



**UNIVERSIDAD MCHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**Propuesta de instalación de una planta de
elaboración de mezcla asfáltica en caliente,
en la localidad de Puruándiro Michoacán.**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA

KATIA TORRES MORENO

ASESOR DE TESIS

DR. JORGE ALARCÓN IBARRA

MORELIA, MICHOACÁN

DICIEMBRE 2019

Contenido

1. CARRETERAS	16
2. PAVIMENTOS	23
2.1 CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	24
3. MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	29
3.1EL ASFALTO	29
3.1.1 CLASIFICACIÓN	31
3.2 MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.	39
3.2.1 PRUEBAS DE LABORATORIO	40
3.3TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	44
3.3.1 BENEFICIOS DE LAS MEZCLAS EN CALIENTE EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	55
3.3.2CONSIDERACIONES PARA REALIZAR UNA MEZCLA ASFÁLTICA	56
4. PLANTAS ASFÁLTICAS	58
4.1 FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA ASFÁLTICA	58
4.2 HISTORIA DE LAS PLANTAS ASFÁLTICAS EN MÉXICO	70
4.3TIPOS DE PLANTAS ASFÁLTICAS	73
4.3.1 PLANTAS PARA LA FABRICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS EN CALIENTE	99
5. PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA ADM DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACÁN.....	109
5.1 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA ASFÁLTICA DEL PROYECTO.....	109
5.2 TRANSPORTE DE LA PLANTA ASFÁLTICA	117
5.3 INSTALACIÓN DE LA PLANTA ASFÁLTICA.....	119
5.3.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA	119
5.3.2 PREPARACIÓN DEL TERRENO	123
5.3.3INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	123
5.4 OPERACIÓN DE LA PLANTA ASFÁLTICA	130
5.4.1 RECOMENDACIONES DURANTE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA	134
6. CONCLUSIONES	135
7. GLOSARIO	137
8. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	143
9. APENDICES.....	145

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi director de tesis, el Dr. Jorge Alarcón Ibarra quien con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó en esta investigación, mostrando siempre la mejor disposición, brindando su tiempo, consejos y amistad. Al ingeniero Cira por impulsar este proyecto confiar y apoyarme siempre en cada etapa de la instalación de la planta.

Al ingeniero Nephtali por su apoyo durante las vistas que fueron necesarias, a Miguel por todos sus consejos, apoyo y trabajo brindado a este proyecto.

Al laboratorio CCC Castillo por permitir realizar las pruebas y diseños en sus instalaciones. A todas las distintas plantas asfálticas que fueron necesarias visitar para conocer sus instalaciones y a sus encargados por recibirme de la mejor manera y apoyarme con mis dudas.

De manera especial agradezco incondicionalmente a toda mi familia que siempre ha estado para apoyarme en cada etapa desde que inicié mis estudios, principalmente a mis padres quienes son un pilar muy fuerte para mí, me han enseñado a esforzarme y sin su apoyo nada de esto podría ser posible, siendo mi ejemplo a seguir y brindándome su ayuda y amor incondicional durante toda mi vida. A mis hermanos a quienes quiero mucho y espero con ansias verlos en el futuro de igual manera en esta etapa concluyendo sus estudios.

A todos mis amigos quienes son una parte fundamental en mi vida, a mi novio Carlos por apoyarme siempre y motivarme a seguir adelante, quien ha estado conmigo pese a las adversidades.

A todas las personas involucradas en este proyecto, y finalmente a dios por darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

RESUMEN

Existe una creciente demanda en la construcción y mantenimiento de las carreteras en el Estado de Michoacán. Principalmente en la zona del bajo, colindante con el Estado de Guanajuato, donde actualmente el mercado productor de mezclas asfálticas no satisface dicha demanda, el presente estudio muestra una propuesta para impulsar la instalación de una planta de elaboración de mezcla asfáltica en caliente perteneciente al gobierno del estado de Michoacán, con el fin de atender dicha situación sobre la producción de mezcla asfáltica y apoyar a los proyectos de rehabilitación y construcción de pavimentos en el estado.

El contenido de este trabajo muestra la descripción de la planta asfáltica, la cual fue fabricada por ADM (Asphalt Drum Mixers) de la serie SPL, con una capacidad de producción de 60 a 110 toneladas por hora, es una planta de producción continua y trabaja con flujo paralelo.

Se indica también la planeación del proyecto en general para su instalación, definiendo una localización que tuviera las condiciones óptimas que se requieren para una planta, verificando que contara con una buena accesibilidad para ingresar a la zona de trabajo y que se encontrara espacio suficiente para colocar las partes que la conforman y pudiera así realizar los procesos necesarios en la producción. Para esto, se realizaron visitas de campo durante el desmantelamiento, transporte, colocación e instalación de la planta, los equipos, los componentes y piezas que la conforman.

También se reportan las pruebas de operación que fueron necesarias durante la instalación, así como los materiales necesarios y el diseño de la mezcla asfáltica, incluyendo un estudio sobre los bancos de material cercanos a la zona, esto para poder seleccionar los agregados pétreos que resultaran adecuados a la mezcla, el cemento asfáltico y el combustible alterno que se propondrán para la producción de la mezcla y la operación de la planta.

Para entender mejor el funcionamiento de una planta que elabora mezcla asfáltica en caliente, a lo largo de los capítulos se tratarán temas relacionados al proceso de producción, las características físicas y funcionamiento de los diferentes tipos de plantas que existen, algunos ejemplos de plantas que actualmente operan, sus diferencias entre ellas, las opciones que se tienen para utilizar material reciclado en la producción de mezcla asfáltica y los beneficios que se tiene con esto, el impacto que han tenido en nuestro país y la historia de las plantas asfálticas en México, los materiales que componen las mezclas asfálticas de acuerdo a las normativas establecidas y el uso de las mezclas en los pavimentos para la construcción de carreteras.

Por último se describen las aportaciones que este proyecto tendría al ser llevado a cabo, beneficiando distintos tramos carreteros en municipios cercanos a Puruándiro,

tales como la carretera Zináparo-Villa Morelos, la carretera municipal Puruándiro Manuel Villalongín, entre otras. Esto beneficiando a los proyectos propios del estado de Michoacán ya que la planta al ser perteneciente al Gobierno del Estado, puede obtener el material necesario para la elaboración de carpetas asfálticas un bajo costo, ayudando a concretar, construir y dar mantenimiento a las distintas obras que se ejecuten, mejorando así la red vial del estado.

PALABRAS CLAVE

Mezclas asfálticas, Producción, Pavimentos, Planta asfáltica, Asfalto, Carretera.

ABSTRACT

There is a growing demand in the construction and maintenance of roads in the state of Michoacán. Mainly in the Bajío area, next to the state of Guanajuato, the market of asphalt mixtures production does not satisfy this demand, the present study shows a proposal to promote the installation of a hot asphalt mixing plant belonging to the government of the state of Michoacán, in order to attend this situation of the production of asphalt mix and support the rehabilitation and construction of pavement projects in the State.

The content of this study shows the description of the asphalt plant, which was manufactured by ADM (Asphalt Drum Mixers) of the SPL series, with a production capacity of approximately 60 to 110 tons per hour, it is a continuous production plant and it works with parallel flow.

It also shows the planning of the project in general for its installation, defining a location that had the optimal conditions that are required for a plant, verifying that it will have good accessibility to enter to the work area and that there will be enough space to place all the parts and be able to perform the necessary processes in production. For this, there were some visits to the plant, during the dismantling, transport, and installation of the plant, the equipment, the components and parts that involve all of this.

Also this study, report the probes during the operation that were necessary in the installation, as well as the necessary materials and the design of the asphalt mixture, including a study on the material banks near the area, this to be able to select the stone aggregates that would be suitable to the mixture, the asphalt cement and the alternative fuel that will be proposed for the production of the mixture and the operation of the plant.

To better understand the operation of a plant that produces hot asphalt mixture, throughout the chapters, there will be information related to the production process, the physical characteristics and operation of the different types of plants that exist, some examples of plants that actually are producing and operating, their differences between them, the options that are available to use recycled material in the production of asphalt mix and the benefits that it has with this, the impact they have had on our country and the history of asphalt plants in Mexico, the materials that are necessary to produce asphalt mixtures according to established regulations and the use of mixtures in pavements for road construction.

Finally, the contributions that this project would have if it is executed, benefiting different highway sections near to Puruándiro, such as the Zináparo-Villa Morelos road, the Puruándiro - Manuel Villalongín municipal road, among others. This benefiting the own projects of the state of Michoacán, taking advantage of being part of the State Government and can obtain the necessary material for the preparation of asphalt folders at a low cost, helping to build and maintain the different projects, thus improving the state road network.

KEYWORDS

Mezclas asfálticas, Producción, Pavimentos, Planta asfáltica, Asfalto, Carretera.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura carretera de México es de suma importancia para el país, la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) establece en el Programa Nacional de Infraestructura Carretera 2018-2024 tres prioridades: La primera, conservación y mantenimiento de toda la infraestructura existente y terminación de las obras útiles, suspendidas o en proceso, la segunda, construcción de caminos pavimentados para todas las cabeceras municipales que carecen de ellos, con mano de obra local y bajo la administración de autoridades comunales y la tercera, el Plan Nacional de Carreteras Federales (PNCF), este dará atención prioritaria a las zonas del país donde la infraestructura carretera no ha llegado.

