para obtener lecturas precisas y coherentes es necesario calibrar el PQI380 en cada nueva mezcla. Esto se debe a la variedad de mezclas asfálticas en caliente (HMA) que se utilizan en obra hoy en día. Las variaciones en el tipo y tamaño del árido, así como las variaciones en los ligantes producen una gran variedad de propiedades eléctricas.

Una vez calibrado a un estándar (testigo) el PQI380 mantendrá una precisión óptima.

2.5.6.1 Método de calibración de testigo

Para obtener resultados óptimos, el método de calibración de testigo es el más preciso para calibrar el PQI380. El nivel de control de calidad desde la planta hasta la capa de aglomerado será el que determine el número de ubicaciones de ensayo que deberá identificar el operador (de una a cinco). Este método normalizado para establecer una banda de control como se especifica en la norma AASHTO TP 68-04 deberá constar de un total de cinco ubicaciones testigos. Cuanta más ubicaciones de ensayo, más precisos serán los resultados.

2.5.6.2 Método de calibración del núcleo

Para obtener resultados óptimos, el método de calibración del núcleo es el método más preciso al calibrar el PQI 380.

El nivel de control de calidad de la planta a la alfombra determinará el número de lugares de prueba que un operador debe identificar (uno a cinco). El método estándar para establecer una tira de control según se especifica en AASHTO TP 68-04 sería un total de cinco lugares principales. Recuerde que la calibración sólo será tan buena como los núcleos que se calibran a. Por lo tanto, cuantos más lugares de prueba tenga, más precisos serán los resultados.

Coloque el PQI 380 en la primera ubicación en la alfombra de asfalto. Utilizando la placa del sensor como guía, trace un círculo alrededor del PQI con un marcador de lápiz. Usando el modo promedio en el PQI, Presione 1 para la primera lectura.

No tocar ni manipularse sobre el PQI mientras esta lectura

El PQI-380 no guarda en memoria las lecturas individuales, solo guarda la lectura promedio si está activada la función de registro de datos.

Figura 2.16 Toma de lectura promedio de para la calibración



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Mueva el PQI aproximadamente 2 pulgadas hacia arriba y hacia la derecha en el exterior del círculo. La pantalla modo de lectura promedio también le guiará a la ubicación y número de lectura adecuados. Pulse 2 para realizar la segunda lectura. Continúe con el patrón de hoja de trébol hasta que haya completado cinco lecturas individuales. Después de la quinta lectura, el PQI-380 mostrará las cinco lecturas individuales para su verificación en la parte del resumen de densidad de la pantalla. Si se necesitan lecturas individuales, anótelas, ésta será la última vez que la pantalla las muestre.

El promedio de estas cinco lecturas individuales se mostrará en el centro de la pantalla esperando que se presione el botón aceptar o rechazar. Anote la lectura promedio de PQI-380 en la "hoja de trabajo de calibración comparativa básica" que se encuentra al final de este manual. presione aceptar para almacenar la lectura promedio en el archivo de datos. si la opción de aceptar o rechazar no se muestra, el registro de datos está desactivado y la lectura promedio no se almacenará.

La compactación directa en porcentaje de la estera de ensayo se consigue tirando de las muestras físicas (núcleos) de las posiciones previamente ensayadas. Una vez que se

reciben los informes del laboratorio de densidad de núcleo, ingrese el valor para cada núcleo en la "Hoja de trabajo de comparación básica".

Calcular la diferencia entre las lecturas medias de PQI y los valores de densidad de núcleo. A continuación, se promediarán las cinco diferencias calculadas (densidad básica - Densidad media PQI) para obtener una diferencia. Esta diferencia será el Desplazamiento para esa mezcla específica que se almacenará en el medidor para esa mezcla. Por lo tanto, usted estará ajustando el valor de las lecturas PQI por esa cantidad para que el medidor lea lo mismo que el núcleo (s).

Figura 2.17 Menú principal y calculadora



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Si no tiene una calculadora a mano, presione menú principal en la barra de tareas. en el menú principal, presione calculadora. Una vez calculada la diferencia numérica, determine si el PQI 380 está leyendo demasiado alto o demasiado bajo. Por ejemplo, si el PQI lee 155lb / ft³ y le gustaría que lea 150lb / ft³, el PQI lee demasiado alto y el valor ajustado de la desviación del PQI380 será de 5.

Figura 2.18 Configuración de la desviación del PQI380



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Luego desde el menú de control pulse Mix. 29 asegúrese de que la mezcla verde resaltada es la mezcla a la que desea añadir el desplazamiento. pulse editar mezcla y, a continuación, pulse desplazar mediante el uso de la densidad previamente medida y comparando el valor con la densidad deseada, determine si la lectura PQI 380 es demasiado baja o demasiado alta.

Figura 2.19 Tipo de lectura demasiado baja o demasiado alta



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Presione PQI está leyendo demasiado alto o bajo dependiendo de su situación. Para el ejemplo, vamos a utilizar "PQI está leyendo demasiado alto". Aparecerá un teclado numérico, así como el nombre de mezcla y la Offset de corriente para esa mezcla. Escriba

el valor ajustado para el desplazamiento que determinamos anteriormente sería Tipo 5, luego presione Intro. 30 PQI380 Offset Setup.

El valor ajustado y el nuevo desplazamiento serán iguales si el desplazamiento de corriente fuera originalmente cero. si el offset actual hubiera sido 1 y el valor ajustado 5, entonces el nuevo desplazamiento sería -4 para una lectura PQI que había leído demasiado alto. presione aceptar. la pantalla vuelve a la pantalla edit mix donde puede verificar la información de esa mezcla. una vez verificado, presione salir y luego presione control menú en la barra de tareas para regresar al control menú. el desplazamiento de cada mezcla se puede ajustar en cualquier momento. las lecturas tomadas antes de un ajuste específico no reflejarán ese ajuste. los archivos de datos registrarán cada desplazamiento utilizado para calcular la densidad para cada lectura.

2.5.6.3 Método de calibración mediante la placa de verificación

Para la calibración mediante la placa de verificación el equipo debe encontrarse en el tramo del cual se va a proceder a medir las densidades en sitio, el equipo debe permanecer en la caja de almacenamiento en completa estabilidad, mientras se procede a prender y calibrar el densímetro PQI 380 mediante su estandarización.

Figura 2.20 Calibración mediante la placa de verificación



Fuente: Elaboración propia

2.5.7 Descarga de datos

Figura 2.21 Descarga de datos



Fuente: Manual de instrucciones versión del software P380ENG 0.1.7 – Trans Tech Systems, Inc

Desde el menú de control, pulse administración de datos. desplácese hasta el proyecto que desea descargar utilizando las flechas ubicadas en la esquina superior izquierda de la pantalla. inserte la unidad flash USB en el puerto USB situado en la parte posterior del medidor. pulse descargar y descargar de nuevo. descargando se completa cuando el indicador muestra "listo" en la esquina superior derecha. cuando y si lo desea para eliminar un proyecto, asegúrese de resaltar el proyecto correcto y pulse borrar. las opciones de impresión aún no disponible.

Para descargar los datos en la computadora, abra una hoja de cálculo de Excel e importe los datos haciendo clic en importar datos externos en el menú datos haga clic en importar datos. cambie la carpeta buscar en la ubicación en la que almacenó sus datos, así como archivos de tipos a todos los archivos. resalte y abra su archivo de datos (por ejemplo, proyecto1 o tramo1). comprobar delimitado, haga clic siguiente, ficha comprobar, marcar punto y coma, haga clic en finalizar. resalte la celda inicial y haga clic en aceptar.

Los encabezados de columna y los datos para cada lectura individual incluyen los siguientes: de detalles del proyecto: proyecto nombre, ubicación 1, ubicación 2, contacto; de detalles de la mezcla: nombre de la mezcla, tamaño de la piedra, profundidad, MTD, Offset, Gauge Op; información de la estación: nombre de la estación, Offset de la estación,

descripción, operador; densidad, compactación, superficie, temperatura, localización del GPS, hora del GPS, fecha del GPS, fecha / hora de PQI-380.

Ahorro de energía / Apagado automático

El modelo 380 de PQI tiene un modo de ahorro de energía incorporado. si no se pulsan botones después de aproximadamente 20 minutos la unidad entrará en un modo de ahorro de energía. al pulsar cualquier tecla se activará el PQI para continuar utilizar. Si el PQI se deja "On" durante una hora sin presionar ningún botón, se apagará, para conservar tiempo de funcionamiento de la batería.

2.6 Procedimiento constructivo

2.6.1 Mezcla asfáltica

Las mezclas asfálticas como ya hemos visto anteriormente sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los firmes. el comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la reología del material.

Las mezclas asfálticas se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más comunes las primeras, por lo que se enfocará el estudio hacia las mezclas asfálticas en caliente.

Figura 2.22 Planta asfáltica continua modular más 2 termo tanque marca ciber



Fuente: Manual operativo – Ciber Equipamiento Rodoviaros Ltda

2.6.2 Proceso constructivo

La fabricación de la mezcla asfáltica en caliente es un proceso industrial, realizado en plantas productoras de mezcla asfáltica. Estas, son un conjunto de equipos mecánicos y electrónicos, en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con cemento asfáltico para producir una mezcla asfáltica.

La planta de elaboración de la mezcla puede ser continua (prácticamente en desuso), de mezcla en el tambor o discontinua y debe disponer de los dispositivos adecuados para calentar y dosificar los agregados y el cemento asfáltico caliente. Las operaciones principales de una planta de asfalto son secado, cribado, proporcionado y mezclado

2.6.3 Transporte

Generalmente se emplean camiones del tipo volqueta, los cuales efectúan el vaciado por el extremo posterior de la caja al ser levantada, en la superficie interna de la caja debe impregnarse con un producto que impida la adhesión de la mezcla, pero que no altere sus propiedades de la mezcla asfáltica, durante el transporte, la mezcla se debe proteger con

una lona, la cual debe estar bien asegurada para evitar que el aire frío se cuele hacia la carga.

Una vez llega a la obra, el ingeniero residente debe encargarse de verificar la temperatura de llegada en la volqueta. Cuando se va a comenzar el proceso de colocación, se retira la lona y se deposita la mezcla en la tolva de la terminadora de mezcla asfáltica, conocida también como finisher.

Al llegar la mezcla a la obra el ingeniero debe hacer una inspección visual de la mezcla para notar sus deficiencias. A continuación, se mencionan algunas de ellas, que pueden requerir una inspección más rigurosa y posiblemente, una rectificación:

➤ Humo azul.

El humo azul que asciende de la mezcla del camión puede ser un indicador de que se ha sobrecalentado la mezcla.

➤ Apariencia dura.

Una carga que aparezca dura o presente un pico alto puede estar fría para cumplir con especificaciones.

➤ Apariencia opaca y magra.

Una mezcla con estas características puede contener muy poco asfalto, o contener un exceso de finos.

➤ Vapor ascendente.

El exceso de humedad aparece, frecuentemente, como vapor ascendente en la mezcla.

➤ Segregación.

La segregación de agregados puede ocurrir durante la pavimentación debido a un manejo inadecuado de la mezcla o puede ocurrir antes de que la mezcla llegue a la finisher.

2.6.4 Entrega

En la entrega, el camión debe retroceder derecho contra la pavimentadora y detenerse antes de que sus ruedas hagan contacto con los rodillos frontales de la pavimentadora. La caja del camión se debe elevar lentamente, para evitar la segregación de la mezcla.

Figura 2.23 Entrega De Material



Fuente: Elaboración propia

2.6.5 Extensión

El proceso principal de construcción del pavimento consiste en extender la mezcla a lo largo de la vía y compactarla adecuadamente hasta la densidad mínima especificada en las normas.

La mezcla se extiende con máquinas autopropulsadas, diseñadas para colocarla con la sección transversal proyectada sobre la superficie, en un ancho y un espesor determinados, y para proporcionarle una compactación inicial. Sobre la superficie por pavimentar se debe colocar una guía longitudinal que sirva de referencia al operador de la máquina, para conservar el alineamiento.

Figura 2.24 Pavimentadora



Fuente: Elaboración propia

La uniformidad en la temperatura de la mezcla extendida da lugar a una densificación homogénea de la capa y a un comportamiento adecuado del pavimento. Controlando la temperatura de aplicación obtenemos un resultado de calidad y una carpeta asfáltica de larga vida.

2.6.6 Compactación

La compactación es la etapa final de las operaciones de pavimentación con mezclas asfálticas en caliente. En esta etapa se desarrolla la resistencia total de la mezcla y se establecen la lisura y la textura de la carpeta. Al compactar la mezcla, esta adquiere estabilidad, cohesión e impermeabilidad, que se traduce en capas de rodadura resistente, durable y lisa. Adicionalmente, la compactación cierra los espacios a través de los cuales el aire y el agua pueden penetrar y causar un envejecimiento rápido y/o desprendimiento.

La compactación de la mezcla asfáltica se realiza en tres fases:

- Compactación inicial:

Es la primera pasada del compactador sobre la carpeta recién colocada. Se usan compactadores vibratorios o estáticos. Esta actividad se debe hacer sobre toda la carpeta.

➤ Compactación intermedia:

Para obtener la densidad requerida antes del enfriamiento de la mezcla. Con esta compactación se logran la densidad y la impermeabilidad requeridas

➤ Compactación final:

Para eliminar marcas sobre la superficie y alcanzar la suavidad final. Generalmente se usan los compactadores neumáticos. Se hace mientras la mezcla este todavía lo suficientemente caliente para permitir la eliminación de cualquier marca de la compactación.

Figura 2.25 Compactador de llantas neumáticas y de tambor



Fuente: Elaboración propia

2.6.7 Parámetros de calidad de compactación

La calidad del pavimento terminado depende en gran medida del éxito obtenido en el proceso de compactación. Se usan tres criterios para aprobar o reprobar una carpeta terminada. Estos son: textura superficial, tolerancia de la superficie y densidad.

➤ Textura superficial.

Los defectos que aparezcan durante la compactación y que no puedan ser corregidos con pasadas adicionales, se deben reemplazar con mezcla caliente fresca antes de que la temperatura de la carpeta que este alrededor baje hasta un punto que no sea trabajable.

➤ Tolerancia de la superficie.

Las variaciones en la liSura de la carpeta no deberán exceder 6 mm bajo una regla de 3 m colocada perpendicularmente a la línea central y 3 mm cuando esta sea colocada paralelamente a la línea central.

➤ Densidad.

Se deben hacer pruebas de densidad para determinar la efectividad de la compactación. Estas pruebas se pueden hacer removiendo un núcleo ya terminado y analizándolo en laboratorio o utilizando un densímetro nuclear, que mide la densidad directamente sobre la superficie del pavimento. La densidad debe ser mínimo del 98% de la densidad media obtenida en laboratorio, que es la densidad de referencia.

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1 Aplicación del estudio

El presente proyecto tiene un enfoque cuantitativo ya que es una forma estructurada de recopilar y evaluar datos obtenidos en las calles que fueron asfaltadas en la ciudad de Tarija estudiando la densidad de la carpeta asfáltica, realizando el estudio con el densímetro PQI-380.

Para el presente proyecto se utilizó el densímetro PQI-380 para la evaluación técnica de las carpetas asfálticas, previamente antes del uso del equipo se requiere el llenado de datos en el equipo, esos datos fueron obtenidos por el laboratorio de la dirección de obras públicas municipales ubicado en la comunidad de La Pintada.

Lugar de ensayo: Laboratorio de asfalto La Pintada.

Figura 3.1 Laboratorio de la posta municipal



Fuente: laboratorio de asfalto alcaldía

Tabla 3.1 Resumen de la obtención de datos

Porcentaje de briqueta %	100%
Peso 1m ³ de mezcla kg	2400
Porcentaje de Grava %	20,17
Porcentaje de Gravilla %	35,46
Porcentaje de Arena %	44,37
Porcentaje óptimo de asfalto %	5,65
Porcentaje de agregado %	94,40
Densidad máxima gr / cm ³	2,24
Vacíos de la mezcla %	4,00
Desviación estándar de producción kg/m ³	20,00

Fuente: Laboratorio de asfalto alcaldía

Los datos proporcionados por la alcaldía se encuentran en el anexo 1

El banco utilizado fue el que dispone la Alcaldía, ubicada en la comunidad de La Pintada, esta planta produce agregados pétreos para la realización de pavimento flexible para las vías urbanas y a su vez el banco proveedor de esa gestión fue la chancadora Fernández.

3.2 Ubicación del tramo en estudio

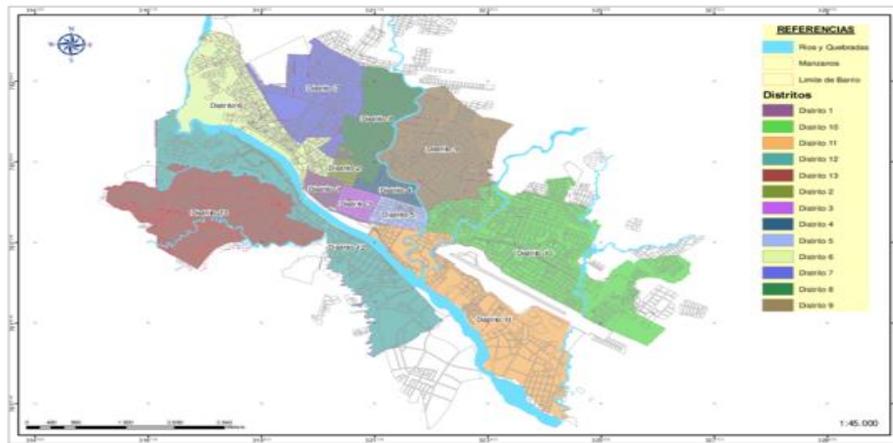
Las calles que fueron asfaltados por la dirección de obras públicas municipales, está ubicado en el departamento de Tarija, provincia Cercado, al Sur de Bolivia.

Figura 3.2 Mapa político del departamento de Tarija



Fuente: <https://bo.reyqui.com/2017/07/provincia-aviles-1843-departamento-de.html>

Figura 3.3 Mapa de la provincia de Cercado



Fuente: <https://www.academia.edu>

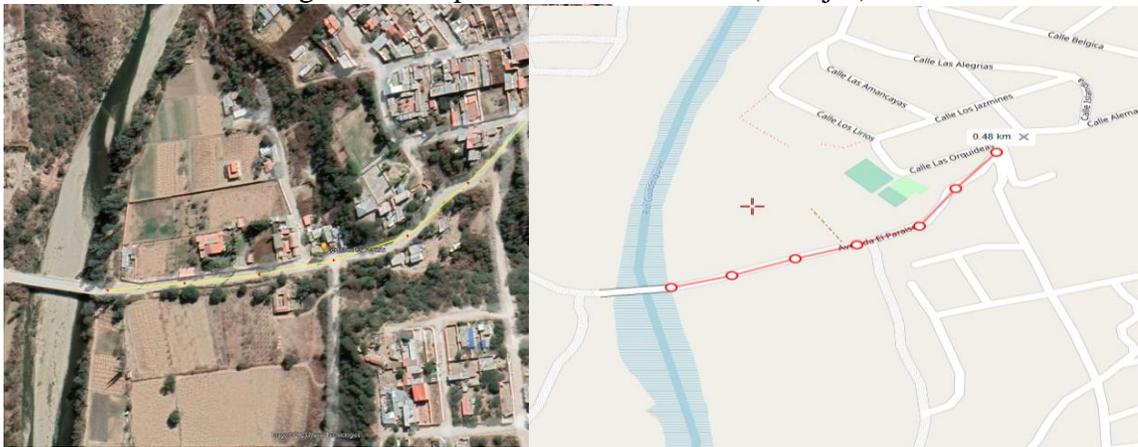
Los estudios de la carpeta asfáltica, usando el densímetro PQI-380 fueron realizados en la provincia de Cercado según el cronograma de la alcaldía. Los barrios que fueron asfaltados en la gestión 2022 fueron los siguientes:

3.2.1 Características y Coordenadas geográficas

➤ Barrio Obrajes

GPS DEL PQI-380 (21 30.43408 S 64 45.73877 W)

Figura 3.4 Mapa de la calle asfaltada (Obrajes)



Fuente: Google Earth Pro

La primera zona donde asfaltaron fue en el Barrio Obrajes ubicado al norte de la ciudad de Tarija, la calle beneficiada fue Av. el Paraíso. Donde se pudo obtener siete puntos de lectura.

La calle tiene una longitud de 503,45 m, donde las volquetas que trajo las mezclas asfálticas tenían una capacidad de 9 cubos que equivalen entre 39 m y 42 m ya extendido.

Figura 3.5 Medición de la zona asfaltada (Obrajes)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Tabla coordenadas y distancias del barrio Obrajes

Nombre	Punto 1	Punto de aplicación
(UTMX)	317454	
(UTMY)	7620680	
Nombre	Punto 2	m
(UTMX)	317533	81,3
(UTMY)	7620704	
Nombre	Punto 3	m
(UTMX)	317610	82,4
(UTMY)	7620734	
Nombre	Punto 4	m
(UTMX)	317684	81,4
(UTMY)	7620770	
Nombre	Punto 5	m
(UTMX)	317758	81,1
(UTMY)	7620806	
Nombre	Punto 6	m
(UTMX)	317808	81,2
(UTMY)	7620870	
Nombre	Punto 7	m
(UTMX)	317850	80,2
(UTMY)	7620939	

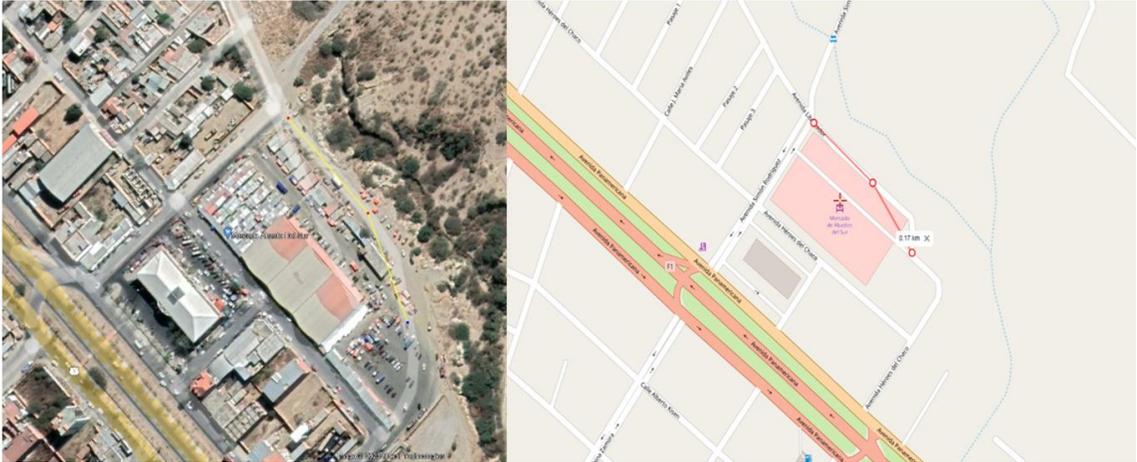
Longitud de la calle asfaltada		
Largo	503,45	m
Ancho de subida	2,63	m
Ancho de bajada	2,58	m

Fuente: Elaboración propia

➤ Zona mercado Abasto del Sur

GPS DEL PQI-380 (21 31.82397 S 64 45.62061 W)

Figura 3.6. Mapa de la calle asfaltada (Abasto del Sur)



Fuente: Google Earth Pro

La segunda zona donde asfaltaron fue en la zona del Abasto del Sur ubicado al Sur de la ciudad de Tarija, la calle beneficiada fue en la parte de atrás del mercado sobre la av. Libertador. Donde se pudo obtener solo 3 puntos de lectura.

La calle tiene una longitud de 182,20 m, donde las volquetas que trajo las mezclas asfaltas tenían una capacidad de 9 cubos y el rendimiento era entre 39 m y 44 m.

Figura 3.7. Medición de la zona asfaltada (Abasto del Sur)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3 Tabla coordenadas y distancias zona Abasto del Sur

Nombre	Punto 1	Punto de aplicación
(UTMX)	324951	
(UTMY)	7615930	
Nombre	Punto 2	m
(UTMX)	325019	88,4
(UTMY)	7615872	
Nombre	Punto 3	m
(UTMX)	325078	86,2
(UTMY)	7615796	

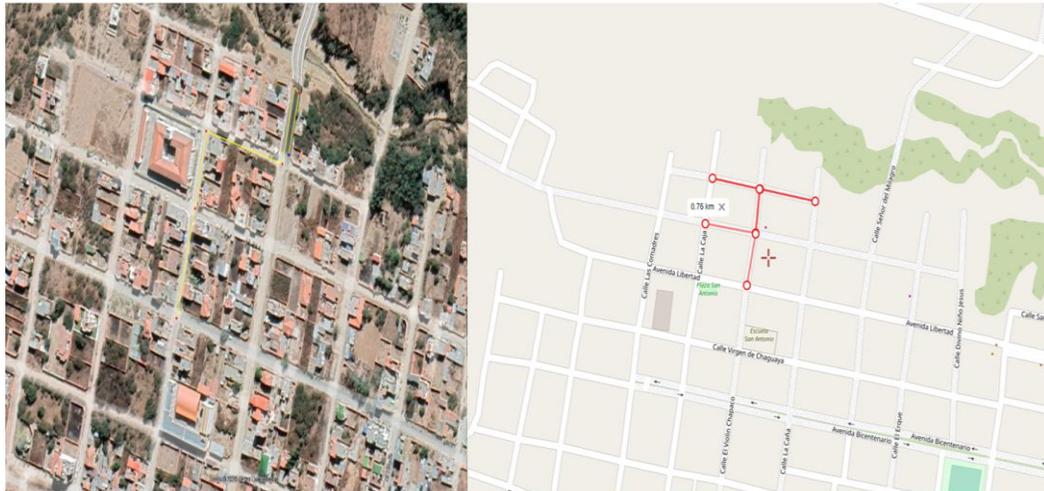
LONGITUD DE LA CALLE ASFALTADA		
LARGO	182,2	m
ANCHO DE SUBIDA	2,61	m
ANCHO DE BAJADA	2,68	m

Fuente: Elaboración propia

➤ Barrio San Antonio

GPS DEL PQI-380 (21 31.82397 S 64 45.62061 W)

Figura 3.8 Mapa de la calle asfaltada (San Antonio)



Fuente: Google Earth Pro

La tercera zona donde asfaltaron fue en el barrio San Antonio ubicado en la ciudad de Tarija, las calles beneficiadas fueron sobre el hospital de segundo nivel de San Antonio sobre las calles el violín chapaco y otras calles. Donde se pudo obtener solo 6 puntos de lectura.

La calle tiene una longitud de 468,75 m, donde las volquetas que trajeron las mezclas asfálticas tenían una capacidad de 9 cubos y el rendimiento era entre 39 m y 44 m.

Figura 3.9 Medición de la zona asfaltada (San Antonio)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4 Tabla coordenadas y distancias de la Barrio San Antonio

Nombre	Punto 1	Punto de aplicación
(UTMX)	317689	
(UTMY)	7618120	
Nombre	Punto 2	m
(UTMX)	317701	82,4
(UTMY)	7618204	
Nombre	Punto 3	m
(UTMX)	317713	75,4
(UTMY)	7618277	
Nombre	Punto 4	m
(UTMX)	317822	112
(UTMY)	7618258	
Nombre	Punto 5	m
(UTMX)	317617	96,5
(UTMY)	7618289	
Nombre	Punto 6	m
(UTMX)	317607	93,7
(UTMY)	7618219	

Longitud de la calle asfaltada		
Largo	468,75	m
Ancho de subida	3,60	m
Ancho de bajada	3,54	m

Fuente: Elaboración propia

➤ Barrio El Constructor

GPS DEL PQI-380 (21 31.82397 S 64 45.62061 W)

Figura 3.10 Mapa de la calle asfaltada (El Constructor)

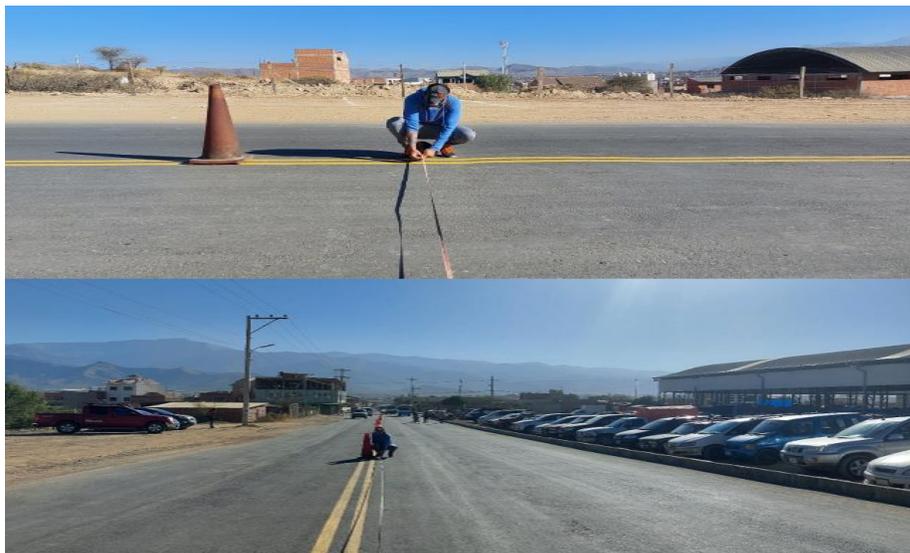


Fuente: Google Earth Pro

La cuarta zona donde asfaltaron fue en el barrio El Constructor ubicado en la ciudad de Tarija, las calles beneficiadas fueron sobre el campo ferial del Constructor sobre la av. Néstor Paz. Donde se pudo obtener solo 3 puntos de lectura.

La calle tiene una longitud de 135,6 m, donde las volquetas que trajo las mezclas asfálticas tenían una capacidad de 9 cubos y el rendimiento era entre 39 m y 44 m.

Figura 3.11 Medición de la zona asfaltada (El Constructor)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5 Tabla coordenadas y distancias de la Barrio El Constructor

Nombre	Punto 1	Punto de aplicación
(UTMX)	322209	
(UTMY)	7619242	
Nombre	Punto 2	m
(UTMX)	322270	61,5
(UTMY)	7619235	
Nombre	Punto 3	m
(UTMX)	322339	68,8
(UTMY)	7619227	

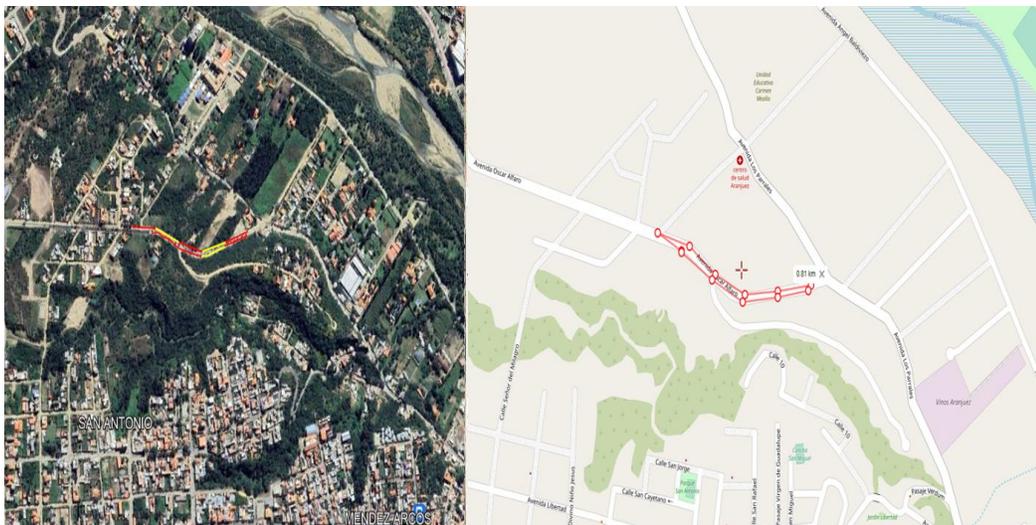
Longitud de la calle asfaltada		
Largo	135,6	m
Ancho de subida	3,48	m
Ancho de bajada	3,64	m

Fuente: Elaboración propia

➤ Barrio Aranjuez

GPS DEL PQI-380 (21 31.6272 S 64 45.2168 W)

Figura 3.12 Mapa de la calle asfaltada (Aranjuez)



Fuente: Google Earth Pro

La quinta zona donde asfaltaron fue en el barrio Aranjuez ubicado en la ciudad de Tarija, las calles beneficiadas fue la Av. Oscar Alfaro. Donde se pudo obtener solo 11 puntos de lectura.

La calle tiene una longitud de 755,00 m, donde las volquetas que trajo las mezclas asfálticas tenían una capacidad de 9 cubos y el rendimiento era entre 39 m y 44 m.

Figura 3.13 Medición de la zona asfaltada (Aranjuez)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6 Tabla coordenadas y distancias de la Barrio Aranjuez

Nombre	Punto 1	Punto de aplicación
(UTMX)	318706	
(UTMY)	7618422	
Nombre	Punto 2	m
(UTMX)	318624	81,6
(UTMY)	7618412	
Nombre	Punto 3	m
(UTMX)	318542	82,4
(UTMY)	7618407	
Nombre	Punto 4	m
(UTMX)	318469	82,7
(UTMY)	7618443	
Nombre	Punto 5	m
(UTMX)	318399	82,9
(UTMY)	7618488	
Nombre	Punto 6	m
(UTMX)	318318	82,9
(UTMY)	7618508	
Nombre	Punto 7	m
(UTMX)	318702	Punto de aplicación
(UTMY)	7618412	
Nombre	Punto 8	m
(UTMX)	318620	82,0
(UTMY)	7618402	
Nombre	Punto 9	m
(UTMX)	318537	82,3
(UTMY)	7618397	
Nombre	Punto 10	m
(UTMX)	318462	82,2
(UTMY)	7618433	
Nombre	Punto 11	m
(UTMX)	318382	96,0
(UTMY)	7618480	

Longitud de la calle asfaltada		
Largo	761,20	m
Ancho de subida	2,87	m
Ancho de bajada	2,35	m

Fuente: Elaboración propia

3.3 Obtenidos de datos con el densímetro PQI-380

Previamente antes del manejo del equipo se debe tener conocimientos y manejo del densímetro PQI-380

Características visuales del equipo

- Un Interruptor de encendido y apagado.
- Pantalla Táctil de 480x640 VGA (Video Graphics Array), para navegar a través de la interfaz.
- Los iconos se encuentran en la pantalla para facilitar la navegación.

Figura 3.14 PQI-380



Fuente: Elaboración propia

El operador(tesista) debe ajustar los datos de entrada, configuración fecha, hora, GPS, unidades de medición, modo de lectura e información del operador

Figura 3.15 Menú control

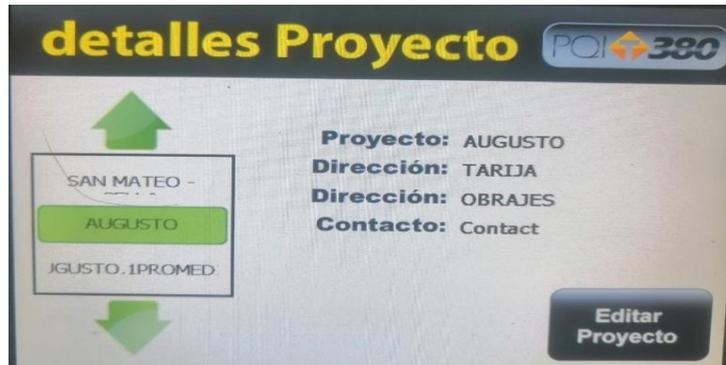


Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Registro de datos tales como

- Detalles del Proyecto como Contrato, Ruta, Localización y Contacto.

Figura 3.16 Detalles proyecto



Fuente: Elaboración propia

- Detalles de la mezcla, así como Densidad Marshall, Espesor de la Capa, Tamaño del árido de la Mezcla y Offset. Son datos obtenidos de la alcaldía para introducir los parámetros necesarios en el equipo Pqi-380.

Figura 3.17 Editar mezcla



Fuente: Elaboración propia

- Cambio de Unidad de medición.

Figura 3.18 Unidades



Fuente: Elaboración propia

➤ Selección de Modo de Lectura

Se selecciono el modo Single porque es un modo de lectura más rápido para realizar las lecturas en obra, ya que las pasadas del equipo tanto rodillo como neumático no daba tiempo para el uso de otros modos de lecturas

Single o Individual Esta modalidad solo es capaz de almacenar una medida a la vez, la cual puede ser rechazada, aceptada o registrada y almacenada en ese punto en la memoria del equipo.

Figura 3.19 Modo de lectura



Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Calibración Básica: “Proceso de Estandarización”

Una vez encendido el equipo Densímetro PQI-380, se debe realizar una prueba de estandarización, la cual se efectúa en el interior de la funda de transporte sobre una placa de acero situada en la parte inferior de la caja. Este procedimiento, se debe hacer lejos de objetos metálicos o antenas de gran tamaño que puedan inferir en su resultado.

Figura 3.20 Calibración



Fuente: Elaboración propia

3.4 Obtención de datos

3.4.1 Datos del equipo PQI-380

Tabla 3.7 Datos de diseño introducidos en el densímetro

Densidad máxima	2240 kg/m ³
Altura de diseño	70,00 mm
Tamaño máximo del agregado	16 mm – 23 mm / 0,63 – 0,91 in
Desviación estándar	20 kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

Los datos que aparecen en la tabla 3.7. son los más importante obtenido del laboratorio de La Pintada para introducir al equipo PQI-380. Para posteriormente realizar las lecturas correspondientes.

3.4.2 Método del Densímetro PQI - 380

3.4.2.1 Modo de lectura

Se tomo tres lecturas con el equipo PQI-380 en modo simple, donde por cada pasada que realizaba los equipos de compactación se recolectaba 3 lecturas para obtener un promedio de estas lecturas en cada punto de aplicación.

El modo para realizar la práctica fue de la siguiente manera se asume que hay tres puntos para lectura, estos tres puntos fueron asumidos a partir del ancho del tambor que mide 1680 mm. Y el plato del equipo PQI-380 tiene un diámetro de 279 mm se deja un espacio tanto al comienzo como al final de 140 mm y entre lectura se deja un espacio de 281 mm.

Figura 3.21 Modo de lectura single



Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se utiliza una pavimentadora (VOLVO - ABG 2820), que le da un espesor determinado y le proporciona una compactación inicial a la carpeta y desde ahí se procede a realizar las primeras tres lecturas.

Figura 3.22 Primera lectura



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente pasan a realizar la compactación con los Rodillos en tándem con dos tambores vibratorios (HAMM – HD 90). En las mezclas en caliente se debe comenzar a compactar con la temperatura más alta posible (superior a 120°C), siempre que se pueda soportar la carga del compactador sin arrollamientos ni agrietamientos.

Figura 3.23 Segunda lectura



Fuente: Elaboración propia

Para finalizar el compactado de la carpeta asfáltica se realiza el paso de los Rodillos de ruedas de goma (HAMM - GRW280) que consiguen una calidad especial en la compactación, el efecto de compactación se obtiene mediante el peso propio y el efecto

de amasado y compresión de las ruedas. La presión de los neumáticos influye en la eficiencia de la compactación.

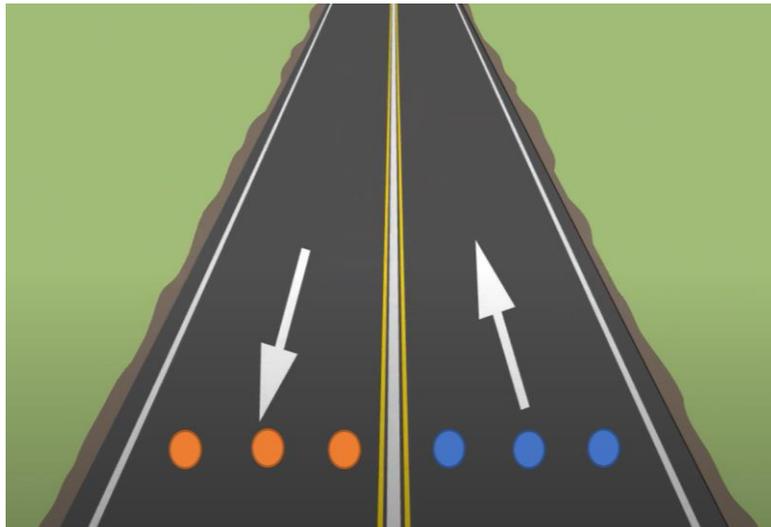
Figura 3.24 Tercera lectura



Fuente: Elaboración propia

Lecturas realizadas con el densímetro PQI - 380, se realizó con el siguiente criterio donde el punto 1 se lectura en carril de subida y carril de bajada para luego obtener un promedio tanto de subida como de bajada.

Figura 3.25 Modalidad de lectura



Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Modelo de tabla de datos

Datos complementarios anexo 2

Tabla 3.8 Tabla de datos carril de subida

Datos in situ	N° Punto	1									
Carril de subida											
Lado derecho											
Maquinaria	ABG 2820	HD90	HD90	HD90	HD90	GRW 280					
N° de pasadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Grado de compactación %	84,4	85,5	86,8	87,2	87,9	88,9	89,0	89,7	90,2	90,9	91,2
Densidad Kg/m ³	1891,2	1915,7	1943,6	1952,9	1968,4	1989,3	1992,4	2007,8	2017,2	2033,6	2040,1
Temperatura °C	99	94	85	82	77	69	68	64	60	56	51
Vacíos %	15,6	14,5	13,2	12,8	12,1	11,1	11,0	10,3	9,8	9,1	8,8
Lado centro											
Maquinaria	ABG 2820	HD90	HD90	HD90	HD90	GRW 280					
N° de pasadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Grado de compactación %	84,3	85,8	87,1	87,9	89,8	91,6	91,5	92,3	92,3	93,2	93,9
Densidad Kg/m ³	1889,2	1920,8	1951,4	1967,4	2009,1	2048,2	2046,2	2065,3	2064,3	2085,8	2101,4
Temperatura °C	100	95	83	80	75	70	71	66	62	57	53
Vacíos %	15,7	14,2	12,9	12,1	10,2	8,4	8,5	7,7	7,7	6,8	6,1
Lado izquierdo											
Maquinaria	ABG 2820	HD90	HD90	HD90	HD90	GRW 280					
N° de pasadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Grado de compactación %	84,3	85,3	86,4	87,9	87,8	89,8	90,0	90,4	90,9	91,7	91,9
Densidad Kg/m ³	1889,2	1911,0	1935,5	1967,1	1966,1	2008,4	2014,7	2022,6	2032,5	2052,1	2057,9
Temperatura °C	100	92	87	84	79	70	71	65	59	58	51
Vacíos %	15,7	14,7	13,6	12,1	12,2	10,2	10,0	9,6	9,1	8,3	8,1
Promedio Punto 1,1											
Maquinaria	ABG 2820	HD90	HD90	HD90	HD90	GRW 280					
N° de pasadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Grado de compactación %	84,3	85,5	86,8	87,7	88,5	90,1	90,2	90,8	91,1	91,9	92,3
Densidad Kg/m ³	1889,9	1915,8	1943,5	1962,5	1981,2	2015,3	2017,8	2031,9	2038,0	2057,2	2066,5
Temperatura °C	99,7	93,7	85,0	82,0	77,0	69,7	70,0	65,0	60,3	57,0	51,7
Vacíos %	15,7	14,5	13,2	12,3	11,5	9,9	9,8	9,2	8,9	8,1	7,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9 Tabla de datos carril de bajada

Datos in situ	N° Punto	1									
Carril de bajada											
Lado derecho											
Maquinaria	ABG 2820	HD90	HD90	HD90	HD90	GRW 280					
N° de pasadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Grado de compactación %	80,1	82,0	83,3	84,1	84,7	85,9	87,1	87,9	89,4	90,7	91,2
Densidad Kg/m ³	1793,2	1836,2	1863,9	1881,9	1895,2	1921,9	1949,4	1966,4	1999,6	2028,1	2040,1
Temperatura °C	103	95	90	86	83	78	72	68	61	55	51
Vacíos %	19,9	18,0	16,7	15,9	15,3	14,1	12,9	12,1	10,6	9,3	8,8
Lado centro											
Maquinaria	ABG 2820	HD90	HD90	HD90	HD90	GRW 280					
N° de pasadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Grado de compactación %	82,5	83,6	84,7	85,4	86,8	87,5	88,9	89,6	90,1	91,4	92,5
Densidad Kg/m ³	1846,8	1870,9	1896,6	1911,7	1941,6	1958,7	1988,7	2004,5	2015,3	2044,3	2069,2
Temperatura °C	101	97	89	84	80	80	73	69	64	57	49
Vacíos %	17,5	16,4	15,3	14,6	13,2	12,5	11,1	10,4	9,9	8,6	7,5
Lado izquierdo											
Maquinaria	ABG 2820	HD90	HD90	HD90	HD90	GRW 280					
N° de pasadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Grado de compactación %	83,1	83,8	84,6	85,6	85,8	86,8	87,8	88,3	88,9	90,5	90,6
Densidad Kg/m ³	1862,3	1875,7	1893,2	1914,6	1919,0	1942,9	1964,7	1976,4	1989,6	2023,7	2025,9
Temperatura °C	98	91	92	87	86	80	75	69	60	57	50
Vacíos %	16,9	16,2	15,4	14,4	14,2	13,2	12,2	11,7	11,1	9,5	9,4
Promedio punto 1,2											
Maquinaria	ABG 2820	HD90	HD90	HD90	HD90	GRW 280					
N° de pasadas	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Grado de compactación %	81,9	83,1	84,2	85,0	85,7	86,8	87,9	88,6	89,5	90,8	91,4
Densidad Kg/m ³	1834,1	1860,9	1884,6	1902,7	1918,6	1941,2	1967,6	1982,4	2001,5	2032,0	2045,1
Temperatura °C	100,7	94,3	90,3	85,7	83,0	79,3	73,3	68,7	61,7	56,3	50,0
Vacíos %	18,1	16,9	15,8	15,0	14,3	13,2	12,1	11,4	10,5	9,2	8,6

Fuente: Elaboración Propia

ABG 2820	Pavimentador	Marca Volvo
HD 90	Rodillo Tándem	Marca Hamm
GRW 280	Rodillo de Neumático	Marca Hamm

3.5 Obtención de muestra de mezcla asfáltica en in situ

Se realizó la recolección de muestras asfálticas en el lugar del proyecto, donde se obtuvo una muestra por punto para la verificación de Marshall en el laboratorio de asfalto de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se procedió a realizar los siguientes laboratorios

3.5.1 Método de Marshall

3.5.1.1 Recolección de la muestra

Las recolecciones de muestra se realizaron en cada zona de asfaltado, se recolectó una muestra por punto.

Se procedió a la recolección de muestra con una bandeja metálica para posteriormente hacer el correspondiente pesaje en una balanza eléctrica donde se pesa 1200 gr.

Figura 3.26 Muestra



Fuente: Elaboración propia

Realizado el pesaje se procede a introducir el material para realizar las briquetas se coloca un poco de material y con una pequeña barrilla, se esparce el material dándole 25 golpes

se realiza dos veces el procedimiento antes de vaciar completamente el material pesado en los collarines para luego proceder al compactado de dicho material.

Figura 3.27 Obtención de briquetas



Fuente: Elaboración propia

Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo que se usó fue de 75 golpes, depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 75 golpes recibe, realmente, un total de 150 golpes.

Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y llevada al laboratorio para realizar la extraídas de los moldes.

Figura 3.28 Compactación



Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Procedimiento de laboratorio

Se realizó la extracción de las briquetas con un soporte de collarín y una gata hidráulica.

Figura 3.29 Extracción de briquetas



Fuente: Elaboración propia

Medición de las briquetas con un vernier y es necesario determinar el peso seco de cada una de las briquetas, pesando las mismas en una balanza de gran precisión y registrar ese valor encontrado.

Figura 3.30 Medición de alturas y determinación de peso seco de las briquetas



Fuente: Elaboración propia

Para determinar el peso superficialmente seco se coloca en una fuente llena de agua a 25° las briquetas que estén completamente cubiertas pasado un tiempo de 10 minutos se las saca para secarlas superficialmente con un trapo limpio y se debe pesar en una balanza de gran precisión registrando así es valor importante para el cálculo. Luego se procede a determinar el peso sumergido a través de una balanza especialmente para este ensayo con gran precisión, este valor es registrado.

Figura 3.31 Peso superficialmente seco y peso específico sumergido



Fuente: Elaboración propia

3.5.2.1 Determinación de la estabilidad y fluencia

Se colocan las probetas en un horno de baño de agua durante 30 minutos, manteniendo el horno a 60°C. las probetas a colocar en el horno se las coloca en intervalos de 5 min para lograr hacer unas lecturas continuas.

Se retira una probeta del horno y se coloca centrada en la mordaza inferior; se monta la mordaza superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa. Se coloca el medidor de flujo en posición, se ajusta a cero, y se mantiene su vástago firmemente contra la mordaza superior mientras se aplica la carga de ensayo.

Se aplica, a continuación, la carga sobre la probeta con la prensa a una rata de deformación constante de 50.8 mm (2') por minuto, hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye, según se lea en el dial respectivo. Se anota el valor máximo de carga registrado en la máquina de ensayo o, si es el caso, la lectura de deformación del dial indicador, la cual se convierte a carga, multiplicándola.

Figura 3.32 Determinación de estabilidad y fluencia de las briquetas



Fuente: Elaboración propia

3.5.2.2 Desarrollo de la planilla del Método Marshall

Se desarrollará un cálculo demostrativo para la briqueta con porcentajes de cemento asfáltico de 4,59%.

3.5.2.3 Identificación

Se determinó sacar una Briquetas por cada punto lectura y agruparlas en las planillas por zona.

3.5.2.4 Base de la mezcla

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 4,59%.

3.5.2.5 Base de agregado

$$\text{Base de agregado} = \frac{\text{Base de la mezcla} * 100}{100 - \text{Base de la mezcla}}$$

$$\text{Base de agregado} = \frac{4,59 - 100}{100 - 4,59} \rightarrow \text{Base de agregado} = 4,81$$

3.5.2.6 Altura de briqueta

$$h_{\text{prom.}} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}$$

$$\text{Altura promedio de briqueta} = \frac{7,22 + 6,65 + 6,57 + 7,17}{4} = 6,90$$

Tabla 3.10 Altura de briqueta

Nº de probeta	1	2	3	4	Altura promedio de briqueta
1	7,22	6,65	6,57	7,17	6,90

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.7 Peso de briqueta

3.5.2.8 Peso de la briqueta en el aire (Peso seco)

El peso de la briqueta en el aire se lo calcula cuando se desmolda la briqueta cuyos datos son los siguientes:

Tabla 3.11 Peso seco

N° de probeta	Seco
	grs
1	1166,3

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.9 Peso de la briqueta en el aire saturado superficialmente seco (SSS)

El peso de la briqueta SSS se lo calcula saturando la briqueta en el agua durante 30 minutos a 25°C y secándola superficialmente.

Tabla 3.12 Sat. sup. seco

N° de probeta	Sat. Sup. Seca
	grs
1	1172,2

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.10 Peso de la briqueta sumergida en agua

El peso sumergido se lo calcula cuando se sumerge la briqueta en el agua a 25°C durante 30 minutos cuyos datos de la briqueta son los siguientes:

Tabla 3.13 Sumergida en agua

N° de probeta	Sumergida en agua
	grs
1	645,0

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.11 Volumen de briqueta

Cálculo para la briqueta

Vol. de Briq.=Peso Briq.en el aire SSS-Peso Briq. Sumergida

Vol. de Briq.=1172,19-645 → Vol. de Briq.=527,2 cm³

Tabla 3.14 Volumen de briqueta

N° de probeta	Probeta
	cm ³
1	527,2

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.12 Densidad real de briqueta

Cálculo para la briqueta

$$\text{Densidad Real} = \frac{\text{Peso Briq. en Aire}}{\text{Volumen de Briq.}}$$

$$\text{Densidad Real} = \frac{1166,3}{527,2} \rightarrow \text{Densidad Real} = 2,21 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 3.15 Densidad real

N° de probeta	Densidad real
	grs/cm ³
1	2,21

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.13 Densidad máxima teórica de briqueta

$$D.\text{max. teor.} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{ de Asfalto}}{\text{Pes. Espec. Asphalt.}}\right) + \left(\frac{100 - \% \text{Asfalto}}{\text{Peso Espec. Total}}\right)}$$

$$D.\text{max. teor.} = \frac{100}{\left(\frac{4,81}{1,0300 \text{ gr/cm}^3}\right) + \left(\frac{100 - 4,81}{2,72 \text{ gr/cm}^3}\right)}$$

D.max.teor. =2,52 gr/cm³

Tabla 3.16 Densidad máxima teórica

N° de probeta	Densidad máxima teórica
	grs/cm ³
1	2,52

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.14 Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

$$Vv. = \left(\frac{\text{Dens.Briq.máx. Teórica} - \text{Dens.Briq.Promedio}}{\text{Densidad Briqueta Máxima Teórica}} \right) * 100$$

$$Vv. = \left(\frac{2,52 - 2,21}{2,52} \right) * 100 \rightarrow Vv. = 12,26\%$$

3.5.2.15 Porcentaje de vacíos de los agregados minerales (V.A.M.)

$$V.A.M. = \left(\frac{\% \text{ de Asfalto} * \text{Densidad max. teórica}}{\text{Peso Específico de Asfalto}} \right) + \% \text{ de Vacíos (Vv)}$$

$$V.A.M. = \left(\frac{4,59 * 2,52}{1,030 \text{ gr/cm}^3} \right) + 12,26\% \rightarrow V.A.M. = 23,50\%$$

3.5.2.16 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (R.B.V)

$$R. B. M. = \left(\frac{V. A. M. - Vv}{V. A. M.} \right) * 100$$

$$R. B. M. = \left(\frac{23,50 - 12,26}{23,50} \right) * 100 \rightarrow R. B. M. = 47,82\%$$

Tabla 3.17 Vacíos

N° de probeta	% de Vacíos mezcla total	V.A.M.(Vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)
	%	%	%
1	12,26	23,50	47,82

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.17 Estabilidad Marshall

Se realiza con la corrección con la fórmula de calibración de la prensa Marshall

$$\text{Lectura del dial} = 108 \text{ mm}$$

Determinar la Estabilidad inicial con la ecuación del anillo:

$$\text{Estabilidad}_{\text{inicio}} = (0,012 * \text{lectura} - 0,0812) * 102 * 2,2$$

$$\text{Estabilidad}_{\text{inicio}} = (0,012 * 108 - 0,0812) * 102 * 2,2$$

$$\text{CARGA} = 272,60 \text{ Lb}$$

$$\text{factor de corrección de altura de probeta} = 0,88$$

$$\text{Estabilidad real corregida} = \text{Carga} * \text{Factor}$$

$$\text{Estabilidad real corregida} = 272,60 * 0,88$$

$$\text{Estabilidad real corregida} = 239,04$$

Tabla 3.18 Estabilidad Marshall

N° de probeta	Lectura del dial	Carga	Factor de correccion de altura de probeta	Estabilidad real corregida
	mm	libras	-	libras
1	108	272,60	0,88	239,04

Fuente: Elaboración propia

Para fluencia: Fluencia real para briqueta

Tabla 3.19 Fluencia

N° de probeta	Lectura dial del flujo
	0,01 pulg
1	16

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la tabla 3.20 es solo de la zona de Obrajes, los datos de las otras zonas se encuentran en el anexo 3.

3.5.2.18

Resultado de la práctica

Tabla 3.20 Resultados del contenido óptimo de cemento asfáltico

Planilla de rotura de briquetas método Marshall																		
Procedencia: Zona 1 - Barrio Obrajes																		
Granulometría Formada		P. Especifico		% agregado		Tipo de cemento asfáltico: convencional		85/100		Agregado		P.E.		%				
Mat. retenido tamiz N° 4		2,68		43,14		Número de golpes por cara		75		Grava		2,65		33				
Mat. pasa tamiz N° 4		2,75		56,86		Temperatura de mezclado (°C)		in situ		Gravilla		2,73		23				
Peso especifico total		2,72		100		Peso especifico del ligante AASHTO T-229 (gr/cm³)		1,0300		Arena		2,75		44				
N° de probeta	% de Asfalto	Base mezcla		Bases agregados		Altura promedio de briquea		Volumen		Densidad Briquea		% de Vacíos			Estabilidad Marshall		Fluenci a	
		%	grs.	%	grs.	Densidad real	Densidad máxima teórica	% de vacios mezcla total	V.A.M. (vacios agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacios)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Lectura dial del flujo	0,01 pulg		
																	grs/cm³	grs/cm³
1	4,59	4,81	1166,3	1172,2	2,21	2,52	12,26	23,50	47,82	108	272,60	0,88	239,04	16	16			
2	4,59	4,81	1183,8	1190,3	2,16	2,52	14,53	25,77	43,61	369	975,42	0,89	866,27	8	8			
3	4,59	4,81	1165,7	1171,0	2,21	2,52	12,44	23,68	47,45	285	749,23	0,90	674,30	12	12			
4	4,59	4,81	1169,9	1176,1	2,19	2,52	13,12	24,36	46,13	227	593,04	0,92	542,64	9	9			
5	4,59	4,81	1168,9	1172,1	2,24	2,52	11,20	22,44	50,08	380	1005,04	0,90	902,03	11	11			
6	4,59	4,81	1181,0	1186,2	2,16	2,52	14,25	25,49	44,09	160	412,63	0,85	351,76	10	10			
7	4,59	4,81	1185,7	1188,8	2,15	2,52	14,62	25,86	43,45	419	1110,06	0,89	990,73	12	12			
Especificaciones		Mínimo		Promedio										11,14		8		
		Máximo				3		13		75		1800		8		16		
				5		82												

Fuente: Elaboración propia

3.6 Determinación el contenido de cemento asfáltico

Para determinar el porcentaje de cemento asfáltico de las carpetas asfálticas de las calles del proyecto, se recolecto 3 muestras en cada barrio asfaltado, y mediante el extractor centrifugo que consiste en un recipiente semiesférico montado en el extremo superior de un eje vertical con tapa que se ajusta al Bowl-rotor por medio de un embudo a un tornillo que sirve a la vez para introducir el solvente durante el ensayo.

