

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**Plan de Trabajo de Integración Curricular**

**Tema:** Instalación, arranque y calibración de una Planta de Asfaltos; y su correspondiente Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente por el Método “Marshall”, utilizando áridos de la Mina de Libre Aprovechamiento del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Napo - GADPN y Cemento Asfáltico AC-20.

**DIRECTOR:**

ING. GUSTAVO P. YÁNEZ CAJAS

**AUTOR:**

FABIÁN MARCELO PIEDRA CALLE.

QUITO DM, OCTUBRE DE 2025

## **RESUMEN**

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo describir de manera ordenada y técnica el proceso necesario para la instalación, arranque y puesta en operación de una Planta de Asfaltos, considerando tanto los aspectos técnicos como logísticos requeridos para garantizar una producción confiable y acorde a la normativa vigente. Se desarrollan las actividades preliminares indispensables, tales como la implementación de campamentos, la habilitación de minas de materiales pétreos, el análisis de rutas y sistemas de transporte, así como los procesos de trituración y la instalación de los distintos equipos que conforman la planta de producción.

Adicionalmente, se describen los materiales empleados en la fabricación de la mezcla asfáltica en caliente, sus características físicas y mecánicas, y los ensayos de laboratorio necesarios para verificar su idoneidad. Se aborda el diseño de la mezcla asfáltica mediante el método Marshall, analizando los parámetros volumétricos y mecánicos que permiten obtener una mezcla estable, durable y funcional. Finalmente, se detallan los controles de calidad y pruebas en obra que aseguran que el producto final cumpla con los requisitos técnicos establecidos, contribuyendo así a la correcta ejecución de proyectos viales y al adecuado desempeño del pavimento en servicio.

## **PALABRAS CLAVE**

*Planta de Asfalto, Mezcla Asfáltica en Caliente, Método Marshall, Control de Calidad, Pavimentos.*

## **ABSTRACT**

The present research aims to describe, in an organized and technical manner, the process required for the installation, start-up, and commissioning of an asphalt plant, considering both the technical and logistical aspects necessary to ensure reliable production in compliance with current standards and technical regulations. The study addresses the essential preliminary activities, including the establishment of work camps, the development of aggregate sources, the analysis of transportation systems, as well as the crushing processes and the installation of the equipment that make up the production plant.

In addition, the materials used in the manufacture of hot mix asphalt are described, along with their physical and mechanical characteristics and the corresponding laboratory tests required verifying their suitability. The asphalt mix design is carried out using the Marshall method, analyzing the volumetric and mechanical parameters that allow the production of a stable, durable, and functional mixture. Finally, the quality control procedures and field tests necessary to ensure compliance with technical specifications are presented, contributing to the proper execution of road projects and the adequate performance of asphalt pavements during service.

## **KEYWORDS**

*Asphalt Plant, Hot Mix Asphalt, Marshall Method, Quality Control, Pavements.*

## **DEDICATORIA**

A mi padre, el ingeniero de mi vida.

A mi madre, la procuradora de mi corazón.

A mi hermano, mi mentor y mi guía.

A mi hermana, mi corazón.

Y, sobre todo, a mi hijo, mi ser mismo y mi razón de ser.

Les amo con mi vida. Les dedico este trabajo por creer en mí,

aun cuando yo no podía hacerlo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y hermanos, por el apoyo constante, la confianza y el acompañamiento brindado a lo largo de mi formación académica, incluso en los momentos de mayor dificultad.

A mi hijo, por ser la principal motivación y el motor que dio sentido y propósito a cada esfuerzo realizado durante este proceso.

A mis profesores, por los conocimientos impartidos, la orientación académica y la oportunidad de crecer tanto en el ámbito profesional como personal.

A mis compañeros, por el trabajo compartido, el aprendizaje colectivo y por aportar a esta carrera experiencias que van más allá del conocimiento técnico.

## **TABLA DE CONTENIDOS**

<b>1</b>	<b>Antecedentes .....</b>	<b>1</b>
1.1	Justificación.....	1
1.2	Planteamiento del problema .....	2
1.3	Objetivos: General y Específicos .....	3
1.4	Alcance .....	4
<b>2</b>	<b>Fundamentación teórica.....</b>	<b>5</b>
2.1	Materiales Pétreos para mezclas asfálticas.....	5
2.1.1	Definición y clasificación de agregados.....	5
2.1.2	Propiedades físicas relevantes de los agregados pétreos.....	8
2.1.3	Selección de la granulometría y cumplimiento NEVI-12.....	10
2.2	Cemento asfáltico AC-20 .....	12
2.2.1	Clasificación por grado de penetración y viscosidad .....	14
2.2.2	Propiedades físicas y químicas del AC-20.....	14
2.2.3	Comportamiento reológico y sensibilidad a la temperatura.....	15
2.2.4	Requisitos según normativa NEVI-12 y AASHTO .....	15
2.3	Mezcla asfáltica en caliente (HMA - Hot Mixing Asphalt) .....	16
2.3.1	Concepto y tipos de mezclas asfálticas .....	16
2.3.2	Relación: árido – asfalto.....	17
2.3.3	Importancia del esqueleto mineral.....	17
2.3.4	Parámetros de diseño (Va, VMA, VFA, estabilidad, flujo) .....	18
2.3.5	Criterios de desempeño: durabilidad, resistencia, trabajabilidad.....	19
2.4	Ensayo Marshall .....	19
2.4.1	Antecedentes y fundamento del método.....	20
2.4.2	Equipos utilizados en el ensayo .....	20
2.4.3	Procedimiento experimental (molturación, compactación, mediciones) .....	21
2.4.4	Cálculo de parámetros volumétricos.....	22
2.4.5	Criterios de aceptación según NEVI-12 y AASHTO T 245.....	23
2.4.6	Selección del contenido óptimo de asfalto (OAC).....	23
<b>3</b>	<b>Mantenimiento, Alistamiento, Campamento, Instalación, Arranque, Puesta en Marcha y Diseño de Pavimentos .....</b>	<b>24</b>
3.1	Mantenimiento y alistamiento de la Planta de Asfaltos.....	24
3.2	Elección del Terreno para ubicación del Campamento .....	27
3.3	Transporte e Instalación de la Planta de Asfaltos .....	32
3.4	Arranque y Puesta en Marcha de la Planta de Asfaltos.....	35

3.5	Suministro y aprobación de materiales pétreos.....	38
3.6	Diseño de Pavimentos mediante Ensayo Marshall .....	47
3.7	Control de Calidad en planta y en obra de la mezcla asfáltica en caliente .....	48
4	Resultados.....	49
4.1	Presentación de resultados.....	49
4.2	Análisis de resultados.....	49
5	Conclusiones y recomendaciones.....	51
5.1	Conclusiones.....	51
5.1.1	Conclusiones Teóricas .....	51
5.1.1.1	Enfoque del Método Marshall.....	51
5.1.1.2	Relación Volumétrica Básica.....	51
5.1.1.3	Interpretación del Comportamiento de la Mezcla .....	51
5.1.1.4	Vacíos de Aire Óptimos.....	51
5.1.1.5	Principio Rector del Método Marshall .....	52
5.1.2	Conclusiones acerca del Trabajo de Integración Curricular .....	52
5.2	Recomendaciones .....	53
6	Bibliografía .....	55
7	Anexos.....	57

## INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 .....	47
Tabla 4.1 .....	49

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1 .....	6
Ilustración 2.2 .....	7
Ilustración 2.3 .....	8
Ilustración 2.4 .....	13
Ilustración 2.5 .....	21
Ilustración 3.1 .....	25
Ilustración 3.2 .....	25
Ilustración 3.3 .....	26
Ilustración 3.4 .....	27
Ilustración 3.5 .....	28
Ilustración 3.6 .....	28
Ilustración 3.7 .....	29
Ilustración 3.8 .....	29
Ilustración 3.9 .....	30
Ilustración 3.10 .....	30
Ilustración 3.11 .....	31
Ilustración 3.12 .....	32
Ilustración 3.13 .....	32
Ilustración 3.14 .....	33
Ilustración 3.15 .....	34
Ilustración 3.16 .....	34
Ilustración 3.17 .....	35
Ilustración 3.18 .....	36
Ilustración 3.19 .....	37
Ilustración 3.20 .....	37
Ilustración 3.21 .....	38
Ilustración 3.22 .....	39
Ilustración 3.23 .....	39
Ilustración 3.24 .....	40
Ilustración 3.25 .....	40
Ilustración 3.26 .....	41
Ilustración 3.27 .....	41
Ilustración 3.28 .....	42
Ilustración 3.29 .....	42
Ilustración 3.30 .....	43
Ilustración 3.31 .....	44
Ilustración 3.32 .....	45
Ilustración 3.33 .....	46

<b>Ilustración 3.34</b> .....	48
<b>Ilustración 3.35</b> .....	48
<b>Ilustración 4.1</b> .....	50

## 1 Antecedentes

El presente trabajo de investigación, se basa en la necesidad de contar con las herramientas que permitan que la Empresa ConstrucPiedra Cía. Ltda., pueda cumplir con el Contrato signado con el Código: [LICO-GADPN-2024-001](#), para la Construcción de la Obra: **“Ampliación y asfaltado de la vía: Las Antenas hasta la comunidad de Guayusa Loma, Cantón Tena, provincia de Napo”**, por un monto de **\$2’473.657,97** Dólares de los Estados Unidos de Norteamérica + IVA; en el cual, es parte integrante del Consorcio BP, Contratista de la misma, teniendo un 40% de participación.

### 1.1 Justificación.

Para cumplir con el Contrato aquí mencionado, se requiere la producción continua, controlada y técnicamente aprobada de mezcla asfáltica en caliente. Para ello, resulta indispensable contar con una planta de asfaltos operativa, correctamente instalada, calibrada y capaz de garantizar los volúmenes y calidades exigidos por el contrato y por la normativa ecuatoriana vigente.

Es así que la Constructora, enfrenta la necesidad de disponer de una Planta de Asfaltos [AMMANN PRIME 140](#), fabricada en el año 2.015, completamente funcional. La correcta instalación, arranque y calibración de esta planta no solo determinan la calidad de la mezcla asfáltica producida en caliente, sino que inciden directamente en el cumplimiento de plazos contractuales, la optimización de recursos y la viabilidad económica del proyecto.

Además, la producción interna de mezclas asfálticas representa una ventaja estratégica ya que reduce significativamente los costos de transporte, disminuye la dependencia de proveedores externos, permite un mayor control de calidad en tiempo real y asegura la disponibilidad continua de esta materia prima; e inclusive permite controlar la producción en función de las condiciones climáticas o logísticas complejas propias de la Amazonía ecuatoriana.