De acuerdo con la Red Nacional de Caminos (RNC) actualizada en el 2018, México cuenta con 171,347 kilómetros de carreteras pavimentadas, de las cuales 50,435 kilómetros son carreteras federales, 101,460 kilómetros son carreteras estatales, 19,452 kilómetros son otras (municipales y particulares), 10,557 kilómetros carreteras de cuota y 1,192 plazas de cobro. Se tiene 70,541 kilómetros de vialidades urbanas e infraestructura de enlace y 340,287 kilómetros de caminos no pavimentados, 10,341 kilómetros de veredas. A todo esto se tiene un total registrado de la Red Nacional de Caminos de **582,175 kilómetros**.

A través de ellas transita el 95 por ciento del pasaje y el 56 por ciento de la carga que circula en el ámbito nacional. La inversión en la infraestructura carretera resulta ser indispensable para el desarrollo económico y social de un país y de cada uno de los estados que lo conforman, ya que aumenta la competitividad de la economía al satisfacer las condiciones básicas para el avance de las actividades productivas, en cuanto al comercio, permite reducir costos de transporte y transacción, además, la infraestructura carretera es una actividad que incorpora a un elevado número de trabajadores temporales a la nómina, por lo que representa un fuerte impulso para el crecimiento del empleo.

El Plan de Desarrollo Integral del Estado de Michoacán, en el Programa Sectorial de Infraestructura, menciona que actualmente el desarrollo del Estado de Michoacán enfrenta graves problemas en materia de infraestructura carretera ya que gran parte de ella data de más de medio siglo, volviéndola obsoleta y careciente de proyectos y materiales acordes a los requerimientos de los tiempos actuales; ya que los medios de transporte demandan un sistema de gran cobertura, calidad y seguridad que apoye la competitividad y eficiencia de la economía y de los sectores.

La red vial carretera de Michoacán cuenta con 25 carreteras de red federal libre, 6 de red federal de cuota, 25 de red estatal libre, 1 de red estatal de cuota y 2 carreteras integradas por tramos federales y estatales (datos viales obtenidos por la SCT).

Es importante considerar el mantenimiento y la construcción ya que la movilidad entre las localidades es una necesidad de todos los días, tanto para trabajar, estudiar, transportarse, etc. Así que mantener una red carretera eficiente no solo representa la correcta construcción de los caminos sino también su mantenimiento una vez ya

construida. Las carreteras se dañan pasando primeramente por un deterioro lento, con fallas y grietas para después pasar a desprenderse las capas superficiales presentando problemas en la estructura del pavimento.

Actualmente podemos encontrarnos con tramos en donde se ha descuidado la conservación o presentan un asfaltado en mal estado y esto puede ocasionar problemas a los usuarios, y quizás una razón que se tiene es que no se cuenta con el abasto suficiente en la producción de asfalto. Las dependencias encargadas de estos sectores son la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP), la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), Junta de caminos (JC) y los H. Ayuntamientos.

Las carreteras están conformadas por distintas capas, donde la capa superficial está constituida por pavimento rígido o flexible, la mayoría de la red carretera está construida con pavimentos flexibles, donde los componentes principales son agregados pétreos y un material ligante, que es el asfalto, estos al ser combinados forman una mezcla asfáltica que se coloca en la capa de rodadura y es la que está en contacto con los usuarios.

Las mezclas asfálticas tienen un futuro muy prometedor y a la vez fundamental en el desarrollo de la infraestructura mexicana, ya sea por las características inmejorables que proporciona al camino para el tránsito de los vehículos o por su buen comportamiento al distribuir las necesidades de carga ejercida por estos. Para preparar la mezcla asfáltica se pueden utilizar procedimientos tanto en frío como en caliente. A grandes rasgos, cuando las mezclas se producen en frío se pueden realizar en el mismo sitio, con o sin maquinaria y no es necesario tener temperaturas muy elevadas, en cambio cuando la mezcla es en caliente, es necesario que los materiales se encuentren a 150 °C por lo que es necesario una planta asfáltica que se encargue de la elaboración de estas mezclas.

Cabe mencionar la importancia de las mezclas asfálticas, ya que las carreteras construidas con pavimentos flexibles han mostrado grandes beneficios para los usuarios, tales como confort, reducción de la contaminación acústica, en cuestión de construcción pueden presentar menor costo inicial y mantenimiento, ofrecen seguridad, durabilidad, entre otros. Es por eso que la propuesta de instalación de una planta productora de asfalto puede beneficiar a la localidad de Puruándiro, Michoacán, produciendo asfalto de forma continua, atendiendo a las distintas obras que se soliciten y presentando a los constructores un costo más bajo en las mezclas que utilicen.

Para lograr el objetivo planteado fue necesario realizar una serie de visitas a diferentes tipos de plantas asfálticas con el fin de conocer su funcionamiento, entender las diferentes características que tienen entre los distintos fabricantes y tipos existentes de plantas de producción de mezcla asfáltica en caliente, en los siguientes capítulos se presenta una breve descripción y reporte algunas plantas tanto de producción continua como discontinua, esto con el fin de aportar la información necesaria para obtener una visión clara del comportamiento de cada uno de los componentes que se tiene en la planta asfáltica en estudio.

OBJETIVOS

- GENERAL

Dada la demanda de producción de mezcla asfáltica en caliente para la conservación y construcción de la red carretera en el Estado, principalmente en la zona norte. El objetivo de esta investigación es aportar la información necesaria para llevar a cabo el proceso de instalación y puesta en operación de una planta asfáltica ADM serie SPL en el Municipio de Puruándiro Michoacán.

Para alcanzar el objetivo general de éste trabajo se deberán cumplir una serie de objetivos específicos que se describen a continuación:

- Determinar la relevancia socioeconómica que tiene las carreteras para los países, principalmente para México.
- Identificar las partes que componen un pavimento y conocer los diferentes tipos, sus características, diferencias y ventajas sobre los demás.
- Investigar sobre las fallas en los pavimentos y la razón por la que son producidas.
- Determinar la importancia que juegan las mezclas asfálticas en la construcción de los pavimentos, los principales componentes de estas y sus funciones, además de comparar los distintos tipos de mezclas asfálticas y sus métodos para producirlas, así como los beneficios y usos que se pueden obtener con cada una.
- Conocer el procedimiento de elaboración de una mezcla en caliente elaborado en una planta asfáltica.
- Realizar una recopilación exhaustiva, de la información existente sobre plantas asfálticas para producción de mezclas en caliente, identificar los tipos de plantas que se fabrican, sus beneficios, funcionamiento y los principales elementos que las componen, además de investigar algunos de los fabricantes de plantas, tanto internacionales como locales.
- Identificar la necesidad de elaboración de mezclas asfálticas en el Estado de Michoacán, principalmente en el municipio de Puruándiro y los tramos carreteros que cruzan la localidad.
- Profundizar y estudiar las características mecánicas, los componentes, la instalación y operación de la planta asfáltica ADM del gobierno del estado de Michoacán y proponer un proyecto de instalación y operación para que esta se ponga en marcha.

FIGURAS

Figura 1.1 Corredores carreteros de México. Fuente: www.sct.gob.mx	19
Figura 1.2 Carretera México - Puebla. Fuente: www.obrasweb.mx/construcción	21
Figura 1.3 Carretera México - Querétaro. Fuente: www.rotativo.com.mx	21
Figura 1.4 Carretera del Sol. Fuente: www.rafaelprietoc.wordpress.com	22
Figura 1.5 Carretera México - Nogales. Fuente: www.obrasweb.mx/construcción	22
Figura 1.6 Carretera México - Cuernavaca. Fuente: www.regeneracion.mx	23
Figura 1.7 Carretera Panamericana. Fuente: www.mexicoenfotos.com	23
Figura 2.1 Capas que conforman a un pavimento asfáltico. Fuente: Elaboración propia.....	25
Figura 2.1.1 Agrietamiento por baja temperatura.....	27
Figura 2.1.2 Baches generados por fatiga. Fuente: www.googlemaps.com	27
Figura 2.1.3 Falla por roderas Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.....	27
Figura 2.1.4 Agrietamiento en piel de cocodrilo en un pavimento asfáltico Fuente: Bobby David Barnes, Airfield Pavement Maintenance Manual.....	28
Figura 2.1.5 Agrietamiento en bloque en un pavimento asfáltico Fuente: Bobby David Barnes, Airfield Pavement Maintenance Manual.....	28
Figura 2.1.6 Agrietamiento longitudinal en un pavimento asfáltico Fuente: www.hardinpaving.com	29
Figura 2.1.8 Hundimiento de la superficie de un pavimento asfáltico Fuente: Bobby David Barnes, Airfield Pavement Maintenance Manual.....	30
Figura 2.1.9 Congelamiento y deshielo en pavimento asfáltico Fuente: www.salesdelcentro.blogspot.com	30
Figura 3.1.1 Asfalto utilizado para pruebas en laboratorio. Fuente: www.jjgeotecnia.com	32
Figura 3.1.2 Refinería “El Aguila” en Ciudad Madero, Tamaulipas, elaboradora del primer producto asfáltico en México Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.....	32
Figura 3.1.1.1 Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C Fuente: N-CMT-4-05-001/06.....	33
Figura 3.2.1.1 Formato y zona de especificación granulométrica para los materiales pétreos que se empleen en concretos asfálticos Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en el laboratorio de materiales asfálticos PEPSA.....	43
Figura 3.2.1.2 Equipo para la prueba de Los Ángeles. Fuente: www.spanish.alibaba.com	44
Figura 3.2.1.3 Calibrador de espesor y longitud para identificar las partículas lajeadas y alargadas Fuente: www.laboratorioevanheslp.com	45
Figura 3.3.1 Mezcla asfáltica de granulometría densa puesta en un pavimento Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.....	47
Figura 3.3.2 Mezcla asfáltica de granulometría abierta puesta en un pavimento Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.....	50
Figura 3.3.3 Mezcla asfáltica tipo SMA puesta en un pavimento Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.....	52
Figura 3.3.4 Colocación de mezcla tipo CASAA. Fuente: www.amaac.org.mx	53
Figura 3.3.5 Colocación de una capa con microagomerado. Fuente: www.amaac.org.mx	55
Figura 3.3.6 Colocación de carpeta. Fuente: www.aguayo.com.do	56
Figura 4.1.1 Principio de la dosificación volumétrica Fuente: Proyecto y construcción de carreteras, G. Jeuffroy.....	61