Un disco de papel de filtro especial permite la extracción del solvente durante el centrifugado. Cuerpo base de metal fundido con soportes de goma para apoyar sobre el piso otorgándole a la máquina gran estabilidad. Accionamiento eléctrico con motor monofásico ubicado externamente para evitar posibles contactos con derrames del producto a centrifugar. En el arranque va incrementando gradualmente su velocidad hasta 3600 r.p.m.

3.6.1 Procedimiento

La muestra recolectada en el lugar del asfaltado se lleva a laboratorio para posteriormente realizar su pesaje para introducirlo al disco del centrifugado.

Figura 3.33 Muestra recolectada y pesada



Fuente: Elaboración propia

Una vez introducido el material al centrifugo se procede al colocado de un papel filtro proporcionado por el laboratorio de asfalto se determina el peso del papel filtro y luego se procede a armar el equipo. Colocado y sellado del equipo.

Figura 3.34 Papel filtro y centrifugo armado



Fuente: Elaboración propia

Se le vierte un disolvente, en este caso vertimos gasolina, en la tasa mediante una jarra, se cubre la tasa con un papel filtro, se tapa en forma segura, y se le hace girar hasta que el disolvente se haya salido por el orificio de descarga.

Esta práctica se realiza hasta que la gasolina salga transparente, luego se saca la muestra en una bandeja y se coloca al horno y luego se saca el peso de la muestra.

Figura 3.35 Lavado y extracción de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Después de haber obtenido los pesos antes y después de haber usado el método de extractor centrifugado, se restan esos dos valores y multiplicado por 100 da el porcentaje de cemento asfáltico que se usó en cada zona del proyecto.

Tabla 3.21 Método extractor centrifugo

Nº de briqueta	Tipo de pavimento	Peso inicial de briqueta gr	Peso final de briqueta gr	Contenido de asfalto gr	Contenido de asfalto %
1	Flexible convencional	1200,00	1151,50	48,50	4,04
2	Flexible convencional	1200,00	1150,80	49,20	4,10
3	Flexible convencional	1200,00	1152,70	47,30	3,94
				Promedio	4,03

Fuente: Elaboración propia

En la anterior tabla se puede apreciar el porcentaje de contenido de asfalto de las muestras analizadas, obteniendo un porcentaje que no está en el rango que establece la norma que es de 5% - 7% de asfalto. Las demás tablas se encuentran en el anexo 4.

3.6.2 Granulometría del extractor centrifugo

Después de realizar ensayo para determinar el contenido de asfalto, se realizó la granulometría de los mismos para analizarla y verificar si cumple con las especificaciones.

Figura 3.36 Tamizado de las muestras



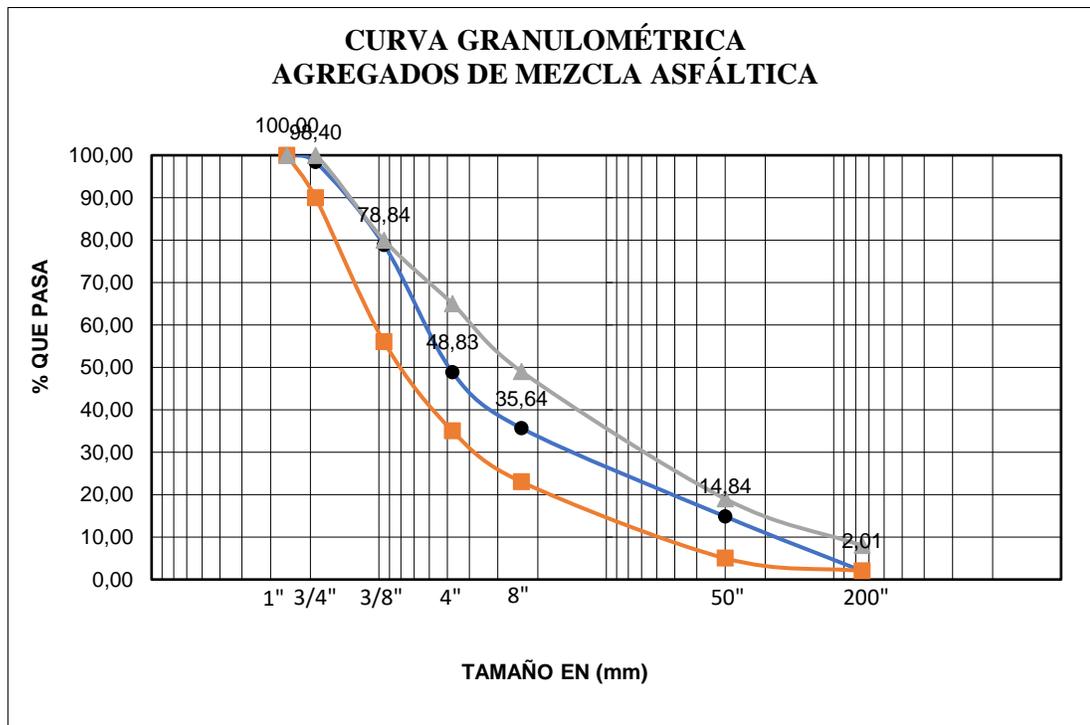
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.22 Tabla de granulometría promedio

Peso total de las muestra tomada gr.								
	1151,50	1150,80	1152,70	1151,67				
Tamices	% Ret	% Ret	% Ret	% Ret	% que pasa del total			
	Obrajes 1	Obrajes 2	Obrajes 3	\bar{X} Obrajes	Obrajes 1	Obrajes 2	Obrajes 3	\bar{X} Obrajes
1"	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	2,14	0,00	2,67	1,60	97,86	100,00	97,33	98,40
1/2"	13,30	11,49	10,59	11,79	86,70	88,51	89,41	88,21
3/8"	22,00	21,27	20,20	21,16	78,00	78,73	79,80	78,84
Nº4	52,35	50,53	50,64	51,17	47,65	49,47	49,36	48,83
Nº8	65,82	63,06	64,19	64,36	34,18	36,94	35,81	35,64
Nº16	71,58	70,59	69,91	70,70	28,42	29,41	30,09	29,30
Nº30	76,88	77,44	75,74	76,69	23,12	22,56	24,26	23,31
Nº50	85,31	85,70	84,46	85,16	14,69	14,30	15,54	14,84
Nº100	93,70	93,73	94,06	93,83	6,30	6,27	5,94	6,17
Nº200	97,52	98,23	98,20	97,99	2,48	1,77	1,80	2,01
Base	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.1 Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Datos completos en anexo 5

3.7 Criterios de selección, uso y aplicación

3.7.1 Criterios de selección de agregados pétreos

En nuestro medio, en la ciudad de Tarija, se cuenta con numerosas plantas chancadoras de materiales pétreos y de varios lugares de extracción. Siendo el criterio de ubicar bancos que son utilizados para el diseño de mezclas asfálticas, se decidió utilizar material proveniente de la chancadora Fernández que se usó la gestión 2022 en la planta separadora de la Pintada perteneciente al gobierno autónomo municipal de Tarija, el cual según los estudios previos realizados han demostrado tener muy buenas características y condiciones para el diseño de mezclas asfálticas.

3.7.2 Criterios de selección del asfalto

El asfalto utilizado en la investigación es el del tipo 85-100 de procedencia colombiana, empleado por el Gobierno Autónomo Municipal de Tarija.

3.8 Criterios del número de ensayos

3.8.1 Criterio del número de ensayos para el agregado pétreo

Para la presente investigación, se desglosan los diferentes ensayos y el número de los mismos a ejecutarse.

Granulometría. - Se realizan 3 ensayos para los agregados arena, grava 3/4" y grava 3/8" (gravilla).

Abrasión del agregado grueso máquina de los ángeles. - Se realiza 1 ensayo de los agregados de grava 3/4" y grava 3/8" (gravilla).

Peso específico y absorción del agregado grueso. - Se realizan 3 ensayos de peso específico y absorción del agregado grueso como ser de la grava 3/4" y la grava 3/8" (gravilla) y se sacara su promedio.

Peso específico del agregado fino. - Se realizan 3 ensayos del agregado fino y se sacara su promedio.

Peso unitario. - Se realizan 3 ensayos por cada agregado arena, grava 3/4" y grava 3/8" (gravilla).

Equivalente de arena. - Se realizan 3 ensayos de equivalente de arenas, de los cuales se saca un promedio.

Porcentaje de caras fracturadas. - Se realiza 1 ensayo para el agregado de Grava 3/4" y grava 3/8" (gravilla).

Determinación de partículas largas y chatas. - Se realiza 1 ensayo para el agregado de Grava 3/4" y grava 3/8" (gravilla).

Tabla 3.23 Número de ensayos de los agregados pétreos

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Granulometría	3
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	1
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	3
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	3
Peso unitario	3
Equivalente de arena	3
Porcentaje de caras fracturadas	1
Determinación de partículas largas y achatadas	1

Fuente: Elaboración propia

3.9 Criterios del número de ensayos para el cemento asfáltico

Ensayo de penetración. - Se realizan 3 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

Ensayo de punto de inflamación. - Se realizan 3 ensayos el punto de inflamación del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

Ensayo de peso específico. - Se realizan 3 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

Ensayo de punto de ablandamiento. - Se realizan 3 ensayos de punto de ablandamiento del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

Ensayo de ductilidad. - Se realizan 3 ensayos de ductilidad del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

Ensayo de viscosidad Saybolt furor. - Se realizan 3 ensayos de viscosidad del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

Tabla 3.24 Número de ensayos para la caracterización del cemento asfáltico

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Penetración	3
Punto de ablandamiento	3
Punto de inflamación	3
Peso específico	3
Ductilidad	3
Viscosidad Saybolt furor	3

Fuente: Elaboración propia

3.10 Caracterización de materiales

3.10.1 Criterios de extracción

Agregado pétreo. – Los materiales pétreos de la investigación son provenientes de la chancadora Fernández ubicado a 6km pasando el Cruce al valle sobre la carretera a dirección a Bermejo, en la gestión 2022 fueron proveedores de los agregados a la planta de acopio “La Pintada”, que pertenece al Gobierno Autónomo Municipal de Tarija, se verificará si los agregados son de buena calidad mediante los ensayos de caracterización.

Se toma en cuenta como agregado pétreo a los materiales:

- Grava 3/4”
- Grava 3/8” (gravilla)
- Arena triturada.

Figura 3.37 Compra y recolección del agregado pétreos



Fuente: Elaboración propia

Coordenadas:

Tabla 3.25 Coordenadas zona de la chancadora

Coordenadas	
UTM	Este: 333169.06 Norte: 7601539.60

Fuente: Elaboración propia

Cemento asfáltico. - El cemento asfáltico a utilizarse es de tipo 85-100 colombiano, el cual fue obtenido del Gobierno Autónomo Municipal de Tarija para poder realizar esta investigación.

Figura 3.38 Recolección de nuestra de la Pintada



Fuente: Elaboración propia

Coordenadas:

Tabla 3.26 Coordenadas instalaciones de obras públicas municipales

Coordenadas	
UTM	Este: 319645,43 Norte: 7618611,93

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27 Especificaciones técnicas del cemento asfáltico 85-100

Propiedad	Normativa		Especificación		Resultado
	AASHTO	ASTM	Min.	Max.	
Gravedad específica a 25°C, gr/cm ³ .	T-229	D-70	1,00	1,05	1,015
Penetración muestra original a 25°C, mm/10.	T-49	D-5	85	100	89
Punto de ablandamiento, anillo-bola, °C.	T-53	D-36	43	53	47
Punto de inflamación, vaso abierto de Cleveland, °C.	T-48	D-92	232	-	275
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	T-44	D-2042	99	-	99,98
Ductilidad a 25°C, cm.	T-51	D-113	100	-	>140
Viscosidad absoluta a 60°C, P.	T-316	D-4402	800	-	1210
Viscosidad Saybolt Furor a 135°C, seg.	T-72	D-88	85	-	121
Ensayo de la mancha Heptano-Xilol, (20% maximo de Xilol).	T-102	-	negativo	-	negativo
Ensayo en horno película delgada AASHTO T-179 - ASTM D-1754					
Cambio de masa perdida por calentamiento, %.	T-240	D-1754	-	<1,0	-0,34
Penetración del residuo, porcentaje de la penetración original, %.	T-49	D-5	50	-	51
Ductilidad del residuo a 25°C, cm.	T-51	D-113	100	-	>140
Contenido de agua, %.	T-55	D-95	-	<0,2	0,0

Fuente: Especificaciones técnicas del fabricante

3.10.2 Ensayo de granulometría AASHTO T-27 - ASTM C-136

3.10.2.1 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

Una propiedad clave de los agregados que se usan en las carreteras es la distribución de los tamaños de partículas al mezclarlos. La graduación de los agregados es la combinación de tamaños de partículas en la mezcla que afecta la densidad, la resistencia y la economía de la estructura del pavimento.

El objetivo es determinar los tamaños de las partículas de agregado grueso y fino de un material seco, por medio de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura.

Figura 3.39 Proceso del pesaje para el tamizado del agregado



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento:

- a. Seleccionar un grupo de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va ensayar.
- b. Colocar los tamices en orden, por tamaño de abertura.
- c. Limitar la cantidad de material en un tamiz dado, de tal forma que todas las partículas puedan alcanzar las aberturas del tamiz durante la operación del tamizado.
- d. Determinar el peso de la muestra retenida en cada tamiz, con una balanza, el cual se expresa como un porcentaje de la muestra original.

En el método T-27 de la AASHTO - ASTM C-136 se dan los procedimientos detallados para ejecutar un análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

A la porción de material agregado que queda retenida en la malla N°10 (esto es, con partículas mayores de 2,00 mm) se le conoce como agregado grueso. Al material que pasa por la malla N°10, pero queda retenido en la malla N°200 (partículas mayores que 0,075

mm) se le conoce como agregado fino. El material que pasa por la malla N°200 se llama fino y corresponde a impurezas, limo y arcilla. Se realizaron 3 análisis granulométricos por tamizado para cada uno de los agregados, tanto para la grava, gravilla y arena.

Figura 3.40 Proceso del tamizaje del agregado



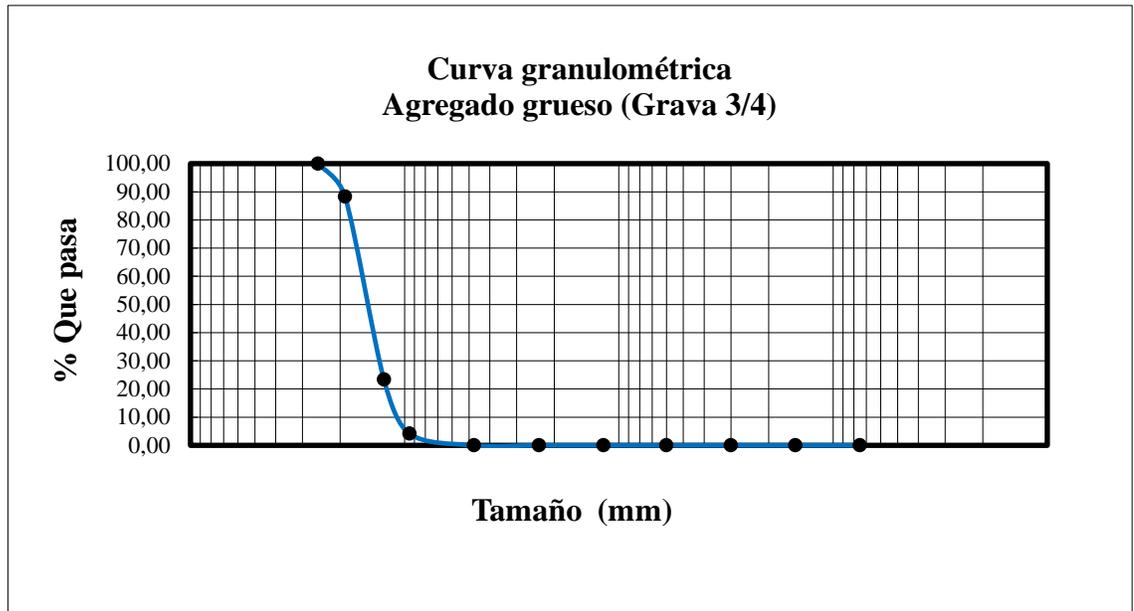
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.28 Planilla de la granulometría para la grava 3/4"

Peso total gr			5000		% Que pasa del total
Tamices N.º	Tamaño mm	Peso ret. gr	Retenido acumulado		
			gr	%	
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	585,10	585,10	11,70	88,30
1/2"	12,50	3246,60	3831,70	76,63	23,37
3/8"	9,50	960,40	4792,10	95,84	4,16
Nº4	4,75	207,90	5000,00	100,00	0,00
Nº8	2,36	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº16	1,18	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº30	0,60	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº50	0,30	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº100	0,15	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº200	0,075	0,00	5000,00	100,00	0,00
Base	-	0,00	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.2 Curva granulométrica agregado grueso grava 3/4"



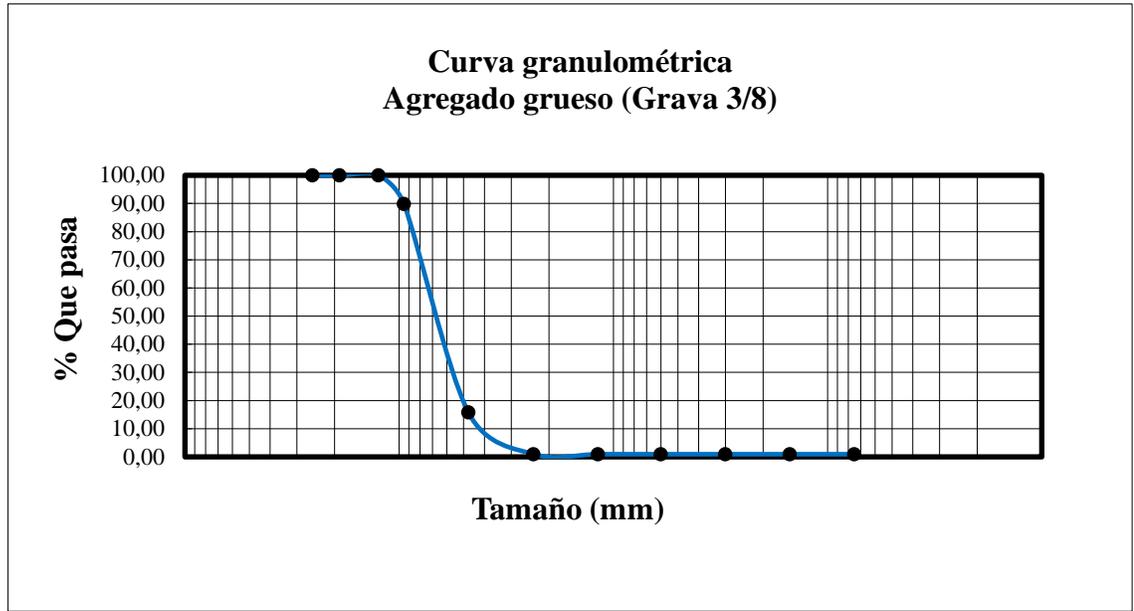
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29 Planilla de la granulometría grava 3/8"

Peso total gr		5000		% Ret.	% Que pasa del total
Tamices N.º	Tamaño mm	Retenido acumulado gr	%		
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	509,10	509,10	10,18	89,82
Nº4	4,75	3748,40	4257,50	84,21	15,79
Nº8	2,36	742,50	5000,00	100,00	0,00
Nº16	1,18	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº30	0,60	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº50	0,30	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº100	0,15	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº200	0,075	0,00	5000,00	100,00	0,00
Base	-	0,00	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.3 Curva granulométrica agregado grueso grava 3/8"



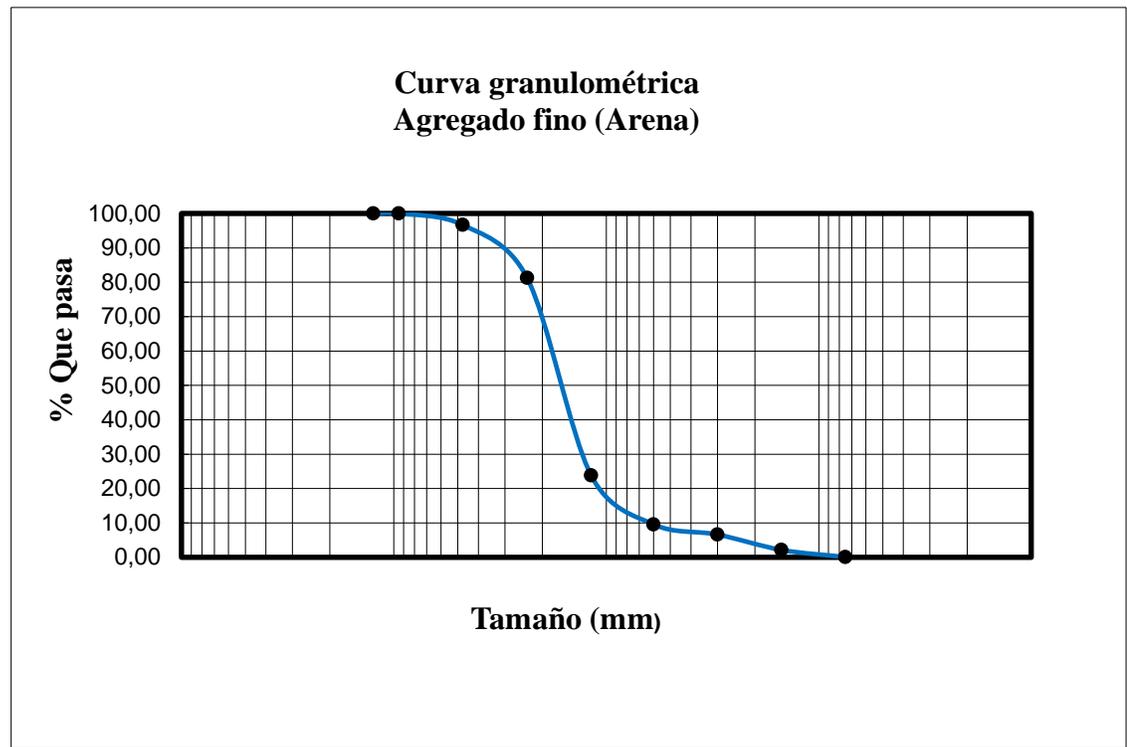
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.30 Planilla de la granulometría del agregado fino

Tamices N.º	Peso total gr		5000		% Que pasa del total
	Tamaño mm	Peso ret. gr	Retenido acumulado		
			gr	%	
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	165,60	165,60	3,31	96,69
Nº8	2,36	771,30	936,90	18,74	81,26
Nº16	1,18	2870,30	3807,20	76,14	23,86
Nº30	0,60	712,80	4520,00	90,40	9,60
Nº50	0,30	148,70	4668,70	93,37	6,63
Nº100	0,15	223,70	4892,40	97,85	2,15
Nº200	0,075	103,60	4996,00	99,92	0,08
Base	-	4,00	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.4 Curva granulométrica agregado fino



Fuente: Elaboración propia

3.10.3 Ensayo de desgaste mediante la máquina de los ángeles AASHTO T-96 - ASTM C-131

Los materiales que se usan en los pavimentos de carreteras deberán ser duros y resistir el desgaste debido al efecto de pulido del tránsito y a los efectos abrasivos internos de las cargas repetidas. La estimación más comúnmente aceptada de la dureza de los agregados es la prueba de abrasión de los Ángeles. La máquina que se usa en la prueba de los Ángeles consta de un cilindro de acero hueco, cerrado en ambos extremos y montado en ejes de posición horizontal.

Figura 3.41 Máquina de desgaste por abrasión



Fuente: Elaboración propia

La muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de los ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera, uniforme para mantener la velocidad constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada en el tamiz N°12.

El material retenido en el tamiz se lava, se seca hasta alcanzar una masa constante y se pesa. Se reporta como porcentaje de desgaste la diferencia entre la masa original y la masa fina de la muestra expresada como un porcentaje de la masa original. El método T-96 de AASHTO - ASTM C-1319 da un procedimiento detallado para esta prueba.

El tipo de abrasión que se efectuó es de tipo B para la grava mientras que para la gravilla se realizó del tipo C, donde se realizó un solo ensayo para cada uno de los agregados.

Tabla 3.31 Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4"

Datos de laboratorio		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/4"	1/2"	2500,00 gr
1/2"	3/8"	2500,00 gr
Retenido tamiz de corte N°12 (1,7 mm)		3701,60 gr
Diferencia		1298,40
Número de ensayos		1
Tipo de gradación		B
Carga abrasiva		11 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ De desgaste} = (\text{Diferencia} / \text{Peso total}) \times 100$$

$$\% \text{ De desgaste} = (1298,40 / 5000,00) \times 100$$

$$\% \text{ De desgaste} = 25,97\%$$

Tabla 3.32 Datos del ensayo de desgaste para grava 3/8"

Datos de laboratorio		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/8"	1/4"	2500,00 gr
1/4"	Nº4	2500,00 gr
Retenido tamiz de corte Nº12 (1,7 mm)		3796,40
Diferencia		1203,60
Número de ensayos		1
Tipo de gradación		C
Carga abrasiva		8 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ De desgaste} = (\text{Diferencia/Peso total}) \times 100$$

$$\% \text{ De desgaste} = (1203,60/5000,00) \times 100$$

$$\% \text{ De desgaste} = 24,07\%$$

3.10.4 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos AASHTO T-85 - ASTM C-127

El peso específico y la absorción de los agregados son propiedades importantes que se requieren para el diseño de concreto y de mezclas bituminosas. La densidad relativa de un sólido es la razón de su masa a la de un volumen igual de agua destilada a una temperatura específica.

Figura 3.42 Medición del peso sumergido del agregado



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento:

Para realizar el ensayo se deberá realizar:

- a. Cuartear el agregado grueso más o menos 5 kg lavados y retenidos en la malla N°4 (4,75 mm), se secan a peso constante.
- b. La muestra seca se sumerge por 24 horas en agua.
- c. Los agregados se sacan del agua.
- d. Se obtiene el peso de la muestra en su condición
- e. La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el peso sumergido en agua.
- f. La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante.

Para este ensayo se realizó la medición del peso específico tanto para la grava 3/4" como para la gravilla 3/8".

Tabla 3.33 Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso grava 3/4"

Muestra N.º	Peso muestra secada "A" gr	Peso muestra saturada con sup. seca "B" gr	Peso muestra saturada dentro del agua "C" gr
1	4945,70	5000,30	3078,00
2	4946,00	5000,12	3086,00
3	4938,90	5000,10	3075,00

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo para la grava 3/4"

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{a}{b - c}$$

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{4945,70}{5000,30 - 3078,00}$$

$$\text{Peso específico del agregado seco} = 2,57 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P.E.A. saturado de superficie seca} = \frac{b}{b - c}$$

$$\text{P.E.A. saturado de superficie seca} = \frac{5000,30}{5000,30 - 3078,00}$$

$$\text{P.E.A saturado de superficie seca} = 2,60 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{a}{a - c}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{4945,70}{4945,70 - 3078,00}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,60 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ De absorción} = ((b - a) / a) \times 100$$

$$\% \text{ De absorción} = ((5000,30 - 4945,70) / 4945,70) \times 100$$

$$\% \text{ De absorción} = 1,10\%$$

Tabla 3.34 Resultados del ensayo de peso específico para grava 3/4"

Muestra N.º	Peso específico a granel gr/ cm ³	Peso específico saturado con sup. seca gr/cm ³	Peso específico aparente gr/cm ³	% De absorción
1	2,57	2,60	2,65	1,10
2	2,58	2,61	2,66	1,09
3	2,57	2,60	2,65	1,24

Fuente: Elaboración propia

Para el agregado 3/8" (gravilla) se sigue el mismo procedimiento de cálculo que se hizo para la grava 3/4".

Tabla 3.35 Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso 3/8"

Muestra N.º	Peso muestra secada "A" gr	Peso muestra saturada con sup. Seca "B" gr	Peso muestra saturada dentro del agua "C" gr
1	4940,30	5000,00	3063,00
2	4931,15	5000,00	3077,00
3	4938,50	5000,10	3084,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.36 Resultados del ensayo de peso específico para la grava 3/8"

Muestra N.º	Peso específico a granel gr/ cm ³	Peso específico saturado con sup. seca gr/cm ³	Peso específico aparente gr/cm ³	% De absorción
1	2,55	2,58	2,63	1,21
2	2,56	2,60	2,66	1,40
3	2,58	2,61	2,66	1,25

Fuente: Elaboración propia

3.10.5 Ensayo peso específico y absorción de agua en agregados finos AASHTO T-84 - ASTM C-128

Mediante este ensayo podemos determinar el peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, este valor expresado en porcentaje en peso. Se define como peso específico aparente a la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

Figura 3.43 Ensayo peso específico del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.37 Datos obtenidos del ensayo peso específico para agregado fino

Muestra N°	Peso muestra gr	Peso de matraz gr	Muestra+ matraz+ agua gr	Peso del agua agregado al matraz "W" gr	Peso muestra secada "A" gr	Volumen del matraz "V" ml
1	500,00	195,50	1005,20	309,70	493,00	500,00
2	500,00	191,80	1003,50	311,70	494,00	500,00
3	500,00	219,00	1025,50	306,50	492,00	500,00

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de peso específico agregado fino:

$$\text{Peso específico seco} = \frac{a}{(x + w) - b}$$

$$\text{Peso específico seco} = \frac{493,00}{(500,00 - 309,70)}$$

$$\text{Peso específico seco} = 2,59 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P.E.A. saturado superficial seco} = \frac{x}{(x + w) - b}$$

$$\text{P.E.A. saturado superficial seco} = \frac{500,00}{500,00 - 309,70}$$

$$\text{P.E.A. saturado superficial seco} = 2,63 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{a}{(x - w) - (x - a)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{493,00}{(500,00 - 309,70) - (500,00 - 493,00)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,69 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ De absorción} = ((x - a) / a) \times 100\%$$

$$\% \text{ De absorción} = ((500,00 - 493,00) / 500,00) \times 100\%$$

$$\% \text{ De absorción} = 1,40\%$$

Tabla 3.38 Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino

Muestra N°	P. E. A granel gr/cm ³	P. E. Saturado con sup. Seca gr/cm ³	P.E. Aparente gr/cm ³	% De absorción
1	2,59	2,63	2,69	1,40
2	2,62	2,66	2,71	1,20
3	2,54	2,58	2,65	1,60

Fuente: Elaboración propia

3.10.6 Ensayo de peso unitario agregados AASHTO T-19 - ASTM C-29

El peso unitario de los áridos puede determinarse sobre el volumen suelto o sobre el volumen compactado. Para ello se emplea un recipiente cilíndrico de volumen conocido.

Procedimiento:

Se deberá realizar de la siguiente manera:

- a. Para medir el peso unitario con áridos sueltos, se llena el recipiente por un procedimiento normalizado y se determina el peso de los áridos contenidos en el recipiente lleno.
- b. Para medir el peso compactado, se llena el recipiente en tres capas aproximadamente iguales, aplicando a cada capa determinados procedimientos de agitación o apisonado según el tamaño de áridos empleados en el ensayo.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T-19 Y ASTM C-29.

Figura 3.44 Peso unitario compactado grava 3/8"



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.39 Datos del ensayo de peso unitario suelto de la grava 3/4"

Peso unitario suelto grava 3/4"				
Muestra N.º	Peso recipiente gr	Volumen recipiente cm ³	Peso recip. + muestra suelta gr	Peso muestra suelta gr
1	5840,00	9875,00	20605,00	14765,00
2	5840,00	9875,00	20600,00	14760,00
3	5840,00	9875,00	20595,00	14755,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.40 Datos del ensayo de peso unitario compactado de la grava 3/4"

Peso unitario compactado grava 3/4"				
Muestra N.º	Peso recipiente gr	Volumen recipiente cm ³	Peso recip. + muestra suelta gr	Peso muestra suelta gr
1	5840,00	9875,00	21345,00	15505,00
2	5840,00	9875,00	21340,00	15500,00
3	5840,00	9875,00	21335,00	15495,00

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de peso unitario:

$$\text{Peso unitario} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso unitario} = \frac{14765,00}{9875,00}$$

$$\text{Peso unitario} = 1,495 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 3.41 Resultados del ensayo de peso unitario de la grava 3/4"

Numero de ensayo	Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1,495	1,495	1,494
Promedio	gr/cm ³	1,495		
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1,570	1,570	1,569
Promedio	gr/cm ³	1,570		
Peso unitario de la grava 3/4"	gr/cm ³	1,532		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.42 Datos del peso unitario suelto de la grava 3/8"

Peso unitario suelto grava 3/8" (gravilla)				
Muestra N.º	Peso recipiente gr	Volumen recipiente cm ³	Peso recip. + muestra suelta gr	Peso muestra suelta gr
1	5840,00	9875,00	19970,00	14130,00
2	5840,00	9875,00	19965,00	14125,00
3	5840,00	9875,00	19970,00	14130,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.43 Datos del peso unitario compactado de la grava 3/8"

Peso unitario compactado grava 3/8" (gravilla)				
Muestra N.º	Peso recipiente gr	Volumen recipiente cm ³	Peso recip. + muestra suelta gr	Peso muestra suelta gr
1	5840,00	9875,00	20960,00	15120,00
2	5840,00	9875,00	20955,00	15115,00
3	5840,00	9875,00	20950,00	15110,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.44 Resultados del ensayo de peso unitario de la grava 3/8"

Numero de ensayo	Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1,431	1,430	1,431
promedio	gr/cm ³	1,431		
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1,531	1,531	1,530
Promedio	gr/cm ³	1,531		
Peso unitario de la grava 3/8"	gr/cm ³	1,481		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.45 Datos del peso unitario suelto de la arena

Peso unitario suelto de la arena				
Muestra N°	Peso recipiente gr	Volumen recipiente cm ³	Peso recip. + muestra suelta gr	Peso muestra suelta gr
1	2605,00	3005,00	6960,00	4355,00
2	2605,00	3005,00	6955,00	4350,00
3	2605,00	3005,00	6960,00	4355,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.46 Datos del peso unitario compactado de la arena

Peso unitario compactado de la arena				
Muestra N.º	Peso recipiente gr	Volumen recipiente cm ³	Peso recip. + muestra suelta gr	Peso muestra suelta gr
1	2605,00	3005,00	7660,00	5055,00
2	2605,00	3005,00	7655,00	5050,00
3	2605,00	3005,00	7660,00	5055,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.47 Resultados del ensayo peso unitario de la arena

Numero de ensayo	Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1,449	1,448	1,449
promedio	gr/cm ³	1,449		
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1,682	1,681	1,682
Promedio	gr/cm ³	1,682		
Peso unitario de la arena	gr/cm ³	1,565		

Fuente: Elaboración propia

3.10.7 Ensayo de equivalente de arena AASHTO T-176 - ASTM D-2419

Este ensayo, indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los áridos empleados en las mezclas asfálticas para pavimentación y en los suelos empleados en capas de base. El ensayo se aplica a la fracción que pasa por el tamiz N°4.

Se coloca una muestra del material en estudio en un cilindro graduado transparente que contiene una solución de cloruro de cálcico, glicerina y formaldehído en agua. La muestra y la solución se agitan vigorosamente de una forma normalizada.

Se emplea la misma solución para impulsar el material arcilloso hacia arriba, haciéndolo salir de la muestra a medida que se llena el cilindro, introduciéndola a presión en el fondo mediante un tubo delgado. Después de un periodo de sedimentación de 20 minutos se lee en la graduación del recipiente la altura máxima de la suspensión de arcilla.

Figura 3.45 Ensayo equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se introduce en el cilindro un disco pesado de metal que se hace bajar hasta que descansa sobre la parte superior de la arena limpia y se lee la altura de la superficie inferior del disco.

Se llama equivalente de arena a la relación de la lectura correspondiente a la superficie superior de la arena a la correspondiente a la capa superior de la arcilla multiplicada por 100. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en el método AASHTO T-176.

Tabla 3.48 Datos del ensayo equivalente de arena

Descripción	Ensayo		
	1	2	3
Lectura nivel superior	15,60	15,50	15,40
Lectura nivel inferior	11,40	11,40	11,50

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ De arena} = (\text{Lectura nivel inferior} / \text{Lectura nivel superior}) \times 100\%$$

$$\% \text{ De arena} = (11,40 / 15,40) \times 100\%$$

$$\% \text{ De arena} = 74,03\%$$

Tabla 3.49 Resultados del ensayo equivalente de arena

Descripción	Ensayo		
	1	2	3
Arena %	74,13	74,07	73,10
Promedio %	73,77		

Fuente: Elaboración propia

3.10.8 Ensayo de porcentaje de caras fracturadas ASTM D-5821

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras tanto de grava como de gravilla.

Figura 3.46 Partículas de caras fracturadas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.50 Datos del ensayo de caras fracturadas

Descripción		Unidad	Lecturas
Grava 3/4"	Peso total de muestra	gr	1000,00
	Peso de caras fracturadas retenidas	gr	810,00
Gravilla 3/8"	Peso total de muestra	gr	1000,00
	Peso de caras fracturadas retenidas	gr	870,70
Numero de ensayos			1

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

Peso de caras no fracturadas = Peso total de muestra – Peso de caras fracturadas

Peso caras no fracturadas = 1000,00 – 810,00

Peso de caras no fracturadas = 190,00 gr

% De caras fracturadas = (Peso de caras fracturadas / Peso total de muestra) x 100%

% De caras fracturadas = (810,00 / 1000,00) x 100%

Porcentaje de caras fracturadas = 81,00%

Tabla 3.51 Resultados del ensayo de caras fracturadas

Descripción		Unidad	Lecturas
Grava 3/4"	Peso caras no fracturadas	gr	190,00
	Porcentaje de caras fracturadas	%	81,00
Gravilla 3/8"	Peso caras no fracturadas	gr	129,30
	Porcentaje de caras fracturadas	%	87,07

Fuente: Elaboración propia

3.10.9 Ensayo de determinación de partículas largas y achatadas ASTM D-4791

Este método describe el procedimiento que debe seguirse, para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los agregados que se va a utilizar. Se define como índice de aplanamiento de una fracción del agregado, al porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción.

También se define como índice de alargamiento de una fracción del agregado al porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión máxima (longitud) es superior a

9/5 de la dimensión medida de la fracción. Este método no es aplicable para fracciones de agregado inferior a 1/4" (6,3 mm).

Para separar el material de forma aplanada de cada una de las fracciones de ensayo se hace pasar cada partícula en el calibrador de aplanamiento por la ranura cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya.

Procedimiento:

- a. La cantidad total de partículas de cada fracción que pasa por la ranura correspondiente se pesa (P_i).
- b. Para separar el material de forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo, se hace pasar cada partícula en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya.
- c. La cantidad total de las partículas de cada fracción retenida entre dos barras correspondientes se pesa (P_{ai}).

Figura 3.47 Determinación de partículas largas y achatadas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.52 Datos del ensayo partículas chatas y alargadas

Material	Peso total de la muestra gr	Peso retenido de partículas chatas y alargadas gr
Grava 3/4"	1000,00	72,50
Gravilla 3/8"	1000,00	45,30

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo del ensayo de partículas chatas y alargadas:

$$\% \text{ Total de partículas chatas y alargadas} = (\text{Peso retenido partículas chatas y alargadas} / \text{Peso total de la muestra}) \times 100\%$$

$$\% \text{ Total de partículas chatas y alargadas} = (73,50/1000,00) \times 100\%$$

$$\% \text{ Total de partículas chatas y alargadas} = 7,35\%$$

Tabla 3.53 Resultados del ensayo partículas chatas y alargadas.

Material	Total, de partículas chatas y alargadas %
Grava 3/4"	7,35
Gravilla 3/8"	4,63

Fuente: Elaboración propia.

3.10.10 Cemento asfáltico

Para caracterizar y evaluar el comportamiento del cemento asfáltico 85-100 colombiano, es necesario realizar los diversos ensayos, para conocer el comportamiento a escala real, en este capítulo realizaremos una breve descripción de los diversos ensayos sobre el cemento asfáltico.

3.10.11 Ensayo de penetración AASHTO T-49 - ASTM D-5

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una guja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25°C, que la aguja está cargada con 100 gr y que la carga se aplica durante 5 seg.

Figura 3.48 Realización del ensayo de penetración del cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

La penetración determinada en estas ocasiones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.

Los betunes asfálticos se clasifican en grados según su dureza o consistencia por medio de la penetración. El instituto de asfalto ha adoptado cuatro grados de betún asfáltico para pavimentación con penetraciones comprendidas dentro de los argenes siguientes: 60-70,

85-100, 120-150 y 200-300. Además, el instituto tiene especificaciones para un betún asfáltico de penetración comprendida en el margen 40-50, que se usa en aplicaciones especiales e industriales.

Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el método AASHTO T-49 y en el ASTM D-5.

Tabla 3.54 Datos del ensayo penetración del cemento asfáltico 85-100

Descripción		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Especificaciones	
						Min.	Max.
Penetración a 25°C, 100gr. 5seg. (0,1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	0,1mm	96	94	87		
	Lectura N°2	0,1mm	95	90	89		
	Lectura N°3	0,1mm	80	84	87		
Resultado		0,1mm	89			85	100

Fuente: Elaboración propia

3.10.12 Ensayo punto de inflamación AASHTO T-48 - ASTM D-92

El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

El punto de inflamación de un betún asfáltico se mide por el ensayo del vaso abierto Cleveland según condiciones normalizadas prescritas en los métodos AASHTO T-48 y ASTM D-92. Un vaso abierto de latón se llena parcialmente sobre la superficie de la muestra una pequeña llama, y se define como punto de llama la temperatura a la que han desprendido vapores suficientes para producir una llamarada repentina.

Figura 3.49 Realización del ensayo punto de inflamación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.55 Datos del ensayo punto de inflamación

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	290	280	279
Numero de ensayos		3		
Resultado	°C	283		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos obtenidos se procederá a realizar un promedio de las lecturas para tener un valor representativo del ensayo.

3.10.13 Ensayo peso específico del asfalto AASHTO T-43 - ASTM D-70

Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del betún asfáltico que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando este se mide a temperaturas elevadas.

Se emplea como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas.

El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada.

El peso específico del betún asfáltico se determina normalmente por el método del picnómetro, descrito en los métodos AASHTO T-43 y ASTM D-70.

Figura 3.50 Ensayo del peso específico del cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.56 Datos del ensayo peso específico

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso picnómetro	gr	36,30	35,70	35,30
Peso picnómetro + agua a 25°C	gr	87,70	86,30	84,70
Peso picnómetro + muestra	gr	68,80	67,20	64,40
Peso picnómetro + agua + muestra	gr	87,90	86,80	85,20

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\text{Peso específico cemento asfáltico} = ((c - a) / (b + (c - a) - d)) \times e$$

$$\text{Peso específico cemento asfáltico} = ((68,80 - 36,80) / (87,70 + (68,80 - 36,30) - 87,90)) \times 0,997077$$

$$\text{Peso específico cemento asfáltico} = 1,003 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 3.57 Resultado del ensayo peso específico del cemento asfáltico

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso específico de cemento asfáltico	gr/cm ³	1,003	1,013	1,015
Promedio	gr/cm ³	1,010		

Fuente: Elaboración propia

3.10.14 Ensayo punto de ablandamiento AASHTO T-53 - ASTM C-36

Los asfaltos de diferentes tipos se ablandan a temperaturas diferentes. El punto de ablandamiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los asfaltos de pavimentación, se emplea frecuentemente para caracterizar materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos.

Consiste en llenar de asfalto un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación, se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de ablandamiento del asfalto. Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen con detalle en los métodos ASSHTO T-53 y ASTM D-36.

Figura 3.51 Ensayo punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.58 Datos del ensayo punto de ablandamiento

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de ablandamiento	°C	45	44	45,5
Promedio	°C	45		
Resultado	°C	45		

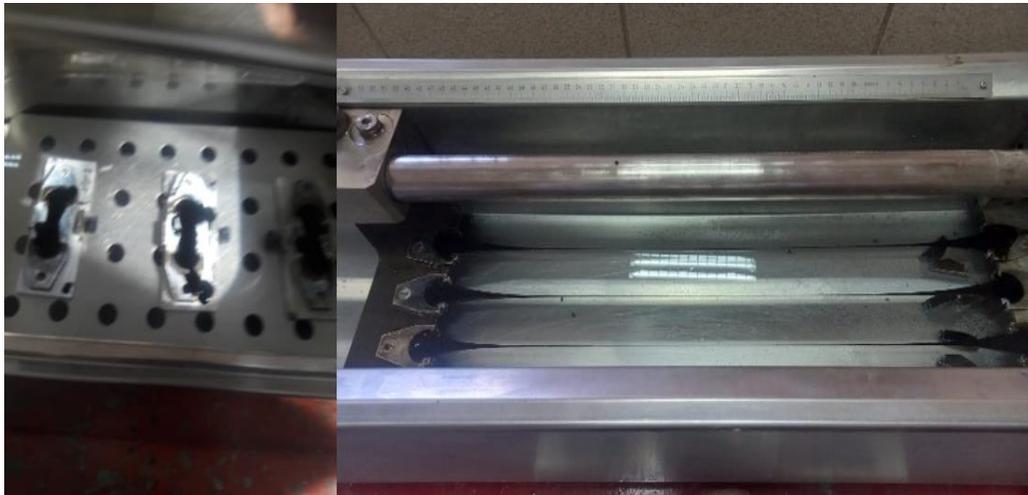
Fuente: Elaboración propia

3.10.15 Ensayo de ductilidad AASHTO T-51 - ASTM D-113

Este ensayo consiste en moldear en condiciones y con dimensiones normalizadas una probeta de betún asfáltico que después se somete, a la temperatura establecida, a un alargamiento con una velocidad especificada hasta que el hilo que une los dos extremos rompa. La longitud (en cm) a la que el hilo de material se rompe define su ductilidad.

La ductilidad de un material bituminoso es medida por la distancia en centímetros a la cual se alargará antes de romper cuando se tiran dos extremos de un espécimen de la briqueta del material, estos extremos son separados a una velocidad especificada y a una temperatura especificada.

Figura 3.52 Ensayo de ductilidad del cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Este ensayo consiste en armar el molde en el plato bajo, y para prevenir que el material de ensayo se pegue, cubrir la superficie del plato con glicerina. Verter el cemento asfáltico en un delgado chorro de un lado a otro, de principio a fin hasta que el material cubra el nivel lleno del molde dejar que se enfríen para un periodo de 30 a 40 minutos y entonces poner el plato base y el molde lleno en el baño de agua a 25°C, por 30 minutos.

Los materiales asfálticos dúctiles tienen mejores propiedades aglomerantes que aquellos que les falta esta característica. Es más importante la existencia de la ductilidad que el

valor obtenido en el ensayo. Por otra parte, si estos materiales poseen una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura.

Tabla 3.59 Datos del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ductilidad a 25°C	cm	115	112	110
Promedio	cm	112		
Resultado	cm	112		

Fuente: Elaboración propia

3.10.16 Ensayo de viscosidad Saybolt furor AASHTO T-72 - ASTM D-88

La viscosidad se define como la resistencia al flujo de un líquido. Se utiliza este ensayo como una medida de consistencia y los resultados son reportados en segundos Saybolt-Furor. La viscosidad “Furor” está considerada como un décimo de la viscosidad “universal”, cuanto más alta es la viscosidad de un líquido, este se aproxima en sus propiedades de consistencia, a un semisólido y la designación “Furor” resulta de una contracción del (aceite de combustión) de productos que requieren temperaturas superiores a 100°C (212°F).

Se comienza el ensayo limpiando perfectamente el recipiente con un disolvente eficaz, por ejemplo, gasolina, teniendo cuidado de que no quede disolvente en el interior del cilindro sino causara errores en ensayo debido a que la gasolina puede diluirse con el asfalto y modificara su propiedad.

Se coloca la muestra en el tubo dejándolo ahí un tiempo, la temperatura del baño se debe controlar que se mantenga constante. Se coloca el frasco calibrado de 60 ml cuidadosamente debajo del orificio del equipo de manera que este centrado con ello, se debe de tomar en cuenta que cuando fluya la muestra no deberá chocar con las paredes del frasco, el ensayo se empieza sacando violentamente el tapón del corcho del tubo, al mismo tiempo se deberá iniciar con el cronometraje hasta que fluya totalmente la muestra en el frasco de vidrio.

Tabla 3.60 Resultados del ensayo de viscosidad Saybolt furor

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Especificaciones	
					Min	Max
Viscosidad de C.A 85-100	sSF	263	265,8	260		
Promedio	sSF	262,9				
Resultado	sSF	262,9			85	-

Fuente: Elaboración propia

3.11 Diseño de la mezcla asfáltica convencional 85-100 por el método Marshall

3.11.1 Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico

Para la determinación del contenido óptimo del cemento asfáltico se procede a realizar el diseño de 18 briquetas mediante el método Marshall, con porcentajes de diferentes de cemento asfáltico para conocer el porcentaje óptimo a utilizar.

Este ensayo nos ayudara a determinar la densidad máxima teórica

Determinación de la cantidad aproximada de asfalto.

$$A = 0,0035 * a + 0,045 * b + K * c + F$$

Donde:

A= % de asfalto en la mezcla

a= % Retenido tamiz N°8

b= % Pasante tamiz N°8

c= % de agregado que pasa la malla N° 200

K= 0,15, si el que retiene el tamiz 3/4" esta entre 11% y 15%

0,18, si él % que retiene está entre 6 y 10 %

0,20, si él % que retiene es el 5% o menos

F= de 0 a 2% que varía según la absorción de la materia (se puede asumir 0,7)

Proceso de cálculo:

a= 62,23%

b= 37,77%

c= 5,30%

K= 0,20 debido a que el porcentaje retenido en tamiz N.º 3/4" es 3,16% lo cual es menor al 5%

F=0,7

$$A = 0,035 (62,23) + 0,045(37,77) + 0,2(5,30) + 0,7$$

$$A = 5,637\%$$

El contenido aproximado de asfalto es de 5,637%, debido a este resultado se trabajarán en las diferentes dosificaciones con los siguientes porcentajes de cemento asfáltico: 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% y 7%.

3.12 Guía metodológica para la elaboración de briquetas y ensayo Marshall

Para el desarrollo de la elaboración de las briquetas se tendrá que tener el equipo y las siguientes herramientas:

Equipo y herramientas:

- Martillo de compactación.
- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Balanza A \pm 0,1 gr.
- Bandejas metálicas.
- Asfalto 85-100.
- Equipo Marshall.
- Agregados (Grava 3/4", gravilla 3/8" y arena).
- Guantes de cuero.
- Cuchara.

- Badilejo.
- Taras metálicas.
- Termómetro de 360°C.
- Espátula.
- Medidor de Estabilidad.
- Cocina o placa de calentamiento.

Procedimiento:

- En primer lugar, antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 100 y 150°C.
- Por un lado, se pesan en bandejas separadas diversas fracciones de áridos calculado para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada en la placa de calentamiento para calentar su contenido a una temperatura de 105°C a 140°C. Al mismo tiempo se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 140°C. Durante su calentamiento el agregado y el cemento asfáltico deben agitarse para evitar sobrecalentamientos locales.

- Se pesan luego en una bandeja fracciones de áridos de acuerdo con los pesos acumulativos. Se mezclan perfectamente los agregados y se forma un cráter en la mezcla, se coloca la bandeja sobre la balanza y se vierte sobre los agregados el asfalto caliente, hasta completar el peso total de agregados más asfalto calculado para un porcentaje de la mezcla total.

- Se mezcla el asfalto con los agregados hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla debe alcanzar los 160°C para poder someterse a compactación, en ningún caso debe someterse a recalentamiento.
- Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4” de diámetro interior y 3” de altura. La compactación se hace usando un partillo eléctrico especial compuesto de: Un disco circular que se fija sobre la superficie de la mezcla a compactarse; un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza

a lo largo de una guía y cae sobre el disco, el peso del martillo es de 10 libras y la altura de caída libre es de 18”.

- Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 18 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante unos 30 minutos. Y luego se extrajo la briqueta con la ayuda de un gato hidráulico.

3.12.1 Dosificación con variaciones del contenido de asfalto

Tabla 3.61 Dosificación del cemento asfáltico en diferentes porcentajes de cemento asfáltico

Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla						
Porcentaje del cemento asfáltico %	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%	7,00%
Porcentaje de agregado %	95,50%	95,00%	94,50%	94,00%	93,50%	93,00%
Peso de cemento asfáltico gr	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00	84,00
Grava gr	309,42	307,80	306,18	304,56	302,94	301,32
Gravilla gr	320,88	319,20	317,52	315,84	314,16	312,48
Arena gr	458,40	456,00	453,60	451,20	448,80	446,40
Filler gr	57,30	57,00	56,70	56,40	56,10	55,80
Peso total de la briqueta gr	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.53 Elaboración de las briquetas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.54 Proceso de compactación de la briqueta



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.54 Extracción de la briqueta



Fuente: Elaboración propia

3.12.2 Desarrollo de la planilla del Método Marshall

Se desarrollará un cálculo demostrativo para la briqueta con porcentajes de cemento asfáltico de 4,5%

3.12.2.1 Identificación

Briquetas 1-2-3 son las que se analizarán en el desarrollo del documento.

3.12.2.2 Altura de briqueta

Tabla 3.62 Alturas medidas de cada briqueta

Identificación	Alturas cm	Promedio cm
1	6,67	6,65
	6,68	
	6,65	
	6,63	
2	6,53	6,58
	6,62	
	6,62	
	6,55	
3	6,55	6,50
	6,49	
	6,46	
	6,50	

Fuente: Elaboración propia

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 4,5% sus alturas correspondientes son las siguientes:

3.12.3 Porcentaje de asfalto

3.12.3.1 Base de la mezcla

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 4,5%.

3.12.3.2 Base de agregado

$$\text{Base de agregado} = \frac{\text{Base de la mezcla} * 100}{100 - \text{Base de la mezcla}}$$

$$\text{Base de agregado} = \frac{4,5-100}{100-4,5} \rightarrow \text{Base de agregado} = 4,71$$

3.12.4 Peso de la briqueta en el aire

El peso de la briqueta en el aire consiste en medir su peso una vez desmoldada la misma y limpiada en su superficie.

Tabla 3.63 Peso en el aire de las briquetas

Identificación	Peso de briqueta en el aire gr
1	1172,70
2	1184,80
3	1176,60

Fuente: Elaboración propia

3.12.5 Peso de la briqueta en el aire saturado superficialmente seco (S.S.S)

El peso de la briqueta saturado superficialmente seco consiste en medir su peso una vez secada la briqueta después de estar sumergida en agua por un lapso de 5 minutos a 25°C.

Tabla 3.64 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (S.S.S)

Identificación	Peso de briqueta en el aire S.S.S gr
1	1174,7
2	1186,3
3	1177,4

Fuente: Elaboración propia

3.12.6 Peso de la briqueta sumergida en el agua

El peso de la briqueta sumergida en agua consiste en medir su peso en el agua sumergida.

Tabla 3.65 Peso de la briqueta sumergida en el agua

Identificación	Peso de briqueta sumergida en agua gr
1	660,00
2	675,00
3	671,00

Fuente: Elaboración propia

3.12.7 Volumen de la briqueta

Este proceso de cálculo se realiza para la briqueta identificada como 1 con un porcentaje de asfalto del 4,5%.

Vol. de briqueta= Peso briqueta en el aire S.S.S – peso de briqueta sumergida

$$\text{Vol. de briqueta} = 1174,70 - 660,00$$

$$\text{Vol. de briqueta} = 515,20 \text{ gr}$$

Debido a que el peso es del agua y su peso específico es 1 gr/cm³ se considera:

$$\text{Vol. de la briqueta} = 515,20 \text{ cm}^3$$

3.12.8 Densidad de la briqueta

Este proceso de cálculo se realiza para la briqueta identificada como 1, la misma que tiene el porcentaje de asfalto de 4,5%.