De manera complementaria, el Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente mediante el Método Marshall, utilizando los áridos provenientes de la Mina de Libre Aprovechamiento del [GADPN](#) y el cemento asfáltico AC-20, es un componente técnico fundamental para garantizar que el pavimento cumpla los requisitos de estabilidad y flujo. Estoy seguro de que un diseño Marshall propio, permitirá ajustar óptimamente la dosificación, mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla y asegurar su conformidad con las especificaciones técnicas del Contrato, basadas en las normas [NEVI-12](#) y [AASHTO](#).

Por todo lo anterior, este trabajo investigativo se justifica plenamente, ya que integra dos procesos críticos para el éxito del proyecto vial:

- El transporte, instalación, arranque, y puesta en marcha técnica, operativa y segura de la Planta de Asfaltos [AMMANN PRIME 140](#), y
- La elaboración del Diseño Marshall específico para los materiales del proyecto.

Ambos elementos son indispensables para producir una mezcla asfáltica en caliente de calidad, cumplir las obligaciones contractuales y garantizar un uso eficiente y sostenible de los recursos públicos destinados a la obra.

## **1.2 Planteamiento del problema.**

En la Provincia del Napo no existe ningún proveedor local de mezcla asfáltica en caliente, lo que imposibilita la adquisición del material dentro de la zona de influencia del proyecto. Esta ausencia de oferta obliga a [ConstrucPiedra Cía. Ltda.](#), a producir la mezcla asfáltica necesaria para cumplir con el Contrato signado con el código: [LICO-GADPN-2024-001](#).

Ante esta condición, la única alternativa viable ha sido movilizar la Planta de Asfaltos [AMMANN PRIME 140](#) hacia un punto adecuado cercano a la obra. Esto implica un proceso técnico y logístico complejo que incluye:

- La selección de un terreno óptimo para el Campamento General de la Constructora,
- El transporte, montaje e instalación de la planta,
- El arranque y calibración en sitio, y
- La producción, clasificación y verificación de los áridos.

Sin la ejecución de todas estas actividades, la constructora tendría como única opción, el adquirir la mezcla asfáltica desde la ciudad de Quito, aproximadamente a 180 km de distancia, (tampoco se puede contar con los proveedores de mezcla asfáltica en la Ciudad del Puyo, ya que el Puente sobre el Río Napo, está cerrado por la ejecución de un mantenimiento integral del mismo). Esta única alternativa posible, elevaría significativamente los costos de transporte, incrementaría los riesgos logísticos asociados, afectaría los tiempos de ejecución y, en consecuencia, volvería financieramente inviable el proyecto para la Empresa.

Por lo tanto, el *problema central* radica en la necesidad de transportar, instalar, poner en funcionamiento y calibrar adecuadamente la Planta de Asfaltos, para garantizar una producción continua, de calidad y ajustada a los requisitos técnicos del contrato. A la vez que, también se requiere ejecutar un Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente mediante el Método Marshall, específico para los materiales disponibles en el proyecto y compatible con el cemento asfáltico AC-20.

### **1.3 Objetivos: General y Específicos.**

#### **Objetivo general:**

- Garantizar que [ConstrucPiedra Cía. Ltda.](#) pueda cumplir con el objeto del contrato [LICO-GADPN-2024-001](#), mediante la producción y suministro de mezcla asfáltica en caliente que cumpla las Normas y Especificaciones Técnicas vigentes.

#### **Objetivos específicos:**

- Seleccionar un terreno adecuado para la instalación del Campamento General de [CP](#).
- Transportar e instalar la Planta de Asfaltos [AMMANN PRIME 140](#) en el sitio seleccionado.
- Realizar la puesta en marcha, arranque y calibración de la planta para garantizar su correcto funcionamiento.

- Asegurar el abastecimiento de los materiales necesarios para la producción de mezcla asfáltica en caliente, incluyendo áridos de la [Mina de Libre Aprovechamiento del GADPN](#) y cemento asfáltico AC-20.
- Ejecutar el Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente mediante el Método Marshall, utilizando los materiales específicos del proyecto.

#### 1.4 Alcance.

El presente trabajo se circunscribe exclusivamente a los elementos, materiales y condiciones establecidas en el Contrato [LICO-GADPN-2024-001](#), y dadas por la Entidad Contratante.

El presente trabajo investigativo se circunscribirá en:

- La [Mina de Libre Aprovechamiento del GADPN](#) como fuente oficial de materiales pétreos;
- El cemento asfáltico AC-20, producido en la Refinería de Esmeraldas y distribuido por [Petro Ecuador](#), a través de sus distribuidoras privadas: [CLYAN](#), [COMBUSTIBLES](#), [OSP ASFALTOS](#), entre otras.
- La Planta de Asfaltos [AMMANN PRIME 140](#), propiedad de [ConstrucPiedra Cía. Ltda.](#);
- La zona de intervención correspondiente a la vía [Las Antenas – Guayusa Loma](#), ubicada en el cantón Tena, provincia del Napo.
- El Rubro Contractual Nro. 14: CAPA DE RODADURA DE HORMIGÓN ASFÁLTICO E=5.0 CM (INC. TRANSPORTE), de la mezcla asfáltica en caliente.

El alcance del presente trabajo de Integración Curricular, **no contempla** el análisis de otras fuentes de agregados ni el uso de diferentes tipos de cemento asfáltico, debido a que la mina elegida, los materiales mencionados y el tipo de cemento asfáltico, han sido previamente establecidos y fijados por la Entidad Contratante como insumos obligatorios para el presente proyecto vial.

## 2 Fundamentación teórica.

La fundamentación teórica que sustenta el presente trabajo se basa en la normativa técnica aplicable al diseño, producción y control de mezclas asfálticas en caliente. Entre los documentos principales se encuentran las Normas y Especificaciones Técnicas del Contrato, las disposiciones emitidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) a través de la [Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12](#), y los procedimientos estandarizados por la Asociación Americana de Oficiales de Caminos Interestatales y Transportación ([American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO](#)), particularmente el método AASHTO T 245, correspondiente al Ensayo Marshall para la determinación de la resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas.

Estas normas establecen los criterios de calidad, los parámetros técnicos obligatorios y los procedimientos de ensayo que permiten garantizar que la mezcla asfáltica en caliente producida en la Planta [AMMANN PRIME 140](#) cumpla con los requisitos exigidos para la construcción de la vía Las Antenas – Guayusa Loma.

### 2.1 Materiales Pétreos para mezclas asfálticas.

#### 2.1.1 Definición y clasificación de agregados

Los agregados pétreos constituyen el componente mineral sólido de las mezclas asfálticas y representan, en promedio, entre el 90% y 95% de su peso total. Su función principal es conformar el esqueleto resistente que proporciona estabilidad, rigidez, durabilidad y soporte estructural al pavimento. Desde el punto de vista técnico, se denominan agregados a los materiales granulares inertes, de origen natural o procesado, que se emplean en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente y concretos hidráulicos.

De acuerdo con su *proceso de formación*, los agregados pueden clasificarse en:

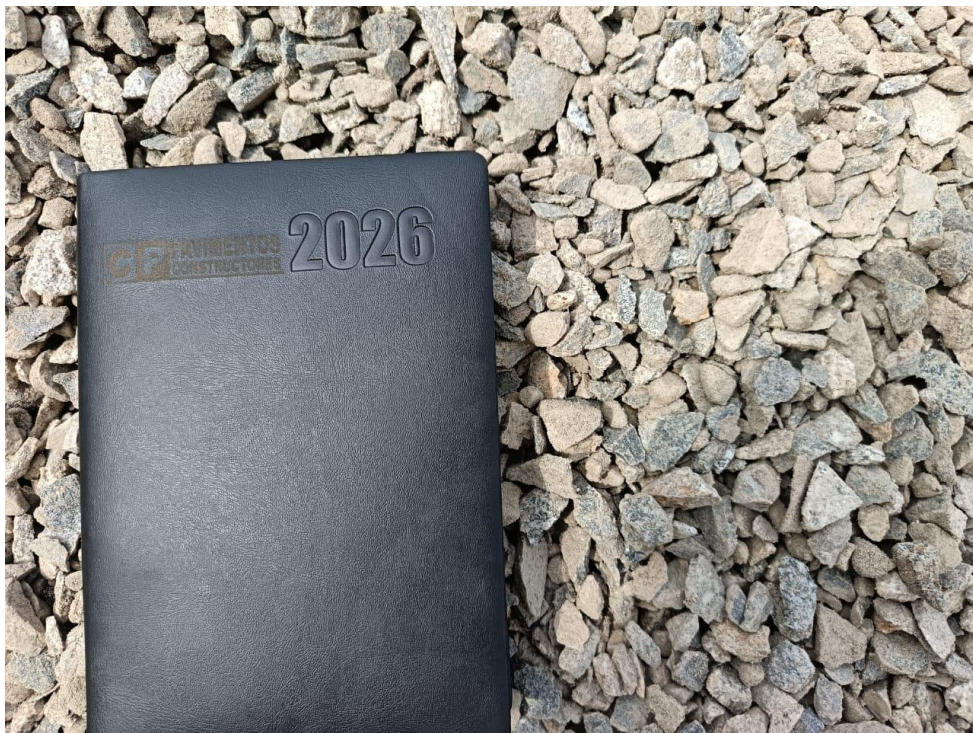
- Agregados naturales: aquellos que provienen directamente de fuentes naturales, como gravas y arenas extraídas de ríos, quebradas o depósitos aluviales, y que requieren un procesamiento mínimo.
- Agregados triturados: obtenidos mediante la trituración mecánica de rocas de cantera (ígneas, metamórficas o sedimentarias), con el fin de lograr partículas con formas, tamaños y texturas controladas. En el presente trabajo de Integración Curricular, se ha tenido que trabajar con estos agregados triturados, mismos que garanticen el mejor esqueleto óseo para la Carpeta Asfáltica del Proyecto.

En relación con su *tamaño*, los agregados utilizados en mezclas asfálticas se dividen en:

- Agregados gruesos: partículas que pasan el tamiz de 1", y son retenidas en el tamiz Nro. 4 (D = 4,75 mm). La presente investigación corresponde a los triturados de 3/4" y 3/8", que aportan resistencia y estabilidad al esqueleto mineral.