Figura 4.1.2 Esquema de un ciclón extractor de gases y polvo Fuente: www. biblioteca. udep. Edu	64
Figura 4.1.3 Esquema de un lavador de fino. Fuente: www.biblioteca.udep.edu.pe	64
Figura 4.1.5 Fosa de lodos, vista delantera. Fuente: Elaboración propia.....	65
Figura 4.1.6 Trayectoria de los gases de escape y polvos en una planta Fuente: Triaso	66
Figura 4.1.7 Ciclón de mediana eficiencia. Fuente: www.triaso.com.mx	67
Figura 4.1.8 Trayectoria de los gases de escape. Fuente: www.triaso.com.mx	67
Figura 4.1.9 Circulación del aire limpio. Fuente: www.triaso.com.mx	68
Figura 4.1.10 Circulación del material. Fuente: www.triaso.com.mx	68
Figura 4.1.11 Dámper. Fuente: www.triaso.com.mx	69
Figura 4.1.12 Dimensiones generales de un tanque de almacenamiento de Asfalto Fuente: www.triaso.com.mx	70
Figura 4.1.13 Partes principales de la cadena de arrastre. Fuente: www.triaso.com.mx	71
Figura 4.1.14 Dimensiones generales de un elevador de descarga. Fuente: www.triaso.com.mx	71
Figura 4.2.1 Primer laboratorio instalado en la ciudad de México Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.....	72
Figura 4.2.2 Primeras plantas asfálticas en México Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.....	73
Figura 4.2.3 Planta de asfalto de producción discontinua con capacidad de 200 toneladas por día, fue instalada en el Arrollo del Encanto, Baja California en 1933 Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.....	74
Figura 4.3.1 Clasificación de plantas asfálticas. Fuente: Elaboración propia.....	77
Figura 4.3.2 Planta de producción discontinua Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.....	79
Figura 4.3.3 Operaciones básicas de una planta dosificadoras en presentación esquemática Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.....	79
Figura 4.3.4 Planta asfáltica estacionaria dosificadora.....	80
Fuente: Pavimentos Asfálticos Tres Marías S.A. de C.V.....	80
Figura 4.3.5 Colocación de la planta dosificadora.....	80
Fuente: Pavimentos Asfálticos Tres Marías S.A de C.V.....	80
Figura 4.3.6 Tolva de almacenamiento de agregados pétreos. Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 4.3.7 Tolva sub dividida Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 4.3.8 Unidad de mezclado o amasadora. Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 4.3.9 Tambor mezclador de planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia.....	83
Figura 4.3.10 Tolvas de almacenamiento para materiales pétreos. Fuente: Elaboración propia.....	83
Figura 4.3.11 Extractor de polvos de la planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 4.3.12 Transportador elevador. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 4.3.13 Quemador de la planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia.....	85
Figura 4.3.14 Planta mezcladora de tambor Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.....	86
Figura 4.3.15 Tambor mezclador de planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia.....	87
Figura 4.3.16 Elevador de arrastre para la salida de la mezcla. Fuente: Elaboración propia.....	88
Figura 4.3.17 Banda de alimentación de la planta. Fuente: Elaboración propia.....	88
Figura 4.3.19 Planta asfáltica TRIASO. Fuente: Elaboración propia.....	89
Figura 4.3.18 Tolvas de almacenamiento.....	90
Figura 4.3.20 Tolva receptora y liberadora. Fuente: Elaboración propi.....	90
Figura 4.3.21 Tanques de diesel y asfalto. Fuente: Elaboración propia.....	90

Figura 4.3.22 Cabina de control. Fuente: Elaboración propia.....	90
Figura 4.3.23 Mezcla asfáltica en caliente producida en planta. Fuente: Elaboración propia.....	91
Figura 4.3.24 Planta asfáltica de la Ciudad de México. Fuente: Elaboración propia.....	92
Figura 4.3.25 Mezclador de tambor "Double Barrel" en la planta asfáltica de la ciudad de México fuente: Elaboración propia.....	93
Figura 4.3.26 Proceso de secado en el tambor Double Barrel interior Fuente: www.astecinc.com.....	94
Figura 4.3.27 Proceso de mezclado en el tambor Double Barrel exterior Fuente: www. Astecinc . com ...	95
Figura 4.3.28 Proceso de flujo de gas en el tambor Double Barrel. Fuente: www.astecinc.com.....	96
Figura 4.3.29 Sistema Green Doube Barrel (Sistema Verde). Fuente: www.astecinc.com	97
Figura 4.3.30 Componentes de la planta de asfalto. Fuente: Elaboración propia	97
Figura 4.3.31 Planta asfáltica con dos barriles. Fuente: Elaboración propia.....	98
Figura 4.3.32 Interior del tambor de mezclador. Fuente: Elaboración propia.....	98
Figura 4.3.33 Elevador transportador de material. Fuente: Elaboración propia.....	99
Figura 4.3.34 Mezcla asfáltica producida en planta. Fuente: Elaboración propia.....	99
Figura 4.3.35 Tolvas almacenadoras y dosificadoras. Fuente: Elaboración propia.....	99
Figura 4.3.36 Tanques de almacenamiento enterrados. Fuente: Elaboración propia.....	100
Figura 4.3.37 Colador de residuos en la entrada de los tanques. Fuente: Elaboración propia.....	100
Figura 4.3.39 Colector Bag house o caja de bolsas. Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 4.3.40 Bolsas en el interior del Bag house. Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 4.3.41 Interior de la cabina de control.....	101
Figura 4.3.38 Ciclón recolector de polvos. Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 4.3.42 Laboratorio de pruebas. Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura 4.3.43 Muestra representativa de mezcla asfáltica en caliente producida en planta. Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura 4.3.1.1 Fresadora obteniendo RAP de un pavimento envejecido Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"	103
Figura 4.3.1.2 Planta discontinua con ingreso de RAP en elevador caliente Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta.	104
Figura 4.3.1.3 Planta discontinua con quinta tola caliente de la torre dosificadora Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"	105
Figura 4.3.1.4 Planta discontinua con alimentación controlada a la tolva de pesaje Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"	106
Figura 4.3.1.5 Planta discontinua con doble tambor secador para calentamiento del RAP de la empresa PABASA Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"	106
Figura 4.3.1.6 Planta discontinua con secador separado Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"	107
Figura 4.3.1.7 Planta continua con secador de flujo paralelo con mezclador separado (DMC I) Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"	108
Figura 4.3.1.8 Planta continua con secador de contraflujo con mezclador separado (DMCII) Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"	109

Figura 4.3.1.9 Planta continua con tambor secador mezclador de contraflujo Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral “Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta”	109
Figura 4.3.1.10 Planta continua con tambor secador mezclador de doble tambor Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral “Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta”	110
Figura 4.3.1.11 Planta continua con tambor secador-mezclador Double Barrel. www.astecinc.com	111
Figura 5.1.1 Planta asfáltica ADM. Fuente: www.admasphaltplants.com	112
Figura 5.1.2 Planta asfáltica en estudio. Fuente: Elaboración propia.....	113
Figura 5.1.3 Tolvas de almacenamiento.....	113
Figura 5.1.4 Banda transportadora de agregado.....	113
Figura 5.1.5 Quemador. Fuente: Elaboración propia.....	114
Figura 5.1.6 Alabes dentro del tambor de la planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia.....	114
Figura 5.1.7 Gráfica de comportamiento y temperatura de agregados y gases de una planta de flujo paralelo Fuente: www.triaso.com.mx	115
Figura 5.1.8 Caja de golpe en la planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia.....	116
Figura 5.1.9 Funcionamiento de una caja de golpe. Fuente: The fundamentals of the operation and maintenance of the exhaust gas system in a hot mix asphalt facility, NAPA.....	116
Figura 5.1.10 Fosa de lodos en la planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia.....	116
Figura 5.1.11 Configuración de un estanque o fosa de lodos Fuente: The fundamentals of the operation and maintenance of the exhaust gas system in a hot mix asphalt facility, NAPA.....	117
Figura 5.1.12 Tanque de almacenamiento para cemento asfáltico. Fuente: Elaboración propia.....	118
Figura 5.1.13 Elevador montado donde se descarga la mezcla. Fuente: Elaboración propia.....	119
Figura 5.1.14 Cabina de control.....	119
Figura 5.1.15 Generador de energía.....	119
Figura 5.2.1 Colocación de los neumáticos a las tolvas. Fuente: Elaboración propia.....	120
Figura 5.2.2 Transporte de las tolvas dosificadoras. Fuente: Elaboración propia	120
Figura 5.2.3 Transporte de tambor secador. Fuente: Elaboración propia	121
Figura 5.2.4 Transporte de tanque de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia.....	121
Figura 5.2.5 Transporte del generador de la planta. Fuente: Elaboración propia.....	121
Figura 5.3.1.1 Ubicación de la planta. www.googlemaps.com	124
Figura 5.3.1.2 Ubicación del terreno. Fuente: www.googlemaps.com	124
Figura 5.3.1.3 Tramo con pavimento dañado.....	125
Figura 5.3.1.4 Tramo con pavimento dañado.....	125
Figura 5.3.2.1 Terreno limpio y nivelado donde se pretende instalar la planta Fuente: Elaboración propia.....	126
Figura 5.3.3.1 Materiales necesarios para la instalación.....	127
Figura 5.3.3.2 Croquis de la ubicación de los componentes de la planta Fuente: Elaboración propia.....	127
Figura 5.3.3.3 Dimensiones generales de la rampa. Fuente: Elaboración propia.....	128
Figura 5.3.3.4 Elaboración de la rampa alimentadora. Fuente: Elaboración propia.....	128
Figura 5.3.3.5 Fosa de lodos en la actual zona. Fuente: Elaboración propia.....	129
Figura 5.3.3.6 Colocación de durmientes para calzar el chasis de la planta Fuente: Elaboración propia.....	129
Figura 5.3.3.7 Nivelación de la base de los equipos. Fuente: Elaboración propia	130
Figura 5.3.3.8 Colocación del tambor secador. Fuente: Elaboración propia.....	130
Figura 5.3.11 Elevador de salida de mezcla. Fuente: www.triaso.com.mx	131
Figura 5.3.3.10 Colocación de las tolvas. Fuente: Elaboración propia.....	132