Densidad real de la briqueta

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{Peso de la briqueta en el aire}}{\text{Volumen de la muestra}}$$

$$\text{Densidad real} = \frac{1172,70}{515,20}$$

$$\text{Densidad real} = 2,276 \text{ gr/ cm}^3$$

Densidad máxima teórica de la briqueta

$$\text{Densidad máx.} = \frac{100}{\frac{\% \text{ De asfalto}}{\text{Peso específico asfalto}} + \frac{100 - \% \text{ De asfalto}}{\text{Peso específico agregado grueso}}}$$

$$\text{Densidad máx.} = \frac{100}{\frac{4,5}{1,010} + \frac{100-4,5}{2,79}}$$

$$\text{Densidad máx.} = 2,58 \text{ gr/cm}^3$$

3.12.9 Porcentaje de vacíos

Este proceso de cálculo se realiza para la briqueta con el porcentaje de 4,5% de asfalto e identificada como 1.

Porcentaje de vacíos de la mezcla

$$V_v = \frac{\text{Densidad máx.} - \text{Densidad real}}{\text{Densidad máx.}} \times 100\%$$

$$V_v = \frac{2,584 - 2,276}{2,584} \times 100\%$$

$$V_v = 11,91\%$$

Porcentaje de Vacíos de los Agregados Minerales (V.A.M)

$$V.A.M = \frac{\% \text{ De asfalto} \times \text{Densidad real}}{\text{Peso específico del asfalto}} + \% \text{ De vacíos (Vv)}$$

$$V.A.M = \frac{4,5 \times 2,276}{1,010} + 11,91\%$$

$$V.A.M = 22,05\%$$

3.12.10 Estabilidad y fluencia

La estabilidad y la fluencia son propiedades medidas a partir del ensayo la prensa Marshall.

Tabla 3.66 Datos del ensayo de estabilidad y fluencia

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad lb	Fluencia 1/100 plg
1	1743	11
2	1972	8
3	1960	8

Fuente: Elaboración propia

Después del cálculo de estabilidad real se procede a corregir por la altura de la briqueta con la siguiente formula:

$$\text{Estabilidad corregida} = \text{Estabilidad} * \text{Factor corrección de altura}$$

Donde:

Factor de corrección de altura = Es el factor de corrección de acuerdo a la altura de la briqueta según el método Marshall cuando la altura es diferente de 63,5 mm.

Tabla 3.67 Alturas promedio y factor de corrección por altura

Identificación	Promedio de alturas cm	Factor de corrección por altura	Promedio del factor de corrección
1	6.65	0,93	0,95
2	6.58	0,95	
3	6.50	0,96	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.68 Estabilidad corregida

Identificación	Estabilidad real promedio lb	Promedio del factor de corrección	Estabilidad corregida lb
1	1743	0,95	1793,8
2	1972		
3	1960		

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 3.69 Resultados de la estabilidad y fluencia

Identificación	Estabilidad lb		Fluencia	
	Real	Promedio	1/100"	Promedio
1	1627,6	0,948	11	9
2	1867,3		8	
3	1886,5		8	

Fuente: Elaboración propia

3.13 Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional 85-100 diseñada por el método Marshall

Tabla 3.70 Resultados del diseño de la mezcla convencional por el método Marshall

% De asfalto	Identificación	Altura promedio cm	Densidad real promedio gr/cm ³	% De vacíos en la mezcla (Vv)	% De vacíos del agregado mineral (V.A.M)	Estabilidad corregida promedio Lb	Fluencia promedio 1/100"
4,50	1	6,65	2,30	7,09	17,36	1794	9,00
	2	6,58					
	3	6,50					
5,00	1	6,50	2,36	4,14	15,82	1903	9,33
	2	6,37					
	3	6,35					
5,50	1	6,41	2,39	2,04	15,08	2060	10,67
	2	6,32					
	3	6,41					
6,00	1	6,37	2,40	1,17	15,41	1937	12,00
	2	6,49					
	3	6,23					
6,50	1	6,37	2,38	1,25	16,55	1837	14,33
	2	6,45					
	3	6,31					
7,00	1	6,23	2,36	1,38	17,71	1521	19,67
	2	6,33					
	3	6,42					

Fuente: Elaboración propia

Obtenido todos los valores se procedió a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones.

- Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs. Densidad de la briqueta.
- Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs. Porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.
- Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs. Vacíos de agregado mineral (V.A.M).
- Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs. Estabilidad corregida.
- Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs Fluencia (flujo).

3.14 Distribución de muestra en frecuencia

3.14.1 Prueba de bondad de ajuste

Consiste en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determina función de probabilidad teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados en base a valores muestrales.

Para el cálculo de la probabilidad teoría se utilizó la distribución normal, log-normal y Gumbel.

3.14.2 Estimación de parámetros

μ = Parámetro de posición (media aritmética).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = 2094,07 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

α = Parámetro de escala, (desviación estándar).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1101,63 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

μ_y = Parámetro de posición (media del log).

$$\mu_y = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n} = 0,016 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

σ_y = Parámetro de escala, (desviación estándar log).

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \bar{\ln x})^2}{n-1}} = 7,65 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

α = Parámetro de escala

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S_x = 25,88 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

β = Parámetro de posición, moda.

$$\beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\sigma_y} S_x = 2079,13 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Prueba de bondad de ajuste

Se emplea la prueba de bondad de ajuste de Smirnov Kolmogorov, (Probabilidad empírica Weibull).

Análisis de los tres primeros datos:

Tabla 3.71 la prueba de bondad de ajuste de Smirnov Kolmogorov

Densidad kg/m ³	$P(x) = \frac{m}{n+1}$	Normal	Log Normal	Gumbell	Normal	Log Normal	Gumbell	Normal	Log Normal	Gumbell
		$z = \frac{x-\bar{x}}{s}$	$z = \frac{y-U_y}{s_y}$	$z = \frac{x-\mu}{\alpha}$	F(z)	F(z)	F(z)	D F(z) - P(x)	D F(z) - P(x)	D F(z) - P(x)
2025,90	0,0233	-2,0538	-2,0802	-2,0570	0,0200	0,0188	0,0004	0,0033	0,0045	0,0229
2040,10	0,0465	-1,6260	-1,6395	-1,5082	0,0520	0,0506	0,0109	0,0055	0,0040	0,0356
2040,10	0,0698	-1,6260	-1,6395	-1,5082	0,0520	0,0506	0,0109	0,0178	0,0192	0,0589

Fuente: Elaboración propia

$$D = \max |P(x) - F(x)|$$

$$D = 0,158$$

Los valores de Δ_0 , se obtiene a partir de la tabla a partir de nivel de significancia y número de datos.

Tabla 3.72 Nivel de significancia

Verificamos que prueba tiene más ajuste				
Tamaño muestral N	Nivel de significancia α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N>50	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Fuente: Smirnov Kolmogorov

Contenido de tablas en anexo 9

Comparando los valores de Δ , con el valor crítico Δ_0 de la tabla con los siguientes criterios de decisión.

$\Delta_{\text{máx}} < \Delta_0 \rightarrow$ el ajuste es bueno, al nivel de significancia señalada.

$\Delta_{\text{máx}} \geq \Delta_0 \rightarrow$ el ajuste no es bueno, al nivel de significancia señalada.

Distribución Normal

$\Delta_{\text{máx}} = 0,158 < \Delta_0 = 0,210$ Cumple

Distribución log-Normal

$\Delta_{\text{máx}} = 0,155 < \Delta_0 = 0,210$ Cumple

Distribución Gumbel

$\Delta_{\text{máx}} = 0,128 < \Delta_0 = 0,210$ Cumple

Posterior a esos datos se realizó una verificación de prueba de bondad mediante parámetros que se asumió de los ensayos realizados en laboratorio.

$$P(Q \geq q) = P(Q \geq 520) = 1 - F_z$$

$$q = 2240 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$Z = \frac{q - \bar{Q}}{s_q} \quad z = 4,40$$

$$z = 1,000 \text{ distribución normal}$$

$$1 - F_z = 0,00 \text{ no cumple}$$

Verificando que no cumple con los parámetros realizados en laboratorio

3.15 Método de Chi²

Para este método se debe realizar el ordenamiento de muestra de forma creciente o decreciente.

Obtención del rango (recorrido).

Datos:

$$X_{\text{máx}}=2189,30 \text{ kg/m}^3$$

$$X_{\text{mín}}=2025,90 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

R= Rango o recorrido de la muestra

$X_{\text{máx}}$ = Valor máximo de los datos

$X_{\text{mín}}$ = Valor mínimo de los datos

$$R= X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}} = 163,40 \text{ kg/m}^3$$

Intervalos, cálculo de número de intervalos de clase según Yeyjevich.

Datos: N=42

Donde:

N= Número de datos

NC= Número de intervalo

$$a.- NC = 1 + 1,33 \ln N$$

$$b.- \text{Si } N < 30 \quad NC < 5$$

$$\text{Si } 30 < N < 75 \quad 8 \leq NC \leq 10$$

$$\text{Si } N > 75 \quad 10 \leq NC \leq 30$$

$$NC = 5,97$$

$$NC = 6 \quad \text{Redondear al entero próximo}$$

Amplitud de cada intervalo.

Donde: ΔX = Amplitud del intervalo

NC= Número de intervalos

$X_{\text{máx}}$ = Valor máximo de los datos

$X_{\text{mín}}$ = Valor mínimo de los datos

$$\Delta X = \frac{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}}{NC - 1}$$

$$\Delta X = 32,68$$

Se logra que x_{\min} y x_{\max} queden centrados y representen las marcas de clase de la primer y último intervalo. Entonces los límites de inferior y superior del primer intervalo son:

Donde $LC_{\text{Inf}1}$ = Límite de la clase inferior del primer intervalo $\frac{\Delta X}{2} = 16,35$
 Datos $LC_{\text{Sup}1}$ = Límite de la clase superior del primer intervalo
 $\Delta x/2 = 16,35$
 $X_{\min} = 2025,90$

$$LC_{\text{Inf}1} = X_{\min} - \frac{\Delta x}{2} \qquad LC_{\text{Inf}1} = 2009,55$$

$$LC_{\text{Sup}1} = X_{\min} + \frac{\Delta x}{2} \qquad LC_{\text{Sup}1} = 2042,25$$

Calcular las marcas de clase de cada uno de los intervalos, las marcas de clase se obtienen del promedio de los límites de clase, así la marca de clase del primer intervalo es:

$$LC_{\text{Inf}1} = 2009,55$$

$$LC_{\text{Sup}1} = 2042,25$$

$$MC1 = \frac{LC_{\text{Inf}1} + LC_{\text{Sup}1}}{2} \qquad MC1 = 2025,9$$

Datos referenciales de 3 puntos

Tabla 3.73 Cálculo de frecuencia relativa, absoluta, función densidad y acumulada.

Intervalo de clase		Marca de clase C_i	Frec. Abs. n_i	Frec. Acum. N_i	Frec. Rel. f_i	F. Acum. Relativa F_i	$C_i \cdot n_i$
CI i	CS i						
2009,55	2042,25	2025,90	3	3	0,071	0,071	6077,70
2042,25	2074,95	2058,60	10	13	0,238	0,310	20586,00
2074,95	2107,65	2091,30	22	35	0,524	0,833	46008,60

Intervalo de clase		Límite de clase	$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{S_x}$	Area bajo la curva Normal	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta "ei"	e_i	Frecuencia absolut θ_i
CI i	CS i							
-	-	2009,55	-2,23	0,0128	-	-	-	-
2009,55	2042,25	2042,25	-1,30	0,0962	0,083	3,502	3	3
2042,25	2074,95	2074,95	-0,38	0,3536	0,257	10,811	11	10
2074,95	2107,65	2107,65	0,55	0,7096	0,356	14,953	15	22

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en anexos 10

Cálculo del χ^2_c

χ^2_c = Valor calculado de Chi-cuadrado, a partir de los datos

θ_i = Número de valores observados en el intervalo de clase i

e_i = Número de valores esperados en el intervalo de clase i

k = Número de intervalos de clase

$$\chi^2_c = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - e_i)^2}{e_i}$$

$$c^2_c = 8,47 \quad \text{Suma=}$$

$\frac{(\theta_i - e_i)^2}{e_i}$
0,00
0,09
3,27
2,78
1,33
1,00
8,47

$$g.l. = k - 1 - h$$

gl = Grados de libertad

α = Nivel de significancia (5% y 10%)

h = Es el número de parámetros a estimarse

h=2, Para distribución normal

h=3, Para distribución log normal de 3 parámetros.

$$k = 6$$

$$h = 2$$

$$g.l. = 3$$

$$\alpha = 0,05$$

Tablas

$$c^2_t = 7,81$$

$$\chi^2_c = 8,47 \geq \chi^2_t = 7,81$$

Los datos NO se ajustan a la distribución normal con un nivel de significancia del 5% o con un 95% de probabilidad

Datos complementarios en anexo 10

Se realizará el mismo procedimiento para temperatura densidad y grado de compactación.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS

RESULTADOS DEL ESTUDIO

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO

4.1 Comparación de resultados

Después de realizar la evaluación de la carpeta asfáltica con el densímetro no nuclear y los ensayos respectivos a continuación se presentan los resultados obtenidos, los cuales fueron tomados de los informes generales de resultados, encontrados los anexos.

4.2 Porcentaje óptimo del cemento asfáltico

Con los datos obtenidos del método Marshall se pudo obtener las siguientes tablas:

Son los parámetros para introducir al densímetro para realizar la evaluación, estos datos fueron recopilados del laboratorio de La Pintada.

Tabla 4.1 Porcentaje óptimo del cemento asfáltico lab. de la Pintada

Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
	Densidad máxima gr/cm ³	2,24	6,02
	Estabilidad Marshall Lb	4523,88	6,04
	Vacíos de la mezcla %	4,00	4,90
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio	5,65

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 1

Tabla 4.2 Porcentaje óptimo del cemento asfáltico Lab. de la UAJMS

Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
	Estabilidad Marshall Lb	2012,83	5,67
	Densidad máxima gr/cm ³	2,39	5,64
	Vacíos de la mezcla %	4,00	5,83
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio	5,71

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 8

Ya en obra se obtuvo la muestra de la carpeta asfáltica para llevar a laboratorio y determinar el porcentaje óptimo del cemento asfáltico.

Tabla 4.3 Porcentaje óptimo del cemento asfáltico con el Centrífugo

Zonas	Contenido de asfalto % promedio
Obrajes	4,03
Abasto del Sur	4,54
San Antonio	4,61
El Constructor	4,01
Aranjuez	4,05
Promedio	4,25

Fuente: Elaboración propia

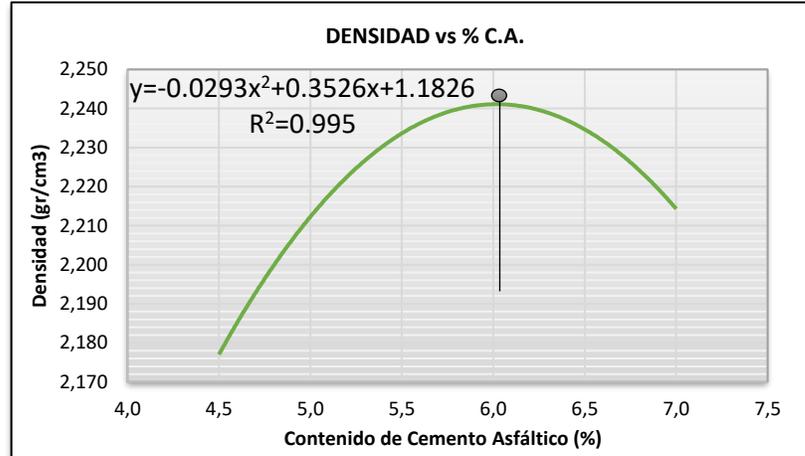
Datos complementarios en el anexo 4

Se puede observar que, en los datos obtenidos de los diseños en laboratorio tanto en La Pintada como en la universidad, tienen un porcentaje de 5,65 % del lab. Pintada y un 5,71% del lab. UAJMS donde el margen de diferencia es de 0,06 %. donde la comparación de los diseños realizados en laboratorio cumple el porcentaje de cemento asfáltico, pero se sacó muestras en obra del material asfáltico para posteriormente llevar a laboratorio de asfalto donde se realiza el ensayo de centrifugado y poder determinar el porcentaje de cemento asfáltico que se usó en obra, en la tabla 4.3. se puede observar que el promedio de todas las zonas asfaltadas no cumple con los diseños realizados en laboratorio.

4.3 Determinación de la densidad máxima

Es necesario determinar la densidad máxima para introducir al densímetro PQI-380, con los datos del Marshall se pudo obtener las siguientes gráficas y a su vez la densidad máxima para introducir al equipo.

Gráfico 4.1 Densidad vs % C.A lab Pintada

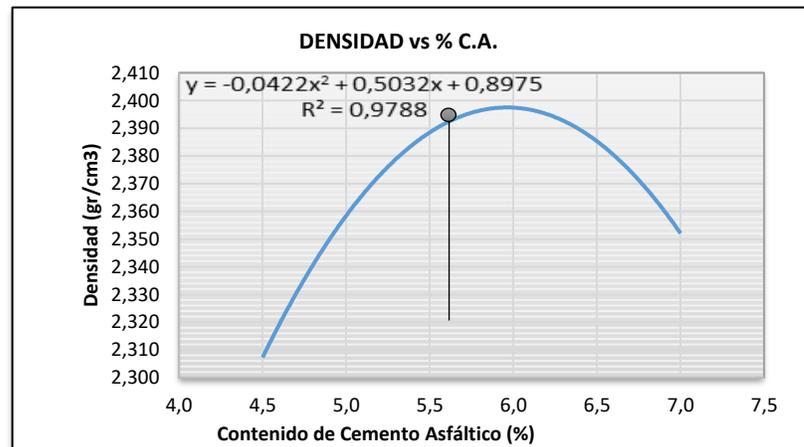


Fuente: Elaboración propia

La densidad que se obtuvo del lab. de La Pintada fue de 2,24 gr/cm³.

Datos complementarios en el anexo 1.

Gráfico 4.2 densidad vs % C.A lab. UAJMS



Fuente: Elaboración propia

La densidad que se obtuvo del lab. de la UAJMS fue de 2,39 gr/cm³.

Datos complementarios en el anexo 8.

Con la muestra obtenida in situ también se realizó la obtención de la densidad para realizar un promedio y comparar la densidad máxima.

- La densidad que se obtuvo del lab. de la UAJMS fue de 2,19 gr/cm³ de la zona de Obrajes.
- La densidad que se obtuvo del lab. de la UAJMS fue de 2,16 gr/cm³ de la zona Abasto del Sur.
- La densidad que se obtuvo del lab. de la UAJMS fue de 2,16 gr/cm³ de la zona de San Antonio.
- La densidad que se obtuvo del lab. de la UAJMS fue de 2,20 gr/cm³ de la zona El Constructor.
- La densidad que se obtuvo del lab. de la UAJMS fue de 2,18 gr/cm³ de la zona de Aranjuez.

La densidad que se obtuvo en laboratorio se introduce en el equipo para realizar las lecturas en in situ, en gabinete realizar la comparación y verificación del cumplimiento de los datos.

4.3.1 Análisis de datos obtenidos con el equipo PQI-380

4.3.1.1 Obrajes

Ajuste de la distribución teórica.

datos de los 3 métodos que se necesita para realizar el método de Prueba de bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov.

Tabla 4.4 Resumen de estimación de parámetros

Zona de Obrajes		Densidad	Temperatura	Grado de compactación	Vacíos
		kg/m ³	°C	%	%
Número de datos n		42	42	42	42
Distribución normal	Media	2094,07	102,43	93,52	6,48
	Desviación	33,19	5,570	1,460	1,46
Distribución log. normal	cv	0,016	0,054	0,016	0,225
	Sy	0,016	0,054	0,016	0,223
	Uy	7,650	4,630	4,538	1,844
Distribución Gumbel	α	25,880	4,340	1,139	1,139
	μ	2079,13	99,92	92,860	5,824

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 9

Los parámetros en la distribución Normal son el parámetro de posición que es igual a la media aritmética, y el parámetro de escala que numéricamente es igual a la desviación.

Los parámetros en la distribución Log - Normal son el parámetro de posición que es la media de los logaritmos de cada dato, y el parámetro de escala es la desviación del logaritmo.

Los parámetros en la distribución Gumbel, son estimación de parámetros α y β , para muestras relativamente pequeñas.

➤ Comparación del nivel de significancia

Comparando los valores de Δ , con el valor crítico Δ_0 de la tabla con los siguientes criterios de decisión.

Tabla 4.5 Comparación del valor estadístico Δ , con el valor crítico Δ_0

Densidad	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,158	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,155	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,128	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
Temperatura	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,113	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,103	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,128	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
Grado de compactacion	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,159	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,157	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,123	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
Vacíos	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,159	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,192	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,206	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 9

Se concluye que los datos de densidad, temperatura, grado de compactación y vacíos se ajustan a las distribuciones, con un nivel de significancia del 5% o una probabilidad del 95%. De la zona Obrajés.

➤ Nivel de significancia con datos del diseño de mezcla asfáltica.

Resultados de los datos propuestos con el nivel de significancia a partir de los datos obtenidos de los laboratorios para verificar su cumplimiento que se podrá ver en la siguiente tabla.

Tabla 4.6 Datos propuestos con el nivel de significancia

	$P(Q \geq q) = P(Q \geq X) = 1 - F_z$			$P(q1 \leq Q \leq q2) = P(X1 \leq Q \leq X2) = F Z2 - F Z1$		
	Si es mayor o igual			Comprendido entre		
Densidad lab Pintada	q1=	2240,00	kg/m ³	q1=	2240,00	kg/m ³
				q2=	2195,20	kg/m ³
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Densidad lab U.A.J.M.S.	q1=	2390,00	kg/m ³	q1=	2390,00	kg/m ³
				q2=	2342,20	kg/m ³
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Temperatura	q1=	120,00	°C	q1=	120,00	°C
				q2=	150,00	°C
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Grado de compactacion lab Pintada	q1=	100,00	%	q1=	98,00	%
				q2=	100,00	%
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
grado de compactacion lab U.A.J.M.S.	q1=	100,00	%	q1=	98,00	%
				q2=	100,00	%
	1 - F z	0	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Vacíos lab Pintada	q1=	4,00	%	q1=	2,00	%
				q2=	4,00	%
	1 - F z	0,96	Cumple	F Z2 - F Z1	0,04	Cumple
Vacíos lab U.A.J.M.S.	q1=	2,00	%	q1=	2,00	%
				q2=	4,00	%
	1 - F z	1,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos estos valores, se puede observar que, no satisfacen los parámetros en el nivel de significancia, llevándolos a no cumplir con los valores mínimos para una capa bituminosa de buena calidad a su vez el valor de vacíos cumple un pequeño porcentaje a nivel de significancia.

➤ Método de Chi-Cuadrado.

Tabla 4.7 Método Chi-Cuadrado

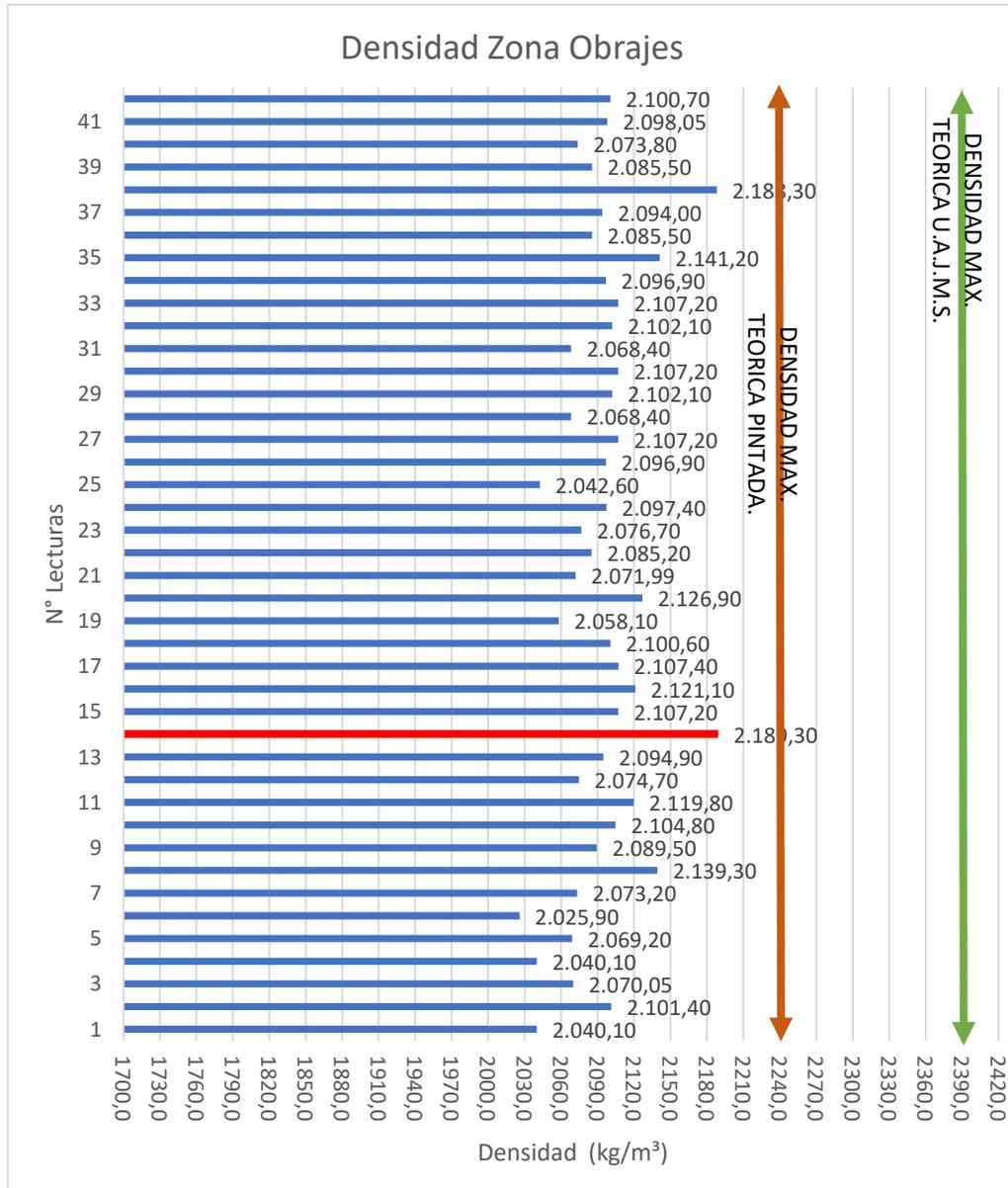
Criterio de decisión método Chi-Cuadrado						
Densidad	$\chi^2_c=$	8,47	\geq	$\chi^2_i=$	7,81	No cumple
Temperatura	$\chi^2_c=$	8,55	\geq	$\chi^2_i=$	7,81	No cumple
Grado de compactación	$\chi^2_c=$	23,34	\geq	$\chi^2_i=$	7,81	No cumple
Vacíos	$\chi^2_c=$	5,78	\leq	$\chi^2_i=$	7,81	Cumple

Fuente: Elaboración propia

El método de chi-cuadrado permitió comprobar qué tanto se puede ajustar una muestra a una distribución teórica, solo en caso de los vacíos cumple donde se acepta la hipótesis nula, a nivel de significancia del 5% o con un 95% de probabilidad.

Densidad zona Obrajes

Gráfico 4.3 Comportamiento de la densidad



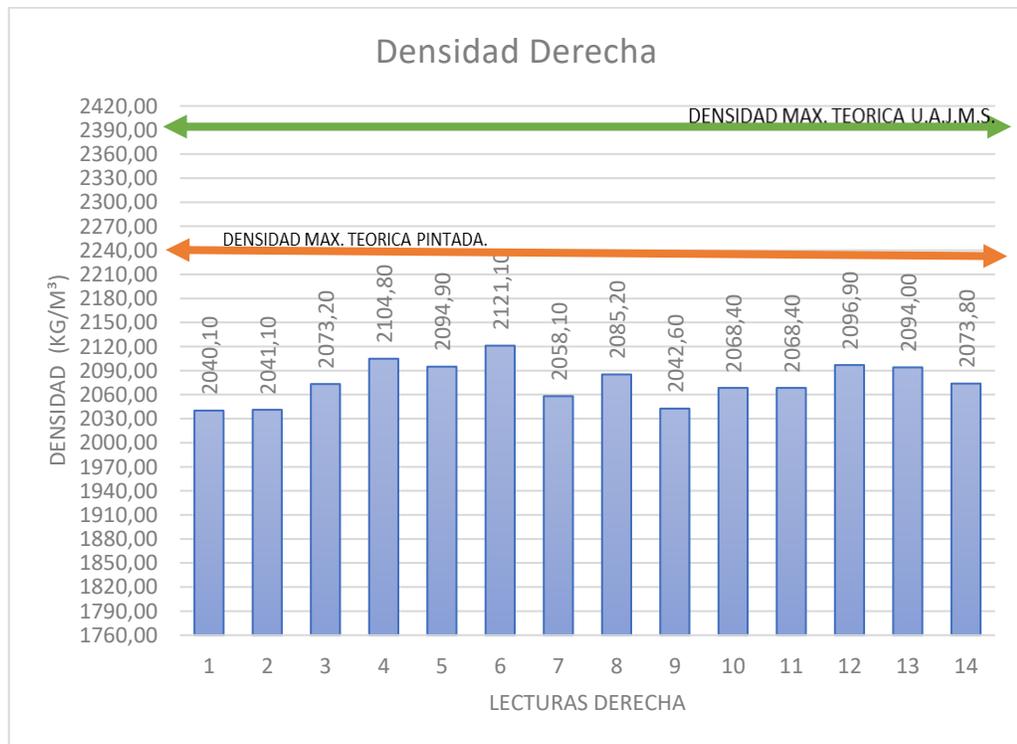
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 14 de la gráfica 4.3. de la zona Obrajes se tiene la densidad más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de las densidades obtenidas en campo cumple los parámetros mínimos de diseño realizados en

laboratorio, por lo tanto, se debería a ver realizado mejor el control con la maquinaria para llegar a una densidad óptima.

La alcaldía no contaba con equipos modernos para realizar el control de la densidad para las carpetas asfálticas.

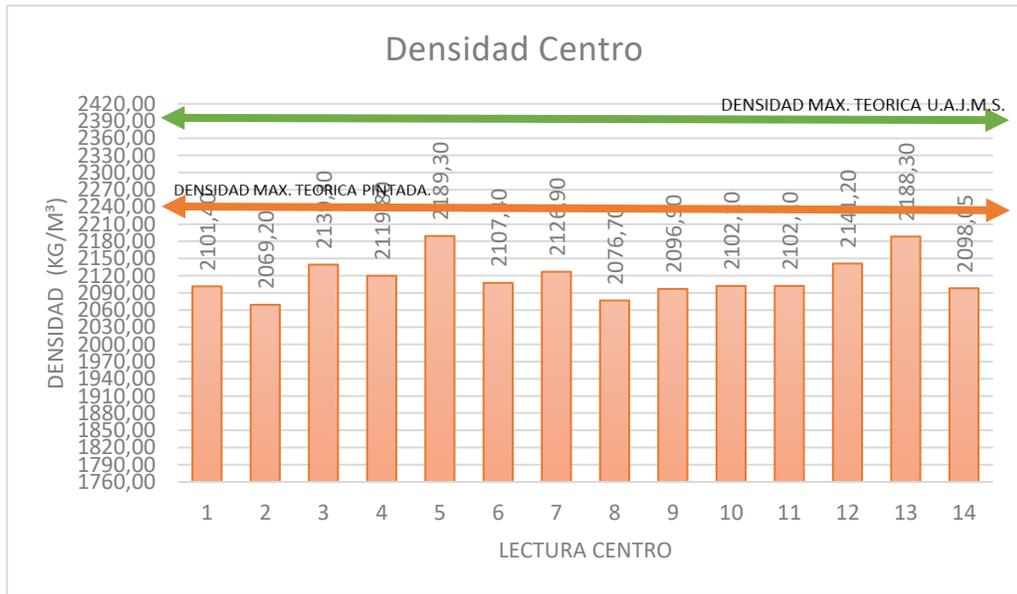
Gráfico 4.4 Densidad margen derecha



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.4. muestra el comportamiento de la densidad del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que la densidad más elevada fue punto 6 con una densidad de 2121,10 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 1 con una densidad de 2040,10 kg/m³, en el margen derecho no cumple ninguna densidad.

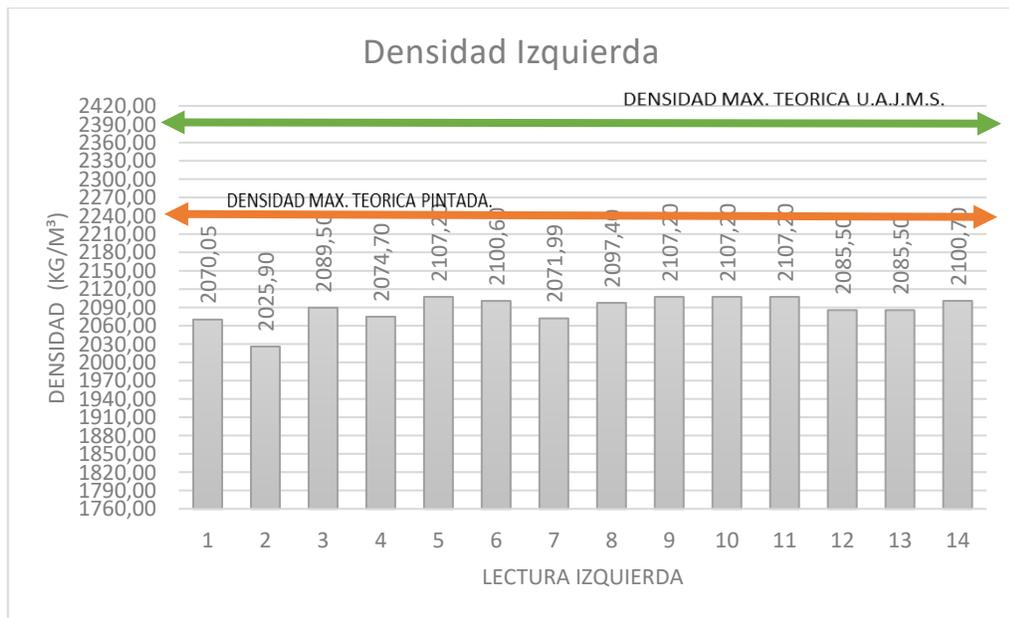
Gráfico 4.5 Densidad margen centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.5. muestra el margen del centro donde se obtiene la densidad más elevada en el punto 5 con una densidad de 2189,30 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 2 con una densidad de 2069,20 kg/m³, en el margen central no cumple ninguna densidad.

Gráfico 4.6 Densidad margen izquierdo



Fuente: Elaboración propia

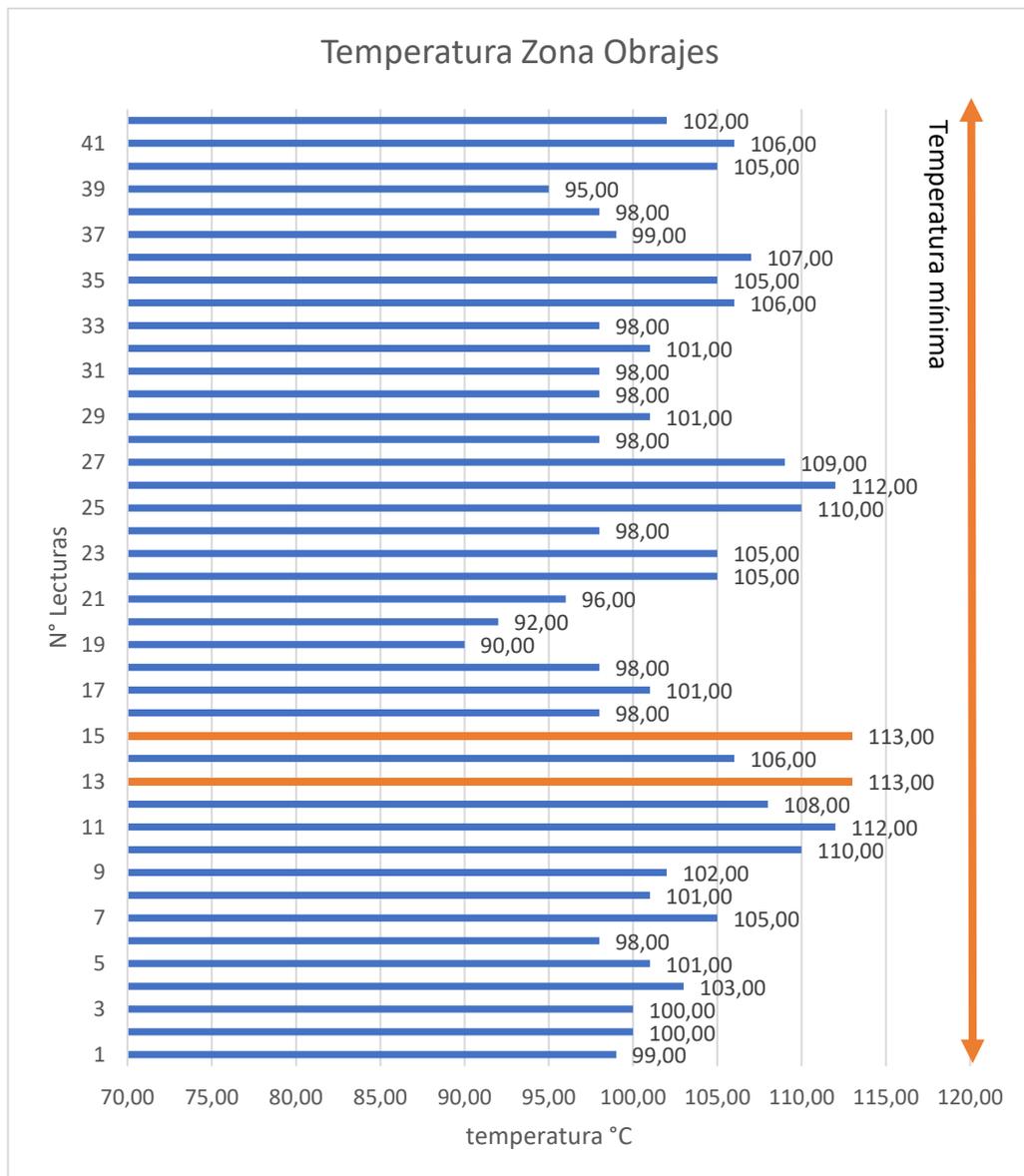
La gráfica 4.6. es la densidad de la izquierda, donde la densidad más elevada fue en el punto 10 y 11 con una densidad de 2107,20 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto

2 con una densidad de 2025,90 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ninguna densidad.

Las densidades del margen del centro son más elevadas, pero se puede observar en las gráficas que ninguna densidad cumple los parámetros mínimos de densidad de diseño.

Temperatura zona Obrajes

Gráfico 4.7 Comportamiento de la Temperatura

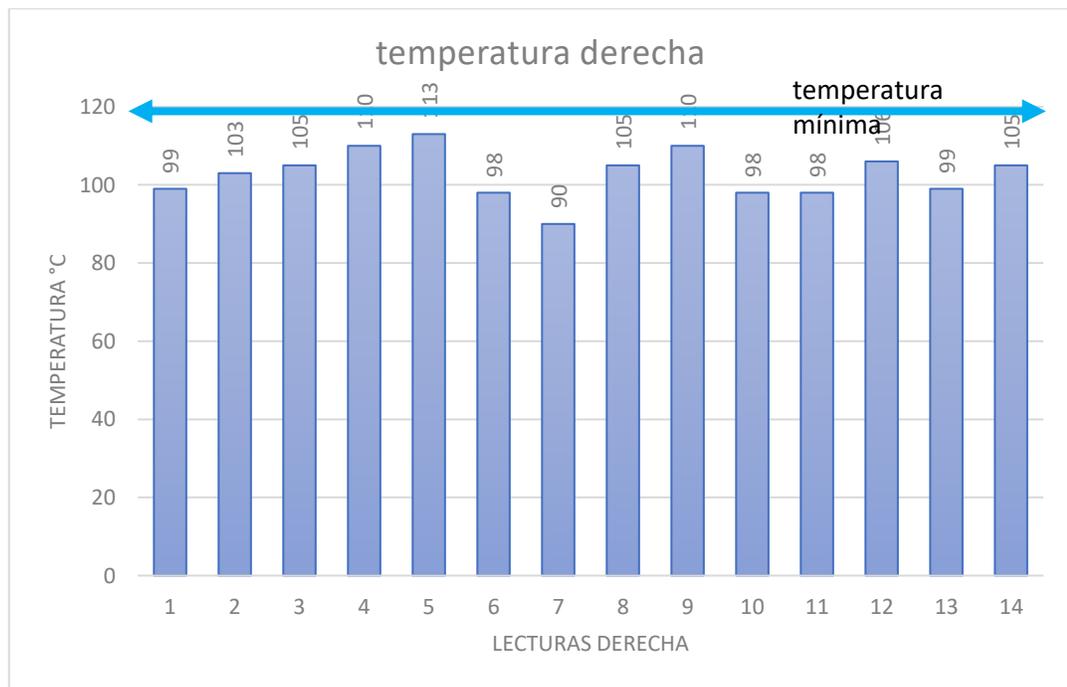


Fuente: Elaboración propia

Se observar que en el punto 13 y 15 de la gráfica 4.7. de la zona Obrajes se tiene la temperatura más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de las temperaturas obtenidas en campo cumple los parámetros mínimos que tiene que estas entre las temperaturas de 120 °C a 150 °C.

Se observar que la alcaldía no contaba con equipos de lectura de temperatura y personal que controle la temperatura de llegada de las volquetas con el material asfáltico.

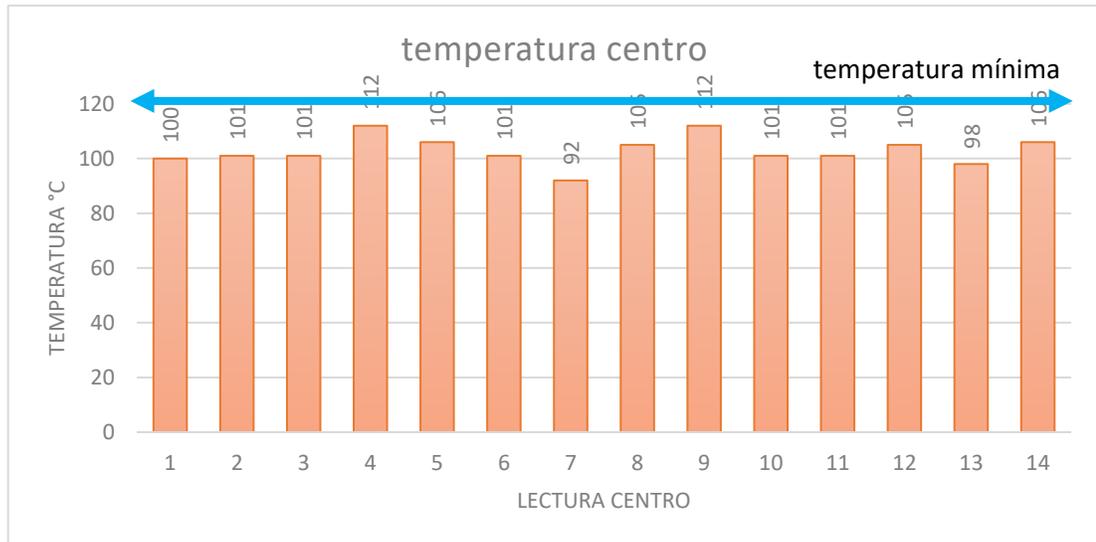
Gráfico 4.8 Temperatura margen derecho



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.8. muestra el comportamiento de las temperaturas del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que la temperatura más elevada fue punto 5 con una temperatura de 113 °C y la más baja fue en el punto 7 con una temperatura de 90 °C, en el margen derecho no cumple ninguna de las temperaturas.

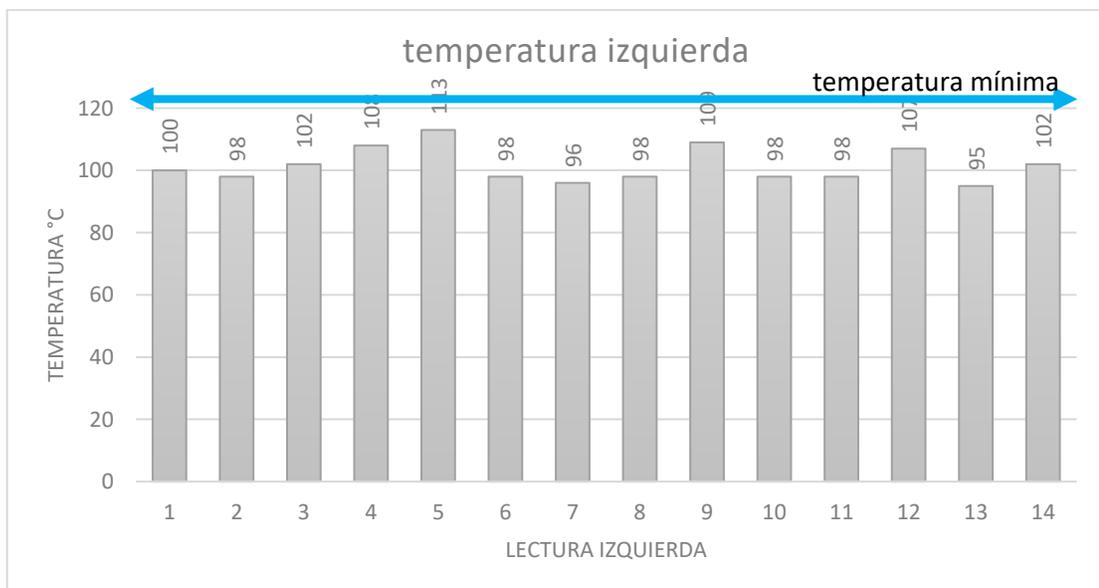
Gráfico 4.9 Temperatura margen centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.9. muestra el margen del centro donde se obtiene la temperatura más elevada en el punto 4 y 9 con una temperatura de 112 °C y la más baja fue en el punto 7 con una temperatura de 92 °C, en el margen central no cumple ninguna temperatura.

Gráfico 4.10 Temperatura margen izquierdo



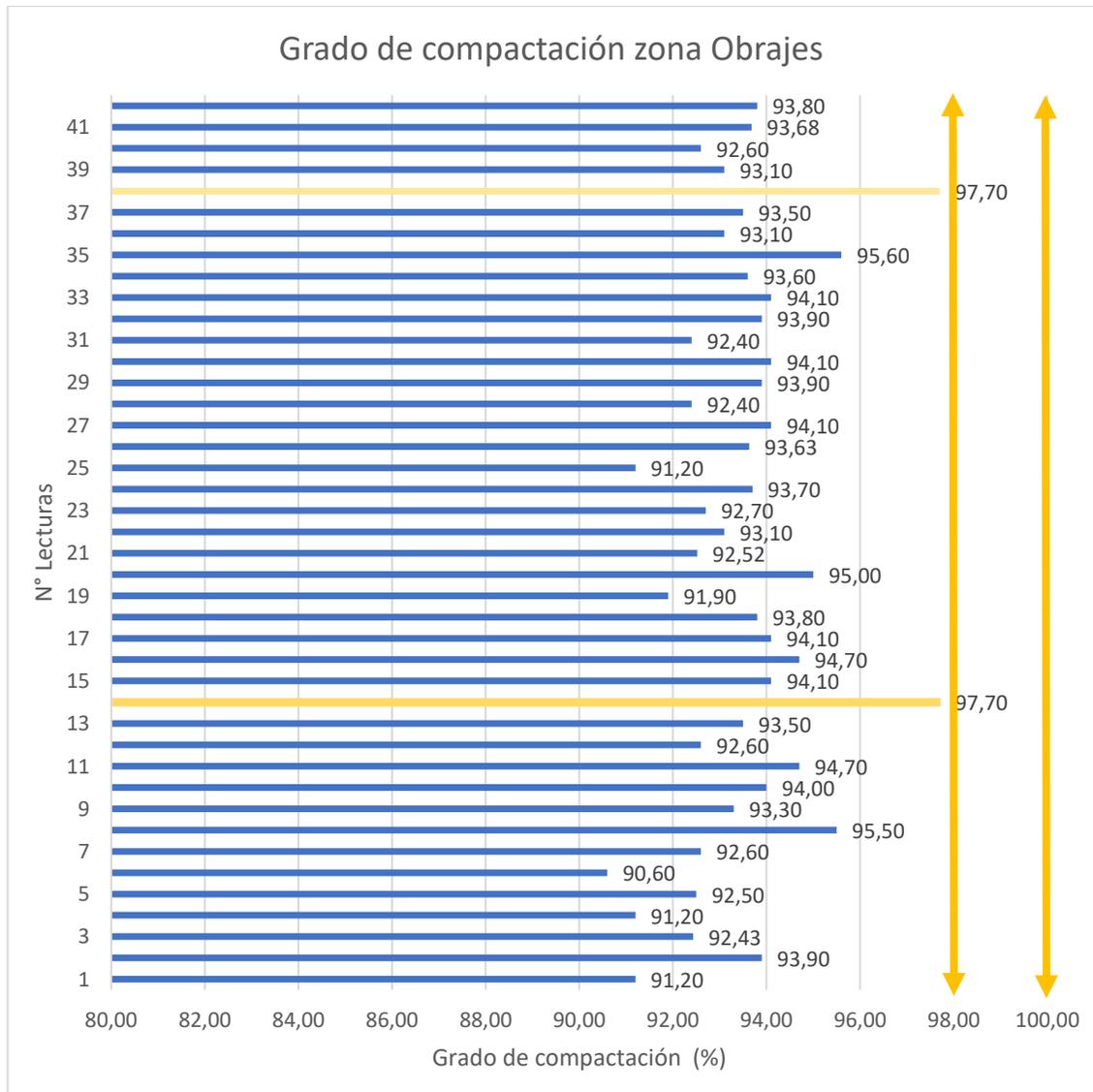
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.10. es la temperatura de la izquierda, donde la temperatura más elevada fue en el punto 5 con una temperatura de 113 °C y la temperatura más baja fue en el punto 13 con una temperatura de 95 °C, en el margen izquierdo no cumple ninguna temperatura.

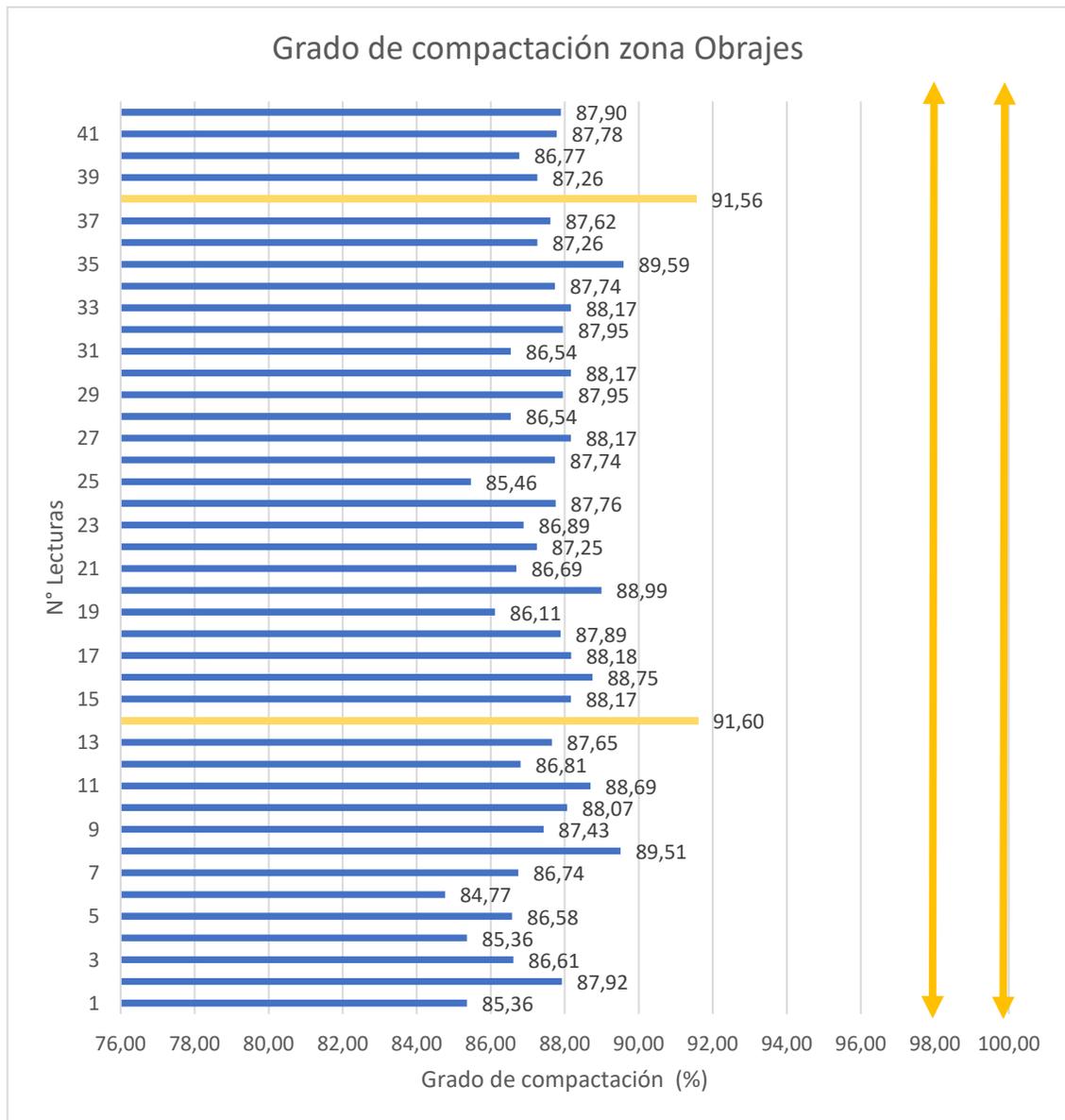
Con estas temperaturas de inicio del asfaltado se debería haber solicitado a la planta de asfalto que tengan en cuenta que las temperaturas no están cumpliendo los parámetros mínimos de llegada en obra que tienen que estar entre 120°C a 150°C.

Grado de compactación zona Obrajes

Gráfico 4.11 Grado de compactación al 2240 kg/m³



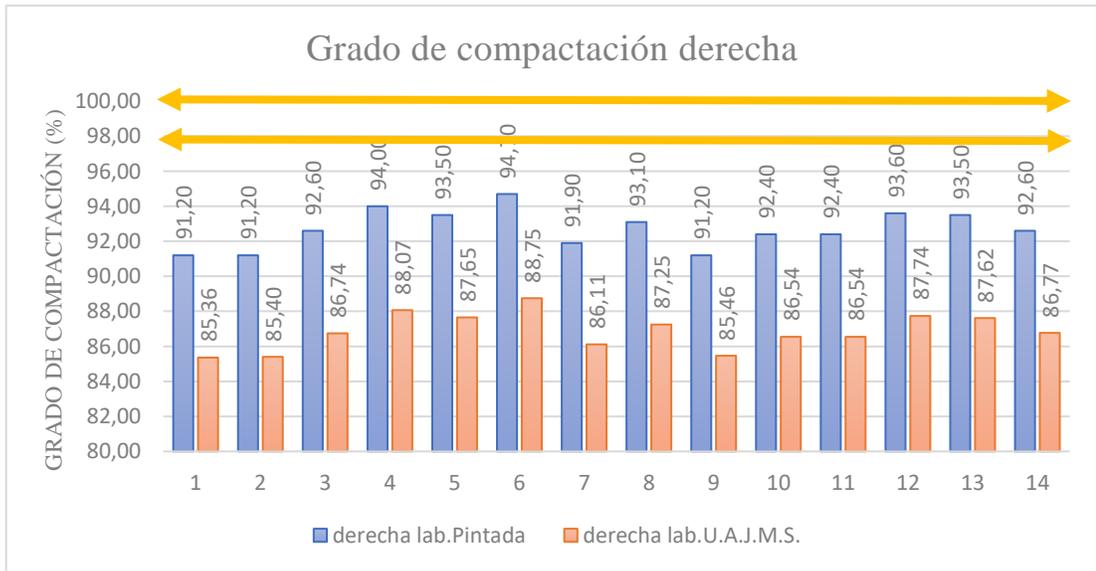
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.12 Grado de compactación al 2390 kg/m³

Fuente: Elaboración propia

Se observa que en el punto 14 y 38 de la gráfica tanto 4.11. como 4.12. de la zona Obrajes se tiene el grado de compactación más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de los grados de compactación obtenidas en campo cumple los parámetros y tampoco el grado de compactación mínimo que es de 98 %.