### *Ilustración 2.1*

**Ilustración:** Material Triturado: D = 3/4". Campamento Tena. Enero del 2.026.

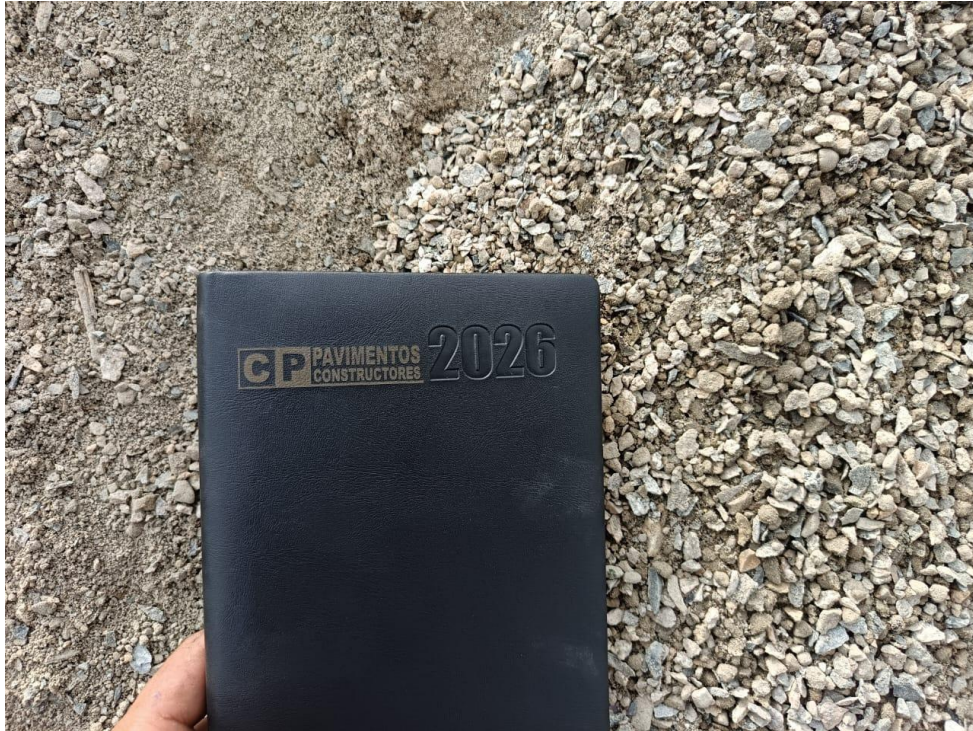


**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

- Agregados finos: partículas que pasan el tamiz Nro. 4 y son retenidas en tamices más finos, hasta el tamiz Nro. 200. Incluyen arenas naturales o trituradas y cumplen una función de llenado intermedio entre los agregados gruesos.

### *Ilustración 2.2*

**Ilustración:** Material Triturado:  $D = 3/8''$ . Campamento Tena. Enero del 2.026.



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

- Filler mineral: material que pasa el tamiz Nro. 200 ( $D = 0,075 \text{ mm}$ ), generalmente polvo mineral o finos de trituración, cuya función es llenar vacíos y mejorar la cohesión de la mezcla.

Este material es vital para la mezcla asfáltica, ya que establece la relación Filler-Bitumen, dentro de la mezcla asfáltica.

También es importante decir, que, en otro tipo de Plantas de Asfaltos, que son del Tipo Flujo, estos finos se pierden, sin embargo, la Planta de Asfaltos AMMANN PRIME 140 es de contraflujo, garantizando el reingreso de los finos a la mezcla.

### *Ilustración 2.3*

**Ilustración:** Material Triturado: Polvo de Piedra. Campamento Tena. Enero del 2.026.



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

La correcta selección, clasificación y combinación de estos agregados es fundamental para garantizar una mezcla asfáltica en caliente con buenas propiedades volumétricas, adecuada trabajabilidad y un desempeño satisfactorio bajo las condiciones de carga y clima propias de la provincia del Napo.

#### **2.1.2 Propiedades físicas relevantes de los agregados pétreos**

Las propiedades físicas de los agregados pétreos influyen directamente en el comportamiento mecánico, volumétrico y de durabilidad de la mezcla asfáltica en caliente. Estas características determinan la calidad del esqueleto mineral, la interacción con el cemento asfáltico AC-20 y la estabilidad estructural del pavimento. Entre las propiedades más relevantes consideradas para el diseño de mezclas asfálticas por el método Marshall se destacan las siguientes:

- **Granulometría**

La granulometría corresponde a la distribución de los tamaños de las partículas que componen el agregado. Esta propiedad se determina mediante análisis de tamizado y permite evaluar la combinación óptima entre agregados gruesos, finos y filler.

Una granulometría bien graduada contribuye a:

- Maximizar la densidad de la mezcla.
- Reducir los vacíos entre partículas.
- Mejorar la estabilidad y resistencia al flujo.
- Garantizar una adecuada trabajabilidad durante la producción y colocación.

La Norma NEVI-12 y el método Marshall establecen rangos granulométricos específicos que deben cumplirse para diferentes tipos de capa, como base y carpeta de rodadura, en función de las condiciones de servicio del pavimento.

- **Gravedad Específica**

La gravedad específica de los agregados es una propiedad fundamental en el diseño de mezclas asfálticas, ya que se emplea directamente en los cálculos volumétricos del método Marshall. Este parámetro permite determinar la densidad de la mezcla compactada y calcular los vacíos de aire ( $V_a$ ), los vacíos del agregado mineral (VMA) y el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA).

El conocimiento preciso de la gravedad específica aparente y efectiva de los agregados es indispensable para estimar correctamente el contenido óptimo de cemento asfáltico, asegurando una adecuada distribución del ligante dentro del esqueleto mineral y un comportamiento satisfactorio de la mezcla en servicio.

- **Equivalente de Arena**

El equivalente de arena es un ensayo que permite evaluar la limpieza y calidad de los agregados finos, determinando la proporción relativa de partículas de arena respecto a materiales finos plásticos, como limos y arcillas. Este parámetro es especialmente importante debido a la influencia que dichos finos tienen sobre la cohesión, estabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica.

Valores bajos de equivalente de arena indican la presencia significativa de materiales indeseables que pueden afectar negativamente la adherencia entre el agregado y el cemento asfáltico, incrementar la susceptibilidad al daño por humedad y reducir la resistencia mecánica de la mezcla. Por esta razón, las especificaciones técnicas establecen valores mínimos aceptables que deben cumplirse para garantizar la calidad de los agregados finos utilizados en mezclas asfálticas en caliente.

- **Resistencia al desgaste (Los Ángeles)**

El ensayo de abrasión de la máquina de Los Ángeles, determina la resistencia del agregado grueso al desgaste por fricción e impacto. Valores excesivamente altos indican materiales frágiles que podrían generar finos adicionales durante el mezclado y compactación, afectando la estabilidad de la mezcla asfáltica.

### **2.1.3 Selección de la granulometría y cumplimiento NEVI-12**

Como ya se ha dicho, la granulometría es un parámetro muy importante para el desempeño de una mezcla asfáltica en caliente. Define la proporción relativa de agregados gruesos, agregados finos y filler, así como la distribución de tamaños que permite conformar un esqueleto mineral denso, estable y resistente. Una mezcla con granulometría adecuada presenta un empaquetamiento óptimo de partículas, lo que se traduce en mayor durabilidad, mayor estabilidad estructural y mejor comportamiento frente a cargas repetidas.

De acuerdo a la Especificación Técnica del Contrato, se ha elegido a la granulometría establecida para el material de 3/4".

- **Importancia técnica de la granulometría**

Una granulometría correctamente afinada influye directamente en los siguientes puntos:

- **Formación del esqueleto mineral:**

La estructura granular es la base que otorga resistencia mecánica a la mezcla. Un esqueleto mal conformado genera puntos débiles, vacíos excesivos y pérdida de estabilidad.

- **Control de vacíos volumétricos (VMA, Vv, VFA):**

Los valores de vacíos dependen en gran medida del espaciamiento entre partículas. Una granulometría discontinua o fuera de especificación provoca vacíos excesivos o insuficientes, afectando el contenido óptimo de asfalto y el desempeño de la mezcla.

- **Trabajabilidad y compactación:**

Las mezclas con granulometrías armónicas permiten un tendido más uniforme y requieren menos esfuerzo de compactación.

- **Resistencia a deformaciones plásticas:**

Un esqueleto mineral bien trabado proporciona soporte a las cargas vehiculares y disminuye la tendencia a las deformaciones permanentes.

- **Sensibilidad al agua y a la falta de adherencia:**

Cuando la granulometría se desvía hacia porcentajes excesivos de finos o hacia contenidos muy bajos de filler, aumenta el riesgo de pérdida de adherencia entre el asfalto y los agregados.

### **Cumplimiento de la Norma NEVI-12**

La normativa NEVI-12 del MTOP establece rangos granulométricos específicos dependiendo del tipo de mezcla asfáltica. Estos rangos son obligatorios para

garantizar uniformidad y desempeño mínimo en obras públicas. El cumplimiento de estos límites asegura:

- Que cada fracción del agregado cumpla su función dentro de la mezcla.
- Que la mezcla tenga un comportamiento predecible y compatible con el contenido de asfalto recomendado.
- Que se mantenga la cohesión interna necesaria para soportar los esfuerzos de tracción, compresión y corte.
- Que el diseño Marshall satisfaga los requisitos de estabilidad y flujo establecidos por la normativa.

En el caso del presente proyecto, la granulometría debe corresponder estrictamente a la categoría indicada en el Contrato y cumplir los rangos granulométricos definidos por la NEVI-12, utilizando exclusivamente los materiales de la Mina de Libre Aprovechamiento del GADPN. Esto implica controlar el proceso de trituración, cribado y mezcla de fracciones, para garantizar productos estables, uniformes y aptos para el diseño Marshall y la posterior producción en la Planta de Asfaltos AMMANN PRIME 140.

Como ya se ha dicho, se utilizará el huso granulométrico tipo 3/4" debido al tráfico pesado que podrá recibir la vía del Proyecto en cuestión.

## **2.2 Cemento asfáltico AC-20.**

El cemento asfáltico es el material ligante utilizado en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, cuya función principal es unir las partículas minerales del agregado, proporcionar cohesión a la mezcla y permitir la transferencia de esfuerzos entre los componentes de la estructura de pavimento. En el presente trabajo se emplea cemento asfáltico AC-20, debido a su disponibilidad en el país y a su compatibilidad con las condiciones climáticas, de tránsito y de servicio del proyecto vial Las Antenas – Guayusa Loma, en la provincia del Napo.

El desempeño de una mezcla asfáltica depende en gran medida de las propiedades físicas, químicas y reológicas del cemento asfáltico, así como de su correcta selección en función del tipo de mezcla y del método de diseño utilizado. Petro Comercial es la entidad estatal que comercializa el producto a nivel nacional, y emite los correspondientes certificados de calidad sobre el único cemento asfáltico natural no aditivado disponible a nivel nacional, a través de sus diferentes empresas privadas que comercializan el producto.

#### *Ilustración 2.4*

**Ilustración:** Muestra del Cemento Asfáltico AC-20.



**Nota.** Imagen tomada de *PRO-ROAD* (2026)

### **2.2.1 Clasificación por grado de penetración y viscosidad.**

El cemento asfáltico es un material visco elástico de origen petrolero, obtenido como residuo del proceso de destilación del petróleo crudo. Se caracteriza por presentar un comportamiento dependiente de la temperatura y del tiempo de aplicación de carga.