Figura 5.3.3.11 tanque de almacenamiento Fuente: Elaboración propia.....	133
Figura 5.4.1 Banco de material cribado. Fuente: Elaboración propia.....	134
Figura 5.4.2 Banco de material triturado. Fuente: Elaboración propia.....	134
Figura 5.4.3 Pastillas elaboradas en laboratorio para diseño de mezcla. Fuente: Elaboración propia.....	134
Figura 5.4.4 Acopio de agregados pétreos dentro de la zona de la planta asfáltica Fuente: Elaboración propia.....	135
Figura 5.4.5 Variación de producción con respecto al porcentaje de humedad. Fuente: www.triaso.com.mx	136

TABLAS

Tabla 1.1 Principales características de las autopistas de cuota en operación Fuente: www.sct.gob.mx ..	20
Tabla 3.1.1.1 Clasificación de los materiales asfálticos. Fuente: N-CMT-4-05-001/06.....	33
Tabla 3.1.1.2 Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C Fuente: N-CMT-4-05-001/06.....	34
Tabla 3.1.1.3 Requisitos de calidad para cemento asfáltico clasificado por viscosidad dinámica a 60 °C Fuente: N-CMT-4-05-001/06.....	34
Tabla 3.1.1.4 Nivel de ajuste de los requisitos de calidad para el grado de desempeño (PG) de acuerdo con la intensidad del tránsito y con la velocidad de operación. Fuente: N•CMT•4•05•004/18.....	35
Tabla 3.1.1.5 Clasificación de las emulsiones asfálticas. Fuente: N-CMT-4-05-001/06.....	37
Tabla 3.1.1.6 Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas aniónicas. Fuente: N-CMT-4-05-001/06...38	38
Tabla 3.1.1.7 Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas. Fuente: N-CMT-4-05-001/06..39	39
Tabla 3.1.1.9 Requisitos de calidad para asfaltos rebajados. Fuente: N-CMT-4-05-001/06.....	40
Tabla 3.3.1 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa. Fuente: Normativa N-CMT-4-04-17.	47
Tabla 3.3.3 Requisitos del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa Fuente: N-CMT-4-04-17.	48
Tabla 3.3.4 Requisitos del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa Fuente: N-CMT-4-04-17.....	49
Tabla 3.3.5 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta. Fuente: N-CMT-4-04-17.....	50
Tabla 3.3.6 Requisitos del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta, granulometría discontinua, tipo SMA y tipo CASAA Fuente: N-CMT-4-04-17.	51
Tabla 3.3.7 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA. Fuente: N-CMT-4-04-17	52
Tabla 3.3.8 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo CASAA. Fuente: N-CMT-4-04-17.....	53
Tabla 3.3.9 Requisitos de granulometría del material pétreo para microaglomerados.....	55
Tabla 3.3.10 Requisitos de calidad del material pétreo para microaglomerados.....	55
Tabla 3.3.11 Requisitos de granulometría del material pétreo para capas de rodadura por el sistema de riegos. Fuente: N-CMT-4-04-17.....	56

1. CARRETERAS

Según la etimología la palabra carretera proviene del latín *carrus*, que significa vehículo de dos ruedas y el sufijo *-eta*, que es sinónimo de carreta. La carretera se denomina como un camino público pavimentado que está dispuesto para el tránsito de vehículos, el cual tiene vías anchas que permiten fluidez en la circulación.

Las carreteras son el medio de transporte más usado en nuestro país, para poder trasladarse, viajar y conectarnos de un estado a otro, son caminos de dominio y uso público, lo que significa que ningún ciudadano tiene derecho de prohibir el paso a otro.

En cada país su clasificación es diferente, en el caso de México se cuentan con diversos tipos de carreteras, la red federal de carreteras es atendida en su totalidad por el gobierno federal, registra la mayor parte de los desplazamientos de pasajeros y carga entre ciudades y canaliza los recorridos de largo itinerario, los relacionados con el comercio exterior y los producidos por los sectores más dinámicos de la economía nacional.

Según información de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, uno de los elementos más importantes de la red carretera nacional lo constituyen los 14 corredores que conectan las cinco mesorregiones con que cuenta el país y que proporcionan acceso y comunicación permanente a las principales ciudades, fronteras y puertos marítimos, estos corredores atienden poco más del 54 por ciento de los flujos carreteros interregionales. (Figura 1.1)

Las redes estatales cumplen una función de gran relevancia para la comunicación regional, para enlazar las zonas de producción agrícola y ganadera y para asegurar la integración de extensas áreas en diversas regiones del país.

Y por su parte, los caminos rurales y las brechas mejoradas son vías modestas y en general no pavimentadas; su valor es más social que económico, pues proporcionan acceso a comunidades pequeñas que de otra manera estarían aisladas. Sin embargo, su efecto en las actividades y la calidad de vida de esas mismas comunidades es de gran trascendencia.



Figura 1.1 Corredores carreteros de México. Fuente: www.sct.gob.mx

Por lo que se refiere a autopistas de cuota, México cuenta con uno de los sistemas más extensos del mundo, en cuanto a su administración, presupuesto y operación, se tienen distintas redes. (Tabla 1.1)

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS AUTOPISTAS DE CUOTA EN OPERACION			
CARACTERÍSTICA	CAPUFE	FARAC	CONCESIONADAS
Red	Autopistas construidas por el Estado y entregadas a Capufe para su administración y explotación.	Autopistas rescatadas en 1997 y las que SCT ha puesto en operación a partir de 1998.	Autopistas construidas sobre todo entre 1989 y 1994; están concesionadas a particulares, gobiernos estatales o instituciones financieras.
Autopistas predominantes	Maduras, con altos niveles de ingresos.	Nuevas, construidas entre 1989 y 1994; en proceso de maduración.	Relativamente nuevas, con excepción de concesiones otorgadas para lograr objetivos financieros.
Propiedad	Patrimonio nacional.	Patrimonio nacional. Concesionadas a Banobras, institución fiduciaria, que contrata a Capufe para operar y administrar.	Patrimonio nacional. Concesionadas a terceros para pago de créditos y recuperación de inversiones.
Tarifas	Autorizadas por SHCP.	Autorizadas por el Comité Técnico del FARAC.	Autorizadas por SCT bajo reglas específicas.
Presupuesto	Autorizado por el H. Congreso de la Unión y controlado por la SHCP.	Autorizado por el Comité Técnico del FARAC.	Autorizado por el Comité Técnico de cada fideicomiso de administración de la concesión.
Decisiones	Consejo Administración de Capufe.	Comité Técnico del FARAC.	Comité Técnico de Fideicomisos de Administración.

Tabla 1.1 Principales características de las autopistas de cuota en operación.

Fuente: www.sct.gob.mx

Un artículo publicado en el universal el 21 de septiembre del 2018, por Samara Monroy (www.eluniversal.com.mx) habla sobre las carreteras más importantes en México, donde menciona que es relevante destacar las siguientes:

- México – Puebla

Recorres aproximadamente 130 kilómetros de la Ciudad de México al estado de Puebla y es de las más transitadas, según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se registra un promedio de cruce de 48,491 autos al día (Figura 1.2).



Figura 1.2 Carretera México - Puebla. Fuente: www.obrasweb.mx/construcción

- México – Querétaro

Está conformada por 260 kilómetros, es de las más concurridas debido a que conecta con diversos puntos del Estado de México y Querétaro. La Policía Federal informó en marzo del 2018 que en promedio cruzan 37 autos por minuto y que es la de mayor aforo vehicular en Semana Santa (Figura 1.3).



Figura 1.3 Carretera México - Querétaro. Fuente: www.rotativo.com.mx

- México – Acapulco

También es conocida como la autopista del sol, conecta a la Ciudad de México con el puerto de Acapulco, Guerrero y tiene una longitud de 378 kilómetros (Figura 1.4).