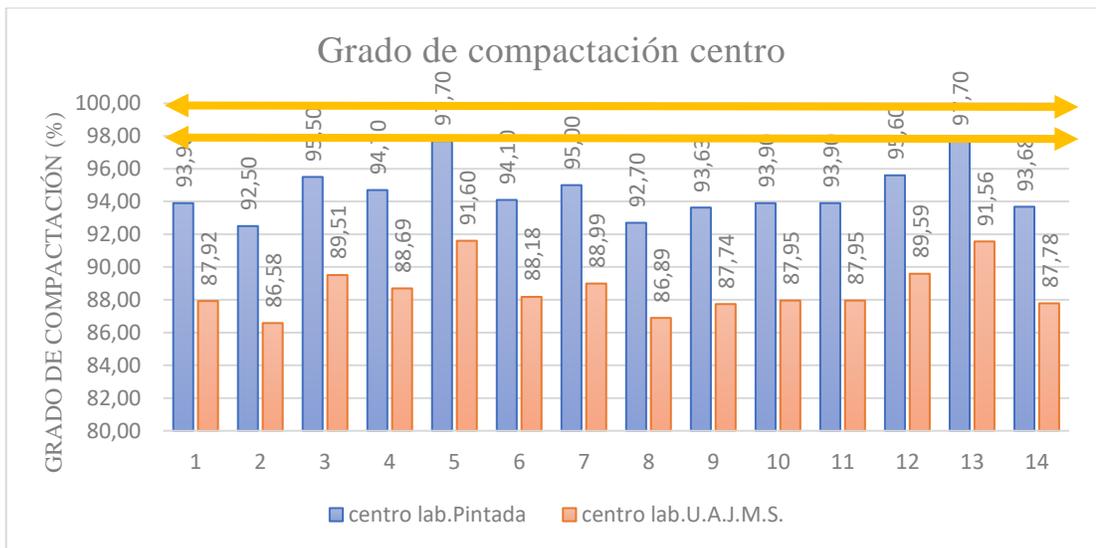
Gráfico 4.13 Grado de compactación derecha



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.13. muestra el comportamiento del grado de compactación del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que el grado de compactación más elevada fue punto 6 con un grado de compactación de 94,71 % al 2240 kg/m³ y 88,75 % al 2390 kg/m³, la más baja fue en los puntos 1, 2 y 9 con un del grado de compactación de 91,20 % al 2240 kg/m³ y 85,36 % al 2390 kg/m³, en el margen derecho no cumple ningún del grado de compactación.

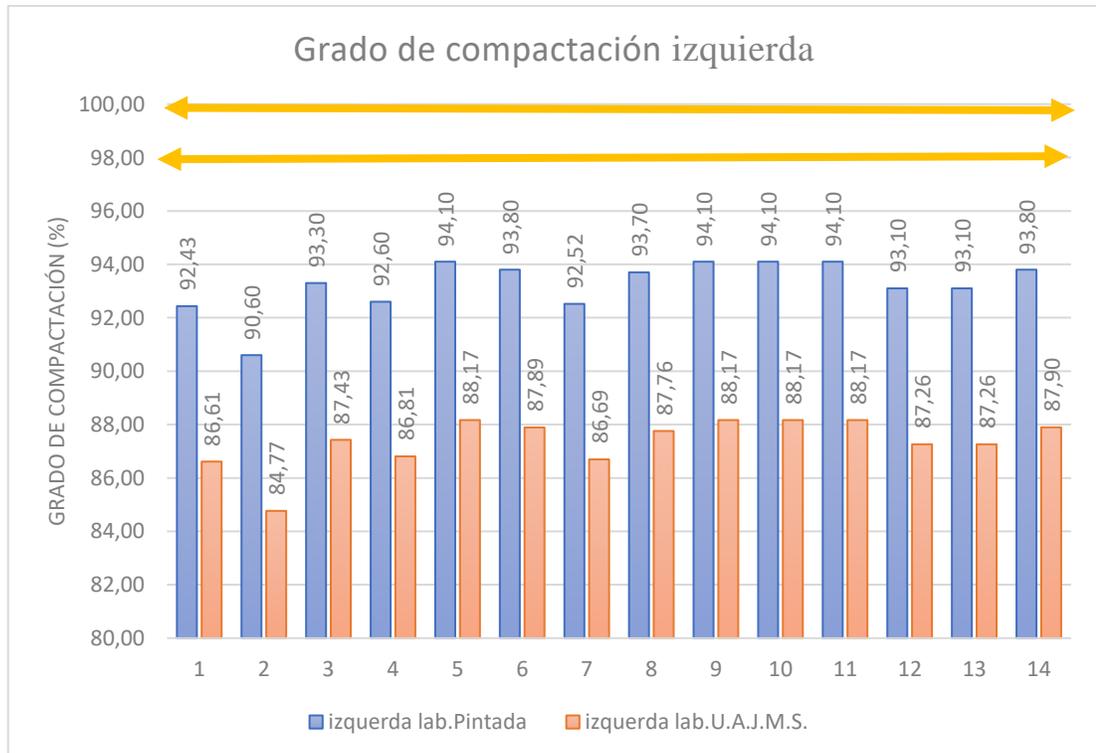
Gráfico 4.14 Grado de compactación centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.14. muestra el margen del centro donde se obtiene el grado de compactación más elevada en el punto 5 con un grado de compactación de 97,70 % al 2240 kg/m³ y 91,60 % al 2390 kg/m³ y la más baja fue en el punto 2 con un grado de compactación de 91,50 % al 2240 kg/m³ y 86,58 % al 2390 kg/m³, en el margen central no cumple ningún grado de compactación.

Gráfico 4.15 Grado de compactación izquierda



Fuente: Elaboración propia

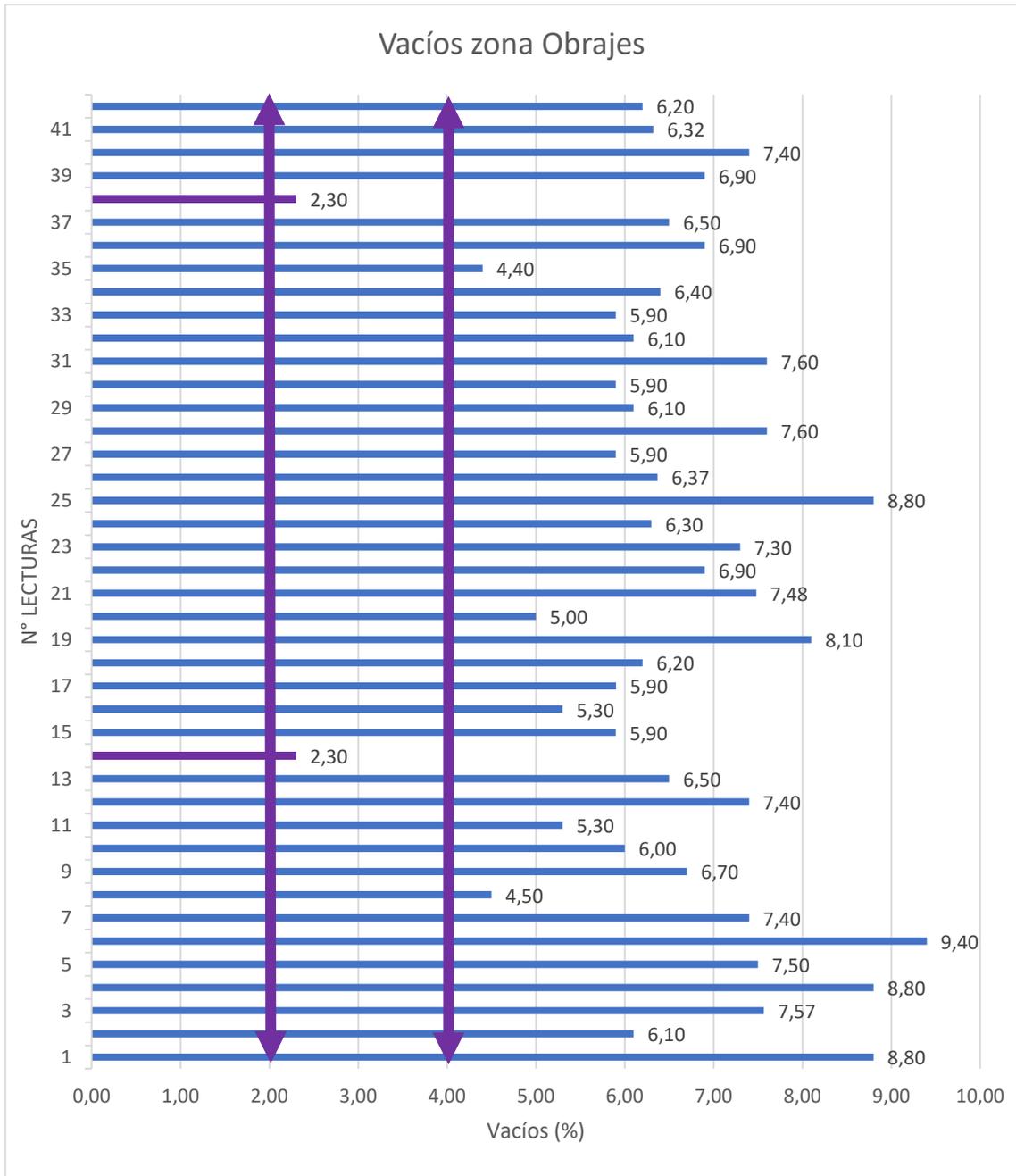
La gráfica 4.15. es el grado de compactación de la izquierda, donde el grado de compactación más elevada fue en los puntos 9, 10 y 11 con un grado de compactación de 94,1 % al 2240 kg/m³ y 88,17 % al 2390 kg/m³, y el grado de compactación más baja fue en el punto 2 con un grado de compactación de 90,60 % al 2240 kg/m³ y 84,77 % al 2390 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ningún grado de compactación.

Las gráficas de grado de compactación fueron porcentajes a partir del diseño de la mezcla asfálticas tanto obtenidas de La Pintada como realizadas por el tesista, el grado de compactación tiene un 5,85 % de diferencia, obteniendo mayor porcentaje de grado de compactación de los datos obtenidos por La Pintada.

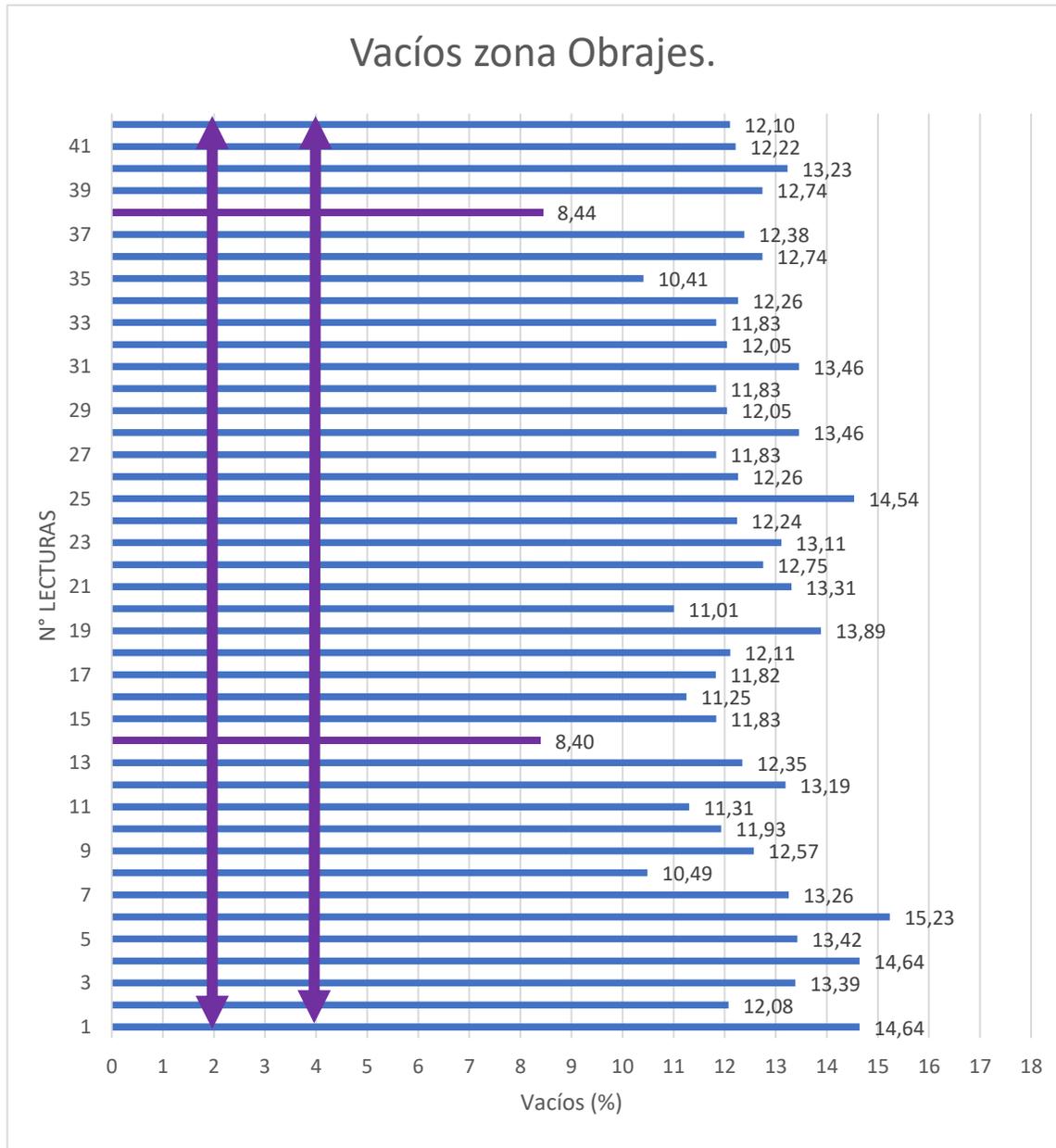
En ninguno de las gráficas llega a lo mínimo del grado de compactación que es el 98 %.

Vacíos zona Obrajes

Gráfico 4.16 Comportamiento de los Vacíos al 2240 kg/m³



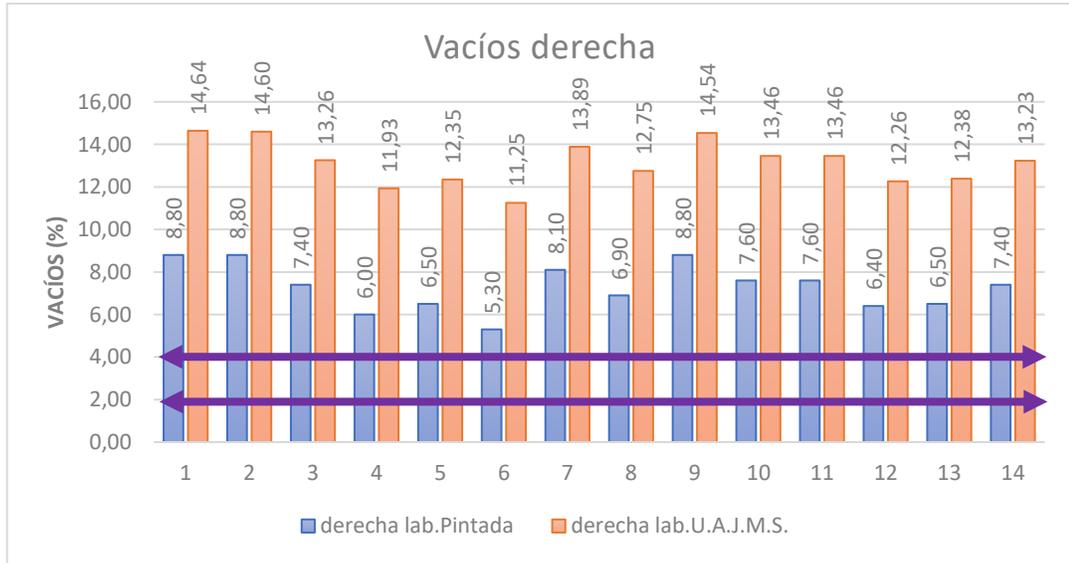
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.17 Comportamiento de los Vacíos 2390 kg/m³

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 14 y 38 de la gráfica 4.16. y 4.17. de la zona Obrajes se tiene los vacíos más bajos obtenidas de las lecturas con el equipo PQI-380, solo esos dos puntos dando cumplimiento en los vacíos al 2240 kg/m³, mientras que los vacíos al 2390 kg/m³ no cumplen ninguna.

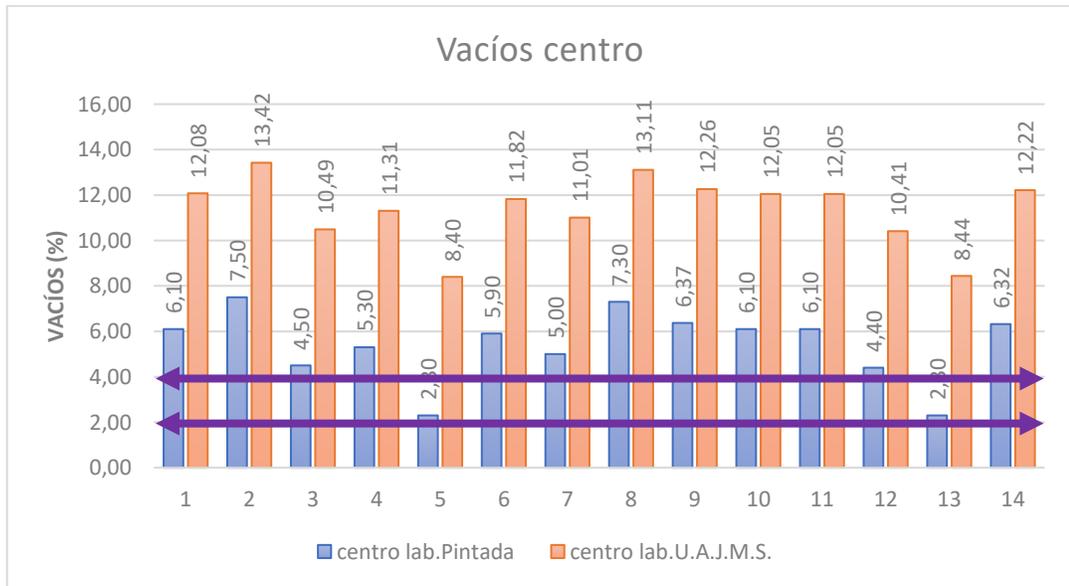
Gráfico 4.18 Vacíos derecha



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.18. muestra los vacíos del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar los vacíos más bajos fue punto 6 con vacíos de 5,30 % al 2240 kg/m³ y 11,25 % al 2390 kg/m³, la más elevadas fue en el punto 1 con de 8,80 % al 2240 kg/m³ y 14,64 % al 2390 kg/m³, en el margen derecho no cumple ningún de los vacíos.

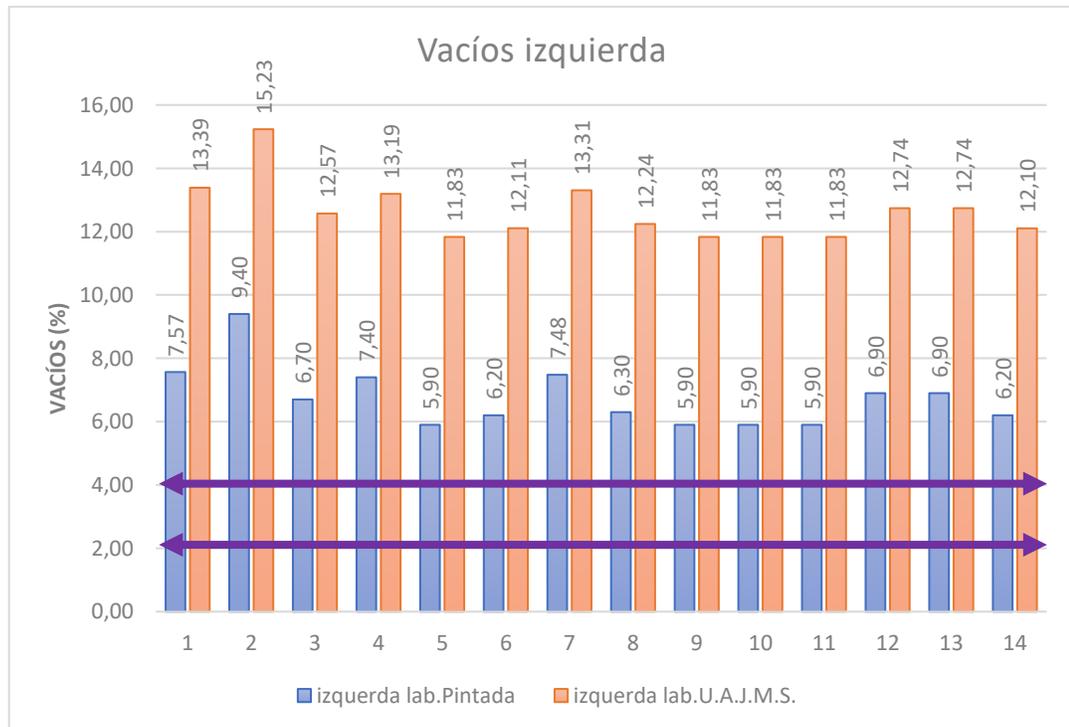
Gráfico 4.19 Vacíos centro



Fuente: Elaboración propia

la gráfica 4.19. muestra el margen del centro donde se obtiene los vacíos más bajos en el punto 5 y 13 con vacíos 2,30 % al 2240 kg/m³ y 8,40 % al 2390 kg/m³ y los más elevados fue en el punto 2 con vacíos de 7,50 % al 2240 kg/m³ y 13,42 % al 2390 kg/m³, en el margen central no cumple ningún de los vacíos.

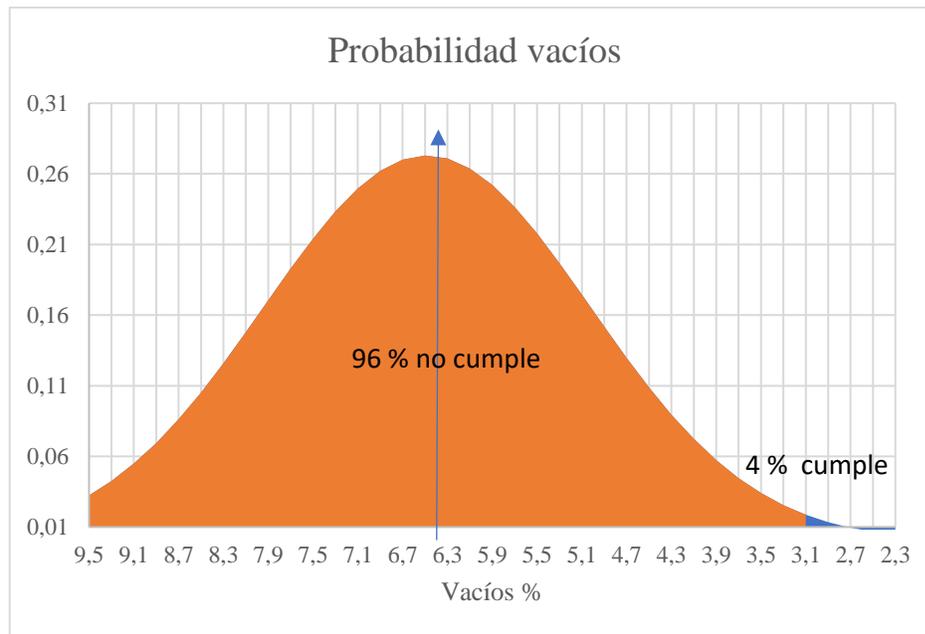
Gráfico 4.20 Vacíos izquierda



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.20. son los vacíos de la izquierda donde los vacíos más bajos fue en los puntos 9, 10 y 11 con vacíos 5,90 % al 2240 kg/m³ y 11,83 % al 2390 kg/m³, y los vacíos más elevados fue en el punto 2 con vacíos de 9,40 % al 2240 kg/m³ y 15,23 % al 2390 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ningún de los vacíos.

Gráfico 4.21 Temperatura campana de gauss



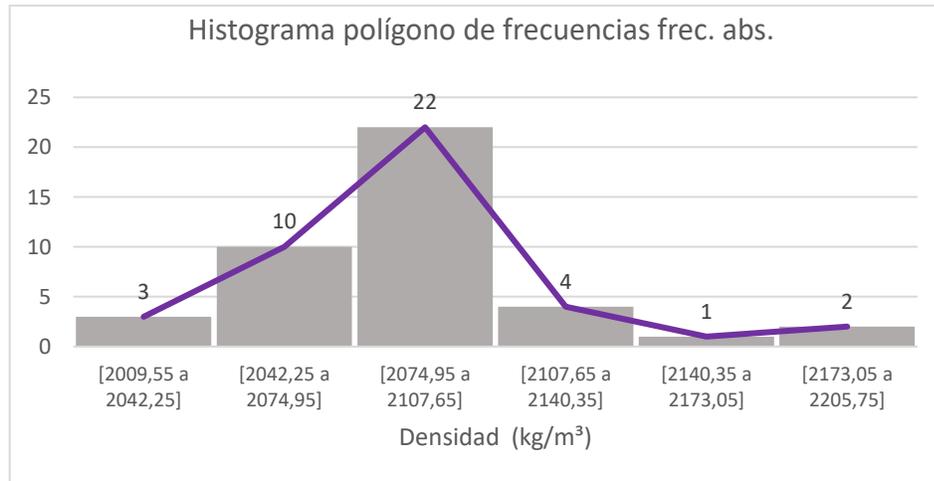
Fuente: Elaboración propia

Con la campana de gauss podemos determinar que en esta zona tenemos un 4,00% de temperaturas que sí cumplen y un 96,00 % que no cumplen los parámetros mínimos de temperatura a partir de la probabilidad.

Los datos obtenidos de Obrajes solo dos puntos cumplen con los parámetros mínimos de vacíos que están entre un intervalo de 2 % y 4 %. El porcentaje de diferencia de datos son de 5,82 %.

Con los datos obtenidos se puede decir que las densidades, temperaturas, grado de compactación y vacíos no cumplen y por cada pasada que hacia la compactadora con rodillo nos daba una densidad de promediada de $24,6 \text{ kg/m}^3$ y compactadora a neumático nos dio un valor de pasada de $20,7 \text{ kg/m}^3$, por lo tanto, se debería haber dado tres pasadas más con el rodillo y dos más con el neumático para llegar a una densidad mínima.

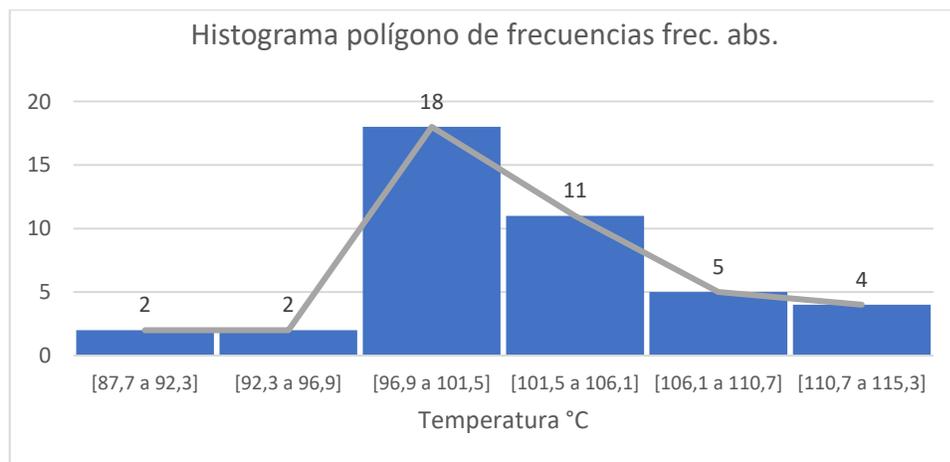
Gráfico 4.22 Histograma de densidad



Fuente: Elaboración propia

Se pudo obtener el histograma de frecuencia donde se puede observar que entre los intervalos 2074,95 kg/m³ y 2107,65 kg/m³ se tiene la mayoría de datos obtenidas en la zona de Orajés. Donde la distribución tiene cola al lado derecho, sesgada a la derecha (positiva). Y su achatamiento es leptocúrtica.

Gráfico 4.23 Histograma de temperatura



Fuente: Elaboración propia

Se pudo obtener el histograma de frecuencia donde se puede observar que entre los intervalos 96,9 °C y 101,5 °C se tiene la mayoría de datos obtenidas en la zona de Orajés. Donde la distribución tiene cola al lado derecho, sesgada a la derecha (positiva). Y su achatamiento es leptocúrtica.

4.3.1.2 Abasto del Sur

Ajuste de la distribución teórica.

datos de los 3 métodos que se necesita para realizar el método de Prueba de bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov.

Tabla 4.8 Resumen de estimación de parámetros

Zona de Abastos del Sur		Densidad	Temperatura	Grado de compactación	Vacíos
		kg/m ³	°C	%	%
Numero de datos n		18	18	18	18
Distribución normal	Media	2081,96	103,39	92,97	7,030
	Desviación	20,720	5,160	0,930	0,930
Distribución log. normal	Cv	0,010	0,050	0,010	0,132
	Sy	0,010	0,050	0,010	0,132
	Uy	7,640	4,640	4,532	1,942
Distribución Gumbel	α	16,15	4,020	0,726	0,726
	μ	2072,64	101,07	92,548	6,614

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 9

Los parámetros en la distribución Normal son el parámetro de posición que es igual a la media aritmética, y el parámetro de escala que numéricamente es igual a la desviación.

Los parámetros en la distribución Log - Normal son el parámetro de posición que es la media de los logaritmos de cada dato, y el parámetro de escala es la desviación del logaritmo.

Los parámetros en la distribución Gumbel, son estimación de parámetros α y β , para muestras relativamente pequeñas.

➤ Comparación del nivel de significancia

Comparando los valores de Δ , con el valor crítico Δ_0 de la tabla con los siguientes criterios de decisión.

Tabla 4.9 Comparación del valor estadístico Δ , con el valor crítico Δ_0

Densidad	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,114	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,115	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,166	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
Temperatura	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,099	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,093	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,111	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
Grado de compactacion	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,112	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,113	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,164	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
Vacíos	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,112	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,134	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,174	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 9

Se concluye que los datos de densidad, temperatura, grado de compactación y vacíos se ajustan a las distribuciones, con un nivel de significancia del 5% o una probabilidad del 95%. De la zona Abasto del Sur.

➤ Nivel de significancia con datos del diseño de mezcla asfáltica.

Resultados de los datos propuestos con el nivel de significancia a partir de los datos obtenidos de los laboratorios para verificar su cumplimiento que se podrá ver en la siguiente tabla.

Tabla 4.10 Datos propuestos con el nivel de significancia

	$P(Q \geq q) = P(Q \geq X) = 1 - F z$			$P(q_1 \leq Q \leq q_2) = P(X_1 \leq Q \leq X_2) = F Z_2 - F Z_1$		
	Si es mayor o igual			Comprendido entre		
Densidad lab Pintada	q1=	2240,00	kg/m ³	q1=	2240,00	kg/m ³
				q2=	2195,20	kg/m ³
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Densidad lab U.A.J.M.S.	q1=	2390,00	kg/m ³	q1=	2390,00	kg/m ³
				q2=	2342,20	kg/m ³
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Temperatura	q1=	120,00	°C	q1=	120,00	°C
				q2=	150,00	°C
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Grado de compactacion lab Pintada	q1=	100,00	%	q1=	98,00	%
				q2=	100,00	%
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Grado de compactacion lab U.A.J.M.S.	q1=	100,00	%	q1=	98,00	%
				q2=	100,00	(%)
	1 - F z	0	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Vacíos lab Pintada	q1=	2,00	%	q1=	2,00	%
				q2=	4,00	%
	1 - F z	1,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,0	No cumple
Vacíos lab U.A.J.M.S.	q1=	2,00	%	q1=	2,00	%
				q2=	4,00	%
	1 - F z	1,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos estos valores, se puede observar que, no satisfacen los parámetros en el nivel de significancia, llevándolos a no cumplir con los valores mínimos para una capa bituminosa de buena calidad.

➤ Método de Chi-Cuadrado.

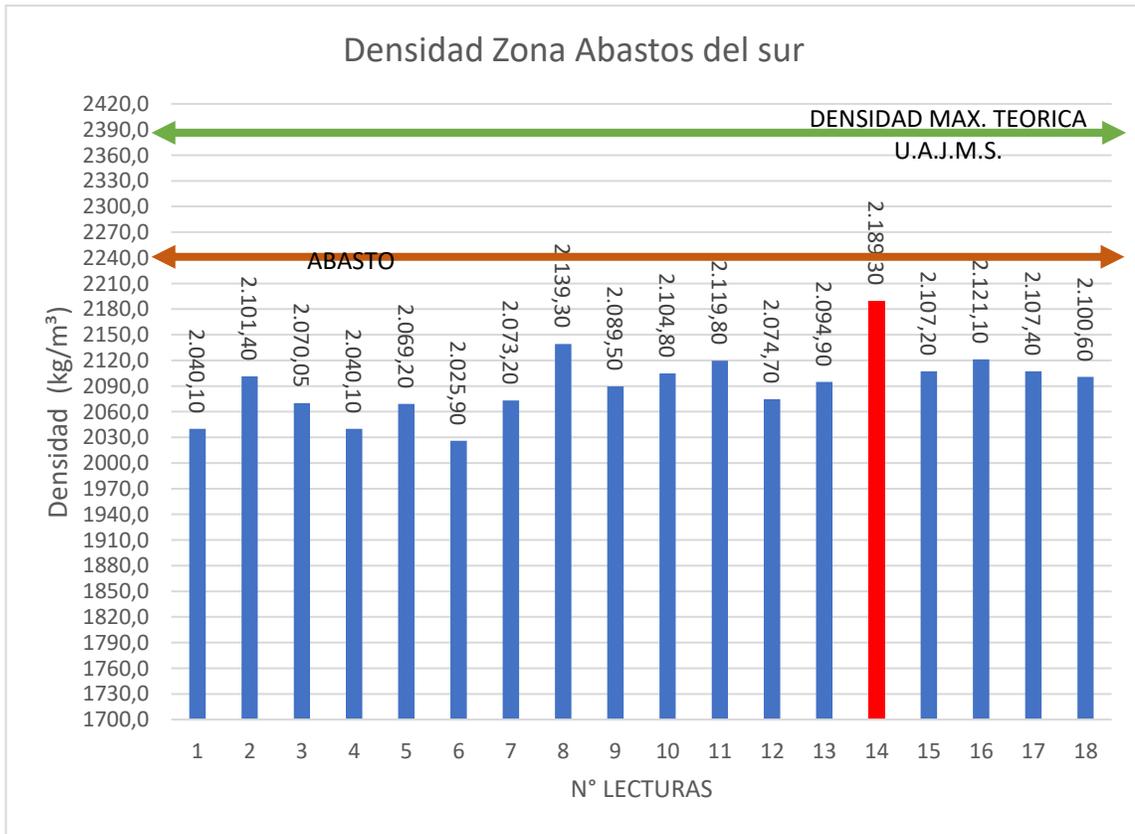
Tabla 4.11 Método Chi-Cuadrado

Criterio de decisión método Chi-Cuadrado						
Densidad	$\chi^2_{c=}$	2,55	≤	$\chi^2_{i=}$	5,99	Cumple
Temperatura	$\chi^2_{c=}$	1,42	≤	$\chi^2_{i=}$	5,99	Cumple
Grado de compactación	$\chi^2_{c=}$	2,45	≤	$\chi^2_{i=}$	5,99	Cumple
Vacíos	$\chi^2_{c=}$	2,55	≤	$\chi^2_{i=}$	5,99	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Densidad zona Abasto del Sur

Gráfico 4.24 Comportamiento de la densidad

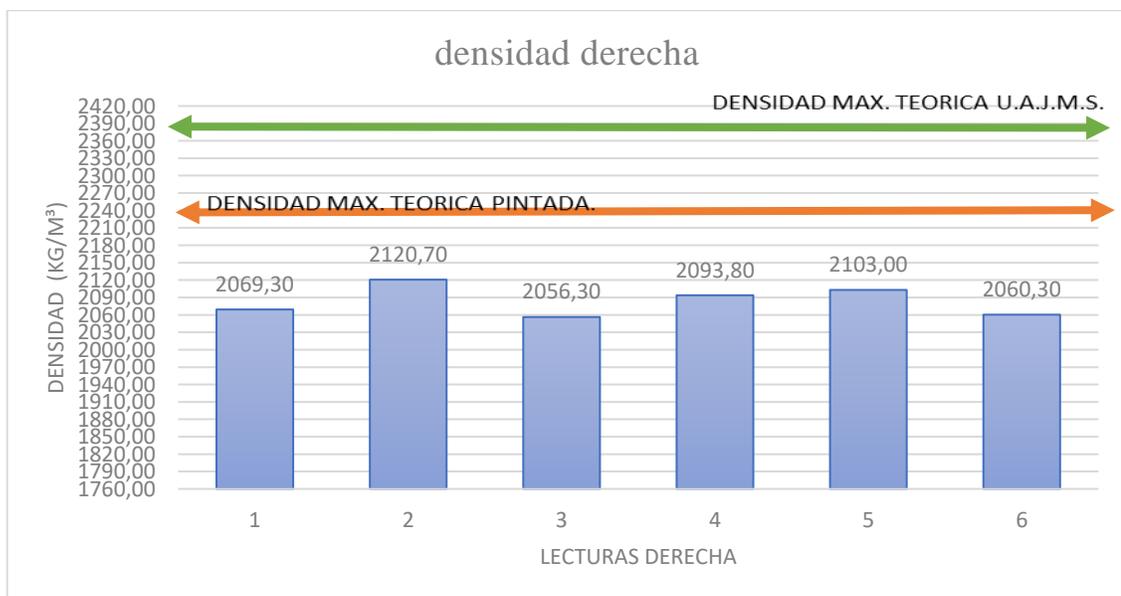


Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 14 de la gráfica 4.24. de la zona Abasto del Sur se tiene la densidad más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de las densidades obtenidas en campo cumple los parámetros mínimos de diseño realizados en laboratorio por lo tanto se debería a ver realizado mejor el control con la maquinaria para llegar a una densidad óptima.

Se pudo observar que la alcaldía no contaba con equipos modernos para realizar el control de las carpetas asfálticas.

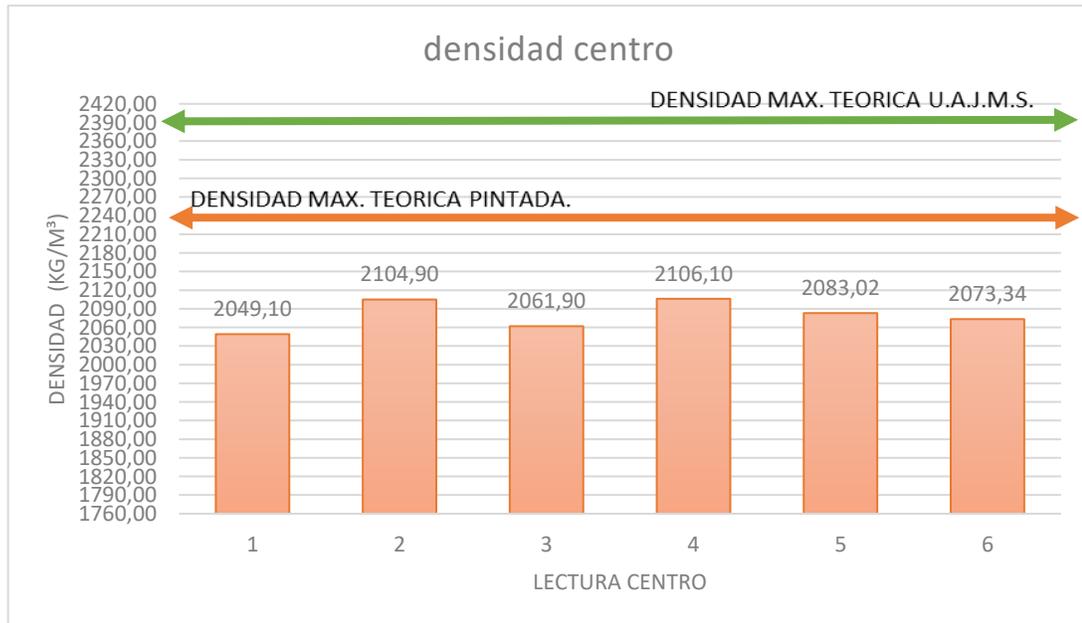
Gráfico 4.25 Densidad margen derecho



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.25. muestra el comportamiento de la densidad del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que la densidad más elevada fue punto 2 con una densidad de 2120,70 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 3 con una densidad de 2056,30 kg/m³, en el margen derecho no cumple ninguna densidad.

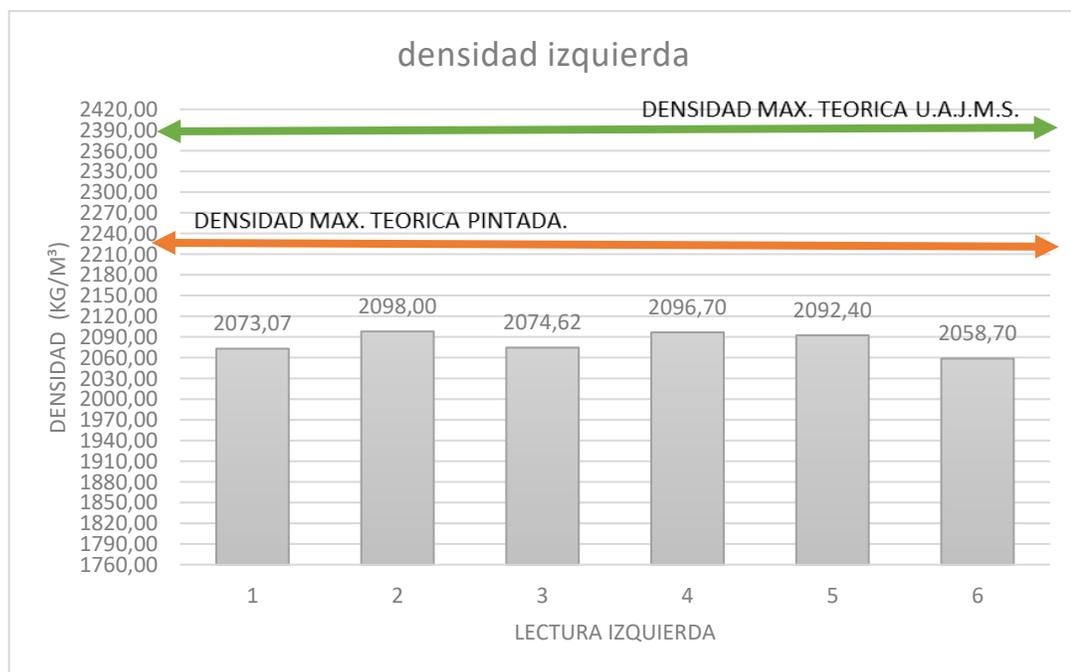
Gráfico 4.26 Densidad margen centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.26. muestra el margen del centro donde se obtiene la densidad más elevada en el punto 2 con una densidad de 2104,90 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 1 con una densidad de 2049,10 kg/m³, en el margen central no cumple ninguna densidad.

Gráfico 4.27 Densidad margen izquierda



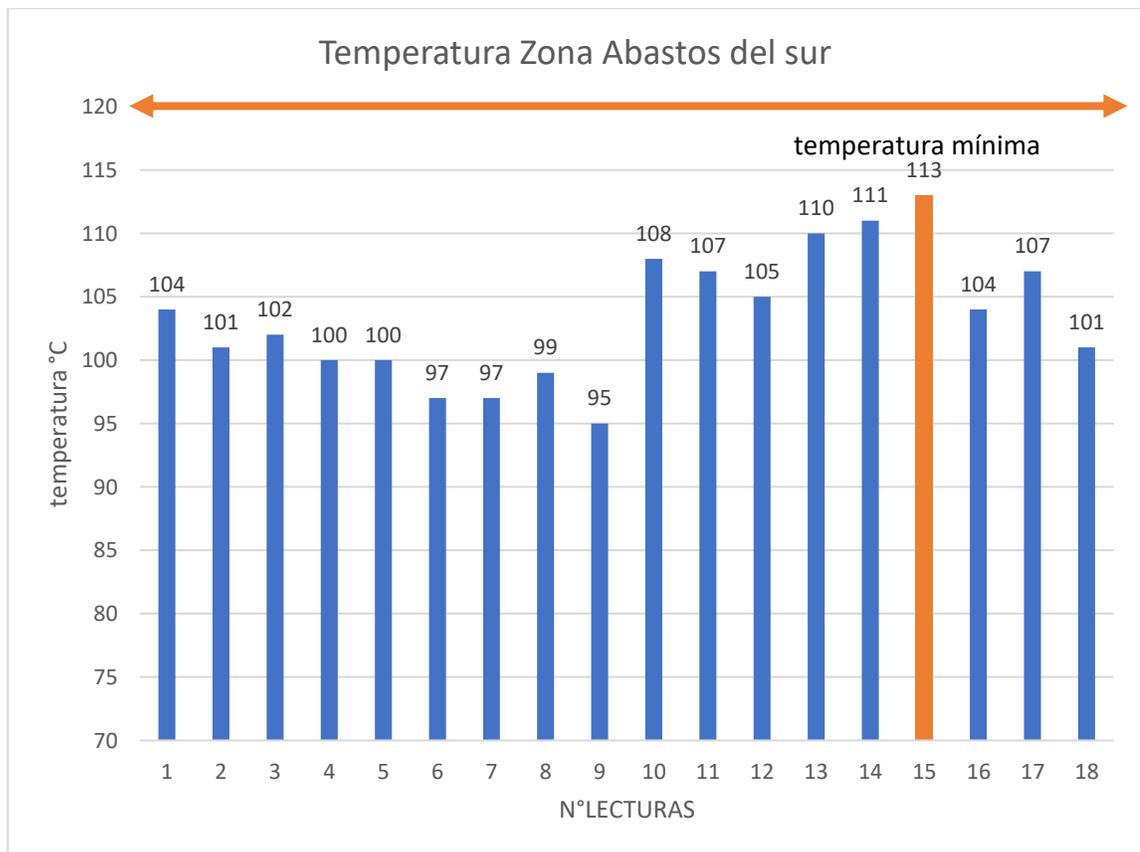
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.27. es la densidad de la izquierda, donde la densidad más elevada fue en el punto 2 con una densidad de 2098,00 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 6 con una densidad de 2058,70 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ninguna densidad.

Las densidades del margen del centro son más elevadas, pero se puede observar en las gráficas que ninguna densidad cumple los parámetros mínimos de densidad de diseño.

Temperatura zona Abasto del Sur

Gráfico 4.28 Comportamiento de la Temperatura

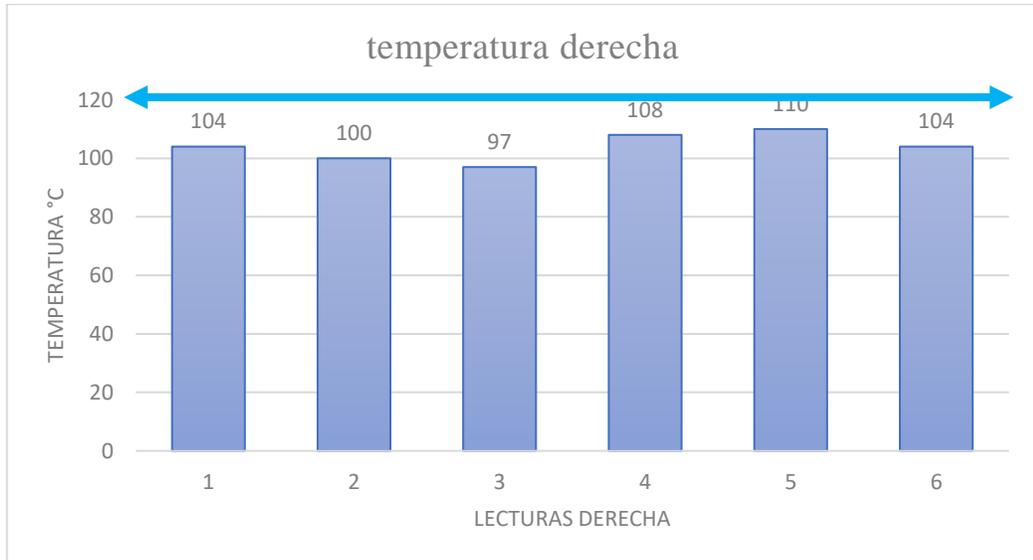


Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 13 y 15 de la gráfica 4.3. de la zona Obrajes se tiene la temperatura más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de las temperaturas obtenidas en campo cumple los parámetros mínimos que tiene que estas entre las temperaturas de 120 °C a 150 °C.

Se puede observar que la alcaldía no contaba con equipos de lectura de temperatura y personal que controle la temperatura de llegada de las volquetas con el material asfáltico.

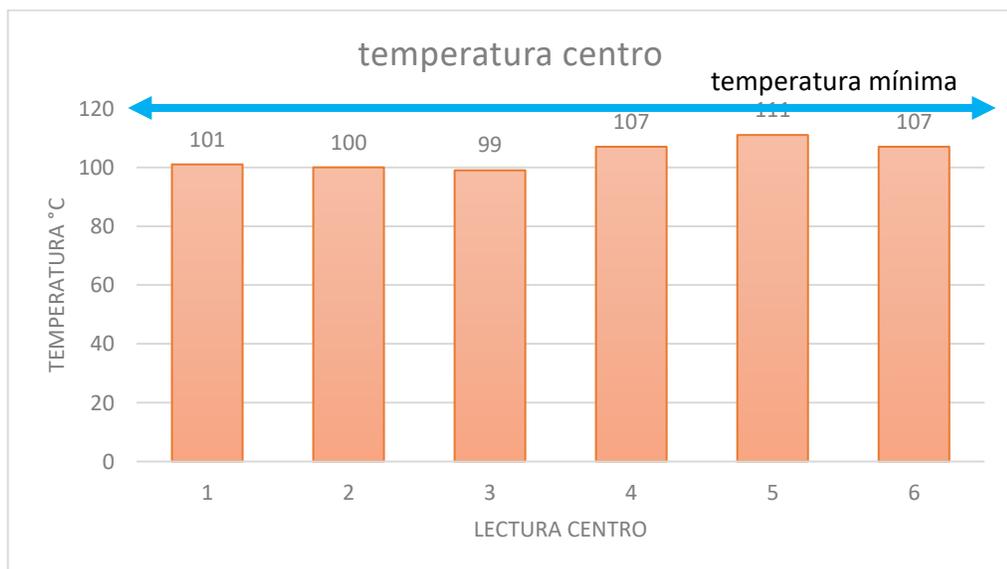
Gráfico 4.29 Temperatura margen derecho



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.29. muestra el comportamiento de las temperaturas del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que la temperatura más elevada fue punto 5 con una temperatura de 110 °C y la más baja fue en el punto 3 con una temperatura de 97 °C, en el margen derecho no cumple ninguna de las temperaturas.

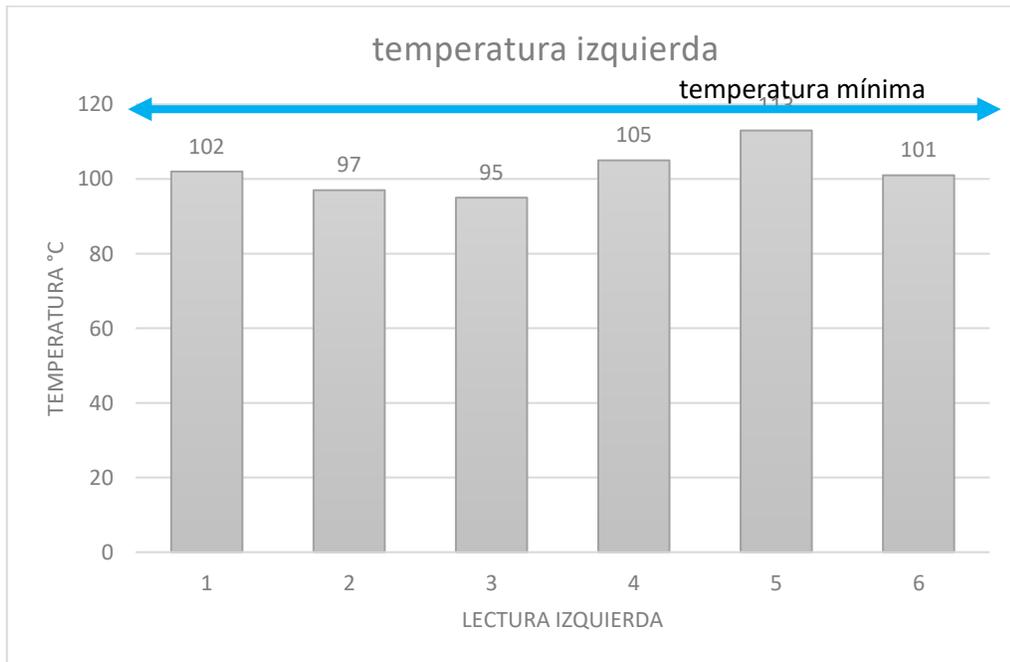
Gráfico 4.30 Temperatura margen centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.30. muestra el margen del centro donde se obtiene la temperatura más elevada en el punto 5 con una temperatura de 111 °C y la más baja fue en el punto 3 con una temperatura de 99 °C, en el margen central no cumple ninguna temperatura.

Gráfico 4.31 Temperatura margen izquierdo



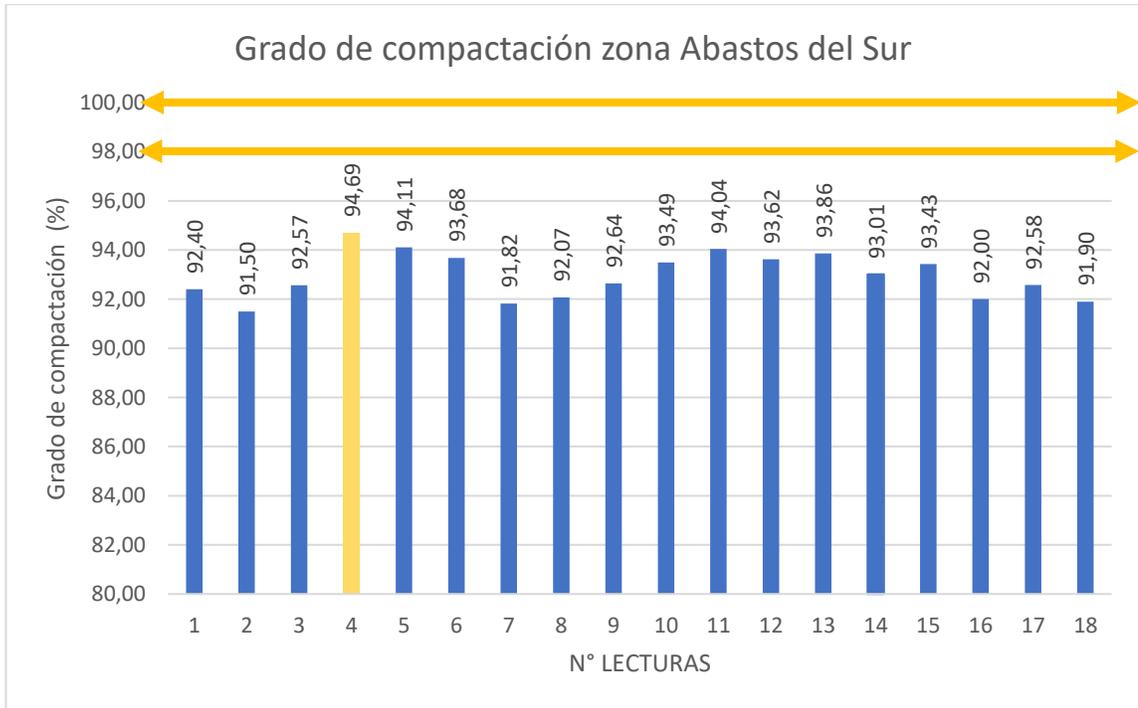
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.31. es la temperatura de la izquierda, donde la temperatura más elevada fue en el punto 5 con una temperatura de 112 °C y la temperatura más baja fue en el punto 3 con una temperatura de 95 °C, en el margen izquierdo no cumple ninguna temperatura.

Con estas temperaturas de inicio del asfalto se debería a ver solicitado a la planta de asfalto que tengan en cuenta que las temperaturas de llegada no están cumpliendo los parámetros mínimos de llegada en obra que tienen que estar entre 120°C a 150°C.