Tradicionalmente, los cementos asfálticos han sido clasificados según su grado de penetración o su grado de viscosidad. En el caso del sistema por viscosidad absoluta, el cemento asfáltico AC-20 corresponde a un asfalto cuya viscosidad, medida a 60 °C, se encuentra dentro de un rango específico establecido por la normativa técnica. La designación “AC-20” indica que el material presenta una viscosidad media, lo que le permite ofrecer un adecuado equilibrio entre rigidez y flexibilidad. Esta característica lo hace apropiado para mezclas asfálticas en caliente destinadas a capas de rodadura sometidas a cargas de tránsito moderadas, como es el caso del proyecto analizado.

### **2.2.2 Propiedades físicas y químicas del AC-20.**

Las propiedades físicas y químicas del cemento asfáltico AC-20 influyen directamente en el comportamiento de la mezcla asfáltica durante su producción, colocación y vida útil. Entre las propiedades más relevantes se encuentran la penetración, la viscosidad, el punto de ablandamiento, la ductilidad y la pérdida por calentamiento.

Estas propiedades permiten evaluar la consistencia del asfalto, su resistencia al envejecimiento y su capacidad de deformarse sin fracturarse. Un cemento asfáltico con propiedades adecuadas garantiza un correcto recubrimiento de los agregados, una buena cohesión interna de la mezcla y una adecuada resistencia frente a la acción del tránsito y de los agentes ambientales.

En el diseño de mezclas asfálticas mediante el método Marshall, las propiedades del cemento asfáltico inciden directamente en los valores de estabilidad, flujo y parámetros volumétricos, por lo que resulta indispensable que el material cumpla con las especificaciones técnicas establecidas.

### **2.2.3 Comportamiento reológico y sensibilidad a la temperatura.**

El cemento asfáltico AC-20 presenta un comportamiento reológico visco elástico, lo que significa que combina características de un sólido elástico y de un fluido viscoso. Este comportamiento depende principalmente de la temperatura y de la velocidad de aplicación de la carga.

A temperaturas elevadas, el asfalto tiende a comportarse como un material más fluido, facilitando el mezclado con los agregados y la compactación de la mezcla asfáltica. A temperaturas más bajas, el material se vuelve más rígido, aumentando la resistencia a las deformaciones permanentes, pero también la susceptibilidad a fisuración si no se controla adecuadamente.

La correcta selección del cemento asfáltico AC-20 permite lograr un equilibrio adecuado entre resistencia y flexibilidad, reduciendo el riesgo de ahuellamiento en climas cálidos y de fisuración en condiciones de enfriamiento, especialmente considerando las variaciones térmicas propias de la región amazónica.

### **2.2.4 Requisitos según normativa NEVI-12 y AASHTO.**

La normativa ecuatoriana NEVI-12, así como las especificaciones AASHTO aplicables, establecen los requisitos mínimos que debe cumplir el cemento asfáltico utilizado en obras viales. Estos requisitos incluyen límites para propiedades como penetración, viscosidad, ductilidad, punto de inflamación y pérdida por calentamiento.

El cumplimiento de estas especificaciones garantiza que el cemento asfáltico AC-20 sea apto para su uso en mezclas asfálticas en caliente, asegurando un comportamiento predecible y compatible con los parámetros exigidos por el método Marshall. Esto exige que este cemento asfáltico se comporte como un sólido ante temperaturas ambientales medias, pero fluya como un líquido a temperaturas elevadas en su producción.

En el presente proyecto, el cemento asfáltico AC-20 utilizado proviene de la Refinería de Esmeraldas y es distribuido por Petro Comercial, cumpliendo con las normas técnicas vigentes y con los requisitos establecidos en el Contrato. Esto permite asegurar la calidad del ligante y su adecuada interacción con los agregados provenientes de la Mina de Libre Aprovechamiento del GADPN.

### **2.3 Mezcla asfáltica en caliente (HMA - Hot Mixing Asphalt).**

La mezcla asfáltica en caliente (HMA) es un material compuesto formado por la combinación controlada de agregados pétreos y cemento asfáltico, producido, extendido y compactado a temperaturas elevadas. Su función principal es conformar capas estructurales del pavimento capaces de resistir las cargas del tránsito, las acciones ambientales y el desgaste generado por el tráfico vehicular durante su vida útil.

El desempeño de una mezcla asfáltica en caliente depende directamente de la calidad de sus componentes, de la correcta dosificación de cada fracción y de la adecuada interacción entre el esqueleto mineral y el ligante asfáltico. En el presente trabajo, la mezcla asfáltica se diseña mediante el método Marshall, utilizando agregados provenientes de la Mina de Libre Aprovechamiento del GADPN y cemento asfáltico AC-20.

#### **2.3.1 Concepto y tipos de mezclas asfálticas.**

Desde el punto de vista técnico, una mezcla asfáltica en caliente se define como la combinación de agregados minerales y cemento asfáltico, mezclados a temperaturas que permiten un adecuado recubrimiento de las partículas y una correcta compactación en obra.

Las mezclas asfálticas pueden clasificarse de acuerdo con su granulometría, su función dentro de la estructura del pavimento y su método de diseño. Entre las más comunes se encuentran las mezclas densas, las mezclas semidensas y las mezclas abiertas. En el caso del presente proyecto, se emplea una mezcla asfáltica densa, destinada a la construcción de la capa de rodadura, conforme a lo establecido en la normativa NEVI-12 y en las especificaciones técnicas del Contrato.

Las mezclas densas se caracterizan por presentar una distribución granulométrica continua, que permite un empaquetamiento eficiente de los agregados y un adecuado equilibrio entre estabilidad, durabilidad y trabajabilidad.

### **2.3.2 Relación: árido – asfalto.**

La relación entre los agregados pétreos y el cemento asfáltico es uno de los factores más importantes en el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente. El contenido de asfalto debe ser suficiente para recubrir adecuadamente todas las partículas del agregado y proporcionar cohesión interna, sin generar excesos que provoquen inestabilidad o deformaciones permanentes.

Un contenido insuficiente de asfalto puede originar mezclas secas, con baja durabilidad y alta susceptibilidad al desprendimiento de partículas. Por el contrario, un contenido excesivo de ligante puede producir mezclas demasiado plásticas, con tendencia al ahuellamiento y a la pérdida de estabilidad bajo cargas repetidas.

El método Marshall, del que se tratará en el *Punto 2.4*, permite determinar el contenido óptimo de asfalto, logrando un balance adecuado entre resistencia mecánica, parámetros volumétricos y desempeño en servicio.

### **2.3.3 Importancia del esqueleto mineral.**

El esqueleto mineral resistente está conformado por la estructura granular resultante de la combinación de agregados gruesos, finos y filler. Este esqueleto es el principal responsable de la resistencia mecánica de la mezcla asfáltica, ya que proporciona la capacidad de soportar y distribuir las cargas aplicadas por el tránsito.

Un esqueleto mineral bien conformado permite un correcto trabamiento entre partículas, reduce los desplazamientos relativos y limita la deformación permanente de la mezcla. La granulometría seleccionada debe favorecer este comportamiento, garantizando una estructura estable y continua.

El cemento asfáltico actúa como ligante del esqueleto mineral, pero *no* sustituye la función estructural de los agregados. Por ello, la correcta selección y combinación de las fracciones granulares es determinante para el desempeño global de la mezcla.

#### **2.3.4 Parámetros de diseño (Va, VMA, VFA, estabilidad, flujo).**

El diseño de mezclas asfálticas mediante el método Marshall se basa en la evaluación de una serie de parámetros que permiten analizar el comportamiento volumétrico y mecánico de la mezcla. Entre los parámetros más importantes se encuentran:

Vacíos de aire (Va): representan el porcentaje de espacios vacíos dentro de la mezcla compactada y son fundamentales para garantizar durabilidad y permitir ligeras deformaciones sin fallas prematuras.

Vacíos del agregado mineral (VMA): corresponden al volumen total de vacíos existente entre las partículas del agregado, incluyendo los vacíos de aire y el asfalto efectivo.

Vacíos llenos de asfalto (VFA): indican el porcentaje del VMA que está ocupado por el cemento asfáltico, reflejando el grado de recubrimiento y cohesión de la mezcla.

Estabilidad Marshall: mide la capacidad de la mezcla para resistir cargas sin sufrir deformaciones plásticas excesivas.

Flujo Marshall: representa la deformación correspondiente a la carga máxima aplicada, indicando la flexibilidad de la mezcla.

*El análisis conjunto de estos parámetros permite evaluar la calidad de la mezcla y seleccionar una dosificación adecuada.*

### 2.3.5 Criterios de desempeño: durabilidad, resistencia, trabajabilidad.

El desempeño de una mezcla asfáltica en caliente se evalúa en función de su *durabilidad*, *resistencia* y *trabajabilidad*.

La *durabilidad* está asociada a la capacidad de la mezcla para resistir el envejecimiento del asfalto, la acción del agua y la pérdida de cohesión con el tiempo.

La *resistencia* mecánica depende del esqueleto mineral resistente, del contenido de asfalto y de la correcta compactación de la mezcla. Una mezcla con adecuada resistencia presenta buen comportamiento frente a cargas repetidas y menor susceptibilidad a deformaciones permanentes.

La *trabajabilidad* se refiere a la facilidad con la que la mezcla puede ser producida, extendida y compactada, permitiendo alcanzar las densidades requeridas en obra sin dificultad excesiva.

*Un diseño Marshall adecuado busca optimizar estos tres criterios, asegurando un comportamiento satisfactorio de la mezcla durante su vida útil.*

## 2.4 Ensayo Marshall.

El Ensayo Marshall es un método empírico ampliamente utilizado para el diseño y control de mezclas asfálticas en caliente, cuyo objetivo principal es determinar la dosificación óptima de cemento asfáltico que garantice un adecuado equilibrio entre estabilidad, durabilidad y deformabilidad de la mezcla. Este método permite evaluar el comportamiento mecánico y volumétrico de la mezcla bajo condiciones controladas de laboratorio, simulando los efectos de las cargas vehiculares.

En el presente trabajo, el método Marshall constituye la base técnica para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente destinada a la capa de rodadura de la vía Las Antenas – Guayusa Loma, utilizando agregados de la Mina de Libre Aprovechamiento del GADPN y cemento asfáltico AC-20, conforme a los lineamientos de la normativa NEVI-12 y del procedimiento AASHTO T 245.

### **2.4.1 Antecedentes y fundamento del método.**

El método Marshall fue desarrollado en la década de 1940 por Bruce Marshall, ingeniero del Departamento de Carreteras del estado de Mississippi, como una alternativa práctica para evaluar la resistencia al flujo plástico de las mezclas bituminosas. Posteriormente, el método fue estandarizado y adoptado por organismos técnicos como AASHTO, extendiendo su aplicación a nivel mundial.

El fundamento del método consiste en someter especímenes cilíndricos de mezcla asfáltica compactada a una carga diametral creciente, aplicada a una velocidad constante y a una temperatura controlada, hasta alcanzar la carga máxima de rotura. A partir de este ensayo se obtienen valores de estabilidad y flujo, los cuales permiten evaluar la capacidad portante y la deformabilidad de la mezcla.