Figura 1.4 Carretera del Sol. Fuente: www.rafaelprietoc.wordpress.com

- México – Nogales

Recorre siete estados del país, los cuales son: Sonora, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Estado de México y CDMX. Está conformada por 2,378 kilómetros y esta también dentro de las más transitadas, pues según reportes de la Policía Federal en el 2016, es transitada por 14,500 vehículos diarios (Figura 1.5).



Figura 1.5 Carretera México - Nogales. Fuente: www.obrasweb.mx/construcción

- México – Cuernavaca

Según los registros de la Policía Federal ha tenido una gran afluencia, con una salida de 35 autos en promedio y una entrada de 15 por minuto (Figura 1.6).



Figura 1.6 Carretera México - Cuernavaca. Fuente: www.regeneracion.mx

- Carretera Panamericana

Recorre del centro al norte de México, pasa por los estados de Chihuahua, Zacatecas, Durango, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo y su longitud es de 1,920 kilómetros (Figura 1.7).



Figura 1.7 Carretera Panamericana. Fuente: www.mexicoenfotos.com

Se cuenta con esquemas de participación público – privada que la SCT ha desarrollado para canalizar la inversión privada que la inversión privada a los proyectos carreteros (Zamudio, 2011), los cuales son los siguientes:

- Esquema de concesiones

Este se aplica fundamentalmente para desarrollar proyectos carreteros que cuentan con una fuente de pago propia, las autopistas de cuota. Las concesiones se otorgan por medio de procesos de licitación pública abiertos a los

participantes que acrediten cumplir con la capacidad y experiencia necesarias para materializar estos proyectos. Las licitaciones se desarrollan por iniciativa y bajo control de la SCT, quien entrega a los concursantes el proyecto ejecutivo y el derecho de vía liberado.

- Esquema de proyectos de prestación de servicios (PPS)

Se concentra más en el desarrollo de proyectos de modernización de carreteras existentes libres de peaje; las cuales, una vez modernizadas siguen operando en régimen libre de pago de cuotas. Bajo este esquema, la SCT organiza una licitación pública para otorgar la concesión que asegura al ganador el derecho de recibir el contrato de prestación de servicios en forma directa.

- Esquema de aprovechamiento de activos.

Es una variante del modo de concesión que consiste en “empaquetar” activos carreteros existentes, por lo general, que pertenecen a la red del Fondo Nacional de Infraestructura, con nuevas carreteras de cuota por construir. De este modo, a través de una licitación pública organizada por la SCT, se adjudica la concesión a un particular que opere, conserve y explote los activos existentes y además construya las nuevas autopistas del paquete, para después también operarlos y conservarlos.

Estos modelos operativos que aplica la SCT desde 2003 permiten aumentar la inversión en carreteras y su aplicación está generando beneficios tangibles.

En general, las carreteras son el elemento fundamental del sistema de transporte de México y es por esto que las inversiones gubernamentales buscan que la red carretera sea un sistema de gran cobertura, calidad y seguridad, que apoye la competitividad y la eficiencia de la economía.

2. PAVIMENTOS

Las carreteras normalmente están constituidas por pavimentos, que son un conjunto de capas compuestas por diferentes materiales granulares seleccionados, superpuestas de manera horizontal y que se encargan de recibir las cargas del tránsito.

Los pavimentos se clasifican generalmente en dos tipos, rígidos y flexibles. La principal diferencia es la mezcla asfáltica que compone al pavimento flexible, ya que los pavimentos rígidos no la contienen, en cambio, se componen de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; mientras que los pavimentos flexibles o también conocidos como asfálticos están compuestos con material asfáltico en al menos una de sus capas.

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. Si pudiéramos observar un corte transversal en un pavimento se podrían observar las distintas capas que lo conforman (Figura 2.1).

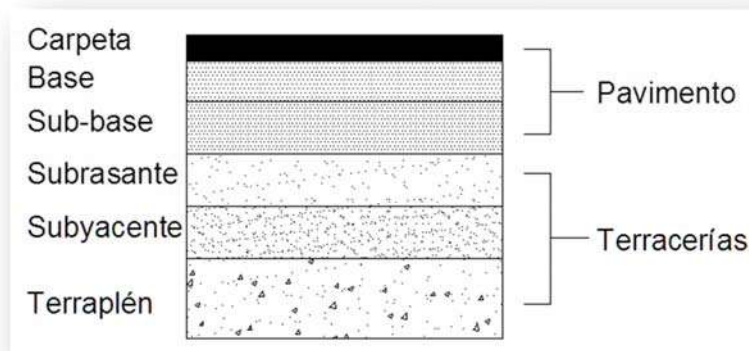


Figura 2.1 Capas que conforman a un pavimento asfáltico. Fuente: Elaboración propia

Las capas son: Terraplén, subyacente, subrasante, base, sub-base (no necesariamente utilizada) y por último la carpeta asfáltica. A estas capas las podemos agrupar en 2 grupos principalmente, terracerías y pavimento.

Terracerías: Las conforman las capas de Terraplén, Subyacente y Subrasante

Terraplén: No se define su espesor por el diseño, sino con el proyecto geométrico

Subyacente: Cuando la intensidad de tránsito es menor a 10,000 ejes equivalentes no se requiere de esta capa

Subrasante: Esta capa es obligatoria y no se pueden usar fragmentos de roca.

Pavimentos: Las conforman las capas de Sub-base, base y carpeta.

Sub-base: Esta capa no es necesaria en los pavimentos asfálticos, sirve para abaratar y se utilizan materiales naturales, cribados, triturados parcial o totalmente, o mezclados

Base: En esta capa no es recomendable usar material natural, solo triturado o cribado

Carpeta asfáltica: Esta es la capa superficial, constituida por mezcla asfáltica, es la capa que está en contacto directamente con los usuarios.

2.1 CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

El objetivo fundamental de los pavimentos asfálticos es prestar al usuario un servicio de calidad que satisfaga las necesidades al transportarse, por esto, una vez construida la infraestructura se tiene que realizar una serie de actividades de conservación que cumplan con dos objetivos principalmente: el primero se refiere a asegurar una circulación segura, fluida y cómoda, de manera que los costos en el transporte sean lo menor posible, y el segundo, trata de la preservación del valor patrimonial de las carreteras, que forman parte de la riqueza de un país.

Una carretera proyectada y construida adecuadamente para el tráfico que va a soportar tendrá probablemente unos gastos de conservación menores. Algunas de las acciones ordinarias de conservación que se llevan con más frecuencia son:

- Bacheos
- Saneamiento
- Sellado de grietas y juntas
- Fresados localizados
- Limpieza de pavimentos drenantes
- Eliminación de exudaciones

Es muy importante tener en cuenta las acciones adecuadas de conservación, rehabilitación y construcción en los pavimentos flexibles, ya que de no ser así con el paso del tiempo pueden presentar una serie de fallas localizadas en su superficie, que afectan de forma negativa el servicio al usuario, incumpliendo a los factores como adherencia, regularidad, drenaje superficial, etc.

Estas fallas pueden ser ocasionadas principalmente por la acción abrasiva del tráfico, el envejecimiento, los agentes atmosféricos, el empleo de materiales inadecuados o a una mala ejecución. Las condiciones ambientales y del lugar donde se coloca el pavimento son de gran influencia en la temperatura a la que van a trabajar los pavimentos asfálticos y esto redundará en la resistencia que ofrecen durante su vida de servicio.

Los mecanismos de falla que preocupan en la superficie de un pavimento son:

- Grietas o fisuras por contracciones de baja temperatura (Figura 2.1.1).
- Grietas por fatiga debido a las cargas dinámicas en intensidad y tipo de carga (Figura 2.1.2).



*Figura 2.1.1 Agrietamiento por baja temperatura.
Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.*



Figura 2.1.2 Baches generados por fatiga. Fuente: www.googlemaps.com

- Deformación plástica en las capas asfálticas (roderas) por falta de capacidad estructural o altas temperaturas de pavimento (Figura 2.1.3).



*Figura 2.1.3 Falla por roderas.
Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.*

Además de las fallas superficiales anteriormente mencionados, existen también un serie de deterioros en los pavimentos flexibles que se relacionan con una disminución apreciable de las características iniciales y que pueden afectar la capacidad estructural del pavimento, la gran mayoría de estas se presentan en forma de fisuras o deformaciones permanentes y suelen afectar a más de una de las capas del pavimento, requiriendo de una rehabilitación total o profunda para solucionarlos, en muchos casos se puede incluir el fresado de parte del pavimento y algunas de ellas son:

- **Agrietamiento en piel de cocodrilo**

Esta falla se trata de un agrietamiento que se extiende sobre toda la superficie de la capa de rodadura o sobre una parte de ella, esta superficie agrietada adquiere un aspecto parecido a la piel de un cocodrilo y de ahí su nombre (Figura 2.1.4). Es originada generalmente por fatiga y suele presentarse en pavimentos construidos con bases débiles o con deficiencia en la compactación.

Cuando esta falla alcanza estos grados destructivos puede irse casi con seguridad que está ligado a deficiencias estructurales en la base. También puede ser también indicativo de lugares que requieren subdrenaje y en lugares donde existe el congelamiento.



Figura 2.1.4 Agrietamiento en piel de cocodrilo en un pavimento asfáltico.

Fuente: Bobby David Barnes, Airfield Pavement Maintenance Manual.