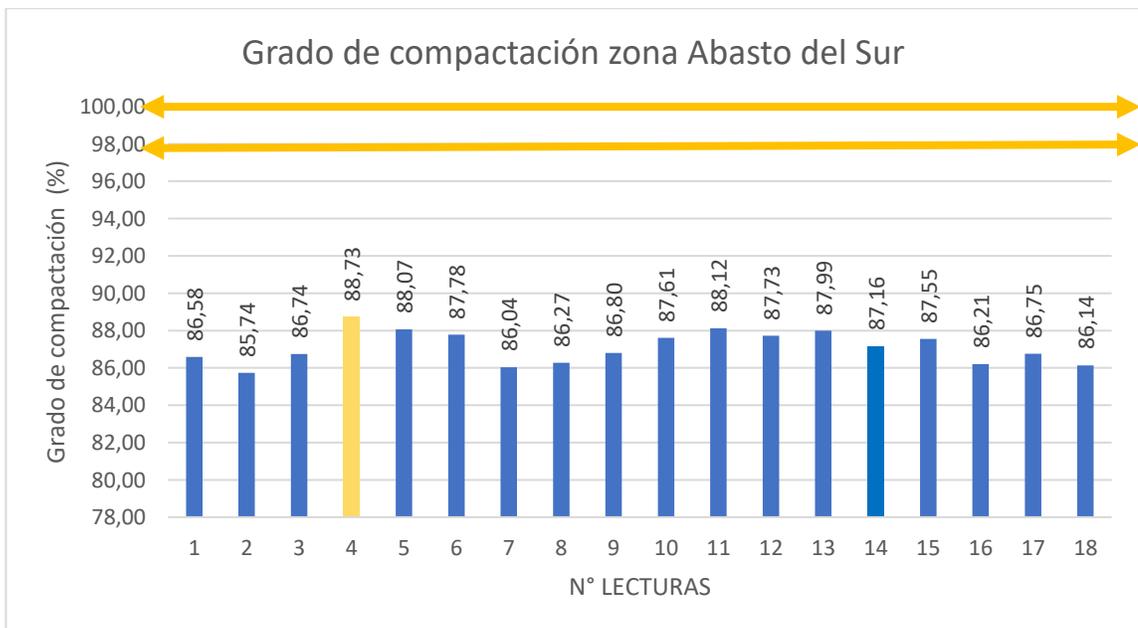
Grado de compactación zona Abasto de Sur

Gráfico 4.32 Grado de compactación al 2240 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

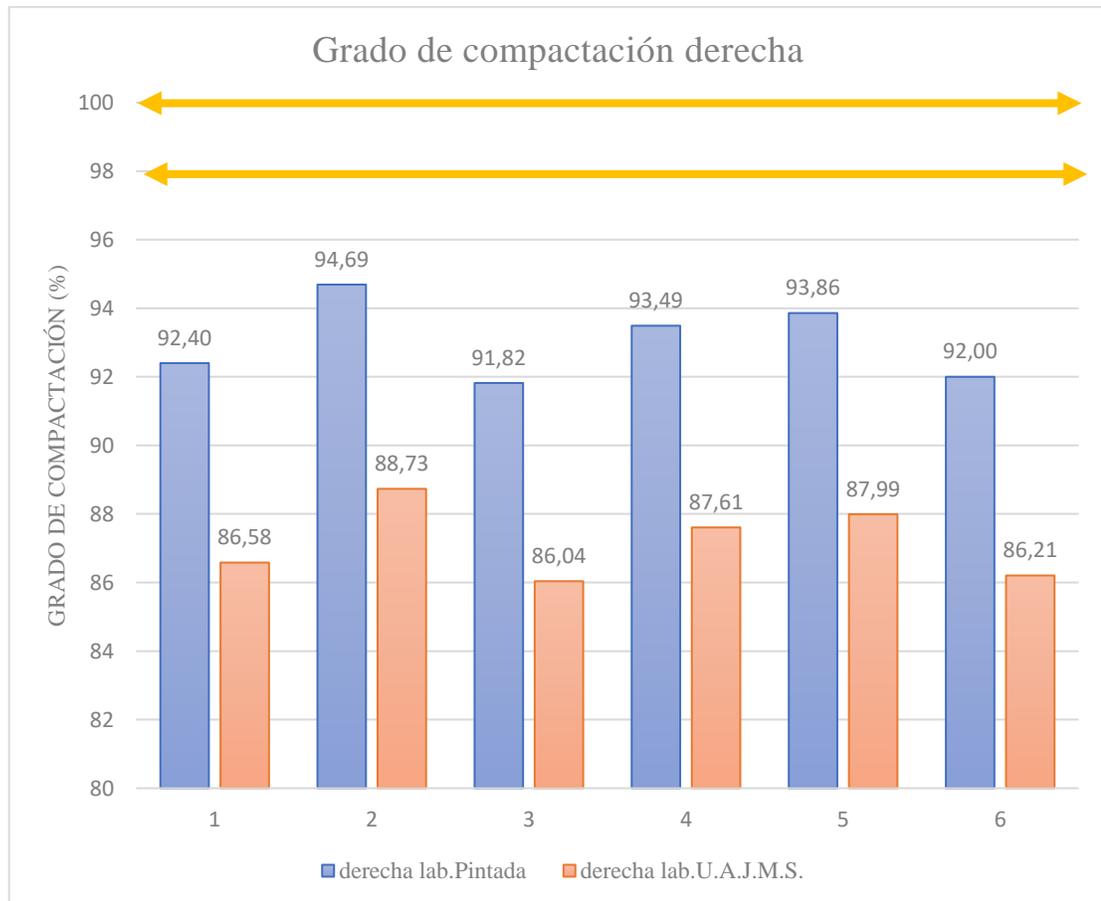
Gráfico 4.33 Grado de compactación al 2390 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 14 y 38 de la gráfica 4.11. y 4.12. de la zona Obrajes se tiene el grado de compactación más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de los grados de compactación obtenidas en campo cumple los parámetros y tampoco cumple el grado de compactación mínimo que es de 98 %.

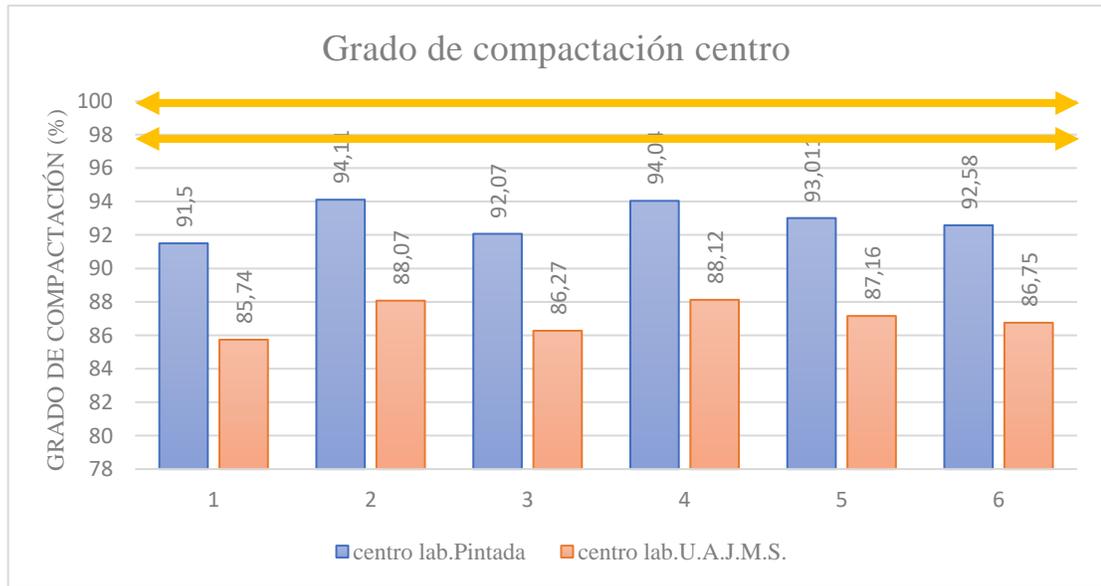
Gráfico 4.34 Grado de compactación derecha



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.34. muestra el comportamiento del grado de compactación del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que el grado de compactación más elevada fue punto 2 con un grado de compactación de 94,69 % al 2240 kg/m³ y 88,73 % al 2390 kg/m³, la más baja fue en los puntos 3 con un del grado de compactación de 91,82 % al 2240 kg/m³ y 86,04 % al 2390 kg/m³, en el margen derecho no cumple ningún del grado de compactación.

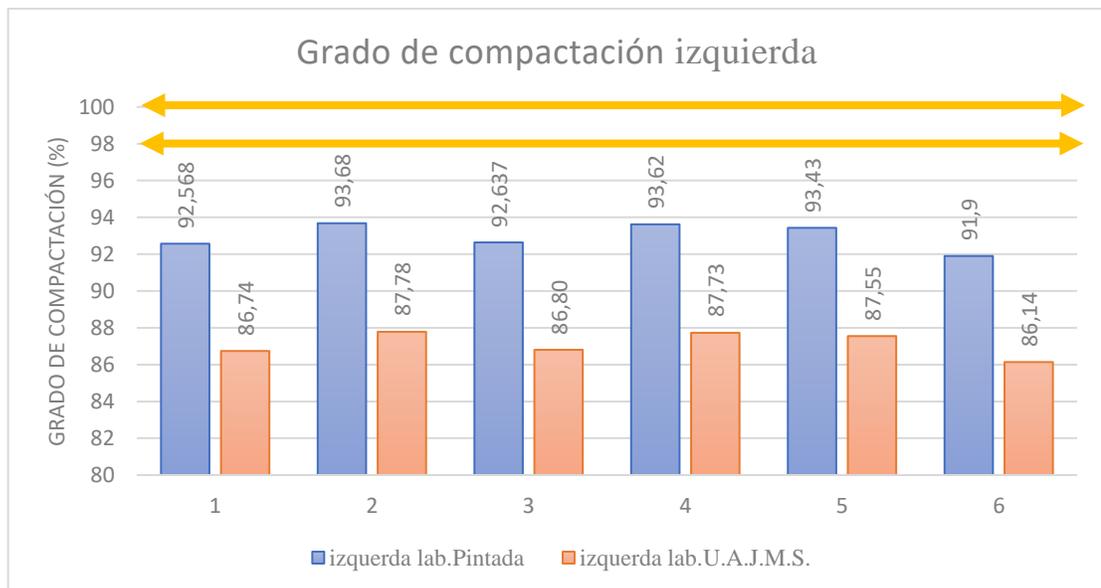
Gráfico 4.35 Grado de compactación centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.35. muestra el margen del centro donde se obtiene el grado de compactación más elevada en el punto 2 con un grado de compactación de 94,11 % al 2240 kg/m³ y 88,07 % al 2390 kg/m³ y la más baja fue en el punto 1 con un grado de compactación de 91,50 % al 2240 kg/m³ y 85,74 % al 2390 kg/m³, en el margen central no cumple ningún grado de compactación.

Gráfico 4.36 Grado de compactación izquierda



Fuente: Elaboración propia

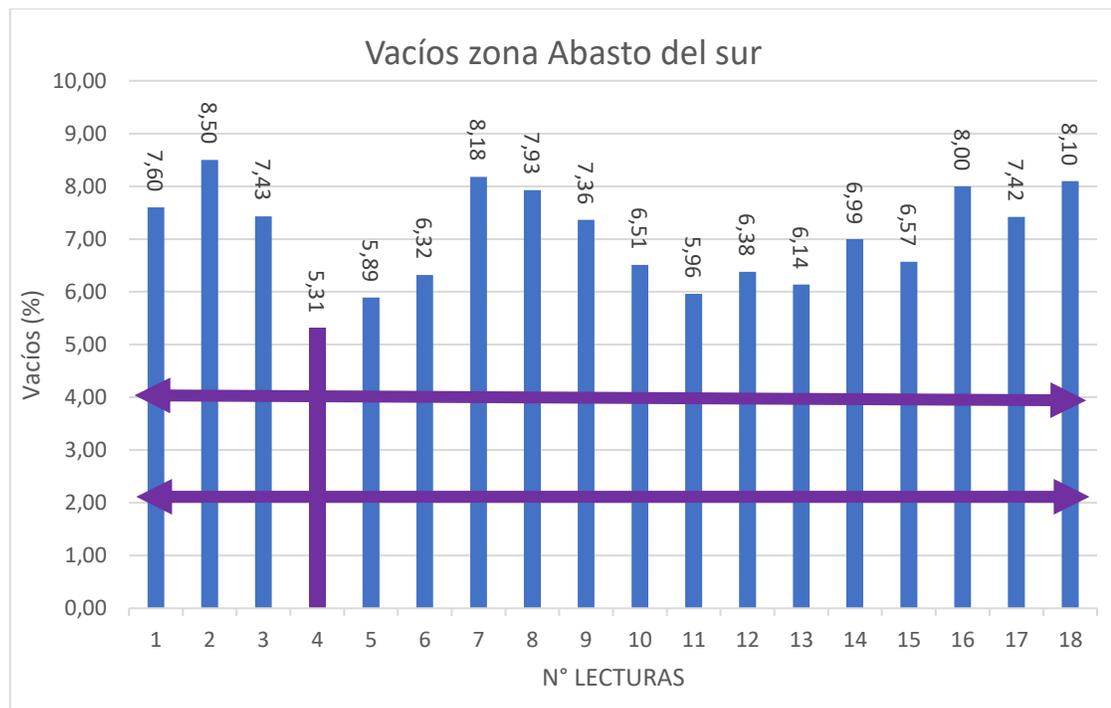
La gráfica 4.36. es el grado de compactación de la izquierda, donde el grado de compactación más elevada fue en los puntos 2 con un grado de compactación de 93,68 % al 2240 kg/m³ y 87,78 % al 2390 kg/m³, y el grado de compactación más baja fue en el punto 6 con un grado de compactación de 91,90 % al 2240 kg/m³ y 86,14 % al 2390 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ningún grado de compactación.

Las gráficas de grado de compactación fueron porcentajes a partir del diseño de la mezcla asfálticas tanto obtenida de la Pintada como realizadas por el tesista, el grado de compactación tiene un 5,85 % de diferencia, obteniendo mayor porcentaje de grado de compactación de los datos obtenidos por la Pintada.

En ninguno de las gráficas llega a lo mínimo del grado de compactación que es el 98 %.

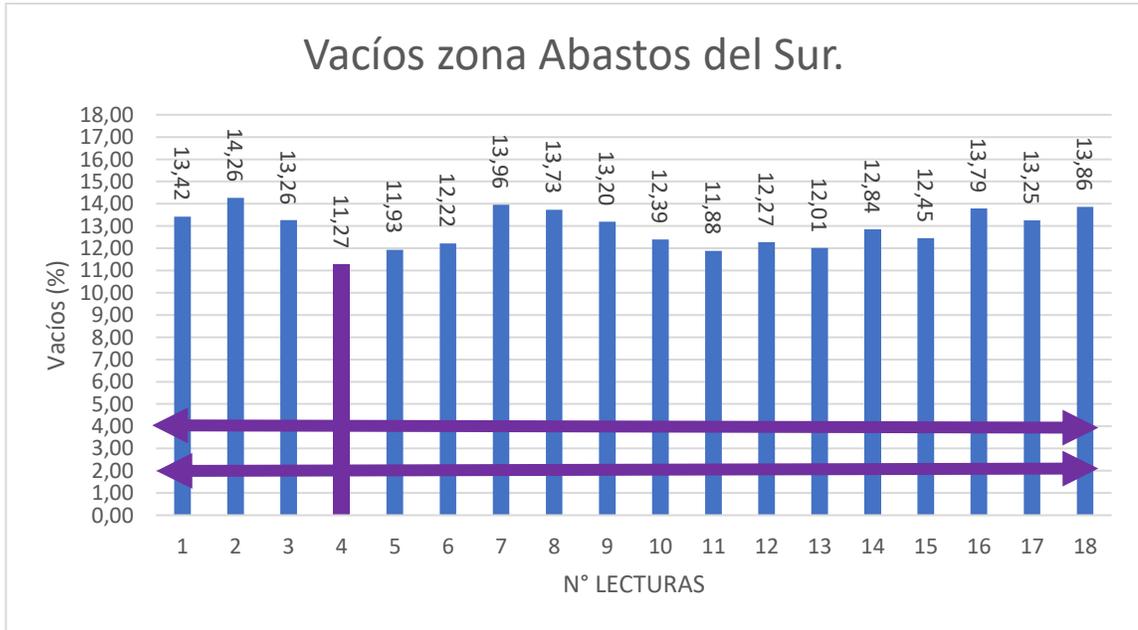
Vacíos zona Abasto del Sur

Gráfico 4.37 Comportamiento de los Vacíos al 2240 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

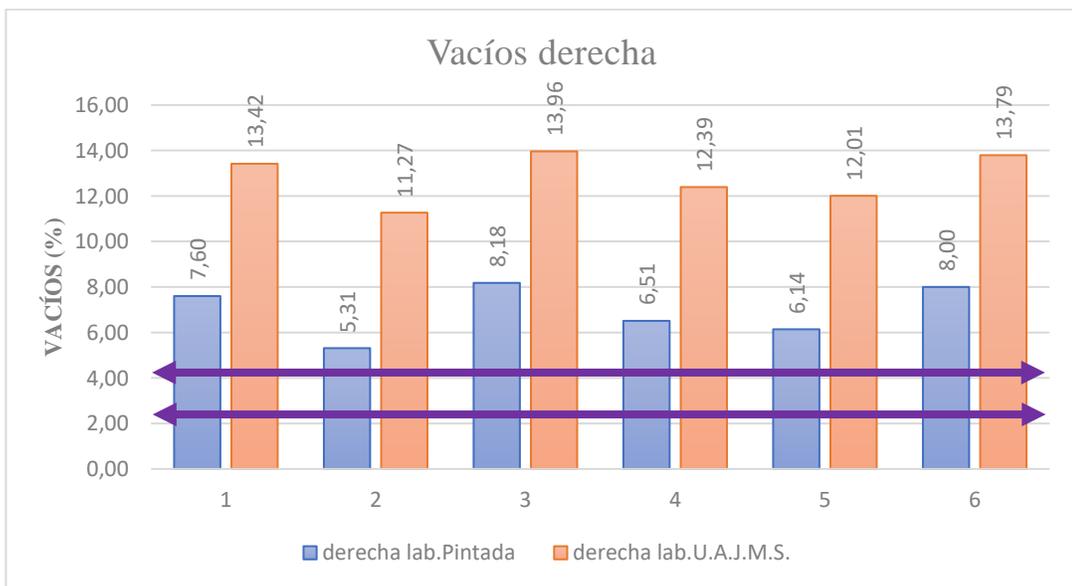
Gráfico 4.38 Comportamiento de los Vacíos 2390 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 4 de las gráficas 4.35. y 4.36. de la zona del Abasto del Sur se tiene los vacíos más bajas obtenidas de las lecturas con el equipo PQI-380, en los dos puntos de vacíos con los valores de 2240 kg/m³, y a los vacíos al 2390 kg/m³ no cumplen ninguna.

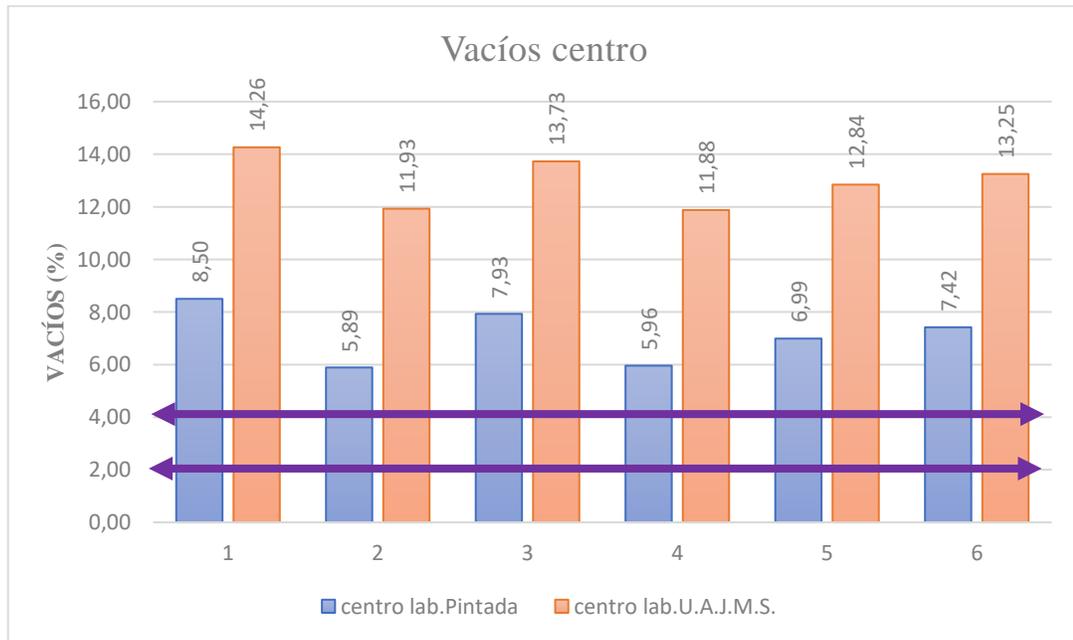
Gráfico 4.39 Vacíos derecha



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.39. muestra los vacíos del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar los vacíos más bajos fue punto 2 con vacíos de 5,31 % al 2240 kg/m³ y 12,27 % al 2390 kg/m³, la más elevadas fue en el punto 3 con de 8,18 % al 2240 kg/m³ y 12,39 % al 2390 kg/m³, en el margen derecho no cumple ningún de los vacíos.

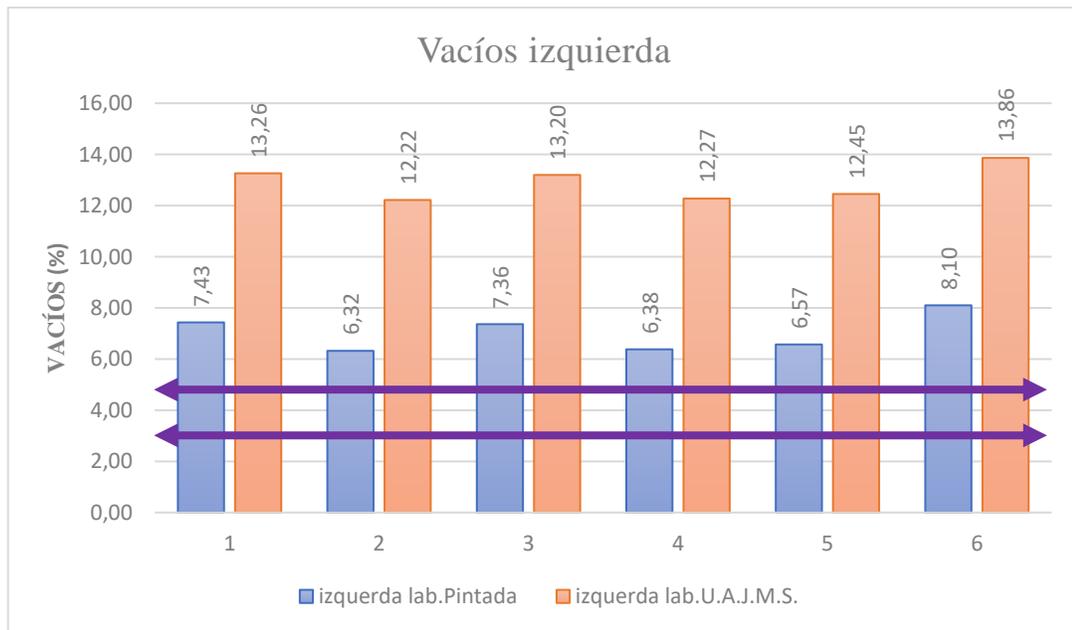
Gráfico 4.40 Vacíos centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.40. muestra el margen del centro donde se obtiene los vacíos más bajos en el punto 2 con vacíos 5,89 % al 2240 kg/m³ y 11,93 % al 2390 kg/m³ y los más elevados fue en el punto 1 con vacíos de 8,50 % al 2240 kg/m³ y 14,26 % al 2390 kg/m³, en el margen central no cumple ningún de los vacíos.

Gráfico 4.41 Vacíos izquierda



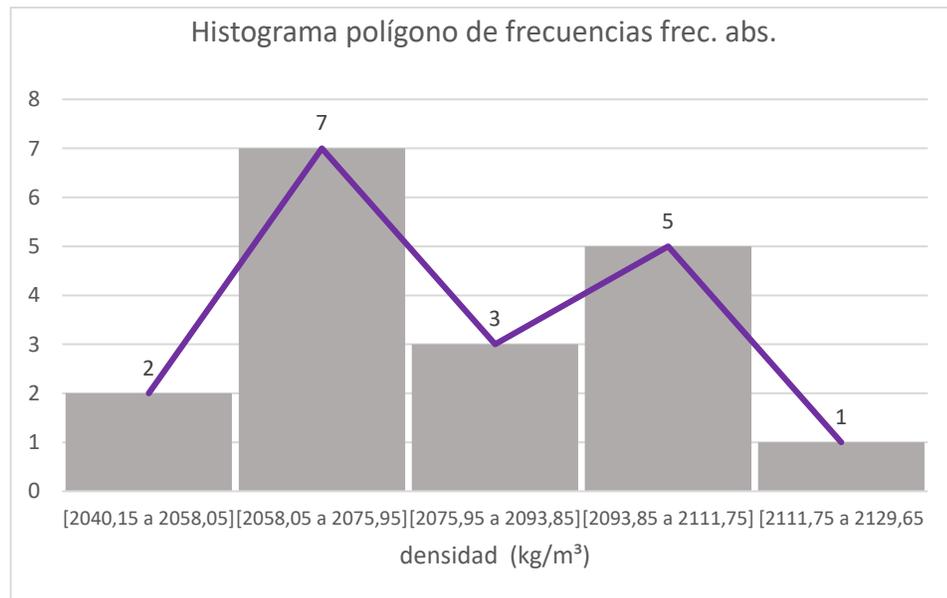
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.41. son los vacíos de la izquierda donde los vacíos más bajos fue en los puntos 2 con vacíos 6,32 % al 2240 kg/m³ y 12,22 % al 2390 kg/m³, y los vacíos más elevados fue en el punto 1 con vacíos de 7,43 % al 2240 kg/m³ y 13,26 % al 2390 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ningún de los vacíos.

Los datos obtenidos del abasto del Sur ninguno cumplen los parámetros mínimos de vacíos que están entre un intervalo de 2 % y 4 %. El porcentaje de diferencia de datos son de 5,82 %.

Con los datos obtenidos se puede decir que las densidades, temperaturas, grado de compactación y vacíos no cumplen y por cada pasada que hacia la compactadora con rodillo nos daba una densidad de promediada de 24,6 kg/m³ y compactadora a neumático nos dio un valor de pasada de 20,7 kg/m³, por lo tanto, se debería haber dado tres pasadas más con el rodillo y dos más con el neumático para llegar a una densidad mínima.

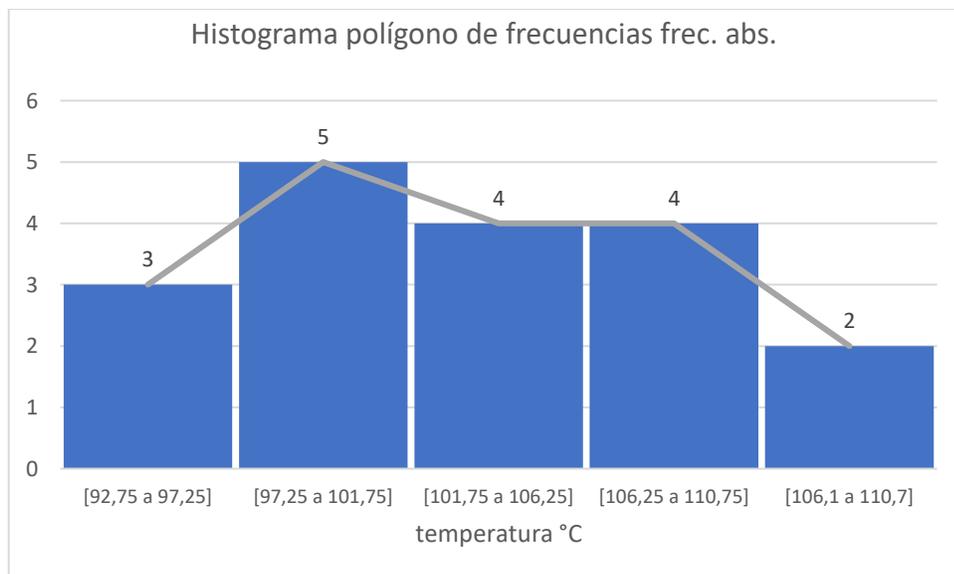
Gráfico 4.42 Histograma de densidad



Fuente: Elaboración propia

Se pudo obtener el histograma de frecuencia donde se puede observar que entre los intervalos 2058,05 kg/m³ y 2075,95 kg/m³ se tiene la mayoría de datos obtenidas en la zona del abasto del Sur. Donde la distribución tiene cola al lado derecho, sesgada a la derecha (positiva).

Gráfico 4.43 Histograma de temperatura



Fuente: Elaboración propia

Se pudo obtener el histograma de frecuencia donde se puede observar que entre los intervalos 97,25 °C y 101,75 °C se tiene la mayoría de datos obtenidas en la zona del abasto del Sur. Donde la distribución tiene cola al lado derecho, sesgada a la derecha (positiva). Y su achatamiento es leptocúrtica.

4.3.1.3 San Antonio

Ajuste de la distribución teórica.

datos de los 3 métodos que se necesita para realizar el método de Prueba de bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov.

Tabla 4.12 Resumen de estimación de parámetros

Zona de San Antonio		Densidad	Temperatura	Grado de compactación	Vacíos
		kg/m ³	°C	%	%
Numero de datos n		42	42	42	42
Distribución normal	Media	2094,07	102,43	93,52	6,480
	Desviación	33,19	5,570	1,460	1,460
Distribución log. normal	cv	0,016	0,054	0,016	0,225
	Sy	0,016	0,054	0,016	0,223
	Uy	7,650	4,630	4,538	1,844
Distribución Gumbel	α	25,88	4,340	1,139	1,139
	μ	2079,13	99,92	92,860	5,824

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 9

Los parámetros en la distribución Normal son el parámetro de posición que es igual a la media aritmética, y el parámetro de escala que numéricamente es igual a la desviación.

Los parámetros en la distribución Log - Normal son el parámetro de posición que es la media de los logaritmos de cada dato, y el parámetro de escala es la desviación del logaritmo.

Los parámetros en la distribución Gumbel, son estimación de parámetros α y β , para muestras relativamente pequeñas.

- Comparación del nivel de significancia

Comparando los valores de Δ , con el valor crítico Δ_0 de la tabla con los siguientes criterios de decisión.

Tabla 4.13 Comparación del valor estadístico Δ , con el valor crítico Δ_0

Densidad	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,158	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,155	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,128	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
Temperatura	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,113	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,103	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,128	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
Grado de compactacion	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,159	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,157	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,123	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
Vacíos	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,159	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,192	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,206	<	$\Delta_0=$	0,210	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 9

Se concluye que los datos de densidad, temperatura, grado de compactación y vacíos se ajustan a las distribuciones, con un nivel de significancia del 5% o una probabilidad del 95%. De la zona san Antonio.

- Nivel de significancia con datos del diseño de mezcla asfáltica.

Resultados de los datos propuestos con el nivel de significancia a partir de los datos obtenidos de los laboratorios para verificar su cumplimiento que se podrá ver en la siguiente tabla.

Tabla 4.14 Datos propuestos con el nivel de significancia

	$P(Q \geq q) = P(Q \geq X) = 1 - F z$			$P(q1 \leq Q \leq q2) = P(X1 \leq Q \leq X2) = F Z2 - F Z1$		
	Si es mayor o igual			Comprendido entre		
Densidad lab Pintada	q1=	2240,00	kg/m ³	q1=	2240,00	kg/m ³
				q2=	2195,20	kg/m ³
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Densidad lab U.A.J.M.S.	q1=	2390,00	kg/m ³	q1=	2390,00	kg/m ³
				q2=	2342,20	kg/m ³
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Temperatura	q1=	120,00	°C	q1=	120,00	°C
				q2=	150,00	°C
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Grado de compactacion lab Pintada	q1=	100,00	%	q1=	98,00	%
				q2=	100,00	%
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Grado de compactacion lab U.A.J.M.S.	q1=	100,00	%	q1=	98,00	%
				q2=	100,00	%
	1 - F z	0	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Vacíos lab pintada	q1=	2,00	%	q1=	2,00	%
				q2=	4,00	%
	1 - F z	1,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,0	No cumple
Vacíos lab U.A.J.M.S.	q1=	2,00	%	q1=	2,00	%
				q2=	4,00	%
	1 - F z	1,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos estos valores, se puede observar que, no satisfacen los parámetros en el nivel de significancia, llevándolos a no cumplir con los valores mínimos para una capa bituminosa de buena calidad.

➤ Método de Chi-Cuadrado.

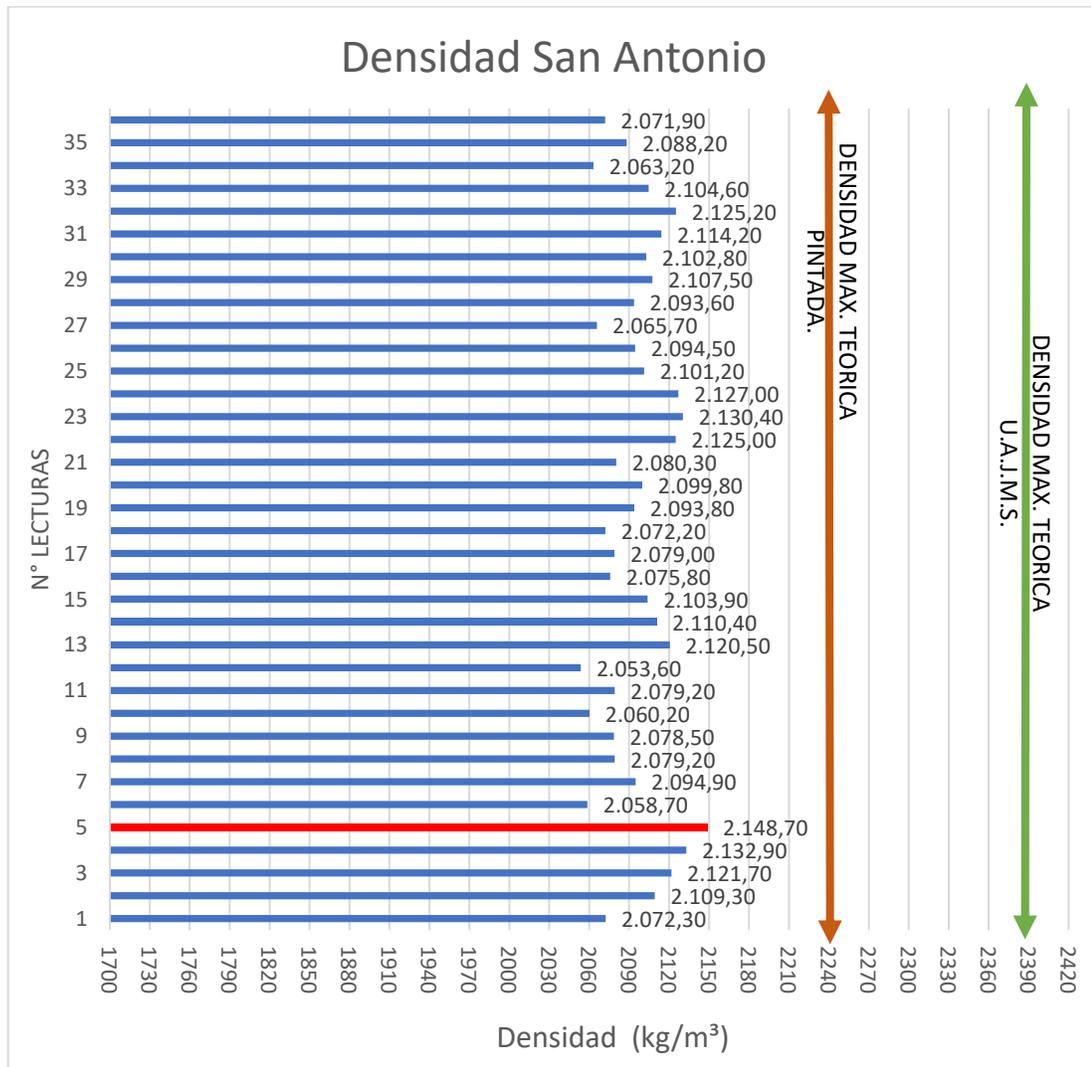
Tabla 4.15 Método Chi-Cuadrado

Criterio de decisión método Chi-Cuadrado						
Densidad	$\chi^2_c=$	3,27	≤	$\chi^2_t=$	7,81	Cumple
Temperatura	$\chi^2_c=$	4,44	≤	$\chi^2_t=$	7,81	Cumple
Grado de compactación	$\chi^2_c=$	2,33	≤	$\chi^2_t=$	7,81	Cumple
Vacíos	$\chi^2_c=$	0,96	≤	$\chi^2_t=$	7,81	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Densidad zona San Antonio

Gráfico 4.44 Comportamiento de la densidad

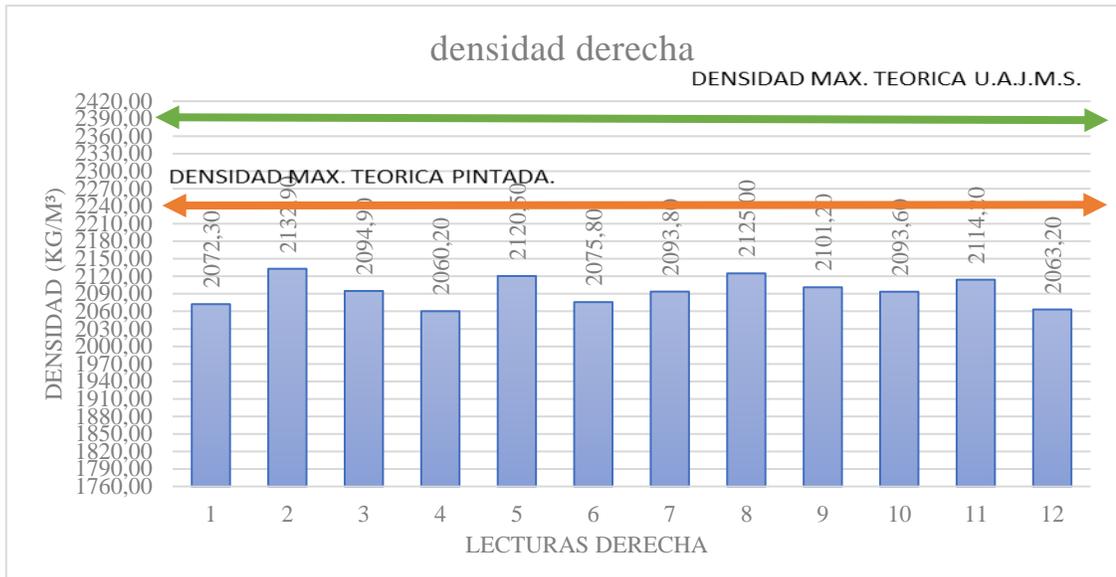


Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 5 de la gráfica 4.42. de la zona Obrajes se tiene la densidad más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de las densidades obtenidas en campo cumple los parámetros mínimos de diseño realizados en laboratorio por lo tanto se debería a ver realizado mejor el control con la maquinaria para llegar a una densidad óptima.

Se pudo observar que la alcaldía no contaba con equipos modernos para realizar el control de las carpetas asfálticas.

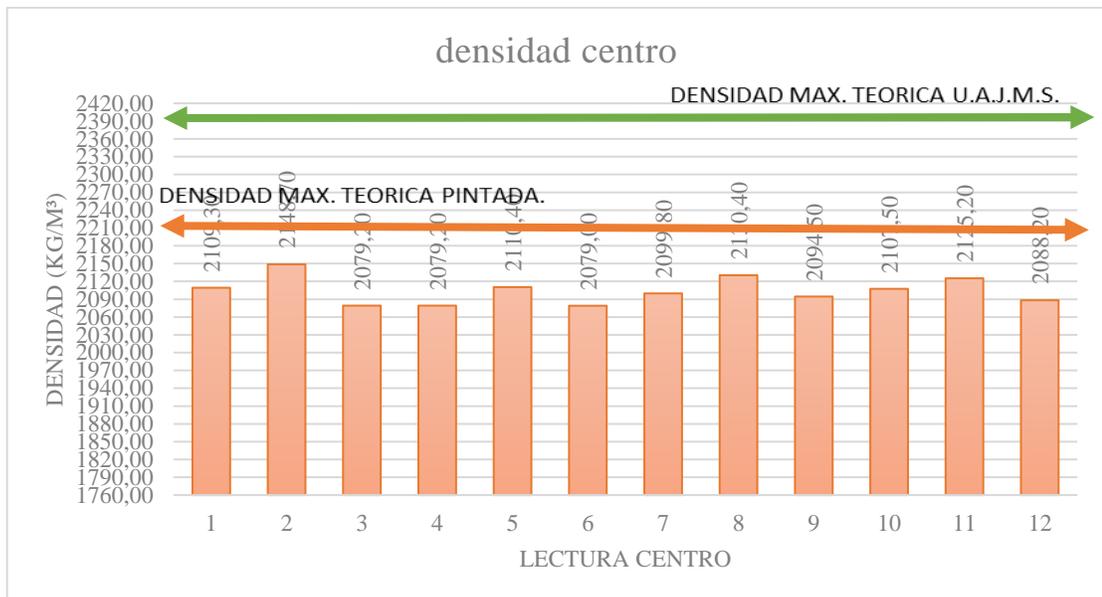
Gráfico 4.45 Densidad margen derecho



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.45. muestra el comportamiento de la densidad del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que la densidad más elevada fue punto 2 con una densidad de 2132,90 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 4 con una densidad de 2060,20 kg/m³, en el margen derecho no cumple ninguna densidad.

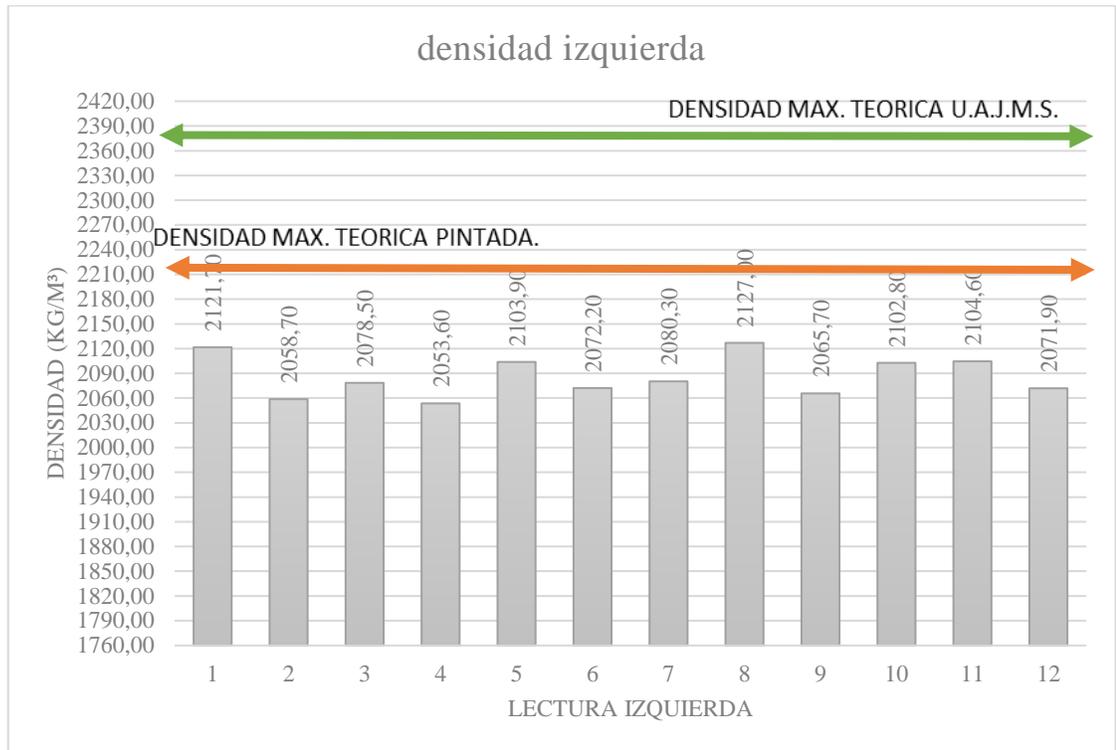
Gráfico 4.46 Densidad margen centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.46. muestra el margen del centro donde se obtiene la densidad más elevada en el punto 2 con una densidad de 2148,70 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 6 con una densidad de 2079,00 kg/m³, en el margen central no cumple ninguna densidad.

Gráfico 4.47 Densidad margen izquierdo



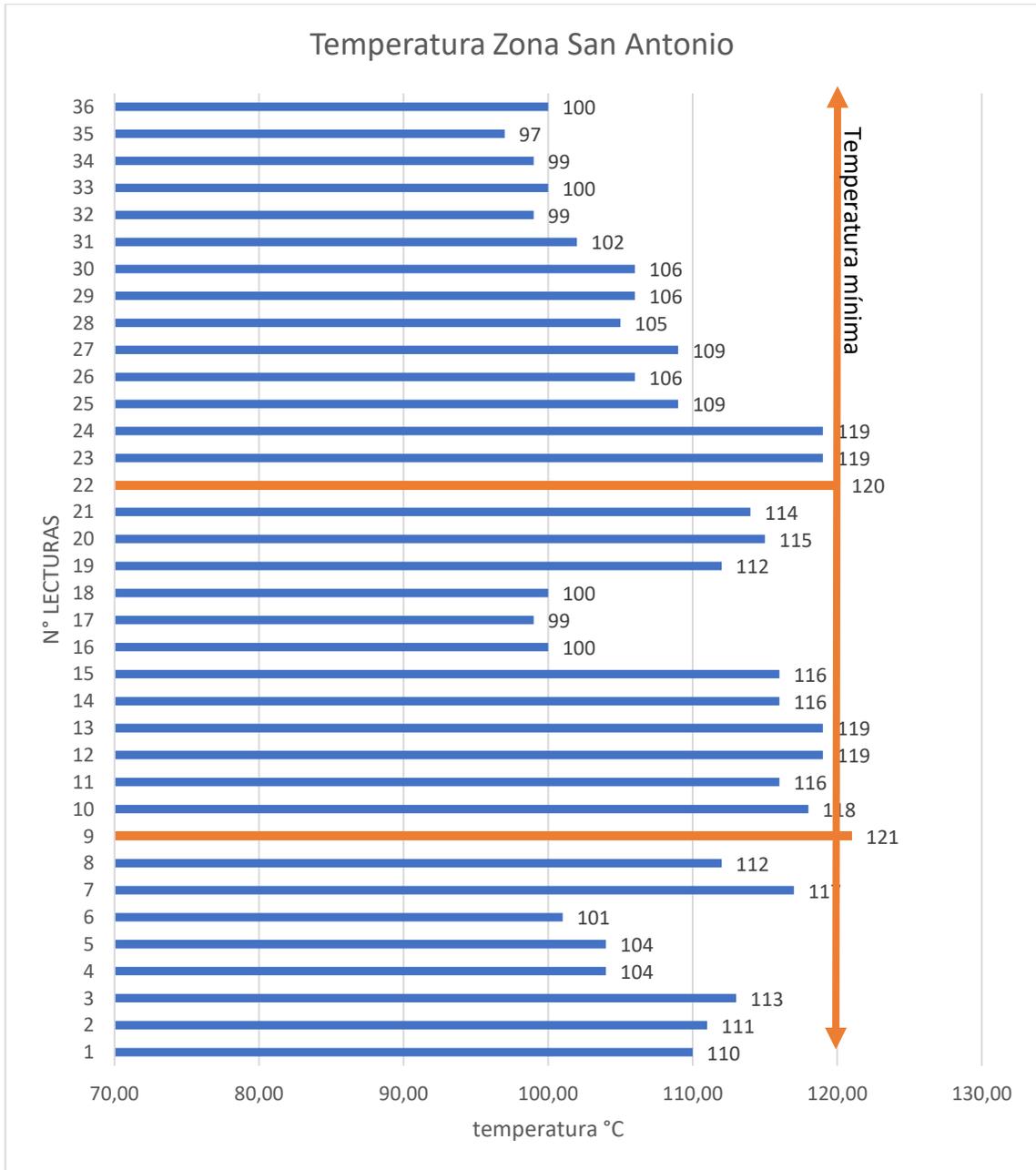
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.47. es la densidad de la izquierda, donde la densidad más elevada fue en el punto 1 con una densidad de 2127,70 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 4 con una densidad de 2053,60 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ninguna densidad.

Las densidades del margen del centro son más elevadas, pero se puede observar en las gráficas que ninguna densidad cumple los parámetros mínimos de densidad de diseño.

Temperatura zona san Antonio

Gráfico 4.48 Comportamiento de la Temperatura



Fuente: Elaboración propia

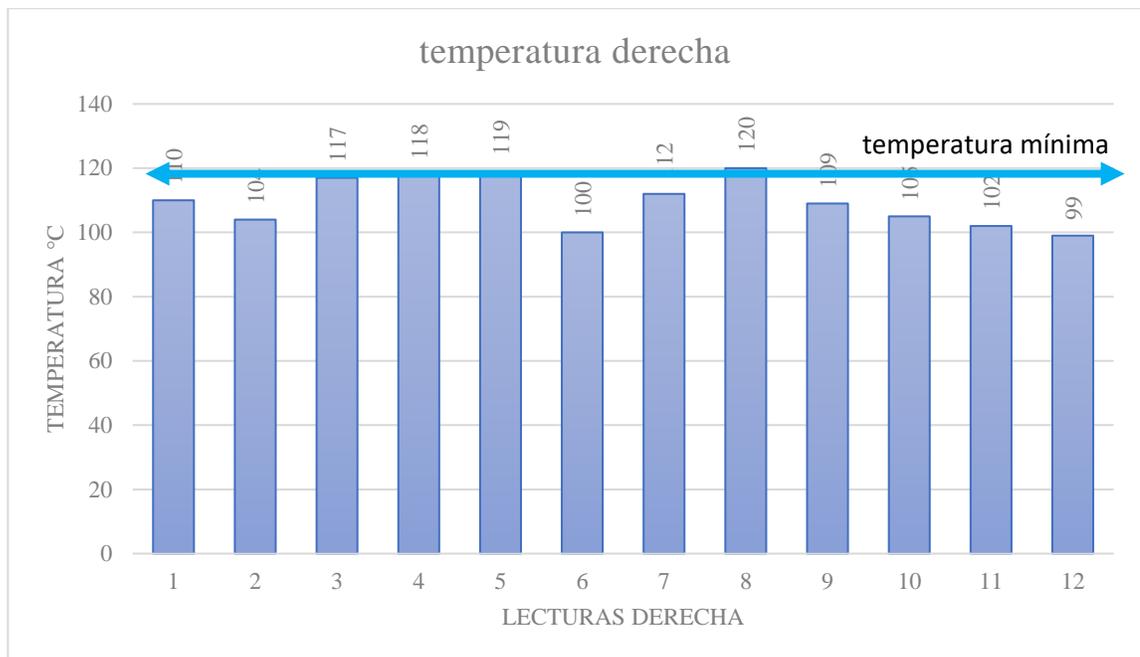
Se puede observar que en el punto 9 y 22 de la gráfica 4.48. de la zona San Antonio se tiene la temperatura más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, dos

temperaturas cumplen los parámetros mínimos que tiene que estas entre las temperaturas de 120 °C a 150 °C.

Se pudo observar que la alcaldía no contaba con equipos de lectura de temperatura y personal que controle la temperatura de llegada de las volquetas con el material asfáltico.

Aunque en esta zona se puede observar que existen temperaturas que cumplen, pero son muy pocas las mayorías no cumplen.

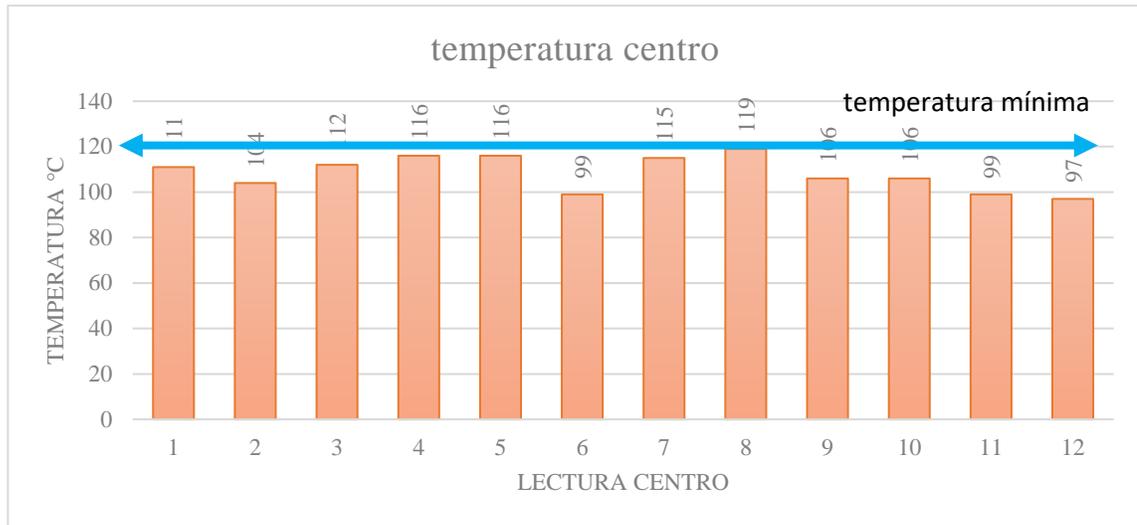
Gráfico 4.49 Temperatura margen derecho



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.49. muestra el comportamiento de las temperaturas del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que la temperatura más elevada fue punto 8 con una temperatura de 120 °C y la más baja fue en el punto 6 con una temperatura de 100 °C, en el margen derecho no cumple ninguna de las temperaturas.

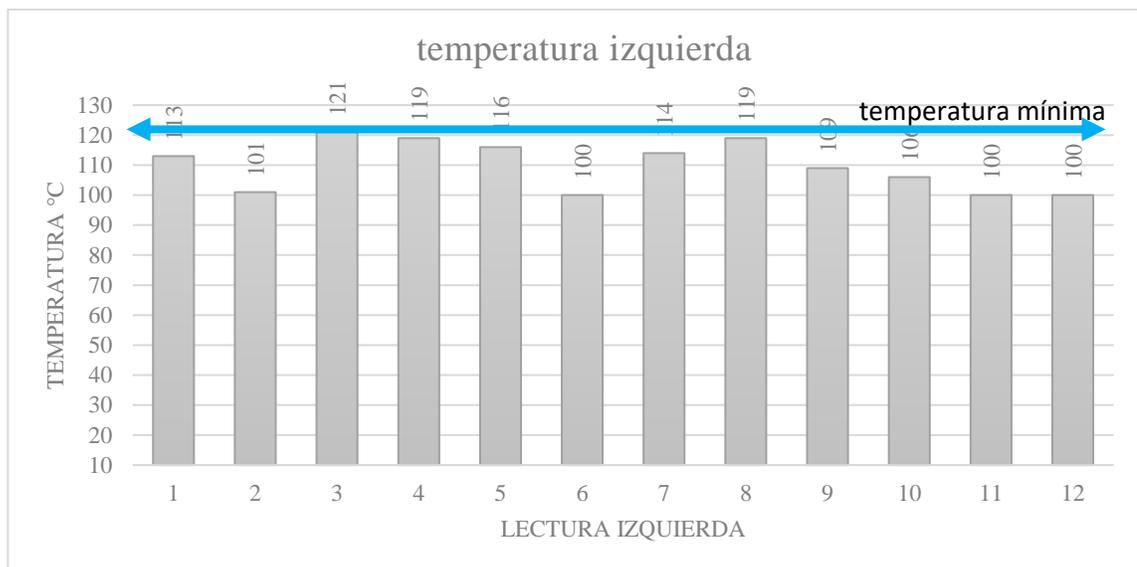
Gráfico 4.50 Temperatura margen centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.50. muestra el margen del centro donde se obtiene la temperatura más elevada en el punto 8 con una temperatura de 119 °C y la más baja fue en el punto 12 con una temperatura de 97 °C, en el margen central no cumple ninguna temperatura.