Adicionalmente, el método Marshall integra el análisis de parámetros volumétricos, lo que permite evaluar la estructura interna de la mezcla y su potencial comportamiento en servicio.

### **2.4.2 Equipos utilizados en el ensayo.**

La ejecución del Ensayo Marshall requiere el uso de equipos específicos que permitan garantizar resultados confiables y repetibles. Entre los principales equipos utilizados se encuentran:

- Moldes cilíndricos metálicos de dimensiones normalizadas (101,6 mm de diámetro y 63,5 mm de altura).
- Martillo de compactación Marshall, con un peso y altura de caída establecidos por la normativa.
- Prensa Marshall, equipada con anillo dinamométrico o sistema de carga calibrado.
- Dispositivo medidor de flujo.
- Equipo para inmersión de especímenes en agua para acondicionamiento a 60 °C.
- Balanza de precisión para la determinación de masas.
- Horno y placa calefactora para el calentamiento de agregados y cemento asfáltico.

## Ilustración 2.5

Ilustración: Equipo de Estabilidad Marshall.



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

El correcto estado, calibración y uso de estos equipos asegura la validez de los resultados obtenidos durante el diseño de la mezcla.

### 2.4.3 Procedimiento experimental (molturación, compactación, mediciones).

El procedimiento del Ensayo Marshall inicia con la preparación de los materiales, lo cual incluye el secado, calentamiento y dosificación de los agregados, así como el calentamiento del cemento asfáltico AC-20 hasta alcanzar la temperatura adecuada de mezclado.

Posteriormente, los agregados y el asfalto se mezclan hasta lograr un recubrimiento homogéneo de las partículas. La mezcla se coloca en los moldes y se compacta mediante la aplicación de un número determinado de golpes por cara, de acuerdo con el nivel de tránsito establecido en la normativa.

Una vez compactados, los especímenes se dejan enfriar y se procede a medir sus dimensiones y masas para el cálculo de densidades. Antes del ensayo de carga, los especímenes se acondicionan en un baño de agua a 60 °C durante un tiempo establecido.

Finalmente, los especímenes se someten a carga en la prensa Marshall hasta alcanzar la carga máxima, registrándose simultáneamente los valores de estabilidad y flujo correspondientes.

#### **2.4.4 Cálculo de parámetros volumétricos.**

A partir de las mediciones realizadas durante el ensayo, se procede al cálculo de los parámetros volumétricos que caracterizan el comportamiento interno de la mezcla asfáltica. Entre los parámetros más importantes se encuentran:

- Densidad aparente de la mezcla compactada
- Vacíos de aire (Va)
- Vacíos del agregado mineral (VMA)
- Vacíos llenos de asfalto (VFA)

Estos parámetros permiten evaluar el grado de compactación, la distribución del ligante dentro del esqueleto mineral y la capacidad de la mezcla para resistir el envejecimiento y la acción del agua. El análisis volumétrico es un componente esencial del método Marshall, ya que complementa los resultados mecánicos obtenidos en el ensayo de carga.

#### **2.4.5 Criterios de aceptación según NEVI-12 y AASHTO T 245.**

La normativa NEVI-12 y el procedimiento AASHTO T 245 establecen valores mínimos y rangos aceptables para los parámetros obtenidos mediante el Ensayo Marshall, en función del tipo de mezcla y de la capa del pavimento.

Estos criterios incluyen límites para la estabilidad Marshall, el flujo, los vacíos de aire, el VMA y el VFA. El cumplimiento simultáneo de todos estos requisitos es indispensable para considerar que una mezcla asfáltica sea técnicamente aceptable.

Una mezcla que no cumpla con alguno de estos parámetros puede presentar fallas prematuras, tales como ahuellamiento, fisuración o pérdida de material, comprometiendo la durabilidad y el desempeño del pavimento.

#### **2.4.6 Selección del contenido óptimo de asfalto (OAC).**

El contenido óptimo de asfalto (OAC) se determina a partir del análisis conjunto de los resultados obtenidos para diferentes porcentajes de cemento asfáltico. Este valor corresponde al contenido de asfalto que permite cumplir simultáneamente con los requisitos de estabilidad, flujo y parámetros volumétricos establecidos por la normativa.

La selección del OAC representa una decisión técnica fundamental, ya que define la dosificación final de la mezcla asfáltica en caliente. Un contenido óptimo correctamente determinado garantiza un adecuado equilibrio entre resistencia, durabilidad y trabajabilidad, asegurando un comportamiento satisfactorio de la mezcla durante su vida útil.

En el presente proyecto, el OAC seleccionado será aplicado posteriormente en la producción de la mezcla asfáltica en la Planta AMMANN PRIME 140, asegurando coherencia entre el diseño de laboratorio y la producción en planta.

### **3 Mantenimiento, Alistamiento, Campamento, Instalación, Arranque, Puesta en Marcha y Diseño de Pavimentos.**

A continuación, me permito presentar un breve resumen acerca del proceso técnico – logístico con el que se logró alistar, transportar, instalar y arrancar la Planta de Asfaltos. Además de la elección, y preparación del campamento de la Constructora en la Ciudad del Tena, Provincia del Napo, mismo que alberga al equipo de producción de asfaltos.

#### **3.1 Mantenimiento y alistamiento de la Planta de Asfaltos.**

Toda vez que la Junta de Directivos de la Constructora decidió movilizar su Planta de Asfaltos, se inició un proceso de alistamiento técnico, mecánico, eléctrico y electrónico de la planta, con la finalidad de poner todos sus sistemas a punto y listos para trabajar.

- A finales del mes de febrero del año 2025, se me dispuso encargarme del alistamiento de la Planta de Asfaltos AMMANN PRIME 140. De los reportes de trabajo previos a mi encargo, se detallaban varias fallas en ciertos sistemas de la Planta, estando su condición en “*Stand By*” para reparaciones. Estado: *No operativo*. La ubicación de la Planta era en las afueras de la Ciudad de Quito, por el sector de la salida a Puerto Quito.
- Los principales componentes de la Planta son:
  - Tolvas de Fríos, Bandas dosificadoras,
  - Tambor Secador, Sistema de Extracción y Reingreso de Finos,
  - Cajón Mezclador, Elevador-Despachador, Soplador-Quemador,
  - Cabina de Mando, Tableros de Fuerza y Control

### *Ilustración 3.1*

**Ilustración:** Planta de Asfaltos AMMANN PRIME 140, Estado No Operativo. Febrero del 2.025.



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

- Para ello realizó el transporte desde el sitio del último proyecto vial hacia el Campamento General de la Constructora en la Ciudad de Quito, ubicada en el Sector de la Vía al Aeropuerto.

### *Ilustración 3.2*

**Ilustración:** Planta de Asfaltos AMMANN PRIME 140, Transporte al Camp. Febrero del 2.025.



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

- Inmediatamente después del transporte de la Planta de Asfaltos, se iniciaron las reparaciones y correcciones técnicas del caso a varios de los sistemas.

Entre los más importantes están: Tolvas y Bandas de Fríos, Tambor Secador, Cajón Mezclador, Colector de Polvos, Reinserción de Polvos, Soplador-Quemador, Caldero e interconexiones, Tanques de Almacenamiento de AC-20, Tanque de Combustible Diésel Fuel, Sistemas Eléctrico y Electrónico, Sistema Neumático y Afinamiento de Automatización.

Todos estos trabajos, se realizaron con un equipo técnico multidisciplinario, que se encargó de cada sistema, mientras que yo fui el responsable de supervisar todo el trabajo en conjunto y garantizar que la Planta entre en funcionamiento.

Aunque podría detallar cada trabajo mecánico, eléctrico, electrónico, y de calibración, quisiera resumirlo en que esto duró aproximadamente 3 meses y se contó con al menos 4 empresas diferentes, que participaron en estas reparaciones.

### *Ilustración 3.3*

**Ilustración:** Mantenimientos del Tambor Secador de la Planta de Asfaltos. Marzo del 2.025.



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.4*

**Ilustración:** Mantenimientos del Caldero y Grupo Electrónico Principal. Abril del 2.025.



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### **3.2 Elección del Terreno para ubicación del Campamento.**

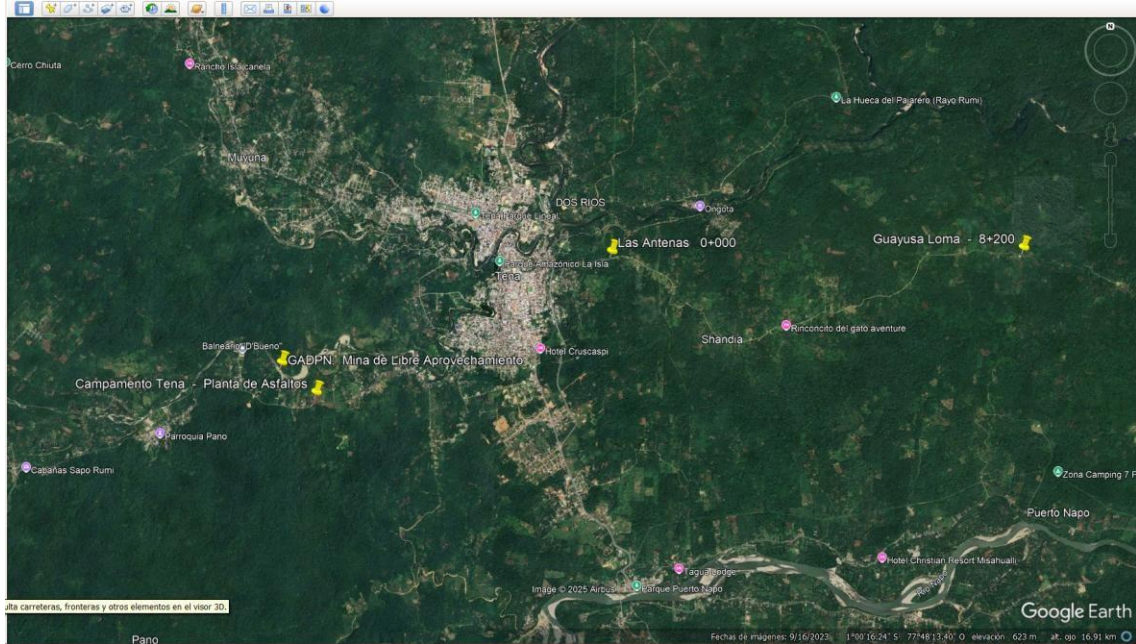
Mientras se trabajaba en el alistamiento mecánico de la Planta de Asfaltos, paralelamente en la Ciudad del Tena, Provincia del Napo, se buscaban alternativas para la implementación del Campamento del Proyecto. Se consideraban 3 opciones principales:

- *Algún terreno cercano al centro de gravedad de la vía del Proyecto.* Esta alternativa se descartó rápidamente ya que no brindaba las facilidades para el transporte de la Planta de Asfaltos, debido al acceso con anchos reducidos, curvas de radios muy cortos y altas pendientes.
- *Algún terreno que ya esté preparado para la instalación de la Planta de Asfaltos.* Se buscaron ciertos terrenos que lastimosamente no posibilitaron los permisos ambientales necesarios para la implantación de la Planta de Asfaltos
- *Algún terreno cerca del área del sector del Libre Aprovechamiento.* Finalmente se logró ubicar un terreno que posibilitó la implantación de la Planta de Asfaltos. Sin embargo, se tuvieron que realizar mejoramientos de la sub rasante, utilizando suelo granular de mejoramiento para lograr una superficie que brinde la capacidad portante requerida por la Planta.