- **Agrietamiento en el bloque**

Es una falla muy similar a la anterior de agrietamiento tipo piel de cocodrilo pero con una apertura más amplia (Figura 2.1.5), con un tamaño aproximado de bloques de 25 centímetros. Estas pueden originarse por un dimensionamiento insuficiente de la sección del pavimento, o simplemente puede haberse producido por el despegue de la capa superior de mezcla asfáltica, por una mala ejecución o una deficiente dosificación del riego de adherencia. Si este fuera el caso, la capa despegada trabaja de forma aislada del resto, por lo que llega a la fatiga aunque el resto del pavimento este en buen estado y con una elevada capacidad portante.



Figura 2.1.5 Agrietamiento en bloque en un pavimento asfáltico.

Fuente: Bobby David Barnes, Airfield Pavement Maintenance Manual.

- **Agrietamiento longitudinal**

Esta falla consiste en la aparición de grietas longitudinales de poca abertura (aproximadamente 0.5 centímetros) y estas aparecen generalmente en toda el área que corresponde a la circulación de las cargas pesadas (Figura 2.1.6). Pueden deberse a movimientos de las capas del pavimento que tienen lugar predominante en dirección horizontal, puede ocurrir en la base, sub-base o con frecuencia, en la carpeta asfáltica. Son indicativos de congelamiento y deshielo o de cambios volumétricos por la variación de contenido de agua.

Este tipo de grietas pueden ser paso inicial a la formación de lo que se vio anteriormente como piel de cocodrilo, además de que tienen un desarrollo que comienza con ramificaciones, pérdida de material del borde de la grieta o fisura y formación de pequeñas grietas secundarias cerca de la fisura principal.



Figura 2.1.6 Agrietamiento longitudinal en un pavimento asfáltico.
Fuente: www.hardinpaving.com

- **Agrietamiento transversal**

Las grietas transversales pueden ser ocasionadas por el paso de tráfico o por asentamientos de los terraplenes, por fisuración térmica, por el reflejo de fisuras de capas profundas cementadas, o por defectos del extendido de la carpeta asfáltica (Figura 2.1.7).



Figura 2.1.7 Agrietamiento transversal en un pavimento asfáltico.
Fuente: www.flynnbrothers.com

- **Hundimientos en la superficie**

Los hundimientos que aparecen en la superficie de la capa de rodadura parecidos a surcos se asocian frecuentemente al aumento de compacidad en las capas granulares de base o sub-base, debida, a su vez, a una carga excesiva, a cargas repetidas (aumento de compacidad por vibración) o a la rotura de las partículas (Figura 2.1.8). Otra probable causa es debido a la consolidación de la carpeta, en general el ancho del surco excede al del neumático y tiende a ser mayor en comparación a este, cuanto más profundo se localiza el problema que lo genera.

Normalmente esta falla se confunde con las rodaduras, que también son otro tipo de falla en los pavimentos producidas por simple desplazamiento lateral de la mezcla asfáltica defectuosa, la diferencia básica es que en un surco de origen profundo no se eleva la mezcla de la capa de rodadura a los lados del surco.



*Figura 2.1.8 Hundimiento de la superficie de un pavimento asfáltico.
Fuente: Bobby David Barnes, Airfield Pavement Maintenance Manual.*

- **Fallas por presencia de agua**

Las fallas por presencia prolongada de agua en el pavimento suelen aparecer en zonas de bajas temperaturas que presentan acumulación de nieve durante el invierno (Figura 2.1.9), suelen presentarse en primavera grandes acumulaciones de agua al lado de las carreteras, esto debido al deshielo, también puede producirse en zonas muy lluviosas o en pavimentos con problemas de drenaje.

Las capas del pavimento se debilitan debido al exceso de agua, permitiendo movimientos excesivos del pavimento y provocando pérdida de cohesión de las mezclas asfálticas que se transforman en una degradación de la capa de rodadura.



*Figura 2.1.9 Congelamiento y deshielo en pavimento asfáltico.
Fuente: www.salesdelcentro.blogspot.com*

3. MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas que se utilizan en los pavimentos flexibles son una combinación de asfalto con agregados minerales pétreos, en proporciones de acuerdo a las propiedades de la mezcla que se deseen.

Las propiedades de las mezclas asfálticas utilizadas para las capas de rodadura deben ir de acuerdo al diseño de esta, ya que es una capa de suma importancia en un pavimento, es la que debe proporcionar una superficie duradera, segura, confortable y estética, también debe proporcionar a los usuarios estabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga, durabilidad, resistencia a la fractura, al deslizamiento, permeabilidad, trabajabilidad, entre otros.

Se debe de tener en cuenta que el papel más importante de las mezclas asfálticas se desempeña en los caminos, ya que es indispensable para un pavimento flexible contar con mezcla asfáltica y por lo general. Se puede hacer el uso de distintos tipos de calidad en los agregados y aditivos para modificar las propiedades de la mezcla según su uso y especificación (Alberto, 2013).

3.1EL ASFALTO

El asfalto es un producto termoplástico derivado del petróleo y es indispensable para la elaboración de mezclas asfálticas. La palabra asfalto proviene del griego *asphaltos* que significa seguro (www.beyondroads.com, agosto 2019).

Tiene propiedades de impermeabilizante. A lo largo del tiempo y a través de distintos descubrimientos y pruebas se ha podido obtener y utilizar el asfalto con las características que conocemos para su uso en las carreteras.

La composición de un asfalto puede variar, ya que pueden haber asfaltos más duros y con mayores puntos de reblandecimiento, ductibilidad y recuperación elástica, diferente penetración y susceptibilidad térmica (Figura 3.1.1). Un asfalto está compuesto por dos fases: una asfáltica y otra malténica, esta se puede dividir en dos fracciones: resinas, que contienen moléculas parafínicas y nafténicas y la otra, aceites.

Los asfaltenos son los responsables de las características de dureza y resistencia de los asfaltos. Las resinas le proporcionan sus propiedades cementantes o adhesivas y los aceites aportan la consistencia adecuada para ser trabajables. Además, protegen a los asfaltenos y a las resinas de la oxidación provocada por agentes del intemperismo.



Figura 3.1.1 Asfalto utilizado para pruebas en laboratorio. Fuente: www.jjgeotecnia.com

También disminuyen los efectos perjudiciales que sufre el asfalto en los procesos de calentamiento que se emplean en las plantas de producción de mezclas asfálticas. El asfalto se puede encontrar en forma natural o se puede obtener mediante el proceso de destilación y de los residuos de las desafaltadoras. Sin importar la forma de producción, siempre debe cumplir con las especificaciones de calidad para las aplicaciones que correspondan.

El comportamiento del asfalto en pavimentos depende de la temperatura y del tiempo de carga. A altas temperaturas, o bajo cargas sostenidas, el cemento asfáltico se comporta como un líquido viscoso que tiende a deformarse. A temperaturas bajas o bajo condiciones de cargas ligeras y aplicadas repetidamente el asfalto se comporta como un sólido elástico, esto quiere decir que al aplicarle la carga se deforma, pero cuando se retira, regresa a su forma original.

Se puede decir que el primer producto asfáltico elaborado en México es el asfalto Pánuco producido por la compañía El Águila aproximadamente en el año 1920 (Figura 3.1.2), con características equivalentes a las de un asfalto AC-10 actual con penetración de 85-100. De este se generó a partir de 1920 la gama de productos asfálticos, que eran el FM-0, el FM-1 y el FR-3, constituidos principalmente por 60% de cemento asfáltico y un 40% de solventes (Zamudio, 2011).



Figura 3.1.2 Refinería "El Águila" en Ciudad Madero, Tamaulipas, elaboradora del primer producto asfáltico en México.

Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.

3.1.1 CLASIFICACIÓN

Según la normativa N-CMT-4-05-001/06, los materiales asfálticos se clasifican en cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, dependiendo del vehículo que se emplee para su incorporación o aplicación, como se indica en la Tabla 3.1.1.1

Material asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, mezclas, moneros y estabilizaciones, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados.
Emulsión asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, mezclas, moneros, riegos y estabilizaciones.
Asfalto rebajado	Solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas y para la impregnación de subbases y bases hidráulicas.

Tabla 3.1.1.1 Clasificación de los materiales asfálticos. Fuente: N-CMT-4-05-001/06

1) Cementos asfálticos

Los cementos asfálticos son asfaltos obtenidos del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y parte de sus aceites. Su viscosidad varía con la temperatura y entre sus componentes, las resinas le producen adherencia con los materiales pétreos, siendo excelentes ligantes, pues al ser calentados se licúan, lo que les permite cubrir totalmente las partículas del material pétreo.

Según su viscosidad dinámica a 60°, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la norma, en la Tabla 3.1.1.2, donde se señalan los usos más comunes de cada uno, también existe una clasificación de zonas geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad (Figura 3.1.1.1).