Gráfico 4.51 Temperatura margen izquierdo



Fuente: Elaboración propia

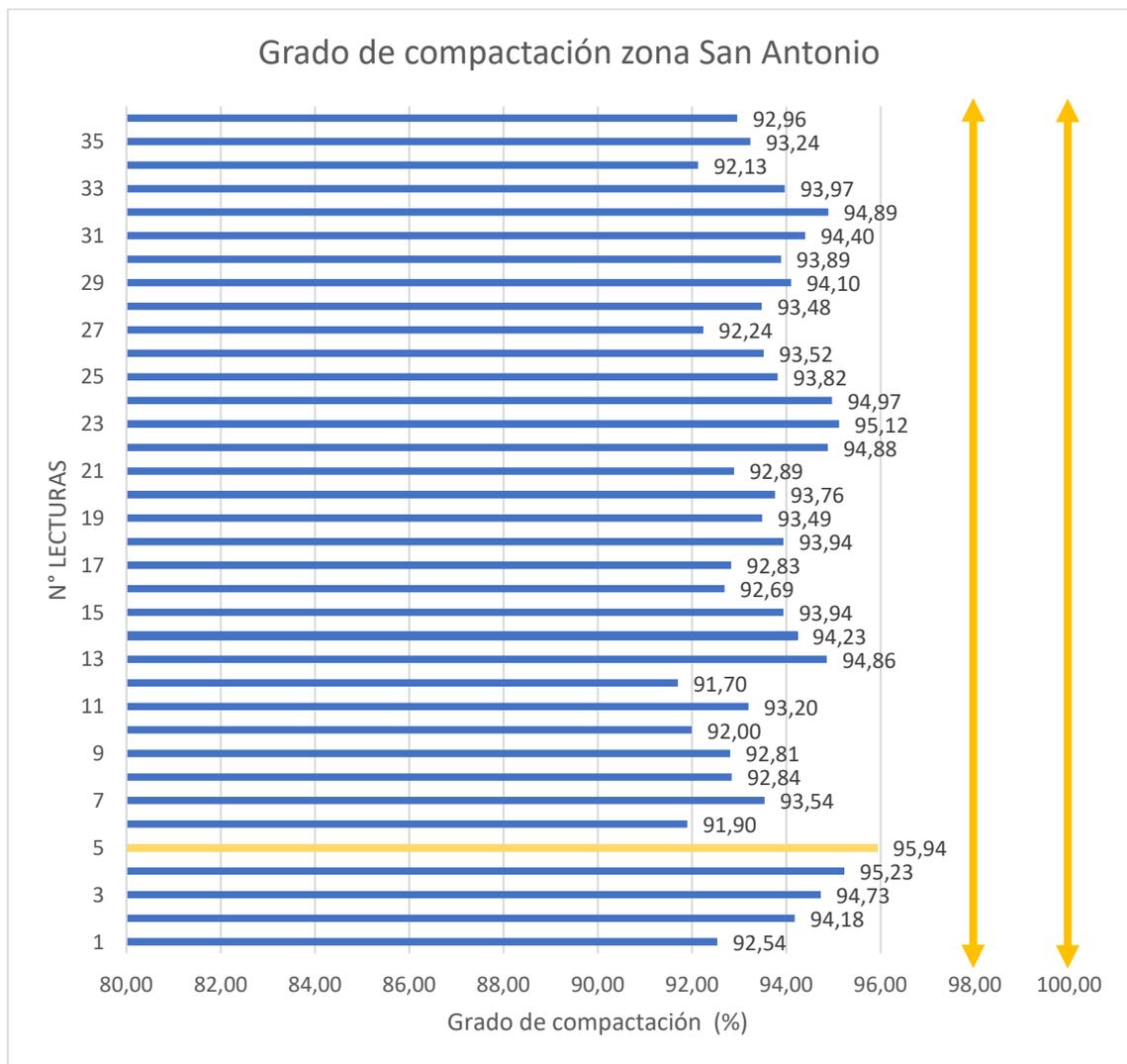
La gráfica 4.51. es la temperatura de la izquierda, donde la temperatura más elevada fue en el punto 3 con una temperatura de 121 °C y la temperatura más baja fue en los puntos

6, 11 y 12 con temperaturas de 100°C, en el margen izquierdo solo cumple una temperatura

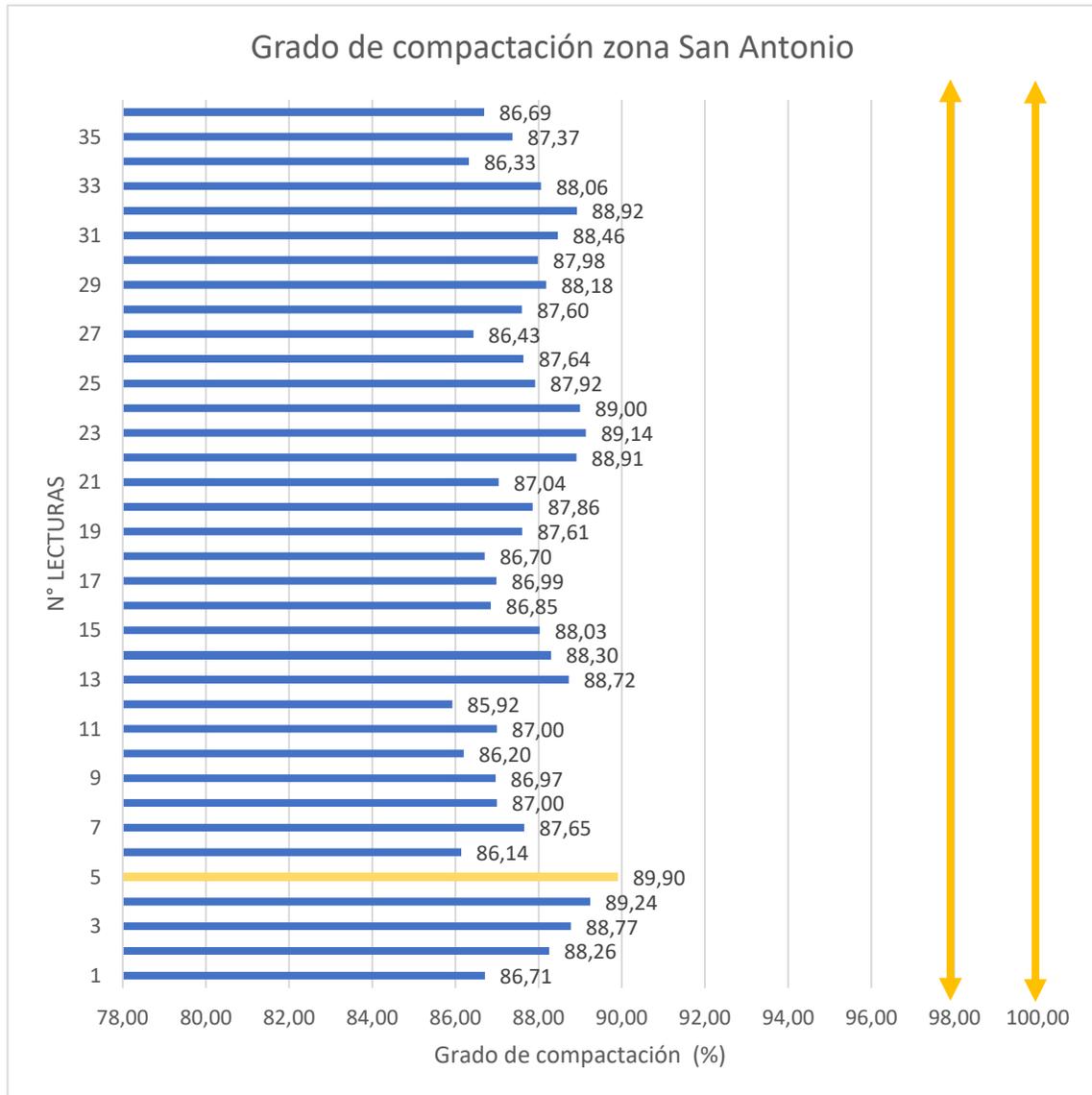
Con estas temperaturas de inicio del asfaltado se debería a ver solicitado a la planta de asfalto que tengan en cuenta que las temperaturas de llegada no están cumpliendo en la mayoría de los puntos los parámetros mínimos de llegada en obra que tienen que estar entre 120°C a 150°C se pudo obtener dos puntos que si cumplían uno en el margen derecho y otro en el margen izquierdo.

Grado de compactación zona san Antonio

Gráfico 4.52 Grado de compactación al 2240 kg/m³



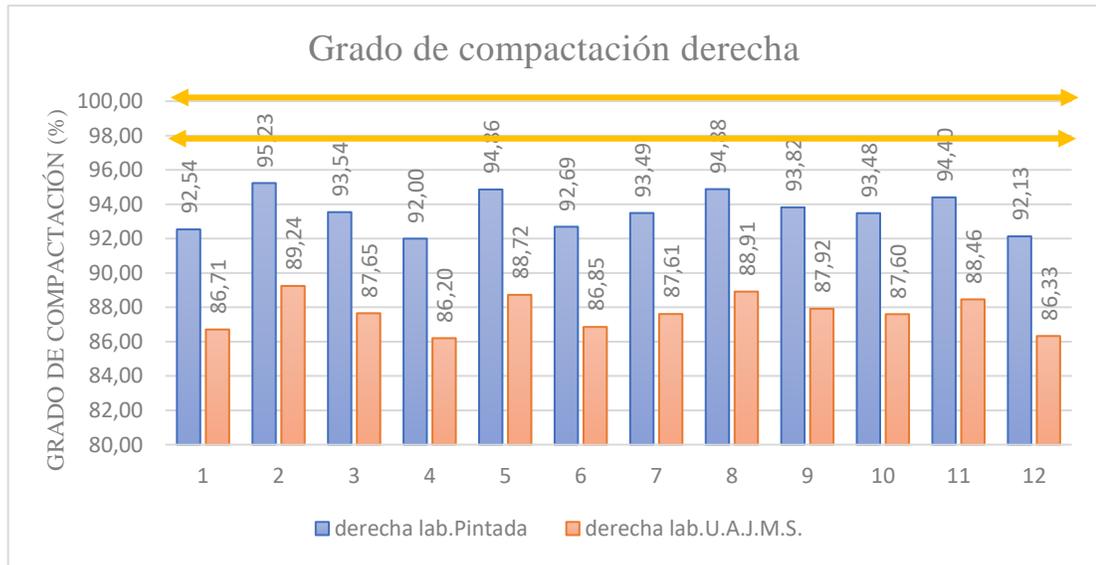
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.53 Grado de compactación al 2390 kg/m³

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 5 de la gráfica 4.52. y 4.53. de la zona Obrajés se tiene el grado de compactación más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de los grados de compactación obtenidas en campo cumple los parámetros y tampoco cumple el grado de compactación mínimo que es de 98 %.

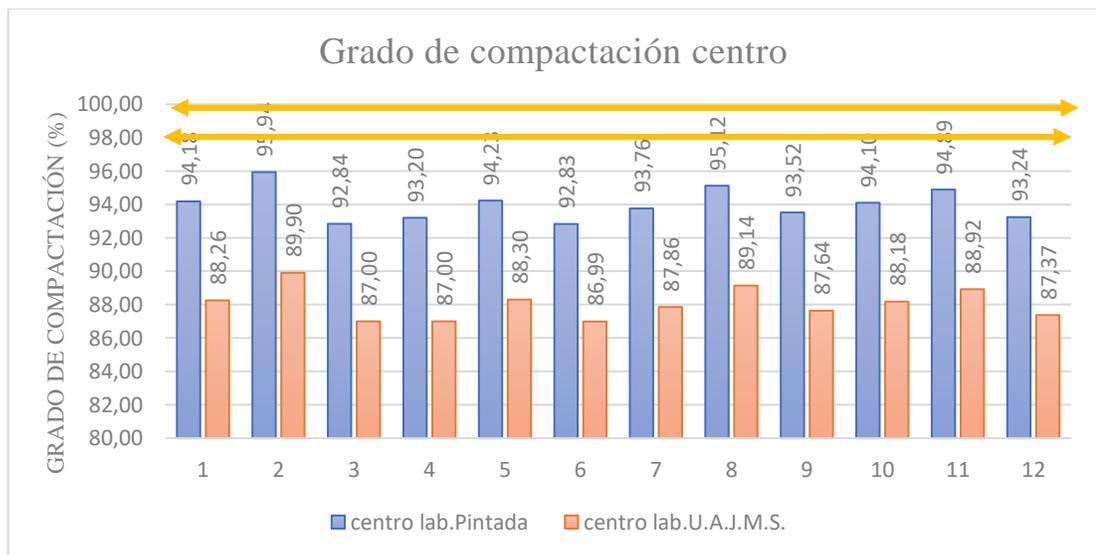
Gráfico 4.54 Grado de compactación derecha



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.54. muestra el comportamiento del grado de compactación del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que el grado de compactación más elevada fue punto 2 con un grado de compactación de 95,23 % al 2240 kg/m³ y 89,24 % al 2390 kg/m³, la más baja fue en el punto 4 con un del grado de compactación de 92,00 % al 2240 kg/m³ y 86,20 % al 2390 kg/m³, en el margen derecho no cumple ningún del grado de compactación.

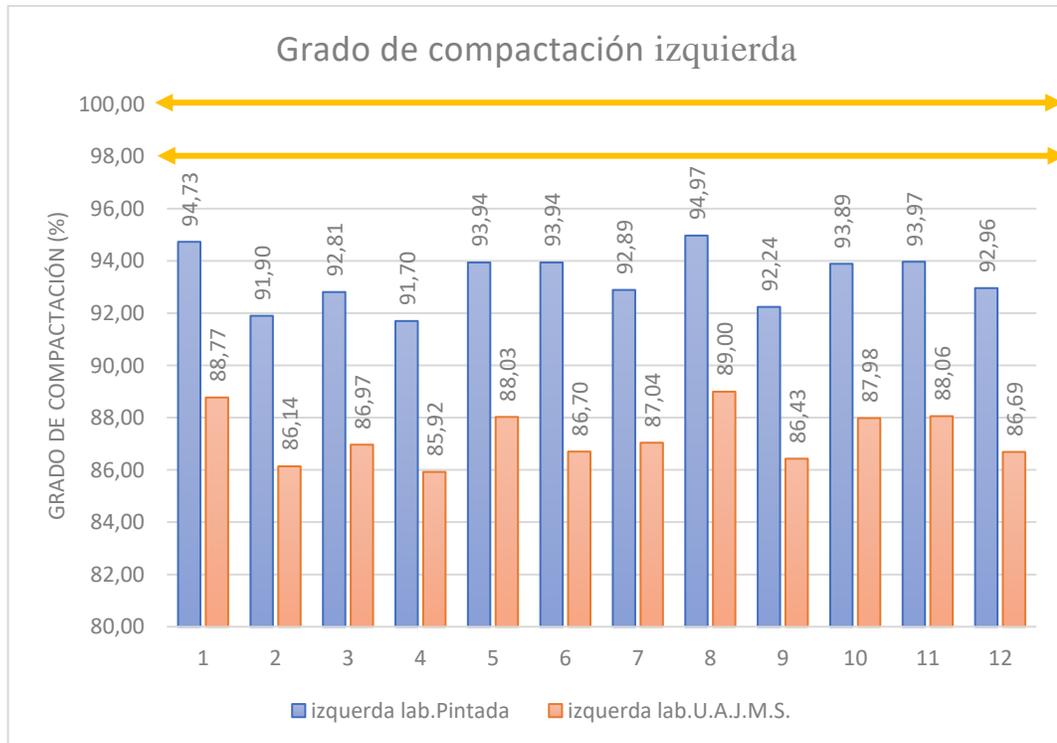
Gráfico 4.55 Grado de compactación centro



Fuente: Elaboración propia

la gráfica 4.55. muestra el margen del centro donde se obtiene la t grado de compactación más elevada en el punto 2 con un grado de compactación de 95,94 % al 2240 kg/m³ y 89,90 % al 2390 kg/m³ y la más baja fue en el punto 6 con un grado de compactación de 92,83 % al 2240 kg/m³ y 86,99 % al 2390 kg/m³, en el margen central no cumple ningún grado de compactación.

Gráfico 4.56 Grado de compactación izquierda



Fuente: Elaboración propia

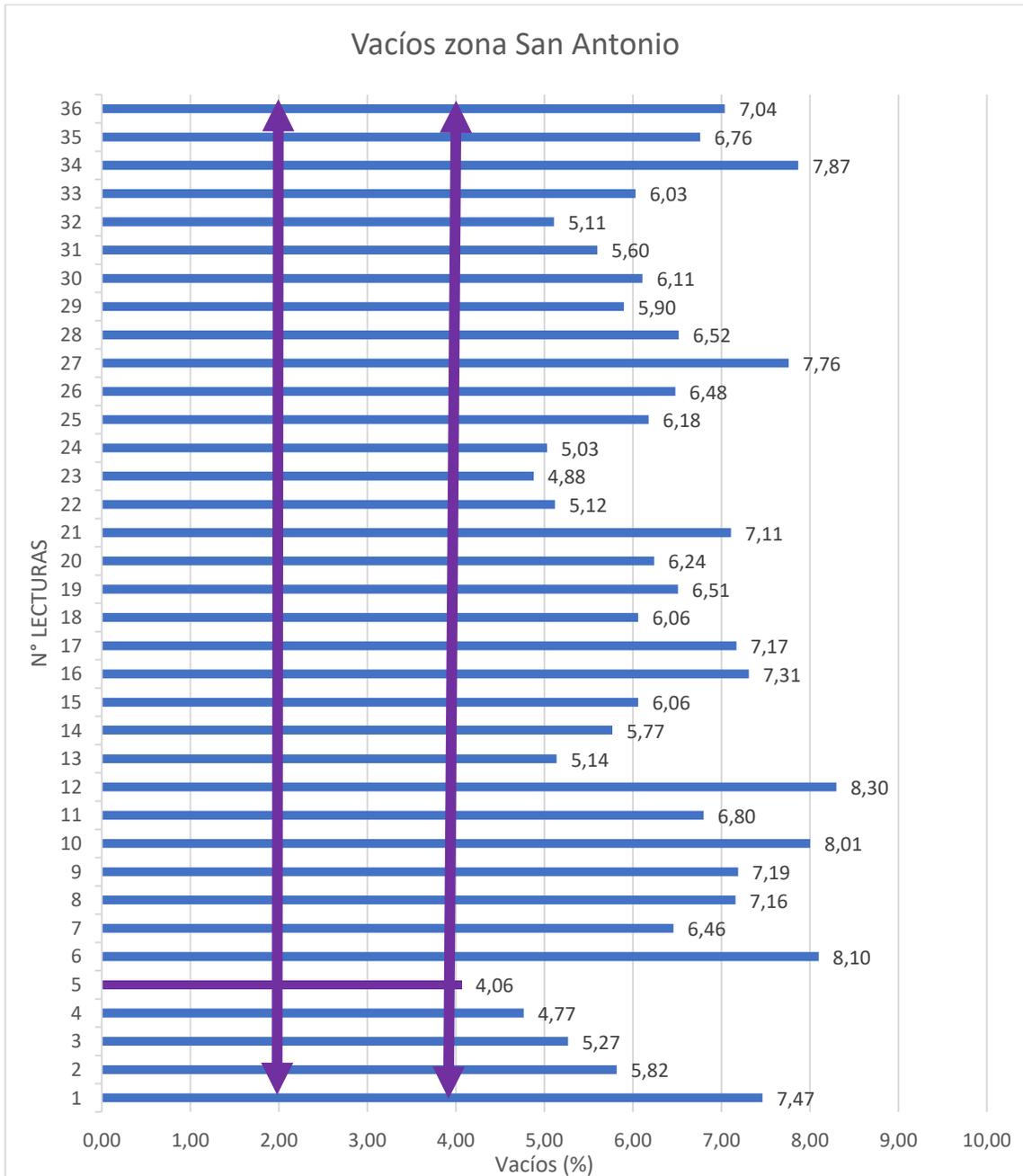
La gráfica 4.56. es el grado de compactación de la izquierda, donde el grado de compactación más elevada fue en el punto 8 con un grado de compactación de 94,97 % al 2240 kg/m³ y 89,00 % al 2390 kg/m³, y el grado de compactación más baja fue en el punto 4 con un grado de compactación de 91,70 % al 2240 kg/m³ y 85,92 % al 2390 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ningún grado de compactación.

Las gráficas de grado de compactación fueron porcentajes a partir del diseño de la mezcla asfálticas tanto obtenida de la Pintada como realizadas por el tesista, el grado de compactación tiene un 5,85 % de diferencia, obteniendo mayor porcentaje de grado de compactación de los datos obtenidos por la Pintada.

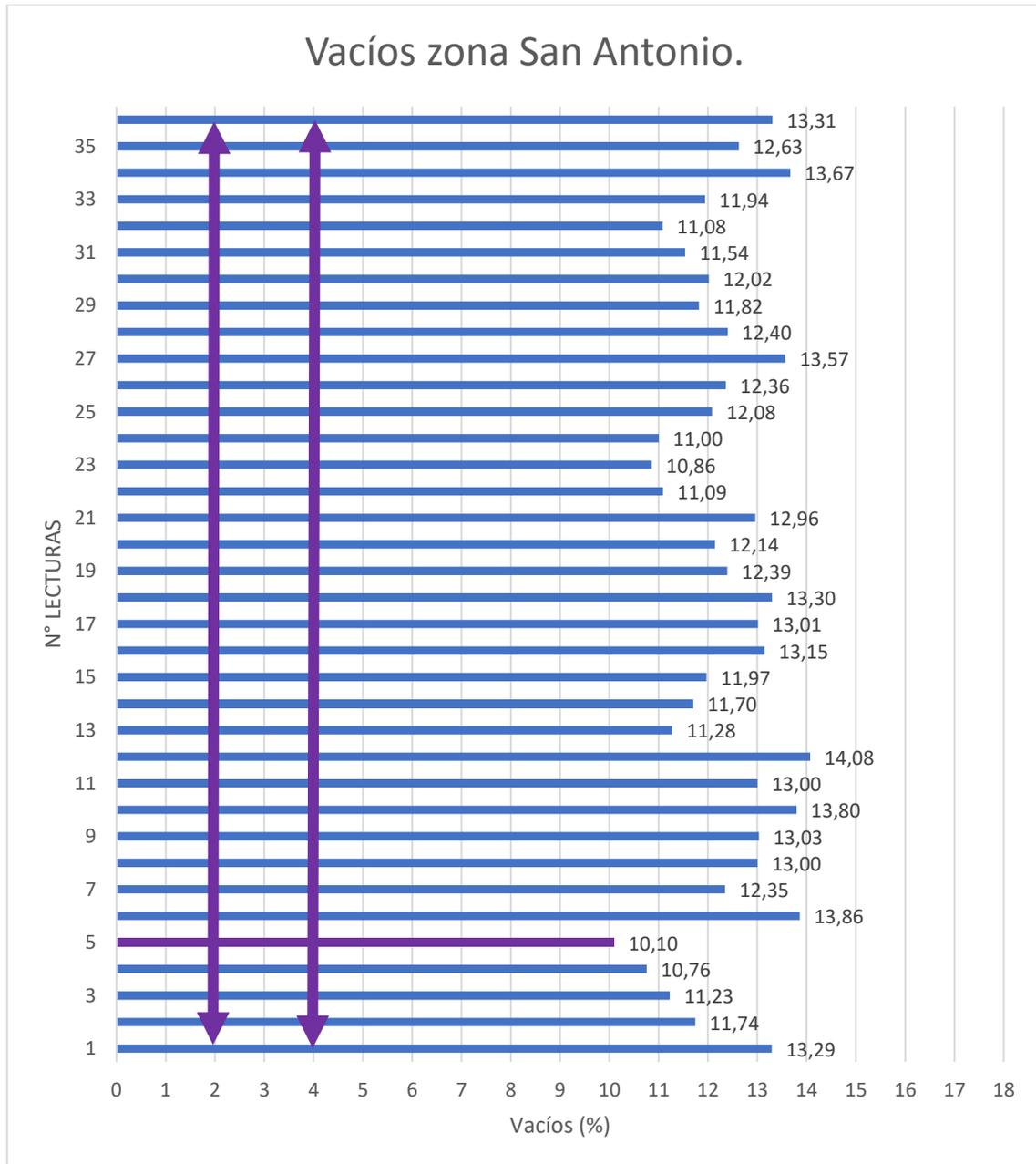
En ninguno de las gráficas llega a lo mínimo del grado de compactación que es el 98 %.

Vacíos zona San Antonio

Gráfico 4.57 Comportamiento de los Vacíos al 2240 kg/m³



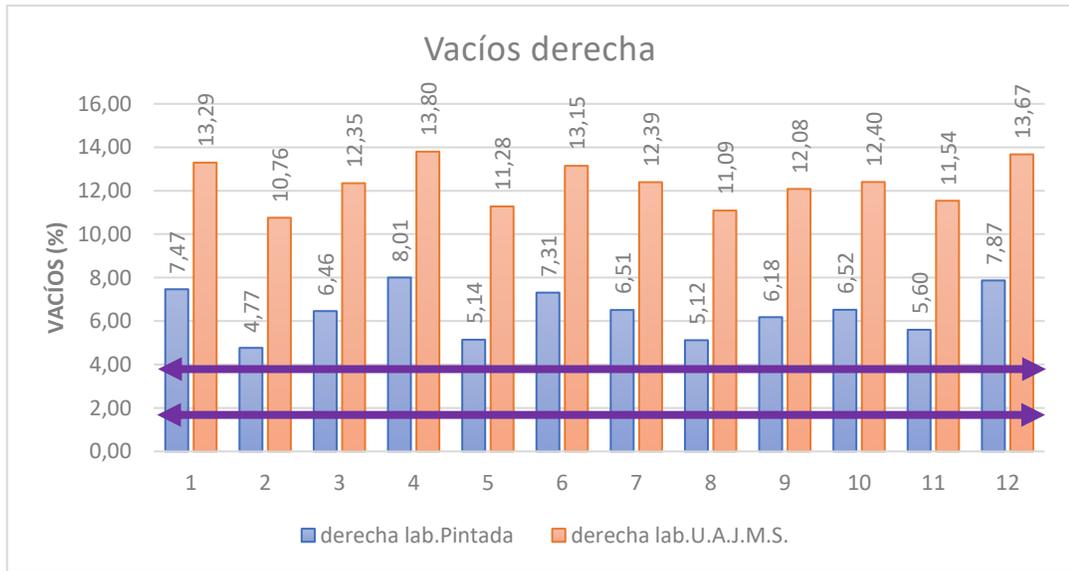
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.58 Comportamiento de los Vacíos 2390 kg/m³

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 5 de las gráficas 4.57. y 4.58. de la zona de san Antonio se tiene los vacíos más bajas obtenidas de las lecturas con el equipo PQI-380, con los valores de laboratorio 2240 kg/m³, y a los vacíos al 2390 kg/m³ no cumplen ninguna.

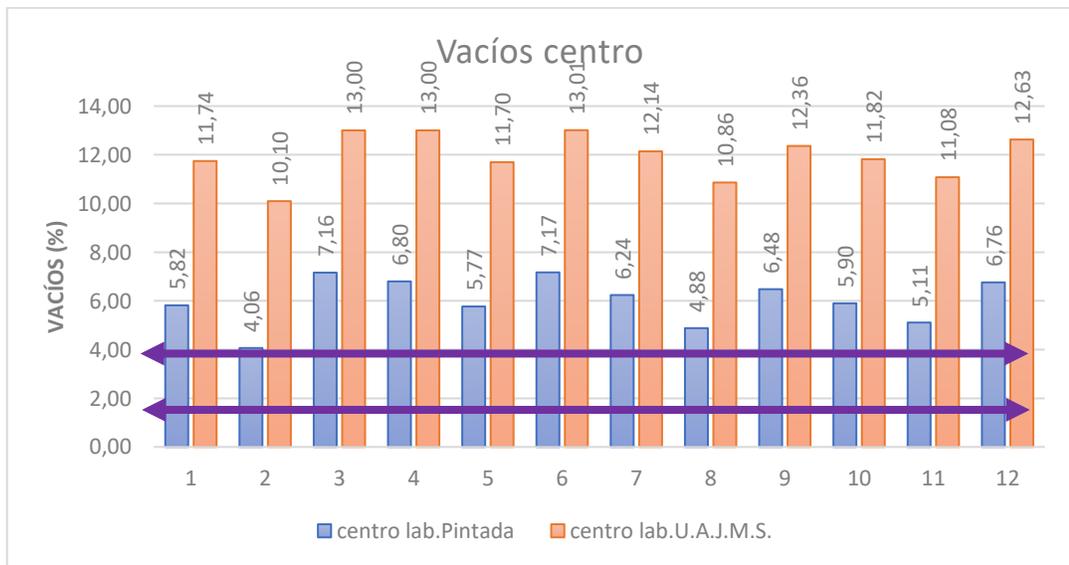
Gráfico 4.59 Vacíos derecha



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.59. muestra los vacíos del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar los vacíos más bajos fue punto 2 con vacíos de 4,77 % al 2240 kg/m³ y 10,76 % al 2390 kg/m³, la más elevadas fue en el punto 12 con de 7,87 % al 2240 kg/m³ y 13,67 % al 2390 kg/m³, en el margen derecho no cumple ningún de los vacíos.

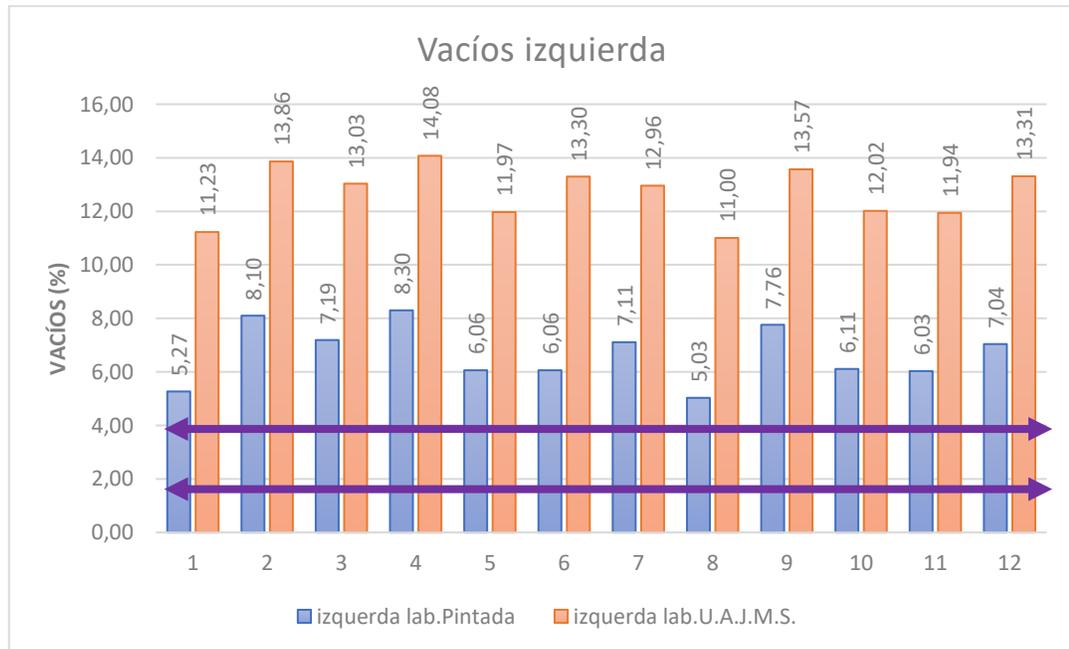
Gráfico 4.60 Vacíos centro



Fuente: Elaboración propia

la gráfica 4.60. muestra el margen del centro donde se obtiene los vacíos más bajos en el punto 2 con vacíos 4,06 % al 2240 kg/m³ y 10,10 % al 2390 kg/m³ y los más elevados fue en el punto 6 con vacíos de 7,17 % al 2240 kg/m³ y 13,01 % al 2390 kg/m³, en el margen central no cumple ningún de los vacíos.

Gráfico 4.61 Vacíos izquierda



Fuente: Elaboración propia

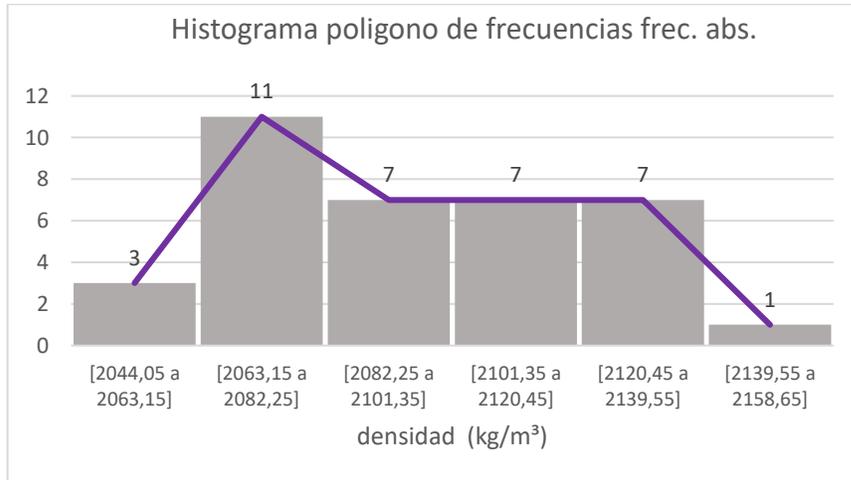
La gráfica 4.61. son los vacíos de la izquierda donde los vacíos más bajos fue en el punto 8 con vacíos 5,03 % al 2240 kg/m³ y 11,00 % al 2390 kg/m³, y los vacíos más elevados fue en el punto 4 con vacíos de 8,30 % al 2240 kg/m³ y 14,08 % al 2390 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ningún de los vacíos.

Los datos obtenidos del abasto del Sur ninguno cumplen los parámetros mínimos de vacíos que están entre un intervalo de 2 % y 4 %. El porcentaje de diferencia de datos son de 5,82 %.

Con los datos obtenidos se puede decir que las densidades, temperaturas, grado de compactación y vacíos no cumplen y por cada pasada que hacia la compactadora con rodillo nos daba una densidad de promediada de 24,6 kg/m³ y compactadora a neumático

nos dio un valor de pasada de 20,7 kg/m³, por lo tanto, se debería haber dado tres pasadas más con el rodillo y dos más con el neumático para llegar a una densidad mínima.

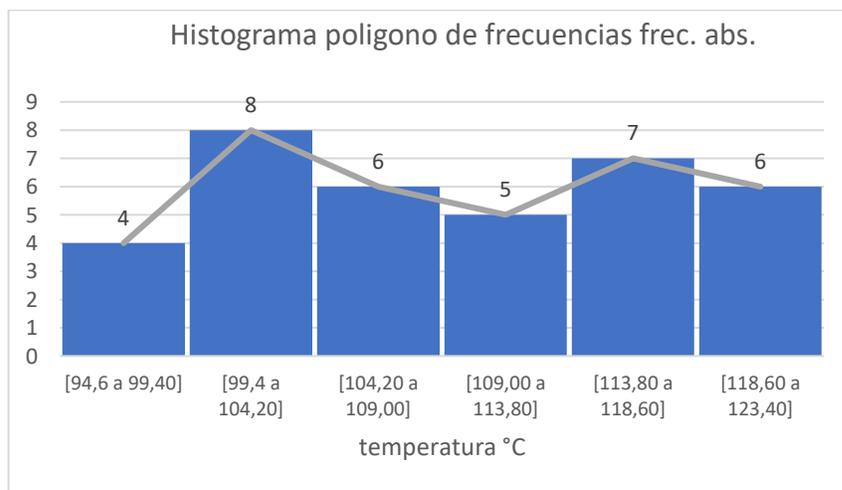
Gráfico 4.62 Histograma de densidad



Fuente: Elaboración propia

Se pudo obtener el histograma de frecuencia donde se puede observar que entre los intervalos 2063,15 kg/m³ y 2082,25 kg/m³ se tiene la mayoría de datos obtenidas en la zona de san Antonio. Donde la distribución tiene cola al lado derecho, sesgada a la derecha (positiva).

Gráfico 4.63 Histograma de temperatura



Fuente: Elaboración propia

Se pudo obtener el histograma de frecuencia donde se puede observar que entre los intervalos 99,40 °C y 104,20 °C se tiene la mayoría de datos obtenidas en la zona de san Antonio. Donde la distribución tiene cola al lado derecho, sesgada a la derecha (positiva). Y su achatamiento es leptocúrtica.

4.3.1.4 El Constructor

Ajuste de la distribución teórica.

datos de los 3 métodos que se necesita para realizar el método de Prueba de bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov.

Tabla 4.16 Resumen de estimación de parámetros

Zona de El Constructor		Densidad	Temperatura	Grado de compactación	Vacíos
		kg/m ³	°C	%	%
Numero de datos n		18	18	18	18
Distribución normal	Media	2095,13	113,56	93,55	6,45
	Desviación	31,33	6,90	1,40	1,40
Distribución log. normal	cv	0,015	0,061	0,015	0,217
	Sy	0,015	0,061	0,015	0,215
	Uy	7,65	4,73	4,538	1,842
Distribución Gumbel	α	24,43	5,38	1,094	1,094
	μ	2081,03	110,45	92,914	5,823

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 9

Los parámetros en la distribución Normal son el parámetro de posición que es igual a la media aritmética, y el parámetro de escala que numéricamente es igual a la desviación.

Los parámetros en la distribución Log - Normal son el parámetro de posición que es la media de los logaritmos de cada dato, y el parámetro de escala es la desviación del logaritmo.

Los parámetros en la distribución Gumbel, son estimación de parámetros α y β , para muestras relativamente pequeñas.

➤ Comparación del nivel de significancia

Comparando los valores de Δ , con el valor crítico Δ_0 de la tabla con los siguientes criterios de decisión.

Tabla 4.17 Comparación del valor estadístico Δ , con el valor crítico Δ_0

Densidad	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,105	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución log. Normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,104	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,120	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
Temperatura	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,109	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución log. Normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,105	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,093	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
Grado de compactación	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,103	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución log. Normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,102	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,120	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
Vacíos	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,103	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución log. Normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,118	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,133	<	$\Delta_0=$	0,321	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 9

Se concluye que los datos de densidad, temperatura, grado de compactación y vacíos se ajustan a las distribuciones, con un nivel de significancia del 5% o una probabilidad del 95%. De la zona El Constructor.

➤ Nivel de significancia con datos del diseño de mezcla asfáltica.

Resultados de los datos propuestos con el nivel de significancia a partir de los datos obtenidos de los laboratorios para verificar su cumplimiento que se podrá ver en la siguiente tabla.

Tabla 4.18 Datos propuestos con el nivel de significancia

	$P(Q \geq q) = P(Q \geq X) = 1 - F_z$			$P(q1 \leq Q \leq q2) = P(X1 \leq Q \leq X2) = F_{Z2} - F_{Z1}$		
	Si es mayor o igual			comprendido entre		
Densidad lab Pintada	q1=	2240,00	kg/m ³	q1=	2240,00	kg/m ³
				q2=	2195,20	kg/m ³
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Densidad lab U.A.J.M.S.	q1=	2390,00	kg/m ³	q1=	2390,00	kg/m ³
				q2=	2342,20	kg/m ³
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Temperatura	q1=	120,00	°C	q1=	120,00	°C
				q2=	150,00	°C
	1 - F z	0,18	Cumple	F Z2 - F Z1	0,18	Cumple
Grado de compactación lab Pintada	q1=	100,00	%	q1=	98,00	%
				q2=	100,00	%
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Grado de compactación lab U.A.J.M.S.	q1=	100,00	%	q1=	98,00	%
				q2=	100,00	%
	1 - F z	0	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Vacíos lab Pintada	q1=	2,00	%	q1=	2,00	%
				q2=	4,00	%
	1 - F z	1,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,0	No cumple
Vacíos lab U.A.J.M.S.	q1=	2,00	%	q1=	2,00	%
				q2=	4,00	%
	1 - F z	1,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos estos valores, se puede observar que, no satisfacen los parámetros en el nivel de significancia, llevándolos a no cumplir con los valores mínimos para una capa bituminosa de buena calidad a su vez el valor de la temperatura cumple un pequeño porcentaje a nivel de significancia.

➤ Método de Chi-Cuadrado.

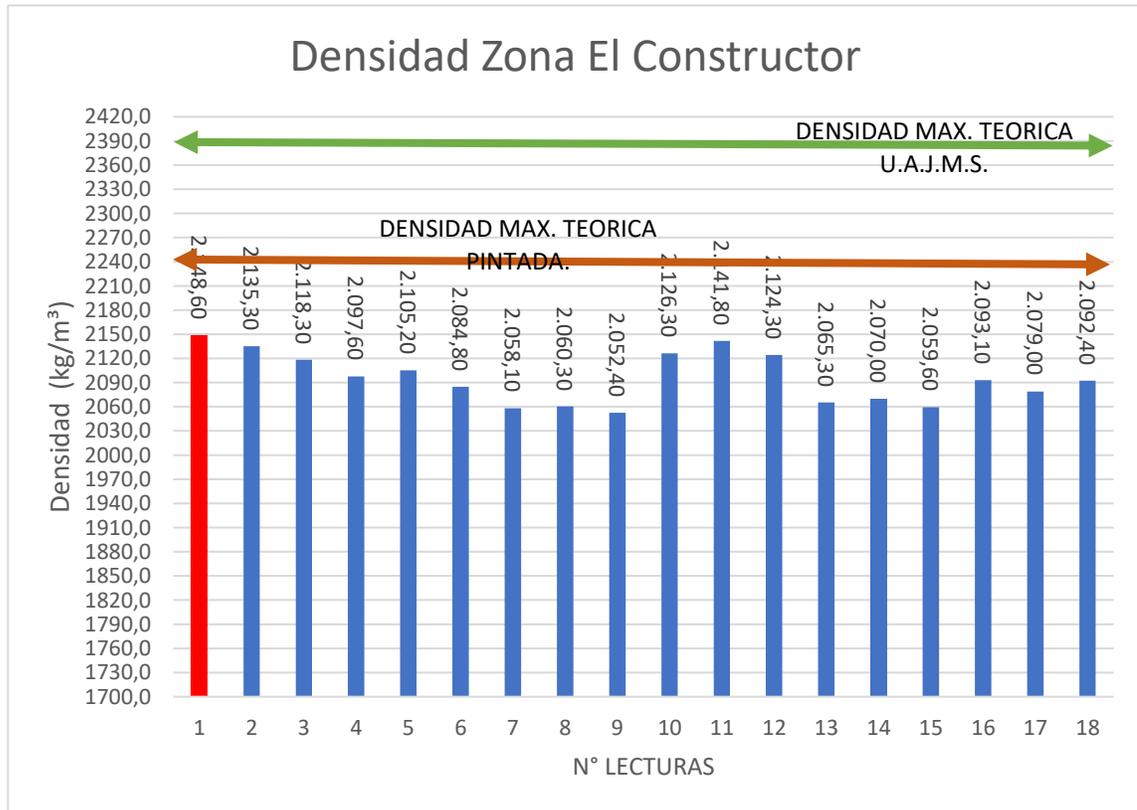
Tabla 4.19 Método Chi-Cuadrado

Criterio de decisión método Chi-Cuadrado						
Densidad	$\chi^2_c=$	2,40	≤	$\chi^2_t=$	5,99	Cumple
Temperatura	$\chi^2_c=$	3,75	≤	$\chi^2_t=$	5,99	Cumple
Grado de compactación	$\chi^2_c=$	2,40	≤	$\chi^2_t=$	5,99	Cumple
Vacíos	$\chi^2_c=$	2,40	≤	$\chi^2_t=$	5,99	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Densidad zona El Constructor

Gráfico 4.64 Comportamiento de la densidad

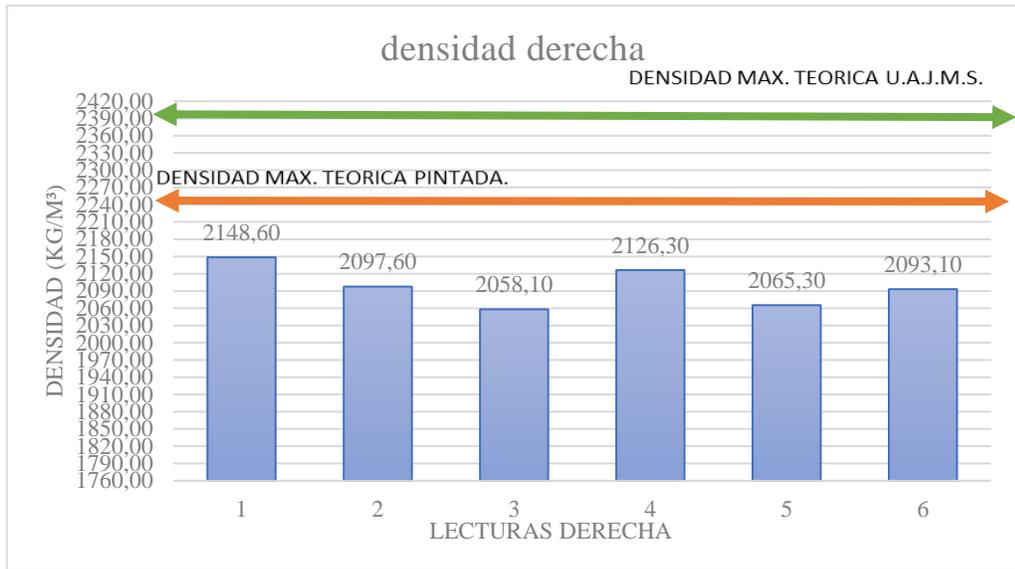


Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 1 de la gráfica 4.62. de la zona Obrajes se tiene la densidad más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de las densidades obtenidas en campo cumple los parámetros mínimos de diseño realizados en laboratorio por lo tanto se debería a ver realizado mejor el control con la maquinaria para llegar a una densidad óptima.

Se pudo observar que la alcaldía no contaba con equipos modernos para realizar el control de las carpetas asfálticas.

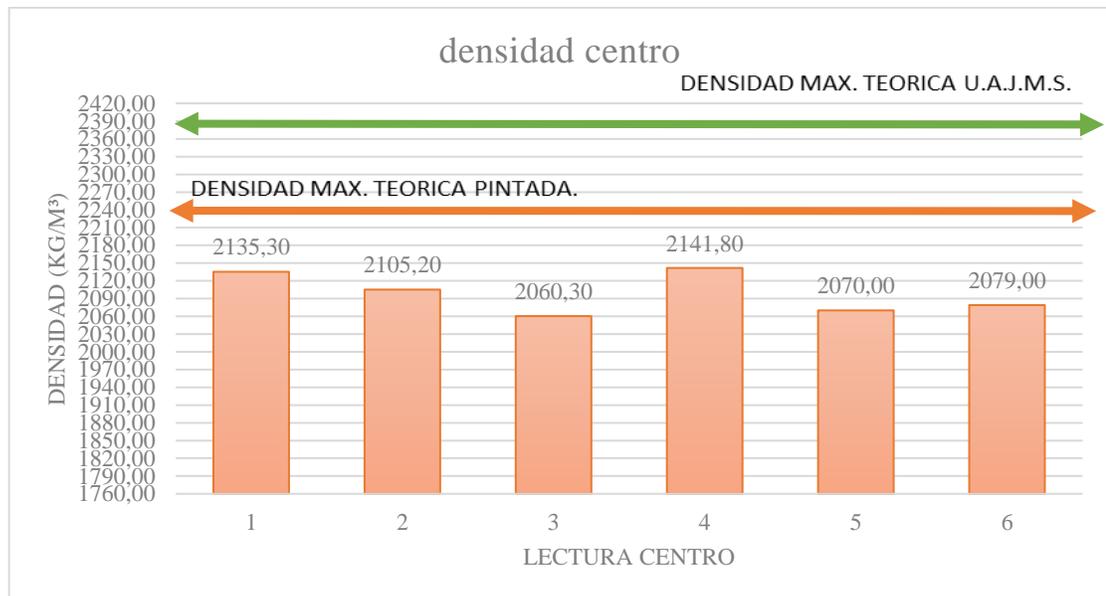
Gráfico 4.65 Densidad margen derecho



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.65. muestra el comportamiento de la densidad del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que la densidad más elevada fue punto 1 con una densidad de 2148,60 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 3 con una densidad de 2058,10 kg/m³, en el margen derecho no cumple ninguna densidad.

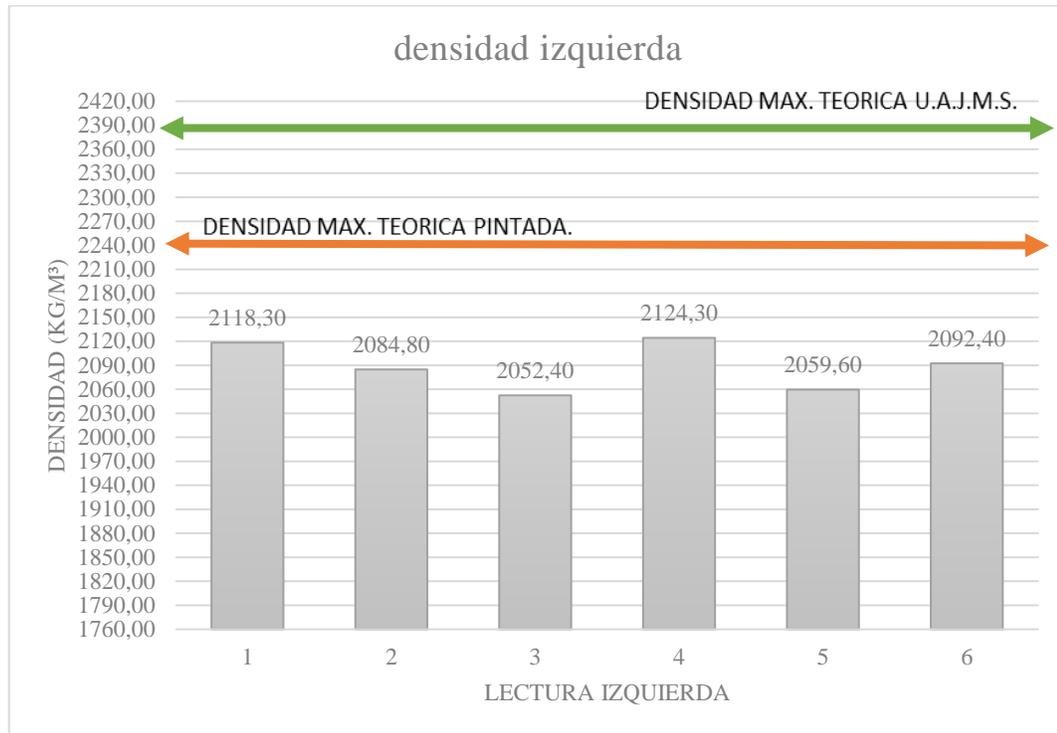
Gráfico 4.66 Densidad margen centro



Fuente: Elaboración propia

la gráfica 4.66. muestra el margen del centro donde se obtiene la densidad más elevada en el punto 4 con una densidad de 2141,80 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 3 con una densidad de 2060,30 kg/m³, en el margen central no cumple ninguna densidad.

Gráfico 4.67 Densidad margen izquierda



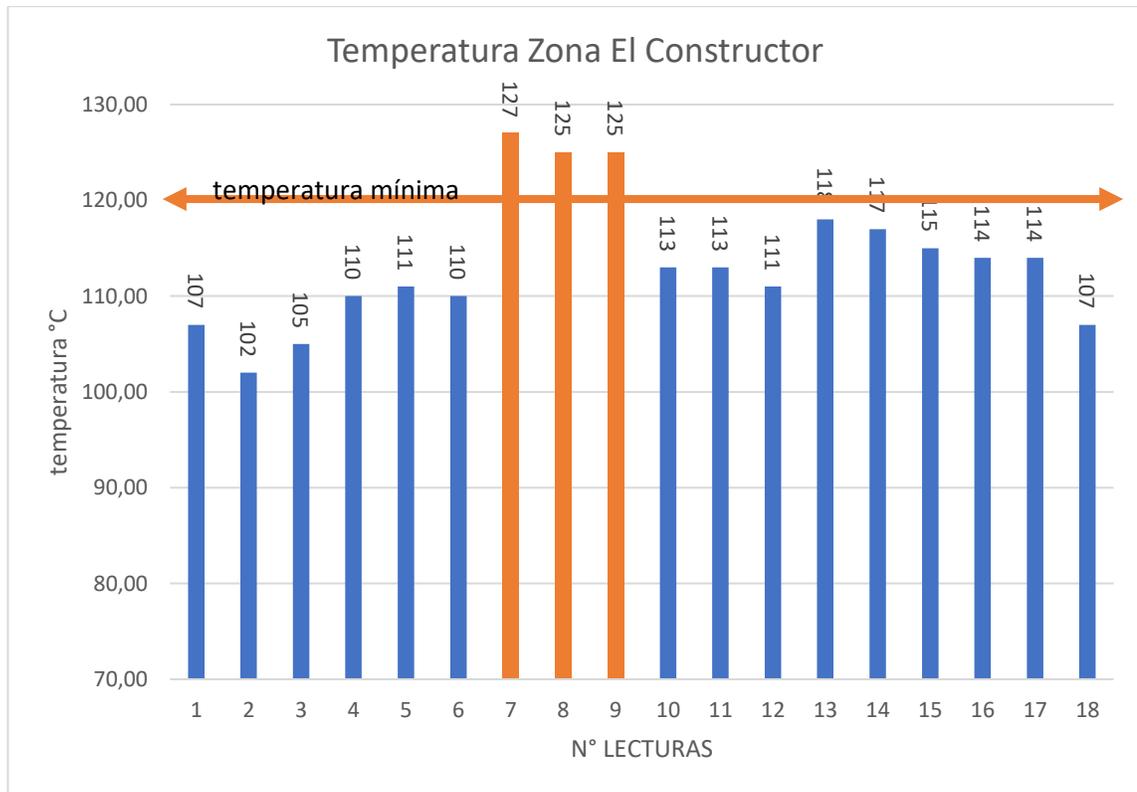
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.67. es la densidad de la izquierda, donde la densidad más elevada fue en el punto 4 con una densidad de 2124,30 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 3 con una densidad de 2052,40 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ninguna densidad.

Las densidades del margen del centro son más elevadas, pero se puede observar en las gráficas que ninguna densidad cumple los parámetros mínimos de densidad de diseño.

Temperatura zona El Constructor

Gráfico 4.68 Comportamiento de la Temperatura



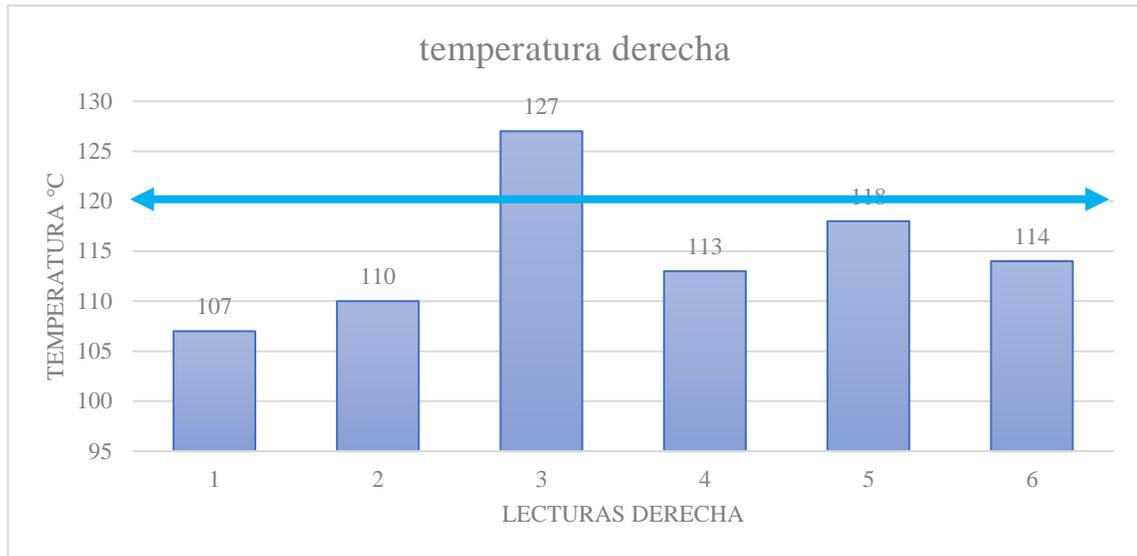
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 7,8 y 9 de la gráfica 4.66. de la zona El Constructor se tiene la temperatura más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, tres temperaturas cumplen los parámetros mínimos que tiene que estas entre las temperaturas de 120 °C a 150 °C.

Se pudo observar que la alcaldía no contaba con equipos de lectura de temperatura y personal que controle la temperatura de llegada de las volquetas con el material asfáltico.

Aunque en esta zona se puede observar que existen temperaturas que cumplen, pero son muy pocas, la mayoría no cumplen.