Esta alternativa principalmente fue seleccionada debido a la corta distancia desde la Mina de Libre Aprovechamiento hacia nuestro Proyecto Vial.

### Ilustración 3.5

**Ilustración:** Ubicación de la Mina de Libre Aprovechamiento establecida por el GADPN; Campamento Tena; Ciudad del Tena, Inicio y Fin del Proyecto.



**Nota.** Imagen tomada de Google Earth (Google LLC, 2.025).

A continuación, se muestra la ubicación del Campamento Tena:

### Ilustración 3.6

**Ilustración:** Ubicación de la Mina de Libre Aprovechamiento establecida por el GADPN; Campamento Tena.



**Nota.** Imagen tomada de Google Earth (Google LLC, 2.025).

### *Ilustración 3.7*

**Ilustración:** Aérea de ubicación del Campamento Tena. Mayo del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.8*

**Ilustración:** Aéreas del afirmado de la Plataforma del Campamento Tena. Mayo del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.9*

**Ilustración:** Aéreas del afirmado de la Plataforma del Campamento Tena. Mayo del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.10*

**Ilustración:** Plataforma del Campamento Tena, lista para recibir la Planta de Asfaltos. Junio del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.



### *Ilustración 3.12*

**Ilustración:** Bases de Hormigón, Campamento Tena, para la Planta de Asfaltos. Junio del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### **3.3 Transporte e Instalación de la Planta de Asfaltos.**

Una vez que se tuvo listo el Campamento en la Ciudad del Tena con un área aproximada de 2 Ha., se realizó el transporte de la Planta de Asfaltos, tras ciertas pruebas exitosas de funcionamiento en vacío de la misma en el Campamento General de Quito.

### *Ilustración 3.13*

**Ilustración:** Vista panorámica de la Planta de Asfaltos, lista para ser transportada. Junio del 2.025

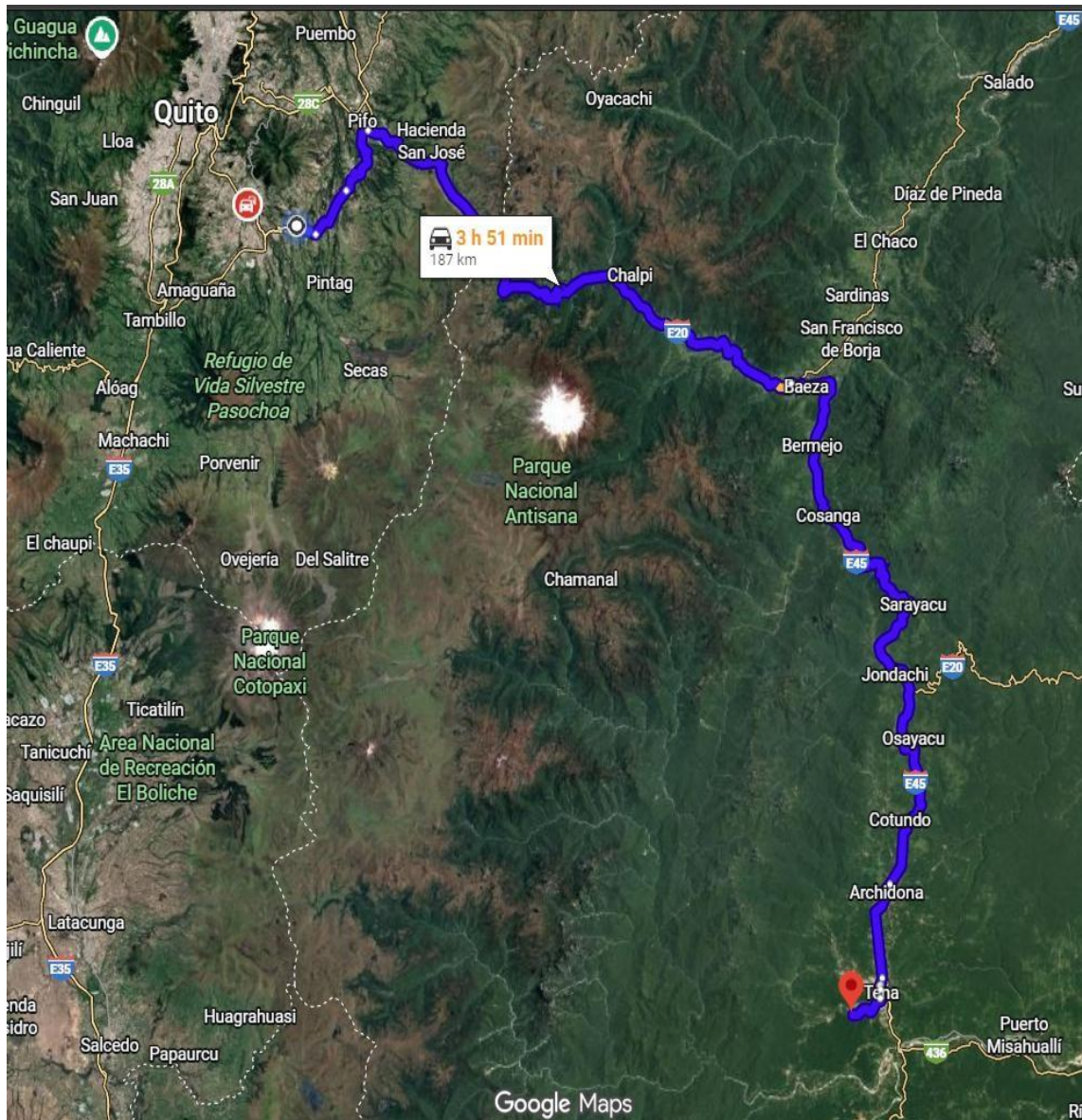


**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

El transporte siguió la Ruta: Quito – Pifo – Papallacta – Baeza – Archidona – Tena, con una longitud de viaje de 188 Km., aproximadamente y una duración de 14 horas de viaje.

### Ilustración 3.14

**Ilustración:** Ruta del Transporte de la Planta de Asfaltos: Quito – Tena.



**Nota.** Imagen tomada de Google Maps (Google LLC, 2025).

### *Ilustración 3.15*

**Ilustración:** Vista panorámica de la Planta de Asfaltos, al inicio de su transporte. Junio del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.16*

**Ilustración:** Vista panorámica de la Planta de Asfaltos, en el Campamento Tena, luego de su transporte. Junio del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### 3.4 Arranque y Puesta en Marcha de la Planta de Asfaltos.

Tras la puesta en sitio sobre las bases de hormigón de la Planta de Asfaltos, se realizó el nivelado de la misma. Posteriormente se ejecutó la instalación del resto de complementos, entre los cuales están los siguientes accesorios principales:

- Tanques de Asfalto AC-20 (2 unidades: 10.000 Gln c/u),
- Tanque de Combustible Diésel Fuel (1 unidad: 8.000 Gln)
- Caldero 1.2 MM BTU,
- Generador Principal (315 KW – 400 KVA Trifásico),
- Líneas de interconexión,
- Muro de Contención y Rampa de Acceso a Tolvas de fríos,

#### *Ilustración 3.17*

**Ilustración:** Vista panorámica de la Planta de Asfaltos: Instalación de Tanques y Accesorios. Julio del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

En la siguiente ilustración, me permito mostrar la complejidad y precisión que las líneas de interconexión exigen en toda Planta de Asfaltos, ya que se trata de tuberías de acero, de extremos bridados.

Este tipo de conexiones no admiten errores, por lo que la alineación entre la planta de asfaltos, los tanques de almacenamiento de cemento asfáltico y el caldero son de vital importancia tanto en el sentido horizontal, como en el vertical.

### *Ilustración 3.18*

**Ilustración:** Vista panorámica de la Planta de Asfaltos: Instalación de Líneas de Interconexión y Rampa. Julio del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.19*

**Ilustración:** Vista panorámica de la Planta de Asfaltos: Instalación de Caldero, Generador Principal, Cubierta. Agosto del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.20*

**Ilustración:** Vista panorámica de la Planta de Asfaltos: Tanques y Cubierta. Agosto del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.21*

**Ilustración:** Vista panorámica de la Planta de Asfaltos: Cabina de Mando, Tambor Secador, Elevador de Mezcla. Agosto del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### **3.5 Suministro y aprobación de materiales pétreos.**

Con la Planta lista para pruebas iniciales, se iniciaron las actividades de explotación de materiales pétreos con el uso de equipos como: Excavadoras sobre orugas de entre 20 y 25 Toneladas y varios equipos de transporte como volquetas de entre 10 y 14 m<sup>3</sup> de capacidad.

El material producido fue cribado previamente, con la finalidad de separar los finos de la roca. Posteriormente fue transportado al Campamento Tena, en donde se realizó la trituración del mismo.

### *Ilustración 3.22*

**Ilustración:** Vista panorámica de la Explotación de materiales pétreos en la Mina de Libre Aprovechamiento. Septiembre del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.23*

**Ilustración:** Vista panorámica de la Explotación de materiales pétreos en la Mina de Libre Aprovechamiento. Septiembre del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.24*

**Ilustración:** Vista panorámica de Transporte y Acopio de materiales pétreos. Campamento Tena. Septiembre del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

Luego de la explotación, transporte, y acopio de los materiales granulares de la Mina de Libre Aprovechamiento, tomados del Río Pano, del Cantón Tena, Provincia del Napo, se iniciaron los trabajos de la trituración de estos materiales.

### *Ilustración 3.25*

**Ilustración:** Vista de Transporte de Equipos de Trituración hacia el Campamento Tena. Septiembre del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.26*

**Ilustración:** Vista de Transporte de Equipos de Trituración hacia el Campamento Tena. Septiembre del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.27*

**Ilustración:** Vista de los Equipos de Trituración en el Campamento Tena. Configuración y Posicionamiento de Equipos. Septiembre del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.28*

**Ilustración:** Vista de los Equipos de Trituración en el Campamento Tena. Configuración de Mallas e Inicios de Trituración. Septiembre del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.29*

**Ilustración:** Vista de los Equipos de Trituración en el Campamento Tena. Configuración de Mallas e Inicios de Trituración. Septiembre. del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

Toda vez que los equipos de trituración fueron transportados hacia el Campamento Tena, fueron posicionados y preparados; y se inició la trituración propiamente dicha, hasta que se tuvo una muestra suficientemente significativa de los materiales triturados clasificados en: Triturado 3/4", Triturado 3/8" y Arena.