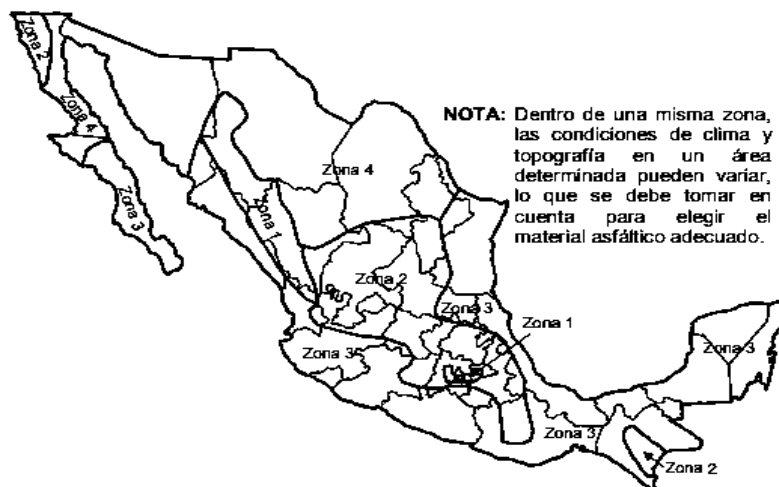


Figura 3.1.1.1 Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C Fuente: N-CMT-4-05-001/06

Clasificación	Viscosidad a 60°C Pa·s (P ^[1])	Usos más comunes
AC-5	50 ± 10 (500 ± 100)	- En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1. - En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilizan para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.
AC-10	100 ± 20 (1 000 ± 200)	- En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1. - En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilizan en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1.
AC-20	200 ± 40 (2 000 ± 400)	- En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la Figura 1. - En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilizan en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1.
AC-30	300 ± 60 (3 000 ± 600)	- En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la Figura 1. - En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilizan en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zonas 3 y 4 en la Figura 1. - En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.

[1] Poises

Tabla 3.1.1.2 Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C
Fuente: N-CMT-4-05-001/06

Los cementos asfálticos deben satisfacer los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 3.1.1.3

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento asfáltico original:				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1])	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s = 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furci a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58
Del residuo de la prueba de la película delgada:				
Pérdida por calentamiento; %, máximo	1	0,5	0,5	0,5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1]), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25 °C; %, mínimo	46	50	54	58

[1] Poises

Tabla 3.1.1.3 Requisitos de calidad para cemento asfáltico clasificado por viscosidad dinámica a 60 °C
Fuente: N-CMT-4-05-001/06

2) Cemento asfáltico Grado PG

Según la normativa N-CMT-4-05-004/18, los cementos asfálticos de acuerdo a su grado de desempeño (PG), son aquellos cuyo comportamiento en los pavimentos está definido por las temperaturas máxima y mínima que se esperan en el lugar de su aplicación, por la intensidad del tránsito esperada y por la velocidad de operación de la carretera, a partir de las cuales se asegura un desempeño (Performance Grade) adecuado para resistir deformaciones, agrietamientos por temperaturas bajas y agrietamiento por fatiga, en condiciones de trabajo que se han correlacionado con pruebas y tratamientos especiales para producir simulaciones de envejecimiento a corto y a largo plazo. Estas pruebas miden propiedades físicas que pueden ser directamente relacionadas, mediante principios de ingeniería, con el comportamiento en obra, y forman parte de los productos del Programa de Investigación de Carreteras desarrollado por la Unión Americana, conocida como la Tecnología SHRP.

El grado de desempeño (PG) permite seleccionar el cemento asfáltico más adecuado para una determinada obra, en función del clima dominante, de la intensidad del tránsito esperada y de la velocidad de operación a que estará sujeta la carretera durante su vida útil. Un cemento asfáltico clasificado como PG 64-16 tendrá un desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas tan altas como sesenta y cuatro (64) grados Celsius y tan bajas como menos dieciséis (-16) grados Celsius. Con los datos estadísticos del clima de la zona geográfica donde se vaya a realizar la obra, se determinarán las temperaturas mínimas y máximas de dicha zona geográfica

Los requisitos de calidad del cemento asfáltico que se seleccione según su grado de desempeño (PG) para el clima de la zona donde se construirá la obra, se ajustarán de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de (8,2) toneladas (ΣL), acumulados durante el periodo de servicio del pavimento pero nunca menor de diez años y de acuerdo con la velocidad de operación, como se indica en la Tabla 3.1.1.4

Velocidad de operación km/h Intensidad del tránsito (ΣL) ^[1]	Nivel de ajuste		
	$v > 70$	$20 \leq v \leq 70$	$v < 20$
$\Sigma L < 10^8$	Normal (S)	Alto (H)	Muy alto (V)
$10^8 \leq \Sigma L \leq 30 \times 10^8$	Alto (H)	Alto (H)	Muy alto (V)
$\Sigma L > 30 \times 10^8$	Muy alto (V)	Muy alto (V)	Extremadamente alto (E)

[1] ΣL es el número de ejes equivalentes de 8,2 t acumulados durante el periodo de servicio del pavimento en el carril de diseño que en ningún caso será menor de diez (10) años; obtenido con el método de Instituto de Ingeniería de la UNAM para la condición de daño superficial.

Tabla 3.1.1.4 Nivel de ajuste de los requisitos de calidad para el grado de desempeño (PG) de acuerdo con la intensidad del tránsito y con la velocidad de operación. Fuente: N-CMT-4-05-004/18

La selección del cemento asfáltico según su grado de desempeño (PG) considerará las temperaturas máxima y mínima de la zona donde se ubicará la obra, realizando un ajuste debido a la intensidad del tránsito y a la velocidad de operación de la carretera.

Los grados PG pueden ser tantos y tan amplios como la gama de temperaturas que se registran en el país, sin embargo para fines prácticos es recomendable seleccionar un cemento asfáltico que corresponda a uno de los 3 grados PG (Figura 3.1.1.2), de acuerdo con el clima de la zona geográfica donde se le pretenda utilizar, de entre las zonas en que se ha dividido la República Mexicana que se muestran en la misma figura, pero considerando que dentro de una misma zona, las condiciones del clima en un área determinada pueden variar, lo que se debe tomar en cuenta para elegir el grado PG adecuado.

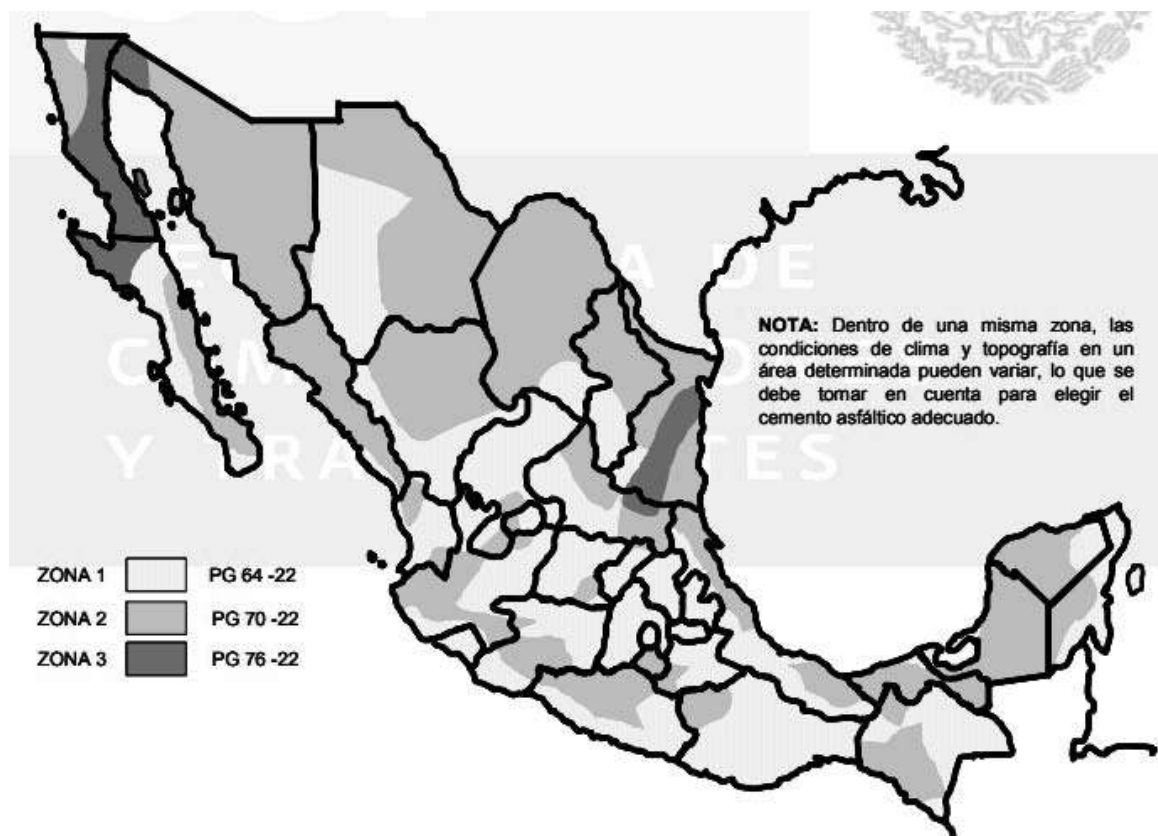


Figura 3.1.1.2 Regiones geográficas para la utilización recomendable de cementos asfálticos grado PG.
Fuente: N-CMT-4-05-004/08

3) Emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas son los materiales asfálticos líquidos estables, constituidos por dos fases no miscibles, en los que la fase continua de la emulsión está formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de cemento asfáltico. Se denominan emulsiones asfálticas aniónicas cuando el agente emulsificante confiere polaridad

electronegativa a los glóbulos y emulsiones asfálticas catiónicas, cuando les confiere polaridad electropositiva.

Las emulsiones asfálticas pueden ser de los siguientes tipos:

- De rompimiento rápido, que generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, a excepción de la emulsión ECR-60, que no se debe utilizar en la elaboración de éstas últimas.
- De rompimiento medio, que normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos en la mezcla es igual que dos por ciento o menor, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobre carpetas.
- De rompimiento lento, que comúnmente se utilizan para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
- Para impregnación, que particularmente se utilizan para impregnaciones de subbases y/o bases hidráulicas.
- Superestables, que principalmente se emplean en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación de pavimentos.