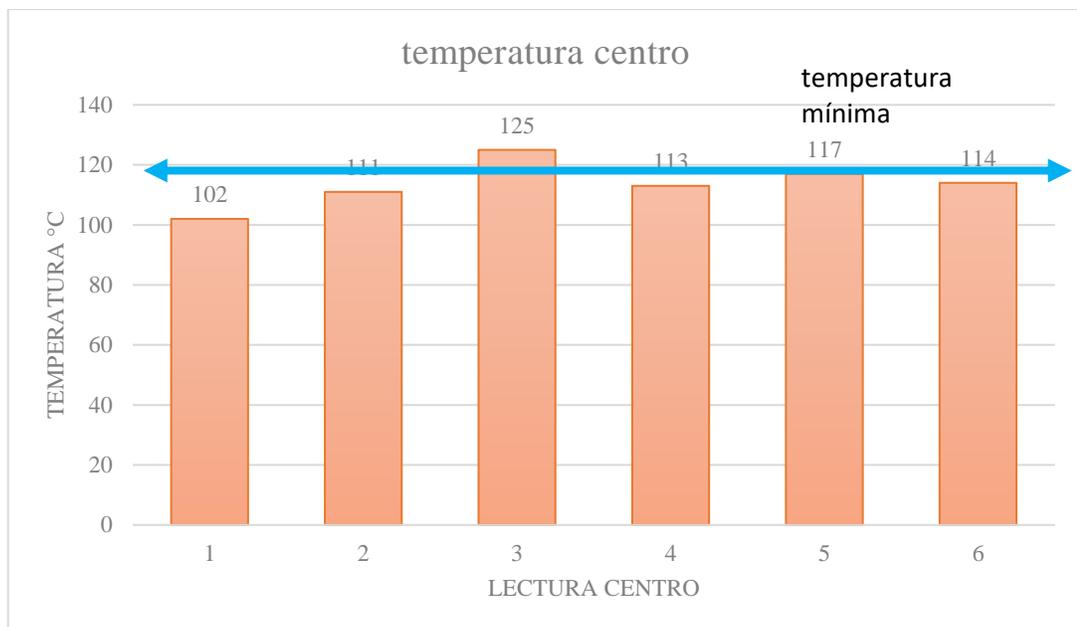
Gráfico 4.69 Temperatura margen derecho



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.69. muestra el comportamiento de las temperaturas del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que la temperatura más elevada fue punto 3 con una temperatura de 127 °C y la más baja fue en el punto 1 con una temperatura de 107 °C, en el margen derecho no cumple ninguna de las temperaturas

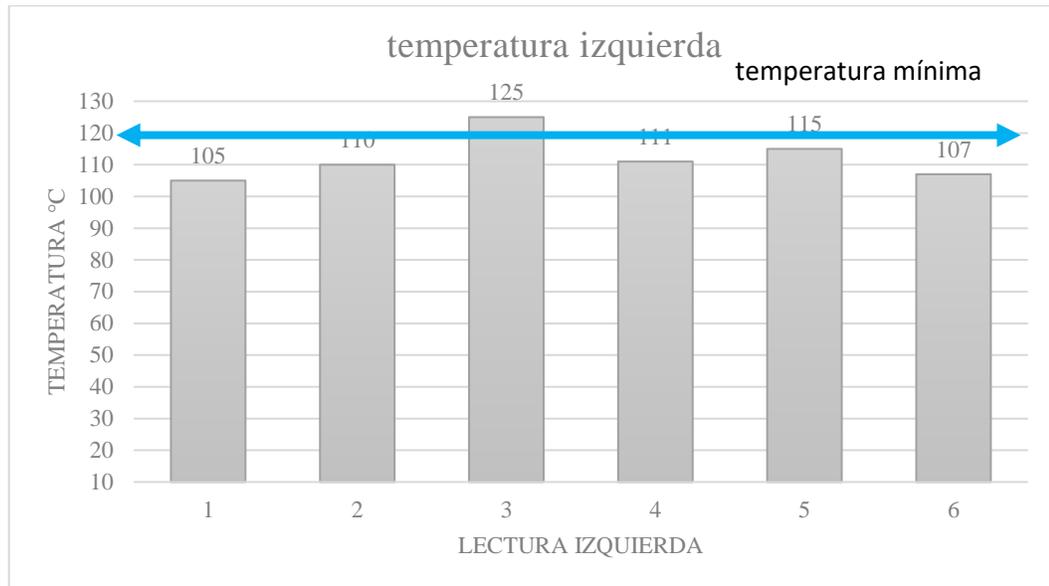
Gráfico 4.70 Temperatura margen centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.70. muestra el margen del centro donde se obtiene la temperatura más elevada en el punto 3 con una temperatura de 125 °C y la más baja fue en el punto 1 con una temperatura de 102 °C, en el margen central no cumple ninguna temperatura

Gráfico 4.71 Temperatura margen izquierdo

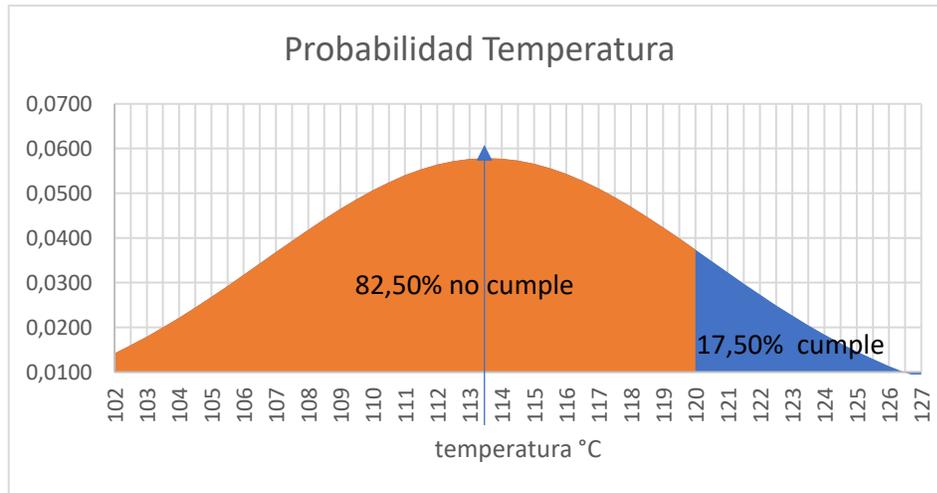


Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.71. es la temperatura de la izquierda, donde la temperatura más elevada fue en el punto 3 con una temperatura de 125 °C y la temperatura más baja fue en el punto 1 con una temperatura de 105 °C, en el margen izquierdo no cumple ninguna temperatura.

Con estas temperaturas de inicio del asfaltado se debería a ver solicitado a la planta de asfalto que tengan en cuenta que las temperaturas de llegada no están cumpliendo en la mayoría de los puntos los parámetros mínimos de llegada en obra que tienen que estar entre 120°C a 150°C. Se pudo obtener tres puntos que, si cumplían uno en el margen derecho, otro en el margen centro e izquierdo.

Gráfico 4.72 Temperatura campana de gauss

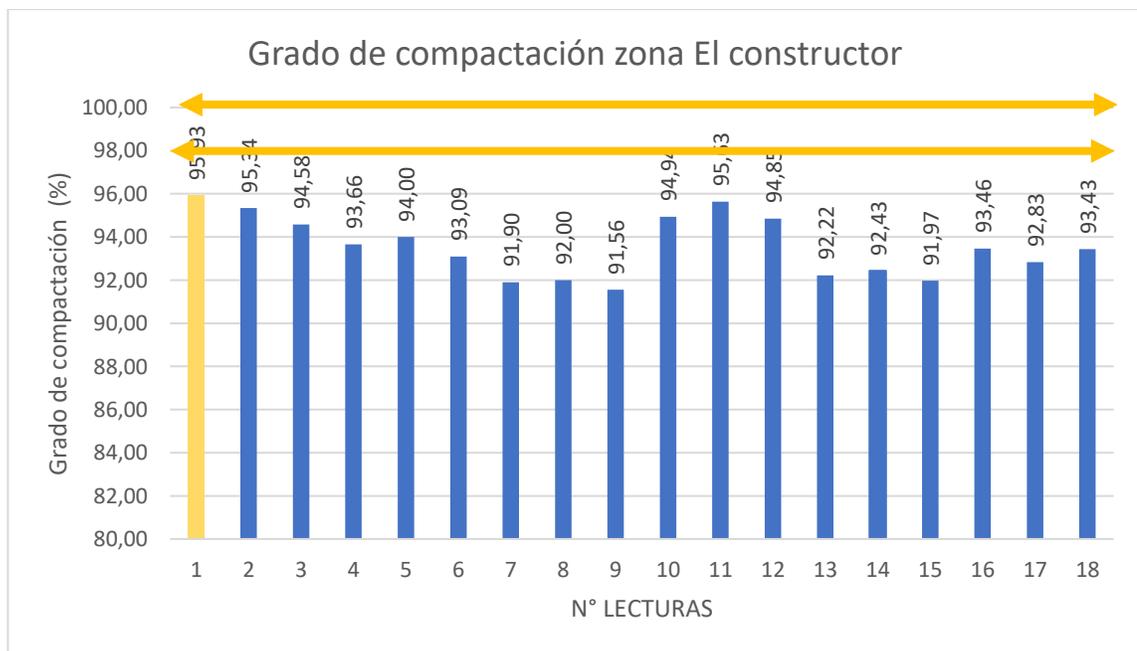


Fuente: Elaboración propia

Con la campana de gauss podemos determinar que en esta zona tenemos un 17,50% de temperaturas que sí cumplen y un 82,50% que no cumplen los parámetros mínimos de temperatura a partir de la probabilidad.

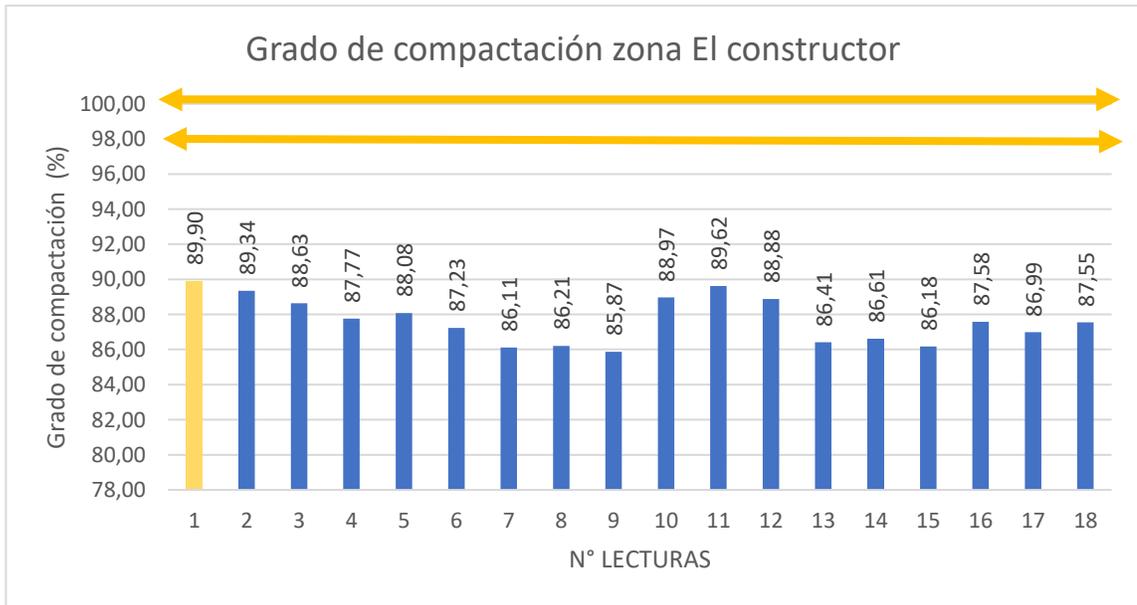
Grado de compactación zona El Constructor.

Gráfico 4.73 Grado de compactación al 2240 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

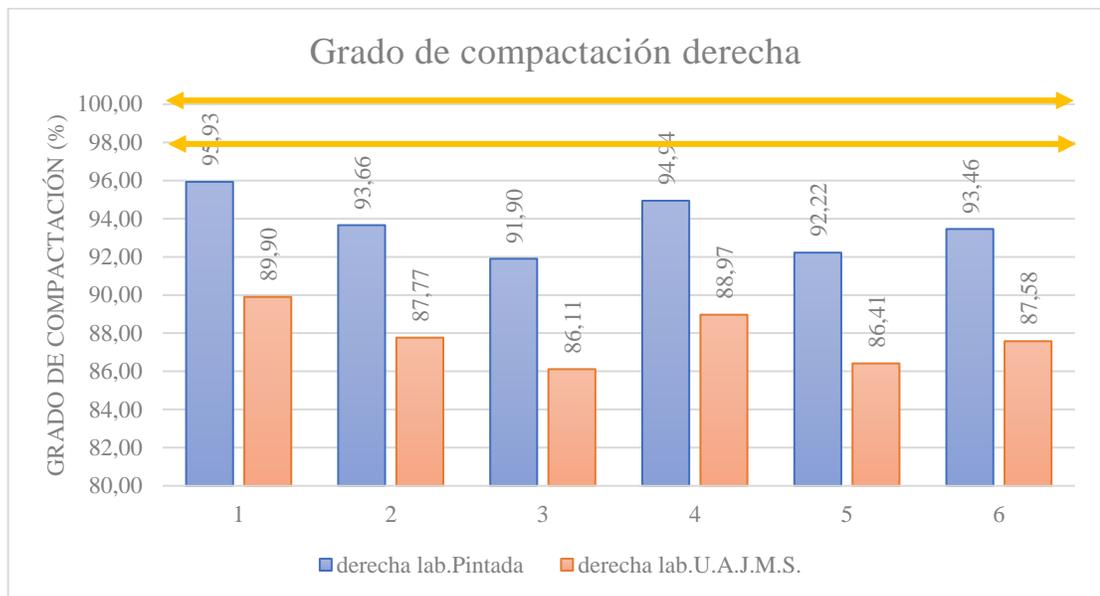
Gráfico 4.74 Grado de compactación al 2390 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 1 de la gráfica 4.73. y 4.74. de la zona Obrajes se tiene el grado de compactación más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de los grados de compactación obtenidas en campo cumple los parámetros y tampoco cumple el grado de compactación mínimo que es de 98 %.

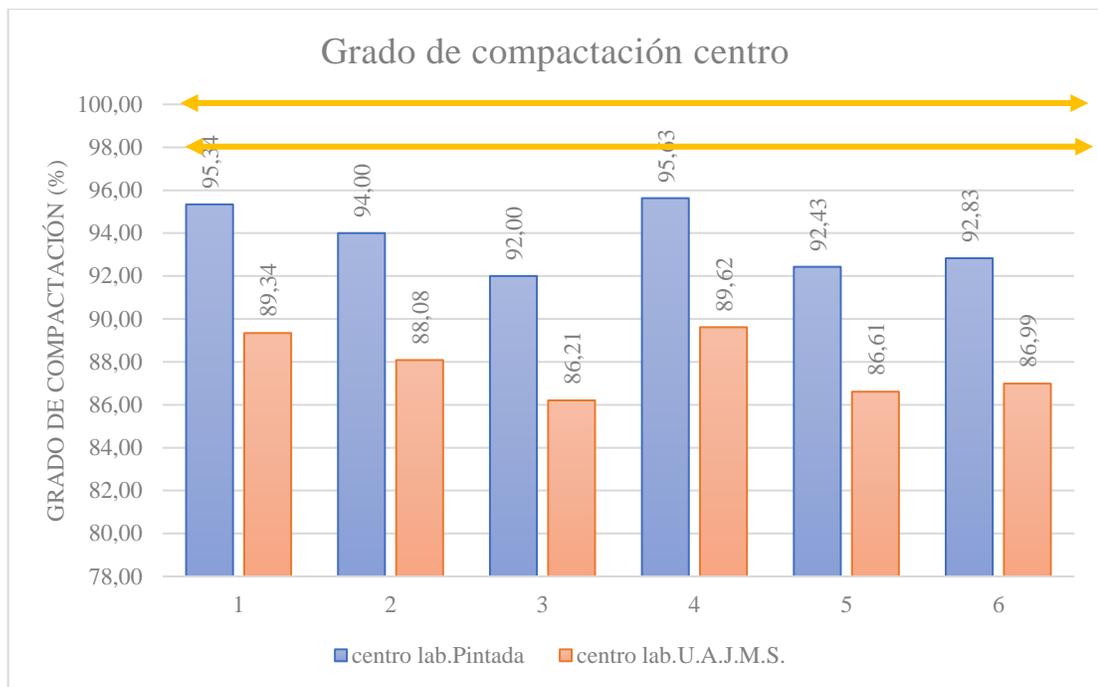
Gráfico 4.75 Grado de compactación derecha



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.75. muestra el comportamiento del grado de compactación del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que el grado de compactación más elevada fue punto 1 con un grado de compactación de 95,93 % al 2240 kg/m³ y 89,90 % al 2390 kg/m³, la más baja fue en el punto 3 con un del grado de compactación de 91,90 % al 2240 kg/m³ y 86,11 % al 2390 kg/m³, en el margen derecho no cumple ningún del grado de compactación.

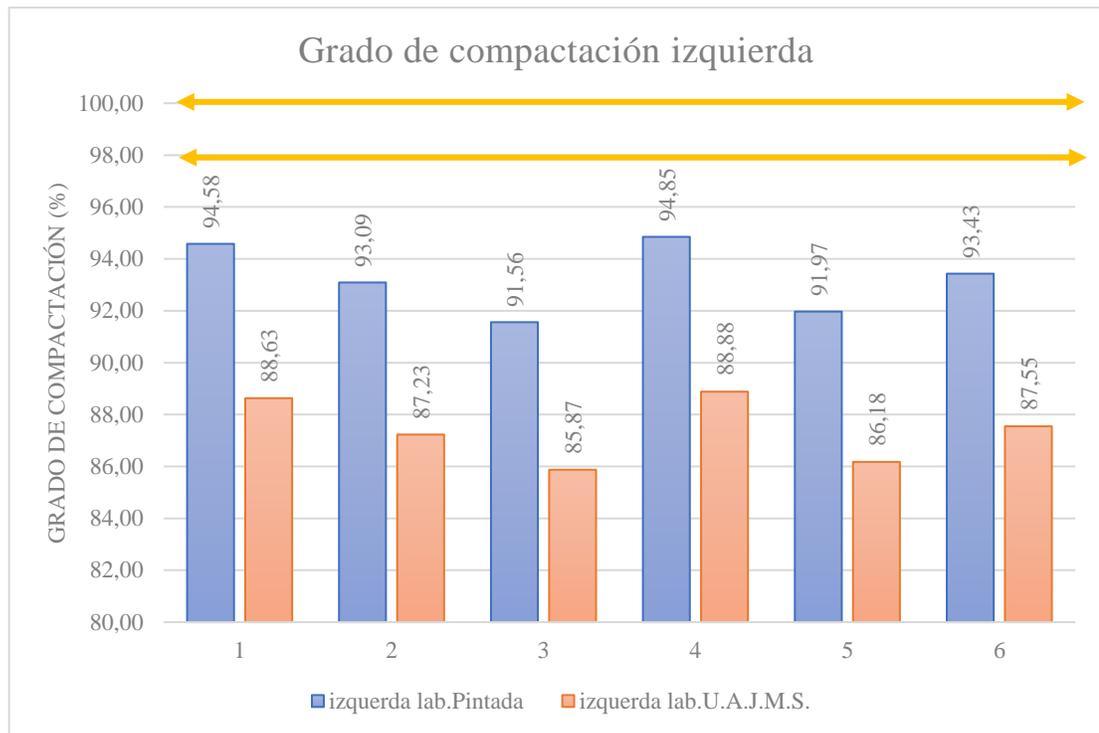
Gráfico 4.76 Grado de compactación centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.76. muestra el margen del centro donde se obtiene el grado de compactación más elevada en el punto 4 con un grado de compactación de 95,63 % al 2240 kg/m³ y 89,62 % al 2390 kg/m³ y la más baja fue en el punto 3 con un grado de compactación de 92,00 % al 2240 kg/m³ y 86,21 % al 2390 kg/m³, en el margen central no cumple ningún grado de compactación.

Gráfico 4.77 Grado de compactación izquierda



Fuente: Elaboración propia

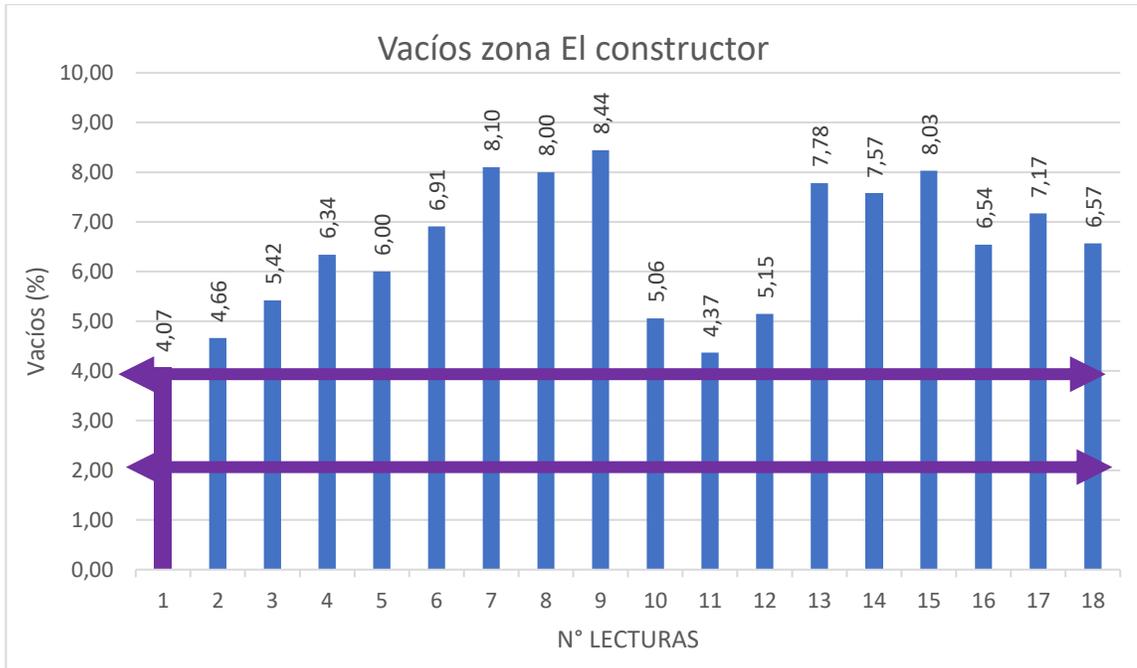
La gráfica 4.77. es el grado de compactación de la izquierda, donde el grado de compactación más elevada fue en los puntos 4 con un grado de compactación de 94,85 % al 2240 kg/m³ y 88,88 % al 2390 kg/m³, y el grado de compactación más baja fue en el punto 3 con un grado de compactación de 91,56 % al 2240 kg/m³ y 85,87 % al 2390 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ningún grado de compactación.

Las gráficas de grado de compactación fueron porcentajes a partir del diseño de la mezcla asfálticas tanto obtenida de la Pintada como realizadas por el tesista, el grado de compactación tiene un 5,85 % de diferencia, obteniendo mayor porcentaje de grado de compactación de los datos obtenidos por la Pintada.

En ninguno de las gráficas llega a lo mínimo del grado de compactación que es el 98 %.

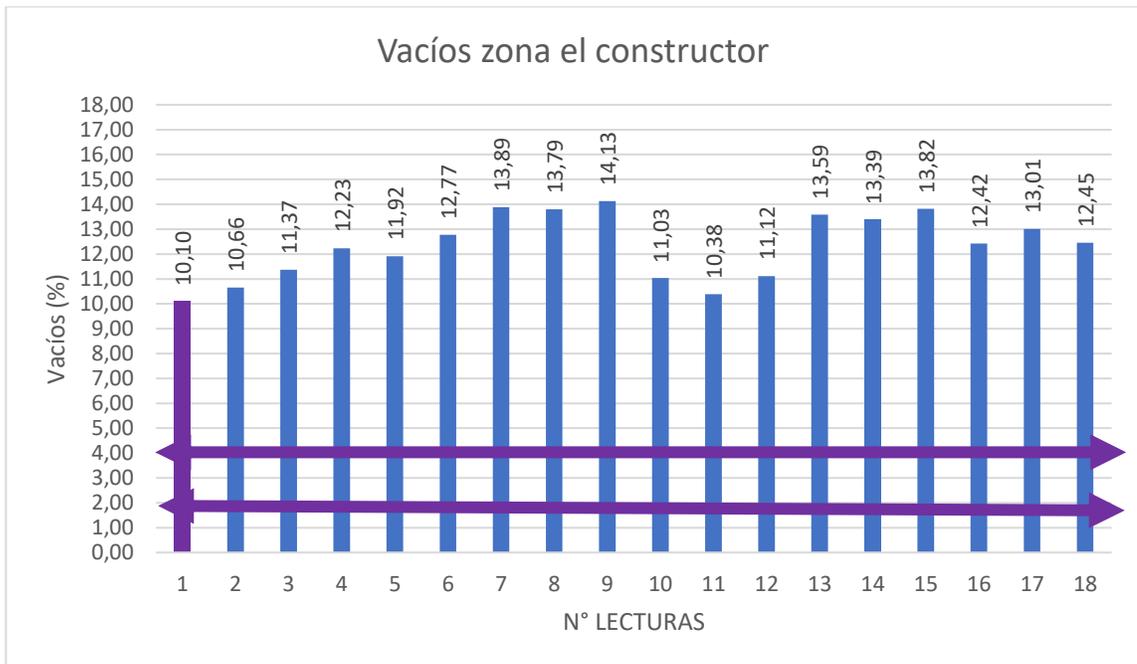
Vacíos zona El Constructor

Gráfico 4.78 Comportamiento de los Vacíos al 2240 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

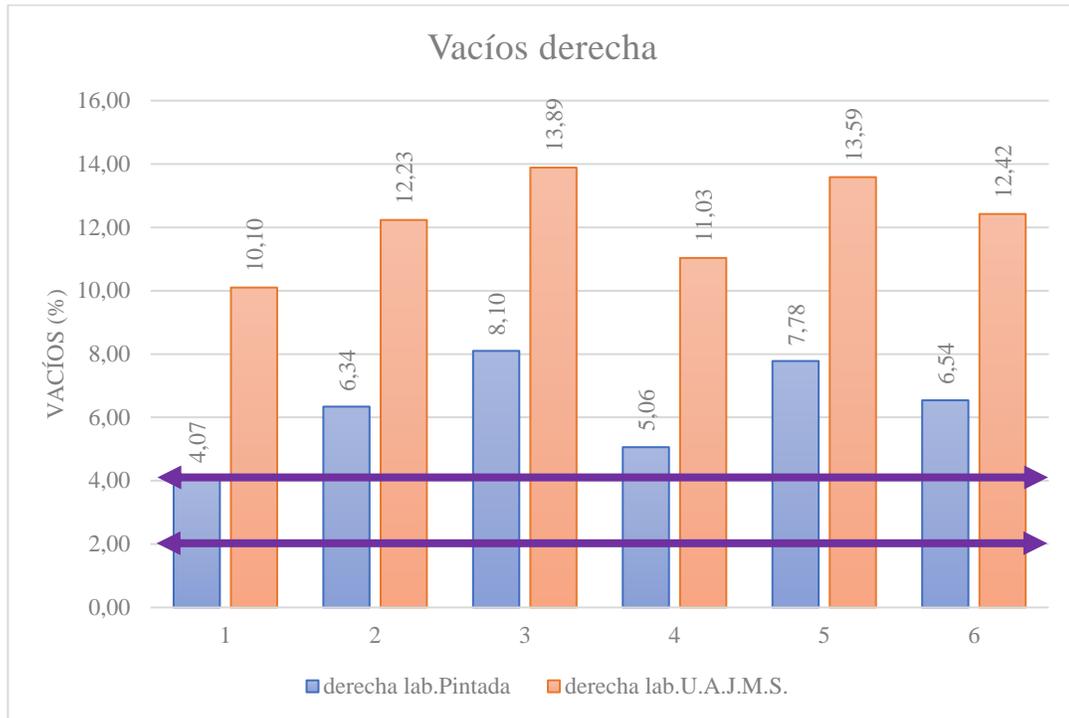
Gráfico 4.79. Comportamiento de los Vacíos 2390 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 1 de las gráficas 4.78. y 4.79. de la zona de san Antonio se tiene los vacíos más bajos obtenidas de las lecturas con el equipo PQI-380, con los valores de laboratorio 2240 kg/m³, y a los vacíos al 2390 kg/m³ no cumplen ninguna.

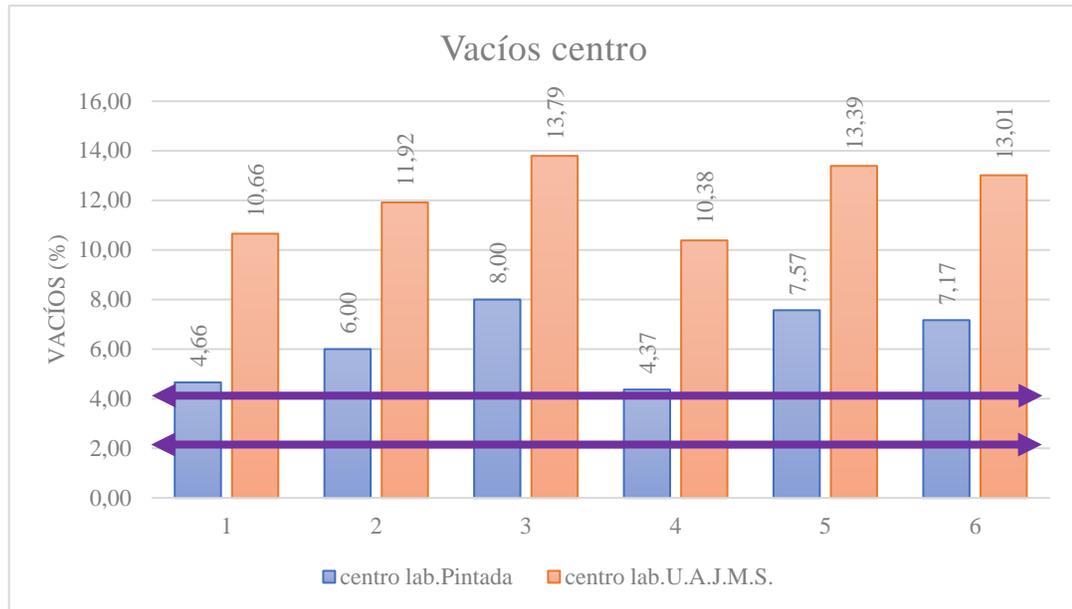
Gráfico 4.80 Vacíos derecha



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.80. muestra los vacíos del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar los vacíos más bajos fue punto 1 con vacíos de 4,07 % al 2240 kg/m³ y 10,10 % al 2390 kg/m³, la más elevadas fue en el punto 3 con de 8,10 % al 2240 kg/m³ y 13,89 % al 2390 kg/m³, en el margen derecho no cumple ningún de los vacíos.

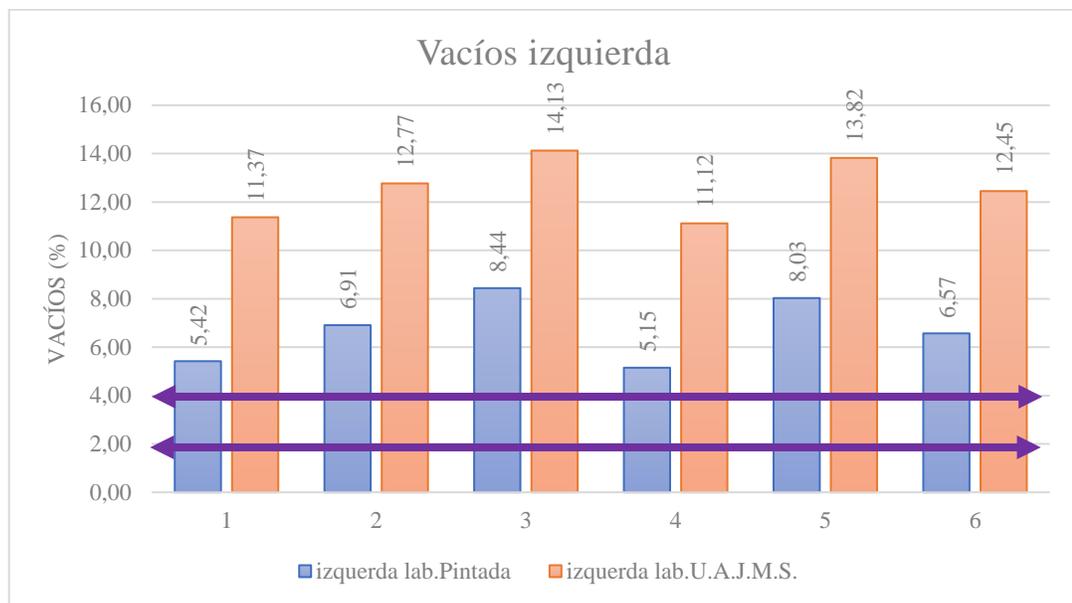
Gráfico 4.81 Vacíos centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.81. muestra el margen del centro donde se obtiene los vacíos más bajos en el punto 4 con vacíos 4,37 % al 2240 kg/m³ y 10,38 % al 2390 kg/m³ y los más elevados fue en el punto 3 con vacíos de 8,00 % al 2240 kg/m³ y 13,79 % al 2390 kg/m³, en el margen central no cumple ningún de los vacíos.

Gráfico 4.82 Vacíos izquierda



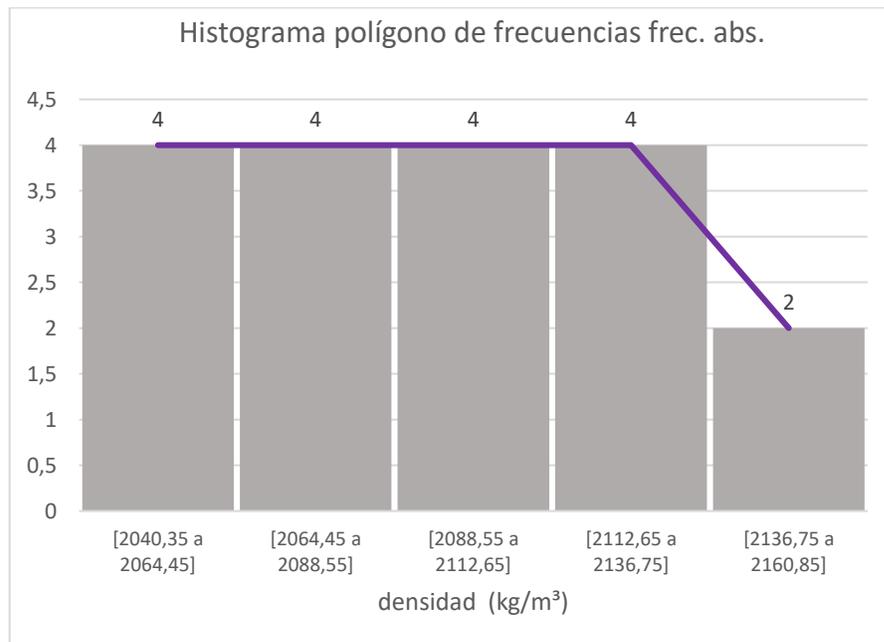
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.82. son los vacíos de la izquierda donde los vacíos más bajos fue en el punto 5 con vacíos 5,15 % al 2240 kg/m³ y 11,12 % al 2390 kg/m³, y los vacíos más elevados fue en el punto 3 con vacíos de 8,44 % al 2240 kg/m³ y 14,13 % al 2390 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ningún de los vacíos.

Los datos obtenidos del abasto del Sur ninguno cumplen los parámetros mínimos de vacíos que están entre un intervalo de 2 % y 4 %. El porcentaje de diferencia de datos son de 5,82 %.

Con los datos obtenidos se puede decir que las densidades, temperaturas, grado de compactación y vacíos no cumplen y por cada pasada que hacia la compactadora con rodillo nos daba una densidad de promediada de 24,6 kg/m³ y compactadora a neumático nos dio un valor de pasada de 20,7 kg/m³, por lo tanto, se debería haber dado tres pasadas más con el rodillo y dos más con el neumático para llegar a una densidad mínima.

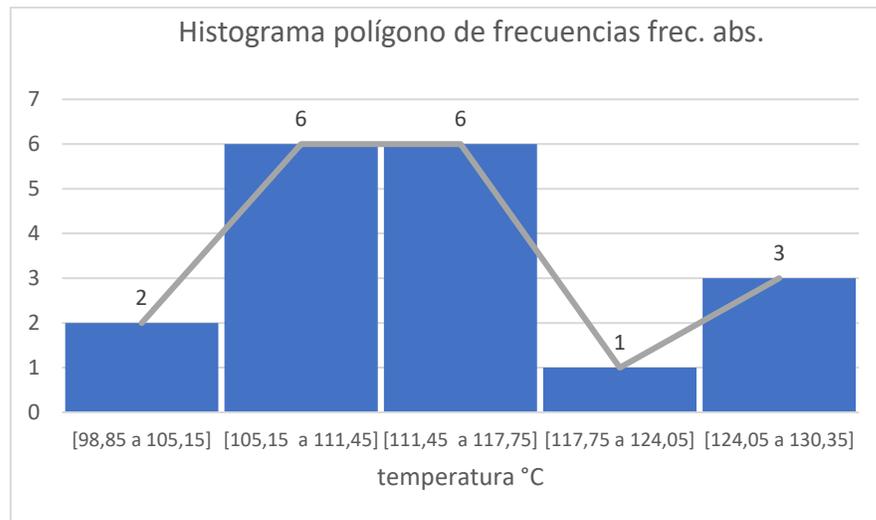
Gráfico 4.83 Histograma de densidad



Fuente: Elaboración propia

Se pudo obtener el histograma de frecuencia donde se puede observar que las 4 barras tienen la misma frecuencia en la zona del Constructor. Donde la distribución tiene cola al lado derecho, sesgada a la derecha (positiva).

Gráfico 4.84 Histograma de temperatura



Fuente: Elaboración propia

Se pudo obtener el histograma de frecuencia donde se puede observar que la segunda y tercera barra tienen la misma frecuencia en la zona del Constructor. Donde la distribución tiene cola al lado derecho, sesgada a la derecha (positiva). Y su achatamiento es leptocúrtica.

4.3.1.5 Aranjuez

Ajuste de la distribución teórica.

Datos de los 3 métodos que se necesitan para realizar el método de Prueba de bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov.

Tabla 4.20 Resumen de estimación de parámetros

Zona de Aranjuez		Densidad	Temperatura	Grado de compactación	Vacíos
		(kg/m ³)	(°C)	(%)	(%)
Número de datos n		66	66	66	66
Distribución normal	Media	2092,46	113,500	93,440	6,560
	Desviación	29,890	8,030	1,330	1,330
Distribución log. normal	Cv	0,014	0,071	0,014	0,202
	Sy	0,014	0,071	0,014	0,200
	Uy	7,650	4,730	4,537	1,861
Distribución Gumbel	α	23,300	6,260	1,036	1,036
	μ	2079,01	109,89	92,839	5,965

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 9

Los parámetros en la distribución Normal son el parámetro de posición que es igual a la media aritmética, y el parámetro de escala que numéricamente es igual a la desviación.

Los parámetros en la distribución Log - Normal son el parámetro de posición que es la media de los logaritmos de cada dato, y el parámetro de escala es la desviación del logaritmo.

Los parámetros en la distribución Gumbel, son estimación de parámetros α y β , para muestras relativamente pequeñas.

➤ Comparación del nivel de significancia

Comparando los valores de Δ , con el valor crítico Δ_o de la tabla con los siguientes criterios de decisión.

Tabla 4.21 Comparación del valor estadístico Δ , con el valor crítico Δ_o

Densidad	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,077	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,077	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,105	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple
Temperatura	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,089	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,096	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,141	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple
Grado de compactacion	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,078	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,078	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,107	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple
Vacíos	Distribución normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,078	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple
	Distribución log.normal	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,103	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple
	Distribución gumbell	$\Delta_{\text{máx}}=$	0,132	<	$\Delta_o=$	0,167	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Datos complementarios en el anexo 9

Se concluye que los datos de densidad, temperatura, grado de compactación y vacíos se ajustan a las distribuciones, con un nivel de significancia del 5% o una probabilidad del 95%. De la zona el Constructor.

➤ Nivel de significancia con datos del diseño de mezcla asfáltica.

Resultados de los datos propuestos con el nivel de significancia a partir de los datos obtenidos de los laboratorios para verificar su cumplimiento que se podrá ver en la siguiente tabla.

Tabla 4.22 Datos propuestos con el nivel de significancia

	$P(Q \geq q) = P(Q \geq X) = 1 - F z$			$P(q1 \leq Q \leq q2) = P(X1 \leq Q \leq X2) = F Z2 - F Z1$		
	Si es mayor o igual			comprendido entre		
Densidad lab Pintada	q1=	2240,00	(kg/m ³)	q1=	2240,00	(kg/m ³)
				q2=	2195,20	(kg/m ³)
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Densidad lab U.A.J.M.S.	q1=	2390,00	(kg/m ³)	q1=	2390,00	(kg/m ³)
				q2=	2342,20	(kg/m ³)
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Temperatura	q1=	120,00	(°C)	q1=	120,00	(°C)
				q2=	150,00	(°C)
	1 - F z	0,21	Cumple	F Z2 - F Z1	0,21	Cumple
Grado de compactacion lab Pintada	q1=	100,00	(%)	q1=	98,00	(%)
				q2=	100,00	(%)
	1 - F z	0,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Grado de compactacion lab U.A.J.M.S.	q1=	100,00	(%)	q1=	98,00	(%)
				q2=	100,00	(%)
	1 - F z	0	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple
Vacíos lab Pintada	q1=	4,00	(%)	q1=	2,00	(%)
				q2=	4,00	(%)
	1 - F z	0,97	Cumple	F Z2 - F Z1	0,03	Cumple
Vacíos lab U.A.J.M.S.	q1=	4,00	(°C)	q1=	2,00	(°C)
				q2=	4,00	(°C)
	1 - F z	1,00	No cumple	F Z2 - F Z1	0,00	No cumple

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos estos valores, se puede observar que, no satisfacen los parámetros en el nivel de significancia, llevándolos a no cumplir con los valores mínimos para una capa bituminosa de buena calidad a su vez el valor de temperatura y vacíos cumple un pequeño porcentaje a nivel de significancia.

➤ Método de Chi-Cuadrado.

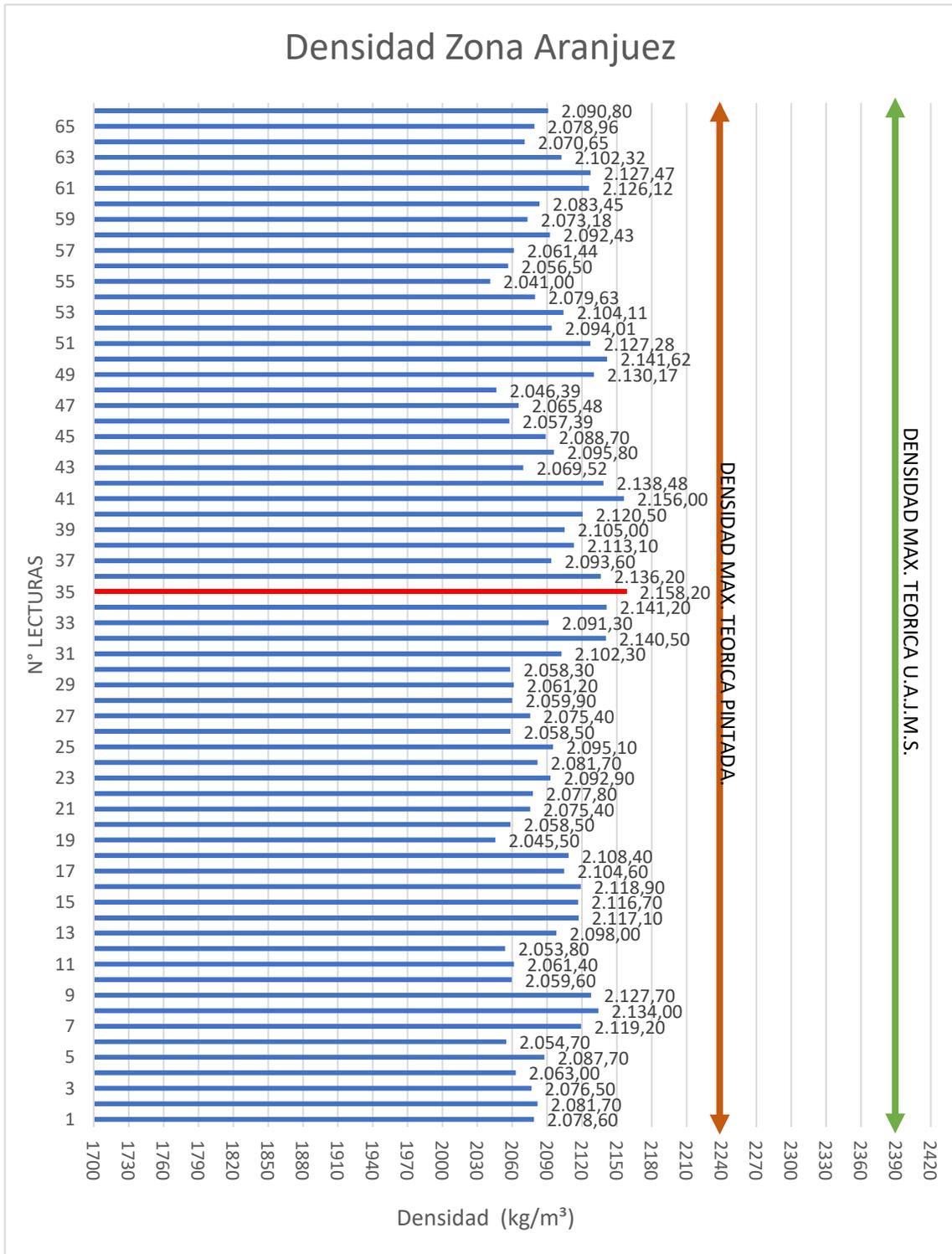
Tabla 4.23 Método Chi-Cuadrado

Criterio de decisión método Chi-Cuadrado						
Densidad	$\chi^2_c=$	4,37	≤	$\chi^2_i=$	9,49	Cumple
Temperatura	$\chi^2_c=$	16,45	≥	$\chi^2_i=$	9,49	No cumple
Grado de compactación	$\chi^2_c=$	4,91	≤	$\chi^2_i=$	9,49	Cumple
Vacíos	$\chi^2_c=$	3,90	≤	$\chi^2_i=$	9,49	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Densidad zona Aranjuez

Gráfico 4.85 Comportamiento de la densidad

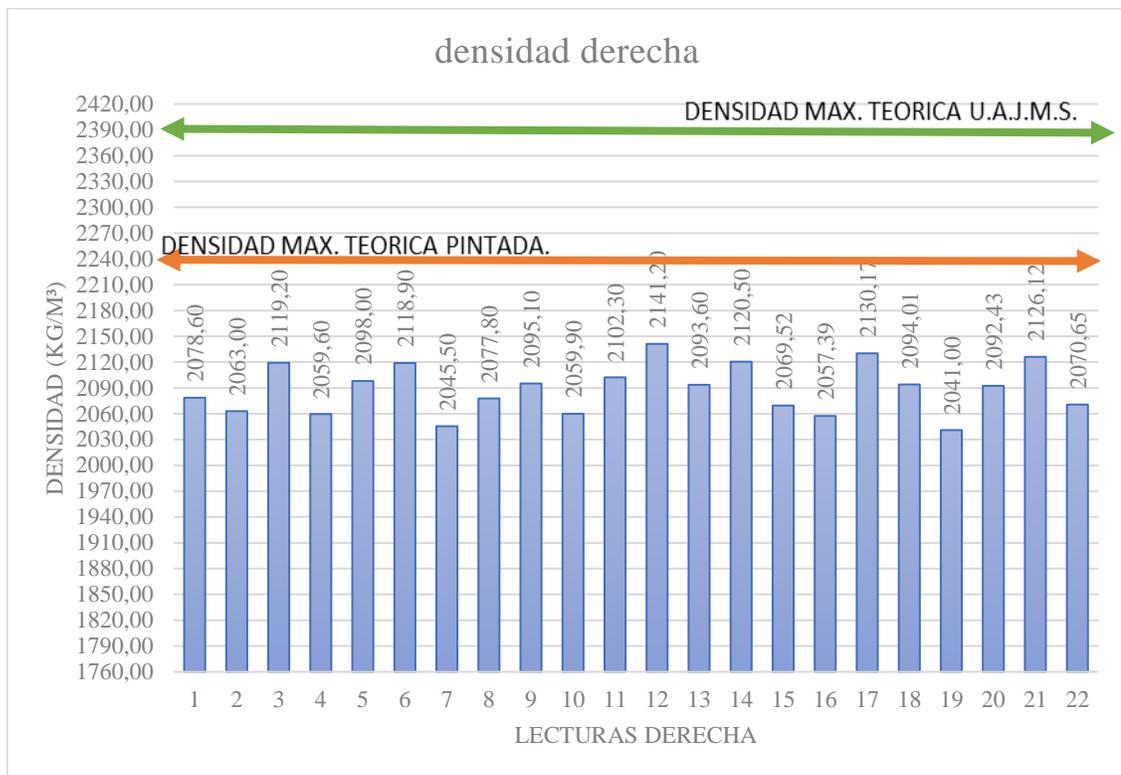


Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 1 de la gráfica 4.85. de la zona Obrajes se tiene la densidad más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de las densidades obtenidas en campo cumple los parámetros mínimos de diseño realizados en laboratorio por lo tanto se debería a ver realizado mejor el control con la maquinaria para llegar a una densidad óptima.

Se pudo observar que la alcaldía no contaba con equipos modernos para realizar el control de las carpetas asfálticas.

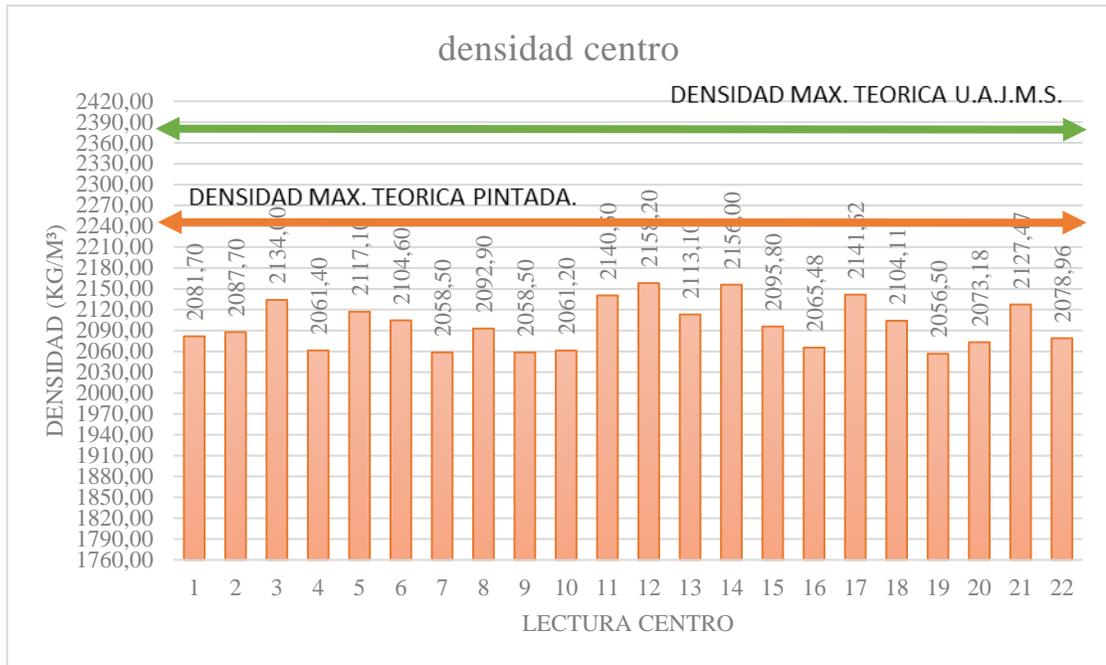
Gráfico 4.86 Densidad margen derecho



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.86. muestra el comportamiento de la densidad del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que la densidad más elevada fue punto 12 con una densidad de 2141,20 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 19 con una densidad de 2041,00 kg/m³, en el margen derecho no cumple ninguna densidad.

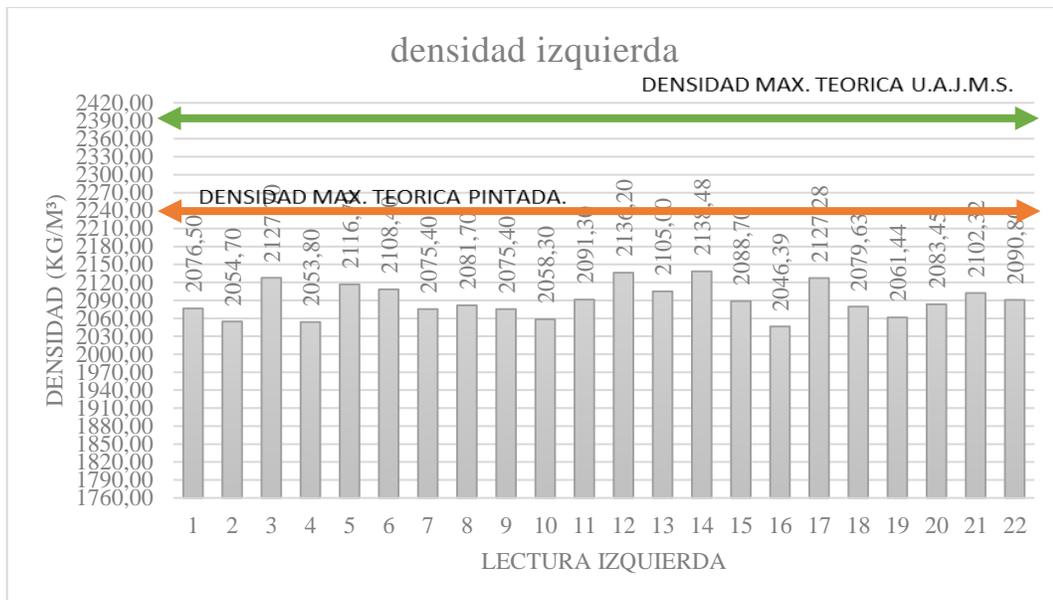
Gráfico 4.87 Densidad margen centro



Fuente: Elaboración propia

la gráfica 4.87. muestra el margen del centro donde se obtiene la densidad más elevada en el punto 12 con una densidad de 2158,20 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 19 con una densidad de 2056,50 kg/m³, en el margen central no cumple ninguna densidad.

Gráfico 4.88 Densidad margen izquierda



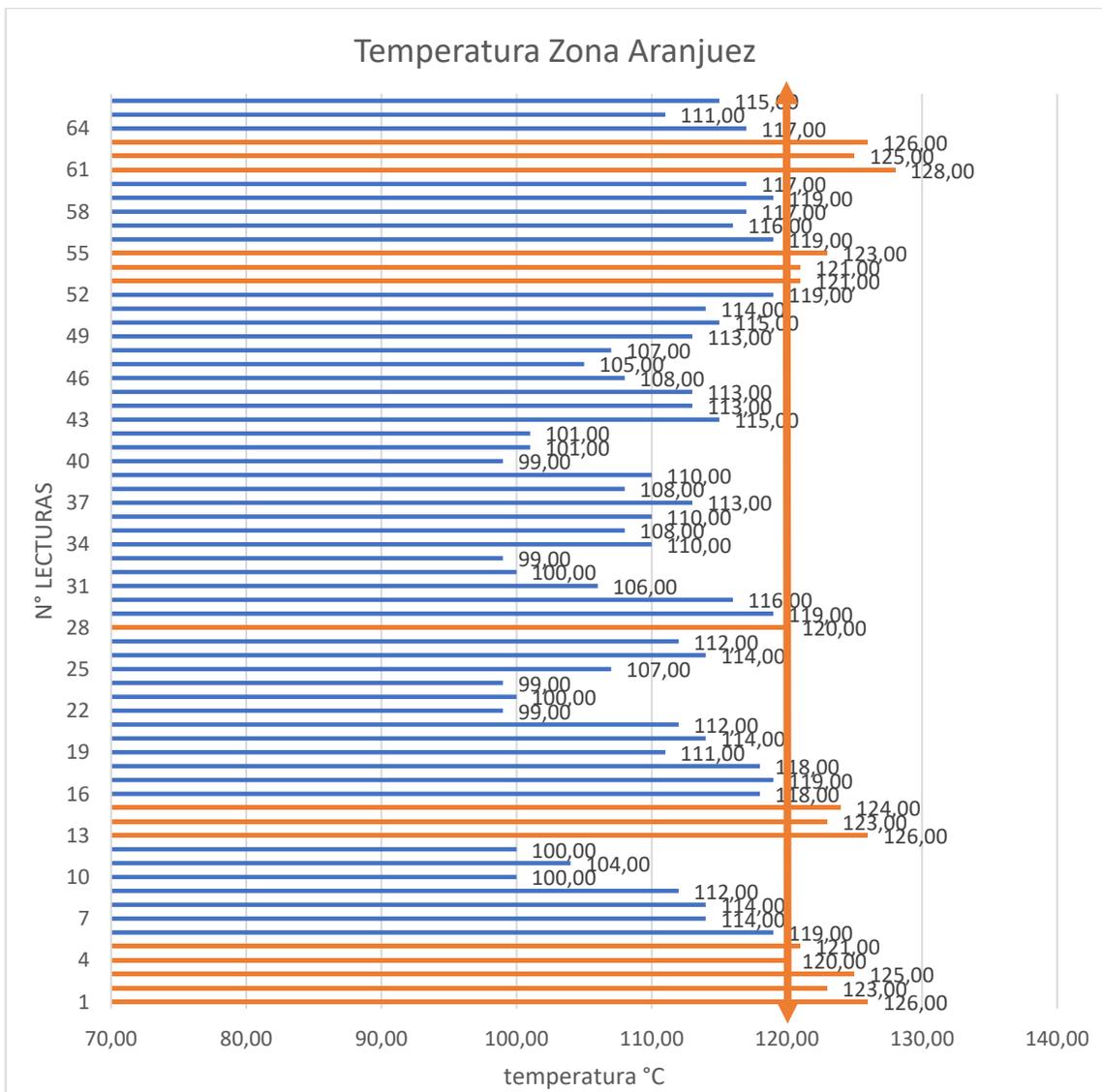
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.88. es la densidad de la izquierda, donde la densidad más elevada fue en el punto 12 con una densidad de 2136,20 kg/m³ y la densidad más baja fue en el punto 16 con una densidad de 2046,39 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ninguna densidad.

Las densidades del margen del centro son más elevadas, pero se puede observar en las gráficas que ninguna densidad cumple los parámetros mínimos de densidad de diseño.