Con esta muestra de triturados, se procedió a realizar la prueba de Abrasión (Los Ángeles), determinándose los siguientes resultados:

### Ilustración 3.30

**Ilustración:** Hoja de Registro de Laboratorio. Ensayo de Abrasión (Los Ángeles) ASTM C131 Septiembre del 2.025

**Hoja de Registro – Prueba de Abrasión Los Ángeles**  
(ASTM C131 – Gradación B)

Proyecto/Obra: *Planta de Asfaltos AMMANN PRIME 140*  
 Fecha: *02/Sept/2.025* *TENA-NAPO 2025 CP.*  
 Operador: *FPC*  
 Material: *3/4 - 3/8 Río Napo*  
 Tamaño máx. nominal: *3/4" (19 mm)*  
 Gradación aplicada: B (5 000 ± 10 g) *5001 [gr]*

#### 1. Preparación de la muestra

Fracción (pasa / retenido)	Masa requerida (g)	Masa real (g)
3/4" (19,0 mm) / 1/2" (12,5 mm)	2 500 ± 10	2500
1/2" (12,5 mm) / 3/8" (9,5 mm)	2 500 ± 10	2501
<b>Total Inicial (W<sub>1</sub>)</b>	<b>5 000 ± 10</b>	<b>5.001 [gr]</b>

#### 2. Carga abrasiva

Nº de bolas	Masa total requerida (g)	Masa real (g)
11	4 584 ± 25	4.832 [gr]

#### 3. Condiciones de operación

Velocidad: 30–33 rpm  
 Nº de revoluciones: 500  
 Tamiz de descarte: Nº 12 (1,70 mm)  
 Tiempo de prueba: *14:55 → 15:11 ∴ t = 16 min*

#### 4. Resultados

Descripción	Peso (g)
Peso inicial de muestra (W <sub>1</sub> )	5.001 [gr]
Peso retenido en tamiz Nº 12 (W <sub>2</sub> )	3.814 [gr]
Pérdida (W <sub>1</sub> - W <sub>2</sub> )	1.187 [gr]
% Abrasión Los Ángeles =	$[(W_1 - W_2) / W_1] \times 100$
% Abrasión Los Ángeles =	<i>23,73%</i>

#### 5. Observaciones

*% Ab LA ≤ 30% Sí cumple*  
*FABIAN PEDRAZ*

**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

**% Abrasión (Los Ángeles) = 23.73%**

El resultado muestra una abrasión *inferior al 40%*, como límite máximo establecido por la Especificación Técnica del Contrato, calificando la calidad del árido como favorable para su utilización para hormigones asfálticos dentro del presente proyecto.

Con estos resultados realizados a una muestra suficientemente significativa, se da la autorización para la trituración total del stock de materiales pétreos, siendo los productos esperados los siguientes: Triturado 3/4", Triturado 3/8" y Arena.

### *Ilustración 3.31*

**Ilustración:** Vista panorámica de los Stocks de Triturado 3/4" (Izq.) y Arena (Der). Campamento Tena. Septiembre del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.32*

**Ilustración:** Vista panorámica de los Stocks de Arena (Izq.) y Triturado 3/8" (Centro), Planta de Asfaltos (Fondo) Camp. Tena. Septiembre del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### *Ilustración 3.33*

**Ilustración:** Vista panorámica de los Stocks de Materiales Triturados; Planta de Asfaltos (Fondo); Planta de Trituración (Der). Septiembre del 2.025



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

### 3.6 Diseño de Pavimentos mediante Ensayo Marshall.

Con los Stocks de Materiales Triturados aprobados por la Fiscalización del Contrato, y teniendo una cantidad suficiente de los mismos para iniciar la producción de mezcla asfáltica, se solicita al Laboratorio de Ensayo de Materiales y Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – PUCE, Campus Quito, que se realice el Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente por el Método “Marshall”, utilizando áridos de la Mina de Libre Aprovechamiento del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Napo - GADPN y Cemento Asfáltico AC-20, a través de la Orden de Trabajo Nro. 00004333-P.

Los resultados del Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente por el Método “Marshall”, se muestran en el Anexo Nro. 01, siendo los resultados los siguientes:

**Tabla 3.1**

**PLANTA DE ASFALTOS - FÓRMULA MAESTRA**

**PROYECTO:** “AMPLIACIÓN Y ASFALTADO DE LA VÍA: LAS ANTENAS HASTA LA COMUNIDAD DE GUAYUSA LOMA, CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO”.

**MINA:** Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Napo. Mina de Libre Aprovechamiento Río Pano.

**CANTIDAD UNITARIA:** 1,00 [ Ton ]

**DISEÑO POR PESOS UNITARIOS DE CADA MATERIAL**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD [%]	CANTIDAD [ Kg ]	OBSERVACIONES
1	Triturado 3/4"	37,72 %	377,20	Material proveniente del Río Pano
2	Triturado 3/8"	42,44%	424,35	Material proveniente del Río Pano
3	Arena	14,15%	141,45	Material proveniente del Río Pano
4	AC-20	5,70%	57,00	Material proveniente de Refinería Esmeraldas

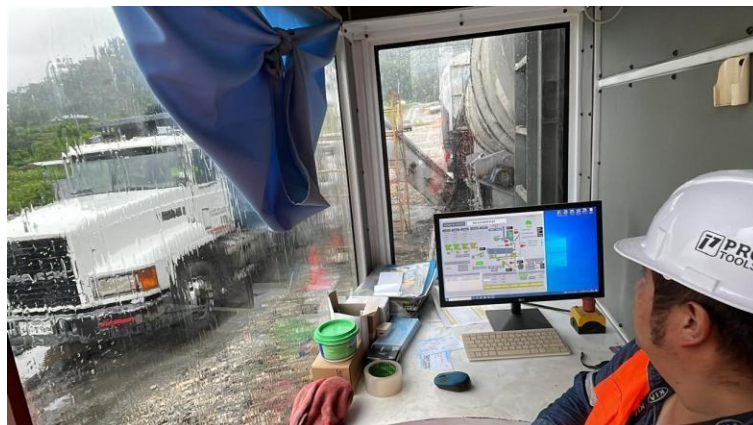
**SUMATORIA:** 100,00% 1.000,00

**Nota.** Tabla de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

Estos resultados fueron ingresados en la Computadora de la Planta de Asfaltos.

### *Ilustración 3.34*

**Ilustración:** Cabina de Control de la Planta. Inicialización de trabajos. Camp. Tena. Enero del 2.026



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

## **3.7 Control de Calidad en planta y en obra de la mezcla asfáltica en caliente.**

Posterior al arranque de la Planta de Asfaltos propiamente dicho, utilizando la Fórmula Maestra proveniente del Diseño de la Mezcla Asfáltica realizada por la PUCE; se inició la producción de la mezcla asfáltica como se muestra a continuación:

### *Ilustración 3.35*

**Ilustración:** Vista panorámica de la primera producción de mezcla asfáltica, usando el Diseño de la PUCE. Camp. Tena. Enero del 2.026



**Nota.** Fotografía de elaboración propia. Cortesía de ConstrucPiedra Cía. Ltda.

## 4 Resultados.

Los resultados del Diseño de Mezclas Asfálticas en caliente, mediante el Método Marshall, ejecutado por la PUCE, utilizando los áridos provenientes de la Mina de Libre Aprovechamiento especificada por la Entidad Contratante y Cemento Asfáltico AC-20 distribuido por Petroecuador, se presentan a continuación.

### 4.1 Presentación de resultados.

De acuerdo con el Diseño de Pavimentos ejecutado por la PUCE, se tiene el siguiente cuadro resumen, acerca de las cantidades de cada agregado y contenido óptimo de asfalto.

*Tabla 4.1*

Resumen de coeficientes de uso de materiales triturados para la mezcla asfáltica.

Descripción	Gmb <sub>(bulk)</sub>	% Absorción	% Agregado <sub>(mezcla)</sub>	Gs <sub>(Aparente)</sub>
3/4	2,707	0,79	40%	2,766
3/8 (Ponderada)	2,482	1,06	45%	2,550
Arena	2,617	1,51	15%	2,724

**Nota.** Tabla elaborada por Laboratorio de Ensayo de Materiales y Construcción – PUCE, Campus Quito.

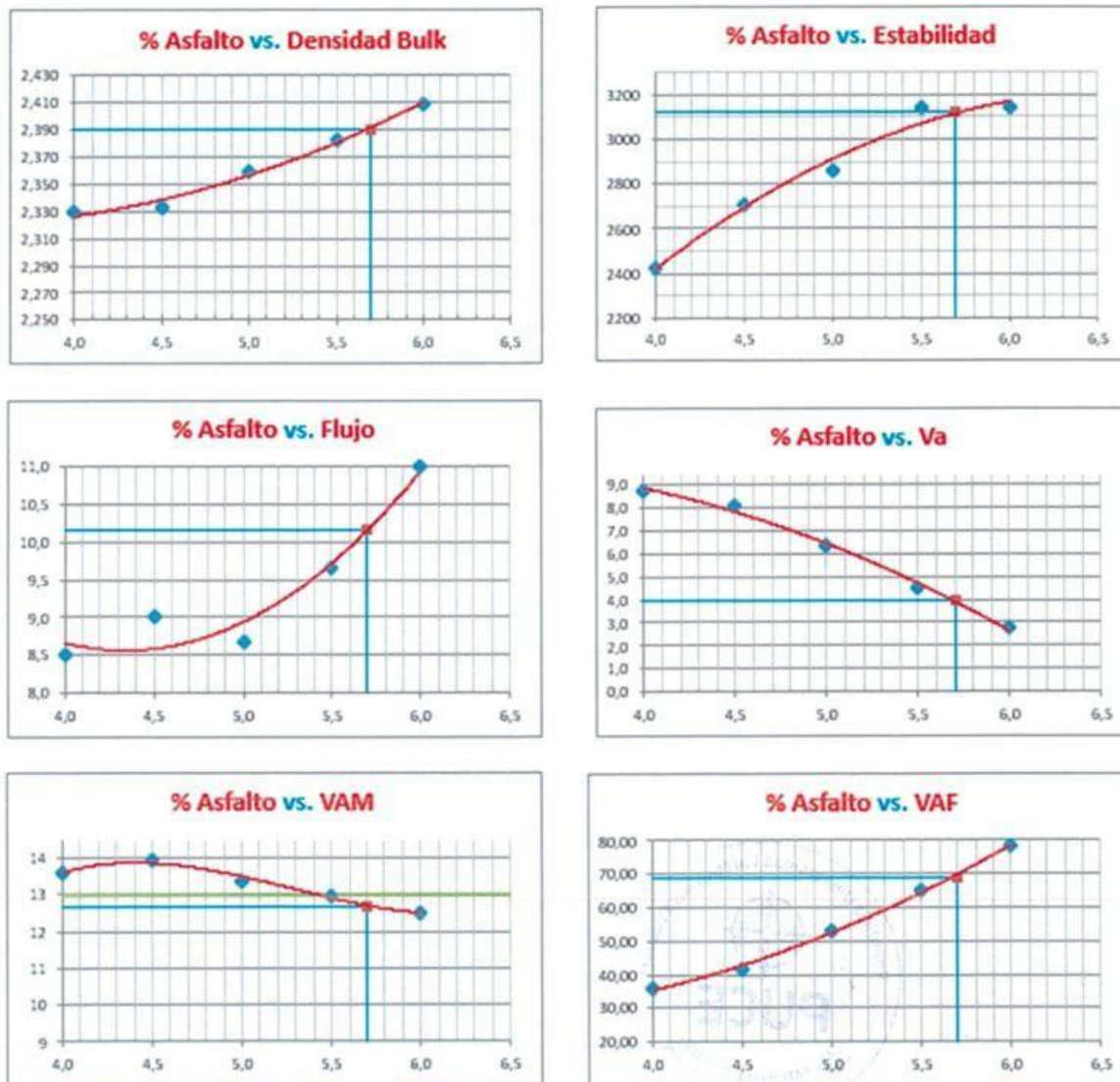
Estos coeficientes o porcentajes, *han sido basados en un contenido de Volumen de Aire del 4.00%*; dando como resultado un *contenido óptimo de asfalto (OAC) del 5.70%*

### 4.2 Análisis de resultados.

Al fijar como objetivo del Diseño, al contenido de Volumen de Aire (Va) atrapado en la mezcla asfáltica en caliente, establecido en un valor del 4.00%, se generan los siguientes valores entre: *Densidad Bulk, Estabilidad, Flujo, VMA y VFA*, como se muestra a continuación.

*Ilustración 4.1*

**Valores para OAC = 5.70% vrs.: Densidad Bulk, Estabilidad, Flujo, Va, VMA y VFA.**



**Nota.** Ilustraciones elaboradas por Laboratorio de Ensayo de Materiales y Construcción – PUCE, Campus Quito.

Como se puede ver, *el equilibrio de volúmenes entre agregados, asfalto y aire, ocurre para un contenido óptimo de asfalto (OAC), del 5.70%.*

## 5 Conclusiones y recomendaciones.

### 5.1 Conclusiones.

Al finalizar el presente trabajo, me permito emitir las siguientes conclusiones:

#### 5.1.1 Conclusiones Teóricas.

##### 5.1.1.1 Enfoque del Método Marshall

El método Marshall debe entenderse como un problema de *equilibrio de volúmenes*, no como un simple ensayo de estabilidad y flujo. *La estabilidad y flujo son una consecuencia directa de un diseño volumétrico correcto, no el objetivo primario del método.*

##### 5.1.1.2 Relación Volumétrica Básica

Una mezcla asfáltica está compuesta por tres elementos fundamentales:

$$\text{Volumen total de la mezcla} = \sum [ \text{Vol. Árido} + \text{Vol. Asfalto} + \text{Vol. Aire} ]$$

En el estudio de los áridos tenemos que:

- Gsa (gravedad específica real): considera solo la parte sólida del árido, sin ningún poro.
- Gsb (gravedad específica aparente): representa el volumen total que el árido ocupa dentro de la mezcla.
- Gse (gravedad específica efectiva): excluye los poros permeables que serán ocupados por asfalto.
- Siempre se cumple:  $Gsa > Gsb > Gse$ .

##### 5.1.1.3 Interpretación del Comportamiento de la Mezcla

- Estabilidad alta + flujo bajo: mezcla rígida, propensa a fisuración.
- Estabilidad baja + flujo alto: mezcla blanda, propensa a deformación.

##### 5.1.1.4 Vacíos de Aire Óptimos

El VMA se divide en vacíos de aire (Va) y vacíos llenos de asfalto (VFA), que determinan la compactación y durabilidad de la mezcla. Mantener un Va entre 3 % y 5 % evita deformaciones, sangrado o fisuración, asegurando un buen comportamiento en servicio. Un Va bajo provoca sangrado y deformaciones; mientras que un Va alto provoca permeabilidad, envejecimiento y fisuración.

### 5.1.1.5 Principio Rector del Método Marshall

Una alta estabilidad Marshall no garantiza el buen desempeño de la mezcla si no se cumplen los parámetros volumétricos óptimos, especialmente el contenido de asfalto y los vacíos de aire necesarios para la durabilidad.

- La *estabilidad y flujo* es *consecuencia de un correcto equilibrio volumétrico*, no su causa.

### 5.1.2 Conclusiones acerca del Trabajo de Integración Curricular.

Toda vez que:

- Se logró seleccionar un terreno adecuado para la instalación del Campamento General de la constructora, ubicado junto a la Mina de Libre Aprovechamiento designada por el Entidad Contratante.
- Se transportó e instaló la Planta de Asfaltos AMMANN PRIME 140 en el campamento.
- Se ejecutó la puesta en marcha, arranque y calibración de la planta, garantizando así su correcto funcionamiento.
- Se cumplió con el abastecimiento de los materiales necesarios para la producción de mezcla asfáltica en caliente, al haber explotado, transportado, triturado y clasificado todo el material pétreo requerido además del cemento asfáltico proveniente de la Refinería Esmeraldas.
- Se realizó el Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente mediante el Método Marshall, utilizando los materiales específicos del proyecto, con la colaboración del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – PUCE.

Me permito *concluir* que:

- Se ha *cumplido con el objetivo general de este trabajo investigativo*, al garantizar que ConstrucPiedra Cía. Ltda. pueda cumplir con el objeto del contrato LICO-GADPN-2024-001, mediante la producción y suministro de mezcla asfáltica en caliente que cumpla las Normas y Especificaciones Técnicas vigentes.

## 5.2 Recomendaciones.

Estimado lector, si Usted pretende realizar un proyecto vial que incluya un acabado con carpeta asfáltica en caliente, me permito realizar las siguientes recomendaciones:

- Asegúrese de que su proyecto sea viable técnica y logísticamente, al planificar los procesos constructivos más importantes, en especial, los tendientes a:
  - Gestionar una fuente de materiales pétreos que cumplan las normas y especificaciones técnicas, siendo los parámetros más importantes: *Confiabilidad de Producción y Disponibilidad del Material, Granulometría, Abrasión y Equivalente de Arena.*
  - Encargarse de que el cemento asfáltico tenga la suficiente *facilidad* de ser provisto y descargado en su planta de asfaltos, brindando *accesos posibles y seguros para el transporte* desde la Refinería Esmeraldas, al garantizar anchos y pendientes mínimos necesarios para los tracto camiones que transporten el cemento asfáltico AC20 hacia su proyecto.
  
- Garantice que la Planta de Asfaltos cumpla con las Normas y Especificaciones Técnicas, mediante una *calibración y puesta en marcha* de la misma; realizada por ingenieros civiles, eléctricos y electrónicos expertos en la materia, en especial, acerca de la *programación de las velocidades de las bandas de alimentación de áridos fríos y de la bomba de asfaltos*; ya que, de estos elementos depende el cumplimiento de la fórmula maestra de la mezcla en caliente.
  
- Realice un Diseño de Pavimentos para su mezcla en caliente por el Método Marshall, mediante un laboratorio de materiales con amplia experiencia en la rama. *Verifique estos resultados y asegúrese de que su fórmula maestra sea cumplida en planta, al respetar los coeficientes de uso de cada material, por el software de control de la planta.*

- Ya en la fase de producción, tome las briquetas Marshall y ensáyelas para verificar que tanto la estabilidad como el flujo sean los esperados y que cumplan con los mínimos requeridos por la Norma Técnica. De ser necesarios *ciertos ajustes a la fórmula maestra en Planta* (no mayores al 3% de cada coeficiente de uso de los áridos; o 0.2% del contenido de asfalto), realícelos con su mejor criterio técnico, *sin buscar que la mezcla maximice su estabilidad, o reduzca su flujo*, ya que el Ensayo Marshall exitoso busca un equilibrio de volúmenes de áridos, asfalto y aire.
- Si Usted *maximiza la estabilidad*, producirá una carpeta *más resistente pero frágil, que presentará agrietamientos a corto o mediano plazo*. Tienda a buscar más bien, un *equilibrio entre estabilidad y flujo*, que le permita garantizar la calidad de su mezcla.

Le deseo muchos éxitos en su proyecto.

## 6 Bibliografía

- AMMANN Group. (2.025). *Planta de asfalto AMMANN* [Imagen técnica]. <https://www.ammann.com/>
- Asociación Americana de Carreteras Estatales y de Transporte (AASHTO). (2017). *AASHTO T 245-97 (2017): Standard Method of Test for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus*. Washington, D.C.: AASHTO.
- Google LLC. (2.025). *Google Earth* [Mapa]. <https://earth.google.com/>
- Made-in-China. (2026). *Digital bitumen asphalt Marshall stability tester testing machine*. [https://es.made-in-china.com/co\\_civittest/product\\_Digital-Bitumen-Asphalt-Marshall-Stability-Tester-Testing-Machine\\_enisoniry.html](https://es.made-in-china.com/co_civittest/product_Digital-Bitumen-Asphalt-Marshall-Stability-Tester-Testing-Machine_enisoniry.html)
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12: Volumen 1 Procedimientos para proyectos viales* (Vol. 1). Quito, Ecuador.
- Piedra, X. O. (2.025). Gerente General – ConstrucPiedra Cía. Ltda. [*Consortio BP – Contratista GADPN*]. Tena – Prov. del Napo.
- Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotecnia, de la Facultad de Hábitat, Infraestructura y Creatividad de la PUCE. (2.026). *Diseño Marshall de Mezclas Asfálticas / Área de Pavimentos* [*Orden de Trabajo Nro. 4333P*]. PUCE – Campus Quito.
- PRO-ROAD. (2026). *Cemento asfáltico AC-20*. <https://www.proroadglobal.com/ac-20-cemento-asfaltico-normalizado-por-grado-de-viscocidad/>

- Servicio Nacional de Contratación Pública. (2.025). *Información del proceso de contratación [Ficha del proceso]*. Proceso de Contratación, Normas y Especificaciones Técnicas, Mina de Libre Aprovechamiento. Recuperado de:  
[https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=gCkY8-bNcXwNv\\_c7518Z8NHZFcdPBVzSZj\\_XR\\_coO44](https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=gCkY8-bNcXwNv_c7518Z8NHZFcdPBVzSZj_XR_coO44)
- Yáñez, G. P. (2.024). *Diseño de Pavimentos [Clase Magistral Participativa]*. PUCE – Campus Quito.

## **7 Anexos**