Temperatura zona Aranjuez

Gráfico 4.89 Comportamiento de la Temperatura



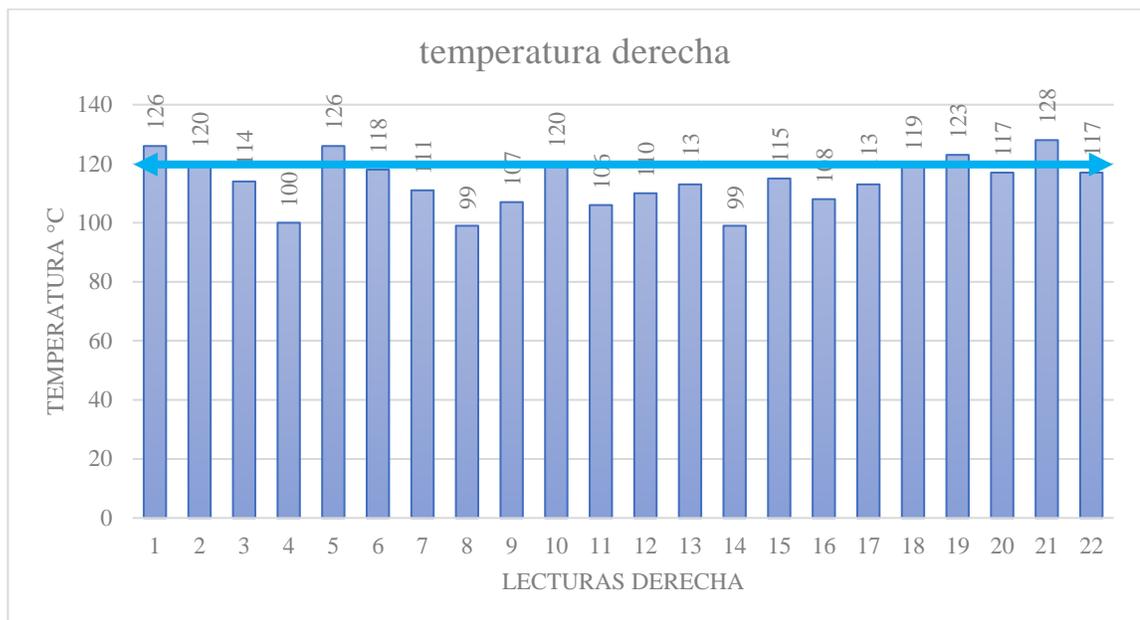
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 7,8 y 9 de la gráfica 4.89. de la zona el Constructor se tiene la temperatura más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, tres temperaturas cumplen los parámetros mínimos que tiene que estas entre las temperaturas de 120 °C a 150 °C.

Se pudo observar que la alcaldía no contaba con equipos de lectura de temperatura y personal que controle la temperatura de llegada de las volquetas con el material asfáltico.

Aunque en esta zona se puede observar que existen temperaturas que cumple, pero son muy pocas, la mayoría no cumplen.

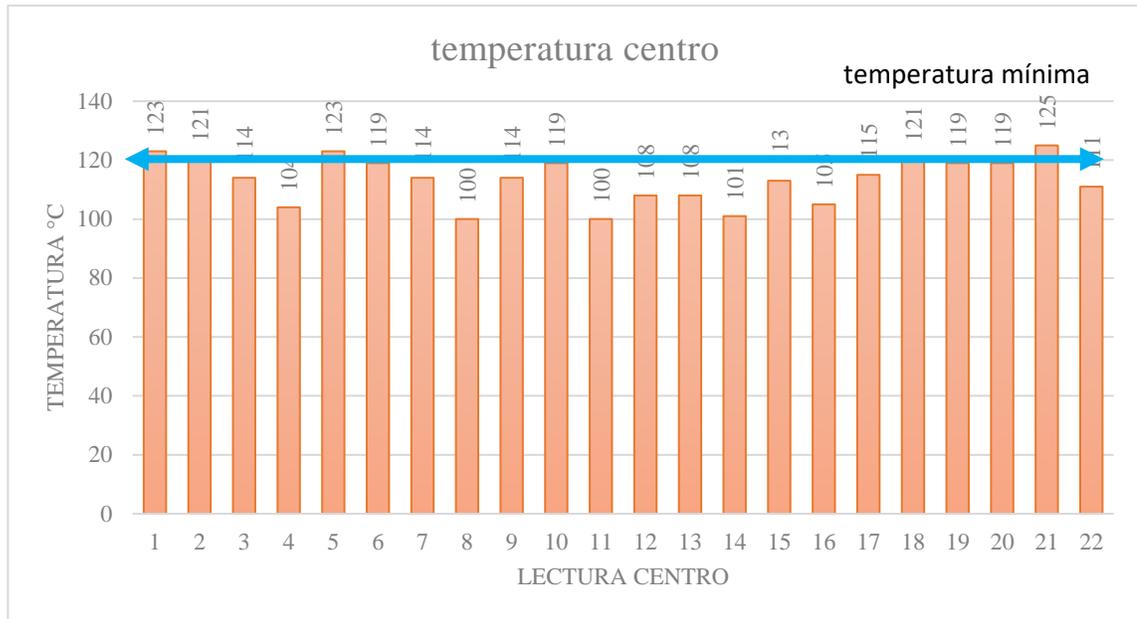
Gráfico 4.90 Temperatura margen derecho



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.90. muestra el comportamiento de las temperaturas del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que la temperatura más elevada fue en el punto 21 con temperaturas de 128 °C y la más baja fue en el punto 8 y 14 con una temperatura de 99 °C, en el margen derecho cumple 6 temperaturas.

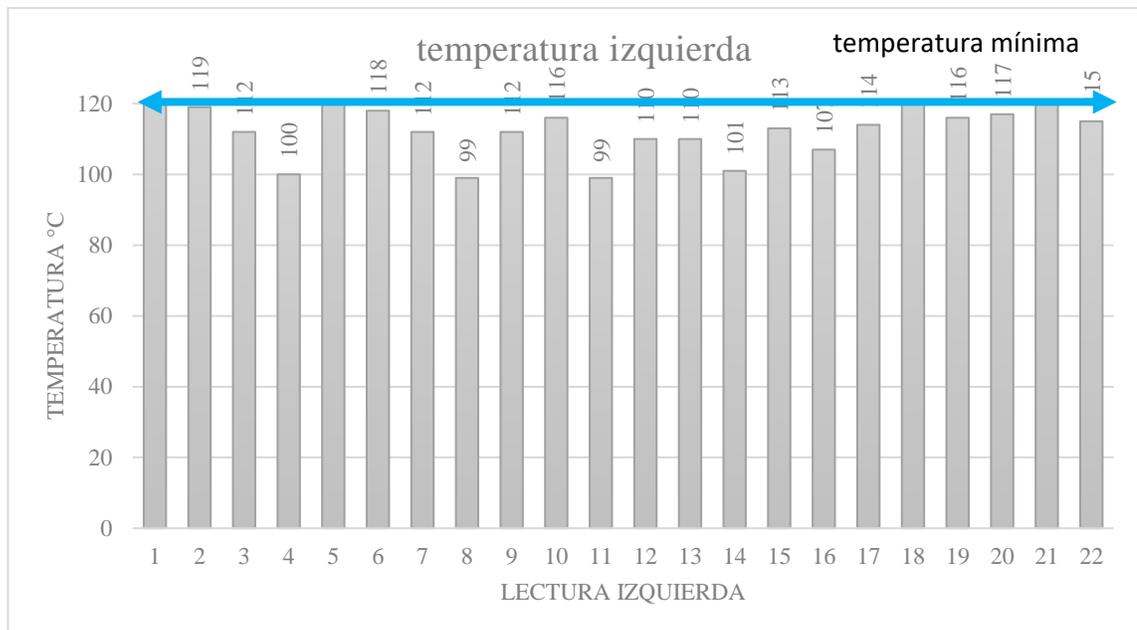
Gráfico 4.91 Temperatura margen centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.91. muestra el margen del centro donde se obtiene la temperatura más elevada en el punto 21 con una temperatura de 125 °C y la más baja fue en los puntos 8 y 12 con una temperatura de 100 °C, en el margen central cumple 4 puntos de temperatura.

Gráfico 4.92 Temperatura margen izquierdo

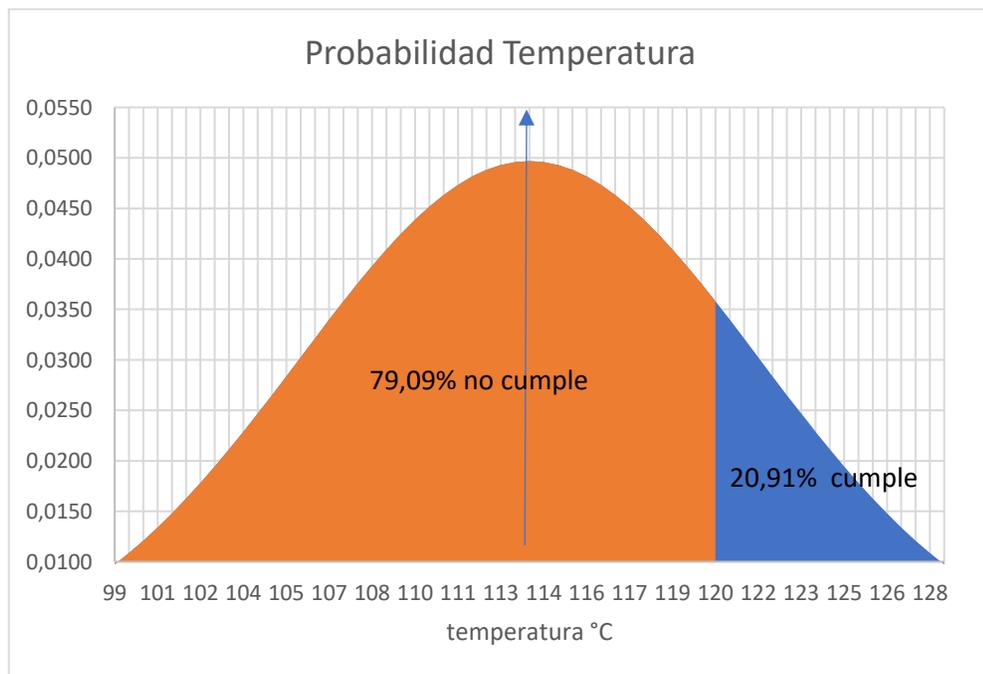


Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.92. es la temperatura de la izquierda, donde la temperatura más elevada fue en el punto 2 con una temperatura de 119 °C y la temperatura más baja fue en los puntos 8 y 12 con una temperatura de 99 °C, en el margen izquierdo no cumple ninguna temperatura.

Con estas temperaturas de inicio del asfaltado se debería a ver solicitado a la planta de asfalto que tengan en cuenta que las temperaturas de llegada no están cumpliendo en la mayoría de los puntos los parámetros mínimos de llegada en obra que tienen que estar entre 120°C a 150°C. Se pudo obtener 10 puntos que sí cumplían seis en el margen derecho y cuatro en el margen del centro.

Gráfico 4.93 Temperatura campana de gauss

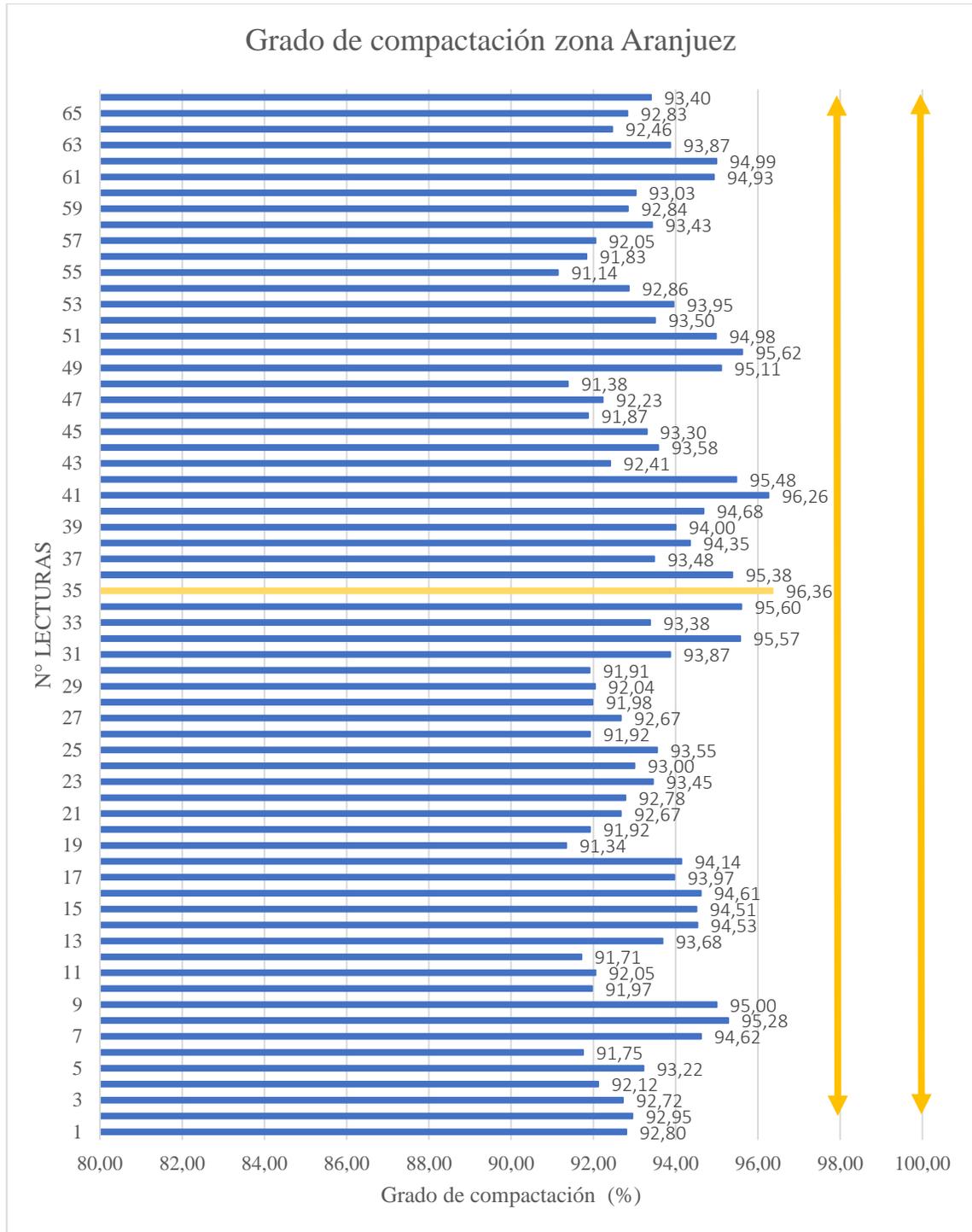


Fuente: Elaboración propia

Con la campana de gauss podemos determinar que en esta zona tenemos un 20,91% de temperaturas que sí cumplen y un 79,09% que no cumplen los parámetros mínimos de temperatura a partir de la probabilidad.

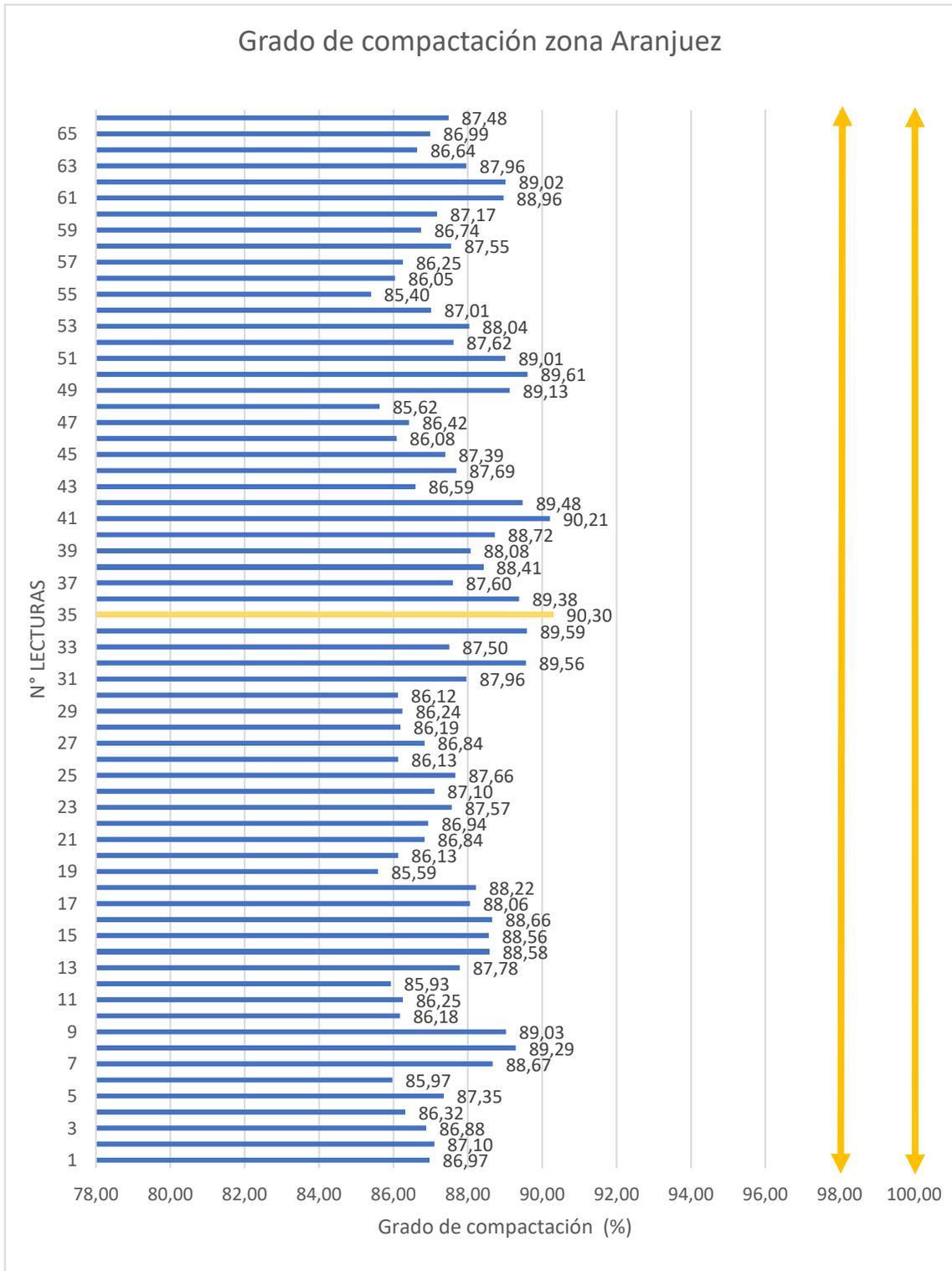
Grado de compactación zona Aranjuez

Gráfico 4.94 Grado de compactación al 2240 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

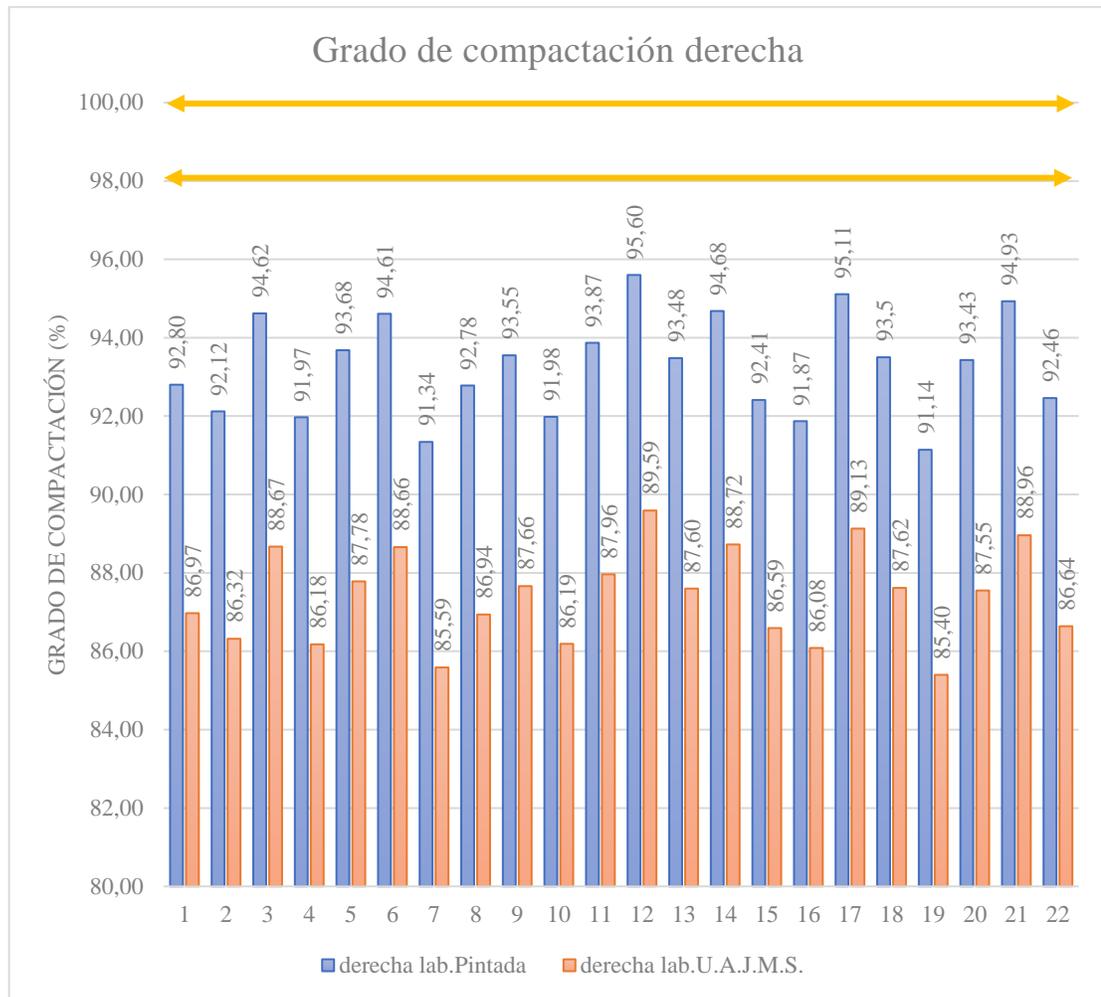
Gráfico 4.95 Grado de compactación al 2390 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 35 de la gráfica 4.94. y 4.95. de la zona Aranjuez se tiene el grado de compactación más alta obtenida de la lectura con el equipo PQI-380, pero ninguna de los grados de compactación obtenidas en campo cumple los parámetros y tampoco cumple el grado de compactación mínimo que es de 98 %.

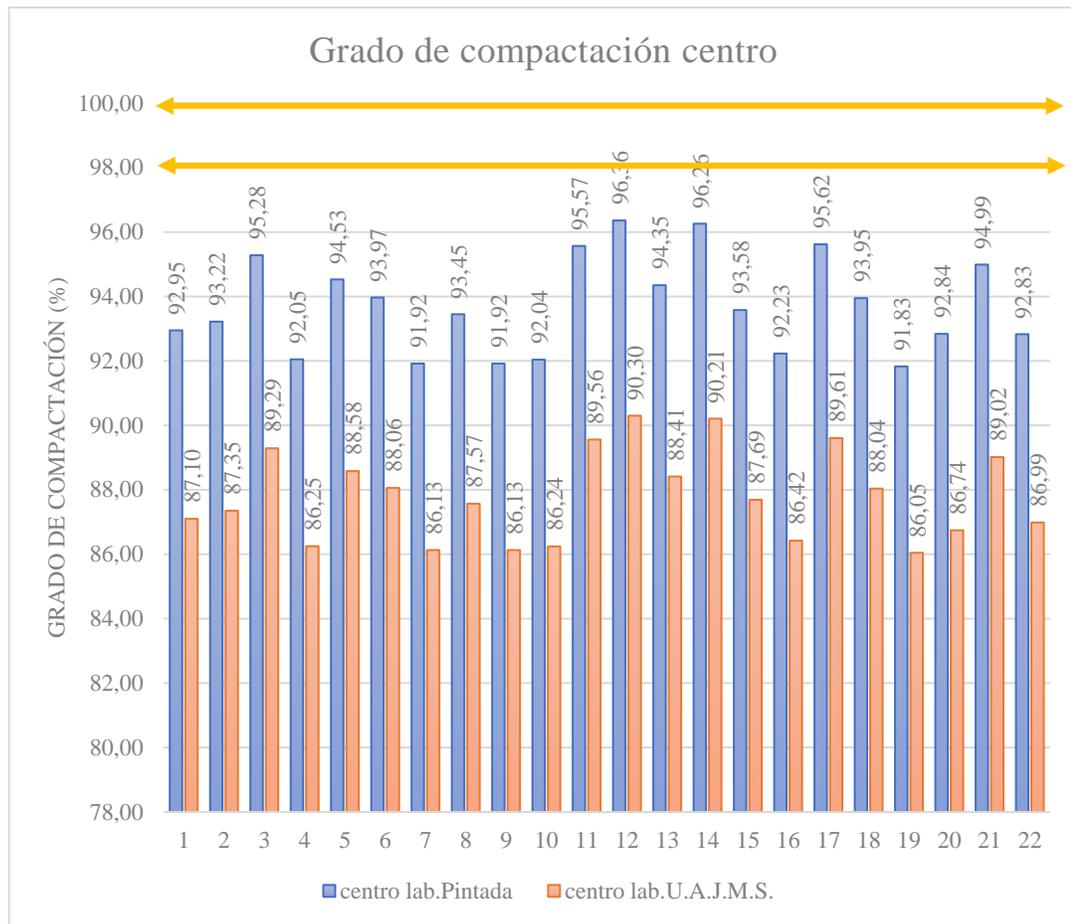
Gráfico 4.96 Grado de compactación derecha



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.96. muestra el comportamiento del grado de compactación del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar que el grado de compactación más elevada fue punto 12 con un grado de compactación de 95,60 % al 2240 kg/m³ y 89,59 % al 2390 kg/m³, la más baja fue en el punto 19 con un del grado de compactación de 91,14 % al 2240 kg/m³ y 85,40 % al 2390 kg/m³, en el margen derecho no cumple ningún del grado de compactación.

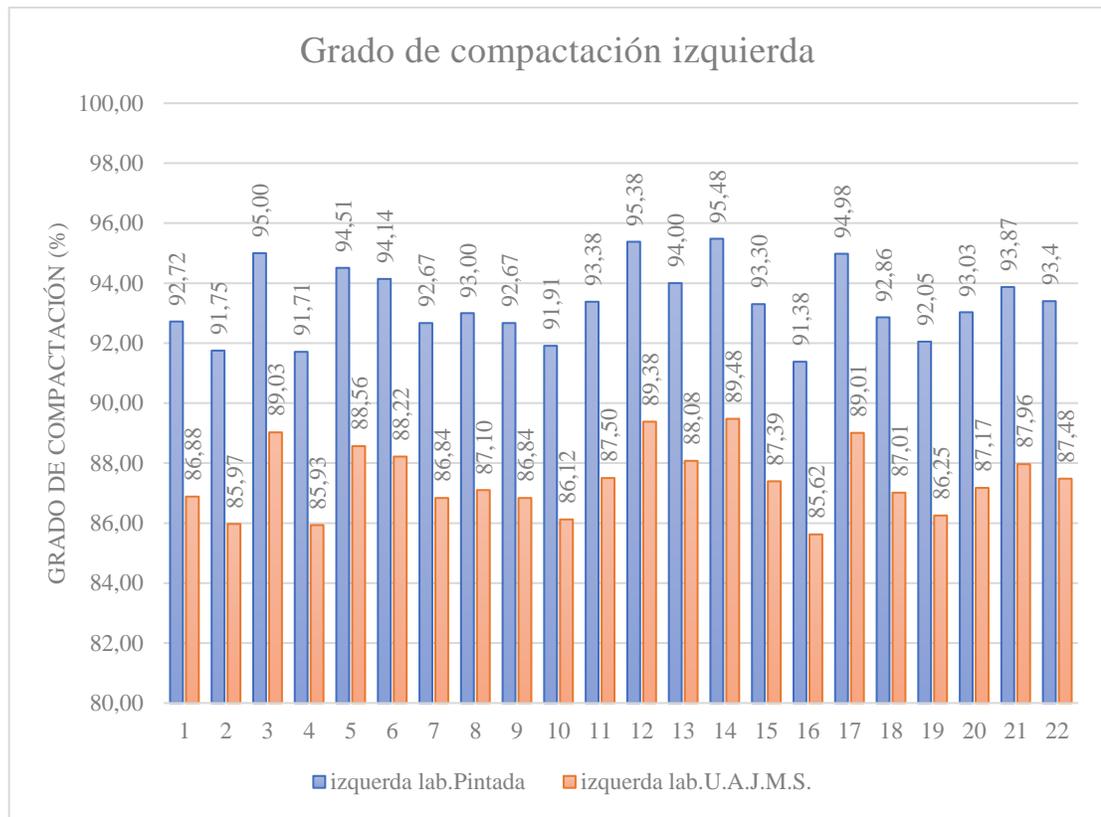
Gráfico 4.97 Grado de compactación centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.97. muestra el margen del centro donde se obtiene el grado de compactación más elevada en el punto 12 con un grado de compactación de 96,36 % al 2240 kg/m³ y 90,30 % al 2390 kg/m³ y la más baja fue en el punto 19 con un grado de compactación de 91,83 % al 2240 kg/m³ y 86,05 % al 2390 kg/m³, en el margen central no cumple ningún grado de compactación.

Gráfico 4.98 Grado de compactación izquierda



Fuente: Elaboración propia

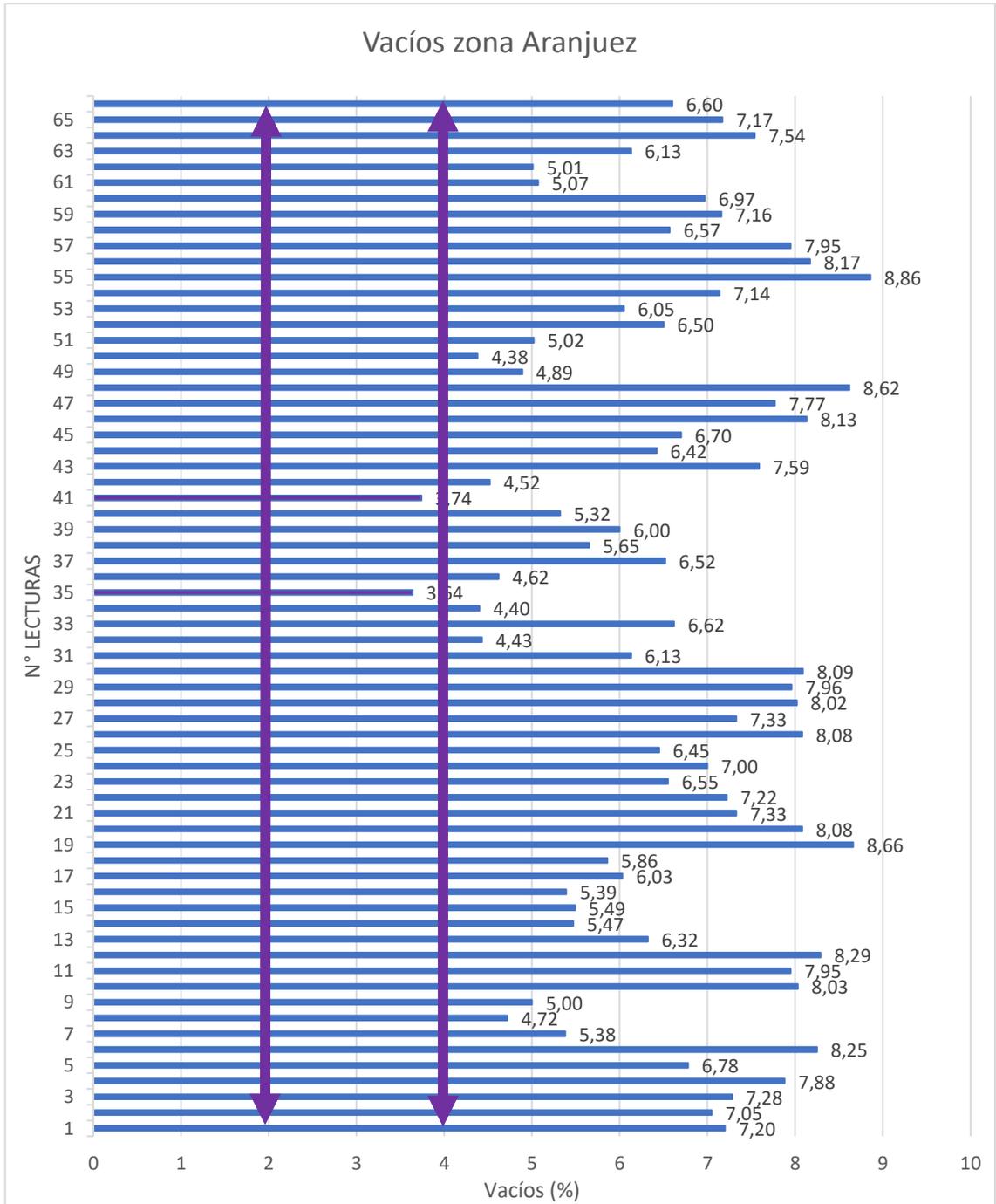
La gráfica 4.98. es el grado de compactación de la izquierda, donde el grado de compactación más elevada fue en el punto 14 con un grado de compactación de 95,48 % al 2240 kg/m³ y 89,48 % al 2390 kg/m³, y el grado de compactación más baja fue en el punto 16 con un grado de compactación de 91,38 % al 2240 kg/m³ y 85,62 % al 2390 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ningún grado de compactación.

Las gráficas de grado de compactación fueron porcentajes a partir del diseño de la mezcla asfálticas tanto obtenida de La Pintada como realizadas por el tesista, el grado de compactación tiene un 5,85 % de diferencia, obteniendo mayor porcentaje de grado de compactación de los datos obtenidos por La Pintada.

En ninguno de las gráficas llega a lo mínimo del grado de compactación que es el 98 %.

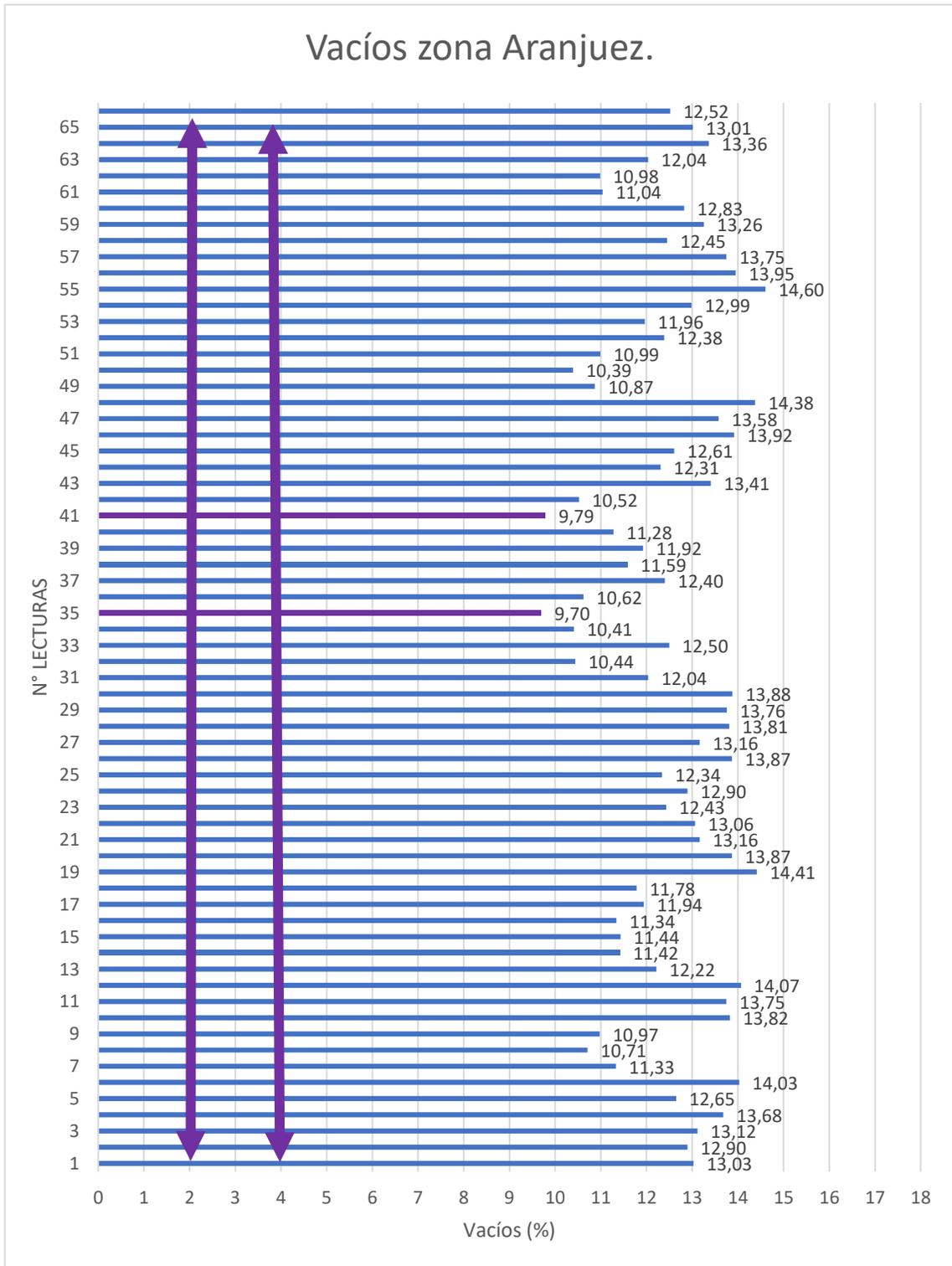
Vacíos zona Aranjuez

Gráfico 4.99 Comportamiento de los Vacíos al 2240 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

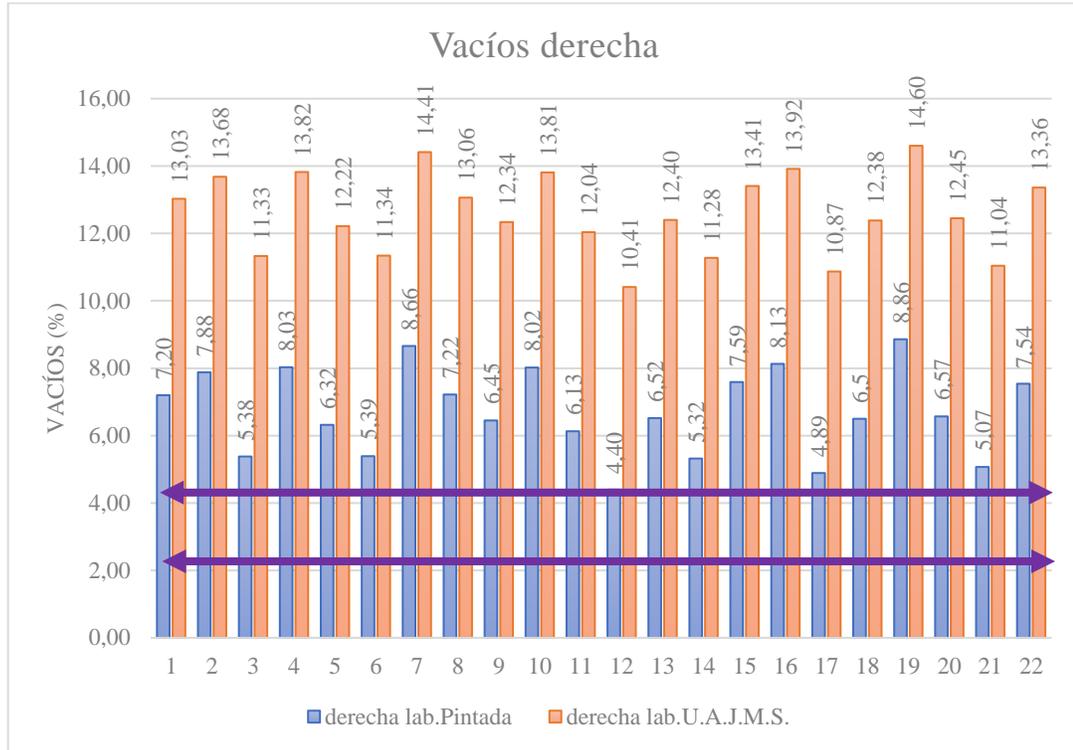
Gráfico 4.100 Comportamiento de los Vacíos 2390 kg/m³



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en el punto 1 de las gráficas 4.99. y 4.100. de la zona de san Antonio se tiene los vacíos más bajos obtenidas de las lecturas con el equipo PQI-380, con los valores de laboratorio 2240 kg/m³, y a los vacíos al 2390 kg/m³ no cumplen ninguna.

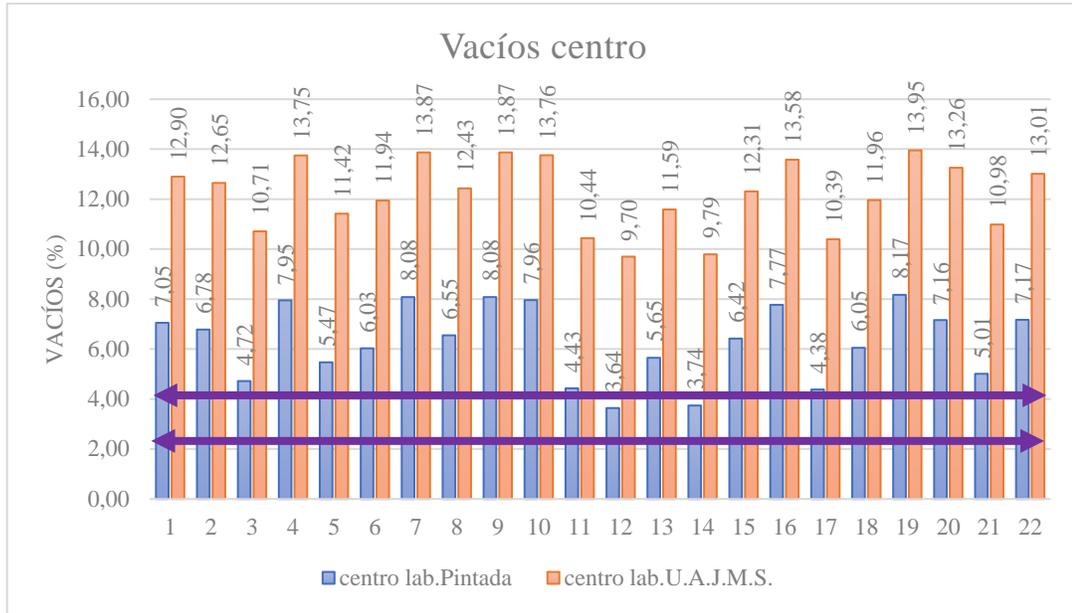
Gráfico 4.101 Vacíos derecha



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.101. muestra los vacíos del margen derecho obtenidas con el equipo PQI-380 donde se puede apreciar los vacíos más bajos fue punto 12 con vacíos de 4,40 % al 2240 kg/m³ y 11,41 % al 2390 kg/m³, la más elevadas fue en el punto 19 con de 8,86 % al 2240 kg/m³ y 14,60 % al 2390 kg/m³, en el margen derecho no cumple ningún de los vacíos.

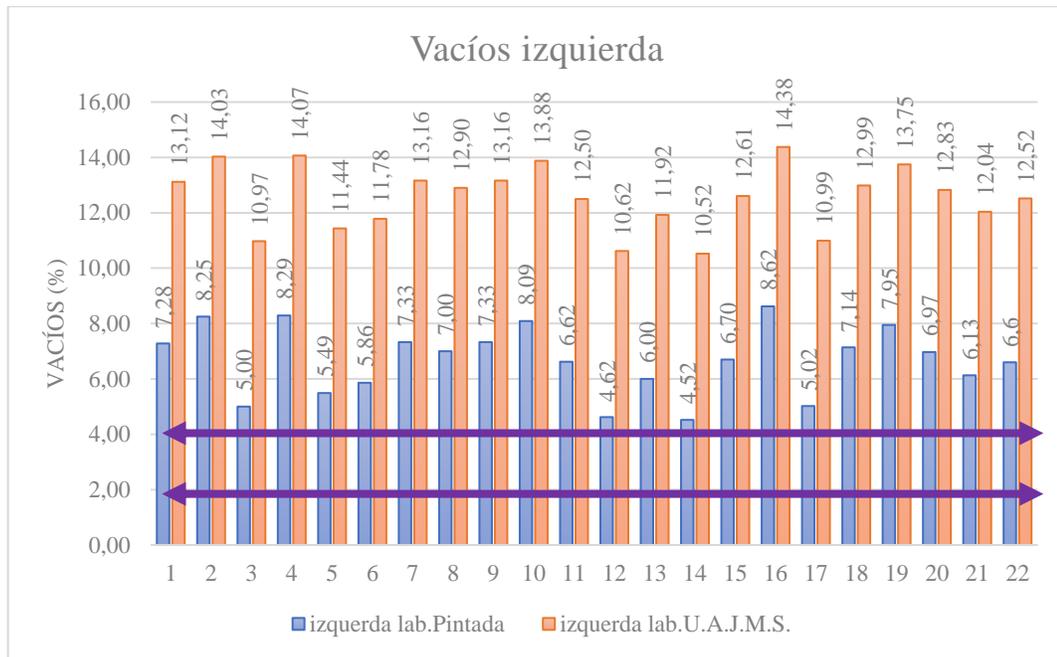
Gráfico 4.102 Vacíos centro



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.102. muestra el margen del centro donde se obtiene los vacíos más bajos en el punto 12 con vacíos 3,64 % al 2240 kg/m³ y 9,70 % al 2390 kg/m³ y los más elevados fue en el punto 19 con vacíos de 13,95 % al 2240 kg/m³ y 13,42 % al 2390 kg/m³, en el margen central cumple dos puntos de los vacíos.

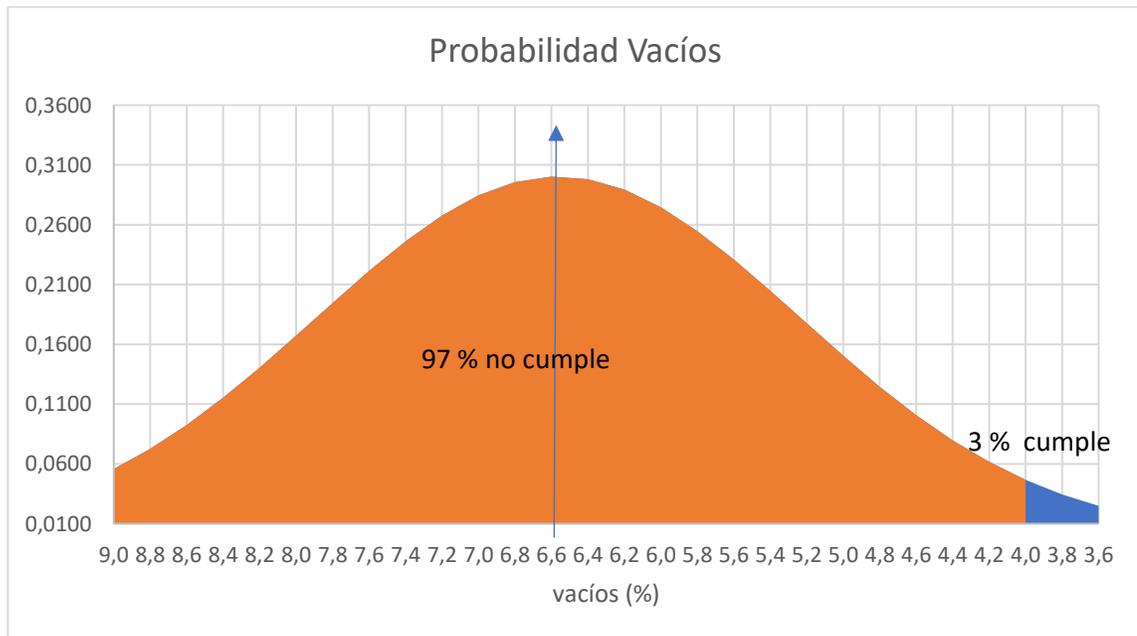
Gráfico 4.103 Vacíos izquierda



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.101. son los vacíos de la izquierda donde los vacíos más bajos fue en el punto 14 con vacíos 4,52 % al 2240 kg/m³ y 10,52 % al 2390 kg/m³, y los vacíos más elevados fue en el punto 16 con vacíos de 8,62 % al 2240 kg/m³ y 14,28 % al 2390 kg/m³, en el margen izquierdo no cumple ningún de los vacíos.

Gráfico 4.104 Temperatura campana de gauss



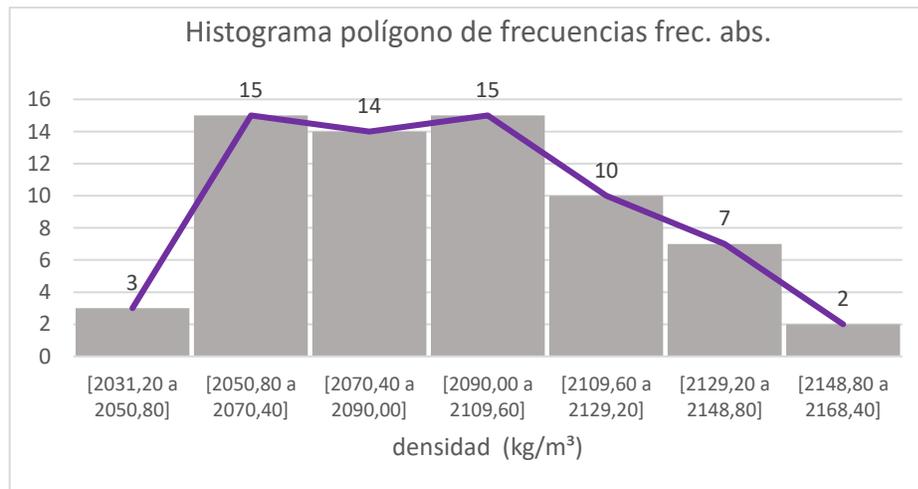
Fuente: Elaboración propia

Con la campana de gauss podemos determinar que en esta zona tenemos un 3,00 % de temperaturas que si cumplen y un 97,00 % que no cumplen los parámetros mínimos de temperatura a partir de la probabilidad.

Los datos obtenidos del abasto del Sur ninguno cumplen los parámetros mínimos de vacíos que están entre un intervalo de 2 % y 4 %. El porcentaje de diferencia de datos son de 5,82 %.

Con los datos obtenidos se puede decir que las densidades, temperaturas, grado de compactación y vacíos no cumplen y por cada pasada que hacia la compactadora con rodillo nos daba una densidad de promediada de 24,6 kg/m³ y compactadora a neumático nos dio un valor de pasada de 20,7 kg/m³, por lo tanto, se debería haber dado tres pasadas más con el rodillo y dos más con el neumático para llegar a una densidad mínima.

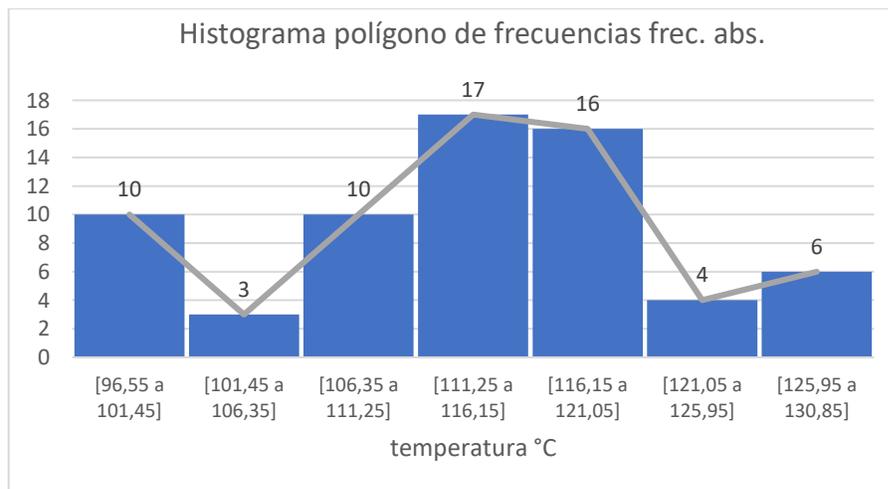
Gráfico 4.105 Histograma de densidad



Fuente: Elaboración propia

Se pudo obtener el histograma de frecuencia donde se puede observar que entre los intervalos 2050,80 kg/m³ y 2070,40 kg/m³ y también entre 2090,00 kg/m³ y 2109,60 kg/m³ se tiene la mayoría de datos obtenidas en la zona de Aranjuez. Donde la distribución tiene cola al lado derecho, sesgada a la derecha (positiva). Y su achatamiento es leptocúrtica.

Gráfico 4.106 Histograma de temperatura



Fuente: Elaboración propia

Se pudo obtener el histograma de frecuencia donde se puede observar que entre los intervalos 111,25 °C y 116,15 °C se tiene la mayoría de datos obtenidas en la zona de Aranjuez. Donde la distribución tiene cola al lado derecho, sesgada a la derecha (positiva).

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En el presente proyecto se logró realizar a partir de una evaluación técnica de las carpetas asfálticas de diferentes lugares, durante la puesta en obra, usando el densímetro no nuclear PQI-380.

En el cual se establece las siguientes conclusiones.

- Se obtuvieron los datos de diseño de las mezclas asfálticas proporcionada por el laboratorio de La Pintada, para introducir los datos al densímetro no nuclear PQI-380 y realizar las lecturas con el equipo en in situ.
- En obra se obtuvo datos rápidos y precisos de temperatura, densidad, grado de compactación y vacíos por el equipo PQI-380.
- Los diseños de la curva granulométrica cumplen con las líneas de control de acuerdo con la ASTM D3515.
- En los diseños de Marshall se obtuvo la densidad máxima, en el laboratorio de La Pintada se obtuvo el valor de $2,24 \text{ gr/cm}^3$, mientras que en el laboratorio de la UAJMS se obtuvo una densidad máxima de $2,39 \text{ gr/cm}^3$ que estos valores tienen una diferencia del 5,82 %.
- Las densidades promedio en in situ dieron como resultado de $2,19 \text{ gr/cm}^3$ en la zona de Obrajés, $2,16 \text{ gr/cm}^3$ en la zona del Abasto del Sur, $2,16 \text{ gr/cm}^3$ en la zona de San Antonio, $2,20 \text{ gr/cm}^3$ en la zona El Constructor y el último dato fue de $2,18 \text{ gr/cm}^3$ en la zona Aranjuez.
- El porcentaje de cemento asfalto obtenido por el laboratorio de La Pintada fue de 5,65 % que tiene un margen de diferencia del 0,06 % al porcentaje de cemento asfáltico obtenido por el laboratorio de la UAJMS que dio un 5,71%.

- El porcentaje de cemento asfáltico obtenido por el centrífugo dio en la zona de Obrajes con un 4,03 %, en la zona Abasto del Sur con un 4,54 %, en la zona San Antonio con un 4,61 %, en la zona el Constructor con un 4,01 % y la zona Aranjuez con un 4,05 %.
- Se realizaron 180 lecturas finales de densidad en el sitio de la obra utilizando el equipo PQI-380. Ninguna de las lecturas cumplió con las densidades de diseño de las mezclas asfálticas. La densidad más alta registrada fue de 2189,30 kg/m³ en la zona del barrio Obrajes.
- También se llevaron a cabo 180 lecturas iniciales de temperatura con el mismo equipo. En la zona de San Antonio, solo se cumplieron dos puntos. En la zona de El Constructor, se cumplieron tres puntos, y en la zona de Aranjuez, se cumplieron quince puntos, con la temperatura más alta registrada de 128°C. Esto representó el 20,91% de cumplimiento de la temperatura mínima requerida.
- Se efectuaron 180 lecturas finales de grado de compactación con el equipo PQI-380. Ninguna de las lecturas cumplió con el grado de compactación deseado en el diseño de las mezclas asfálticas. La zona de Obrajes registró el grado de compactación más alto, alcanzando el 97,70%.
- Por último, se tomaron 180 lecturas finales de vacíos con el equipo PQI-380. La zona de Aranjuez cumplió con dos puntos, al igual que la zona de Obrajes. En esta última zona, se registraron los vacíos más bajos, con un 2,30%, lo que representa el 4% de vacíos en total.

5.2 Recomendaciones

- Tratar de esparcir la mezcla asfáltica en el momento que lleguen las volquetas para evitar que se enfríe la mezcla.
- Utilizar la proporción correcta del cemento asfáltico, obtenida en el diseño de la mezcla.
- Tener personal de supervisión que controle la temperatura de llega del material puesto en obra y controlar el tiempo de demora del traslado del material desde planta hasta el lugar de asfaltado.
- Se recomienda que la posta municipal compre un equipo que les ayude a controlar las carpetas asfálticas y así llegar a tener mejores compactaciones con los equipos y saber a qué temperaturas llegan las mezclas asfálticas.
- Para lectura con el densímetro PQI-380 colocar siempre en superficie lo más planas posible, para evitar la obtención de datos erróneas.
- Llevar siempre la maleta donde se guarda el equipo donde se encuentra la placa para realizar la estandarización del equipo. El PQI-380 siempre debe hacer ser estandarizado antes de usarlo para evitar errores.
- En futuras investigaciones, se recomienda utilizar el equipo PQI-380 en in situ, para lecturas de densidades a pavimentos flexibles nuevos o extendidos, para poder determinar la densidad y grado de compactación a diferentes temperaturas.