Según su contenido de cemento asfáltico en masa, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se indica en la Tabla 3.1.1.5.

Clasificación	Contenido de cemento asfáltico en masa %	Tipo	Polaridad
EAR-55	55	Rompimiento rápido	Aniónica
EAR-60	60		
EAM-60	60	Rompimiento medio	
EAM-65	65		
EAL-55	55	Rompimiento lento	
EAL-60	60		
EAI-60	60	Para impregnación	
ECR-60	60	Rompimiento rápido	Catiónica
ECR-65	65		
ECR-70	70		
ECM-65	65	Rompimiento medio	
ECL-65	65	Rompimiento lento	
ECI-60	60	Para impregnación	
ECS-60	60	Sobrestabilizada	

Tabla 3.1.1.5 Clasificación de las emulsiones asfálticas. Fuente: N-CMT-4-05-001/06

Las emulsiones asfálticas aniónicas, según su clasificación, han de cumplir con todos los requisitos establecidos en la Tabla 3.1.1.6 y para las emulsiones asfálticas catiónicas según su clasificación, han de cumplir con todos los requisitos establecidos en la Tabla 3.1.1.7

Características	Clasificación						
	EAR-55	EAR-60	EAM-60	EAM-65	EAL-55	EAL-60	EAI-60
De la emulsión:							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	55	60	60	65	55	60	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	5	---	---	---	20	20	5
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	---	40	50	25	---	---	---
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	5	5
Retenido en malla N° 20 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pasa malla N° 20 y se retiene en malla N° 60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	---	---	90	90	90	90	---
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	---	---	75	75	75	75	---
Miscibilidad con cemento Portland; %, máximo	---	---	---	---	2	2	---
Carga eléctrica de las partículas	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Demulsibilidad; %	60 mín	50 mín	30 máx	30 máx	---	---	---
Del residuo de la destilación:							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^m)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)
Penetración a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	100-200	50 - 90	100-200	50 - 90	100-200	50 - 90	150 - 250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	40

[1] Poises

Tabla 3.1.1.6 Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas aniónicas. Fuente: N-CMT-4-05-001/06

Características	Clasificación						
	ECR-60	ECR-65	ECR-70	ECM-65	ECL-65	ECI-45	EC8-60
De la emulsión:							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	60	65	68	65	65	60	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	---	---	---	---	25	5	25
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	5	40	50	25	---	---	---
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	10	5
Retenido en malla N° 20 en la prueba del tamiz; %, máx	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pasa malla N° 20 y se retiene en malla N° 60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	---	---	---	90	90	---	90
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	---	---	---	75	75	---	75
Carga eléctrica de las partículas	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	---	3	3	5	---	15	---
Índice de ruptura; %	< 100	< 100	< 100	80 – 140	> 120	---	> 120
Del residuo de la destilación:							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1])	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)	50 ± 10 (500 ± 100)
Penetración ^[2] a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	110–250	110–250	110–250	100–250	100–250	100–400	100–250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	---
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	---

[1] Poises

[2] En climas que alcancen temperaturas iguales o mayores de 40°C, la penetración en el residuo de la destilación de las emulsiones ECR-65, ECR-70, ECM-65 y ECL-65, en el proyecto se puede considerar de 50 a 90 × 10⁻¹ mm.

Tabla 3.1.1.7 Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas. Fuente: N-CMT-4-05-001/06

4) Asfaltos rebajados

Los asfaltos rebajados, que regularmente se utilizan para la elaboración de carpetas de mezcla en frío, así como en impregnaciones de bases y subbases hidráulicas, son los materiales asfálticos líquidos compuestos por cemento asfáltico y un solvente, clasificados según su velocidad de fraguado como se indica en la Tabla 3.1.1.8

Clasificación	Velocidad de fraguado	Tipo de solvente
FR-3	Rápida	Nafta, gasolina
FM-1	Media	Queroseno

Tabla 3.1.1.8 Clasificación de asfaltos rebajados. Fuente: N-CMT-4-05-001/06

Los asfaltos rebajados, según su clasificación, deben satisfacer los requisitos establecidos en la Tabla 3.1.1.9

Características	Grado	
	FM-1	FR-3
Del asfalto rebajado:		
Punto de inflamación Tag; °C, mínimo	38	27
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s	75 - 150	—
Viscosidad Saybolt-Furol a 60°C; s	—	250 - 500
Contenido de solvente por destilación a 360°C, en volumen; %		
Hasta 225°C	20 máx	25 mín
Hasta 260°C	25 - 65	55 mín
Hasta 315°C	70 - 90	83 mín
Contenido de cemento asfáltico por destilación a 360°C, en volumen, %, mínimo	60	73
Contenido de agua por destilación a 360°C, en volumen, %, máximo	0,2	0,2
Del residuo de la destilación:		
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P^{19}), máximo	200 ± 40 (2 000 ± 400)	200 ± 40 (2 000 ± 400)
Penetración a 25°C, en 100 g y 5 s; 10^{-1} mm	120 - 300	80 - 120
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	100	100
Solubilidad; %, mínimo	99,5	99,5

[1] Poises

Tabla 3.1.1.9 Requisitos de calidad para asfaltos rebajados. Fuente: N-CMT-4-05-001/06

5) Asfaltos modificados

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interface entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo. Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son según la normativa N-CMT-4-05-002/06:

+ Polímero Tipo I

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados.

+ Polímero Tipo II

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

+ Polímero Tipo II

Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas, se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito.

+ Hule molido de neumáticos

Es un modificador de asfaltos que mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales.

3.2 MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Junto con el asfalto, es necesario implementar agregados pétreos para la elaboración de una mezcla asfáltica, con el paso del tiempo se han utilizado gran variedad de agregados minerales, en la actualidad se aplica una selección rigurosa para asegurar su calidad. En general, los materiales utilizados son de los siguientes tipos:

Materiales que requieren ser cribados

Son aquellos poco o nada cohesivos que, al extraerlos, queden sueltos y que deben ser tamizados por una o varias mallas para obtener los tamaños requeridos.

Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados

Sus características principales son ser poco o nada cohesivos, o bien, materiales cohesivos que, al extraerlos, resultan con terrones que pueden disgregarse. También son aquellos en los que una porción del material requiera disminuir su tamaño para que sea el adecuado para la mezcla asfáltica.

Materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados

Son aquellos extraídos de bancos, principalmente de roca dura, que requieren de un medio mecánico para que se presente la fractura del agregado y reducir así considerablemente sus tamaños, al mismo tiempo que se tamizan para obtener las medidas requeridas.

Pavimento reciclado o RAP

Actualmente se emplea el pavimento reciclado o RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) como una importante fuente de agregado mineral para la producción de mezclas asfálticas nuevas.

Los materiales mencionados pueden requerir de lavado o no, según la materia orgánica o cohesiva que presenten, también de las especificaciones particulares que deba requerir el material para ser mezclado con el asfalto.

3.2.1 PRUEBAS DE LABORATORIO

Para realizar una mezcla asfáltica es necesario considerar ciertas características que nos indican la selección de un adecuado agregado pétreo y estas son:

Peso específico

La normativa de 1987 determina el peso específico relativo aparente por inmersión del material pétreo en cemento asfáltico fluidificado, para después calcular el porcentaje de vacíos de mezclas asfálticas compactadas.

Granulometría

Este factor es parte fundamental del comportamiento que tendrá la mezcla asfáltica elaborada y si existe esqueleto mineral o no. Las especificaciones para estas pruebas han variado con el paso del tiempo y debido al avance de los instrumentos con los que se realizan las pruebas. Las especificaciones indican, en cuanto a granulometría, una

zona específica, así pues, la granulometría del material pétreo por utilizar debe encontrarse dentro de esa zona (Figura 3.2.1.1).

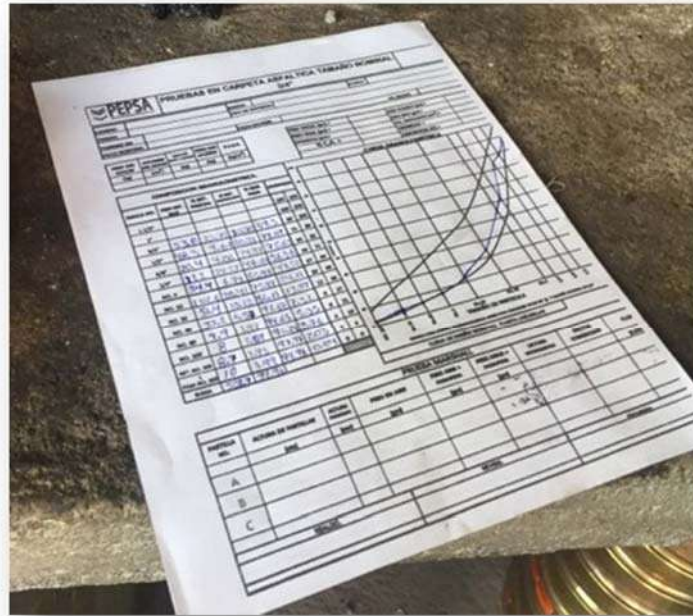


Figura 3.2.1.1 Formato y zona de especificación granulométrica para los materiales pétreos que se emplean en concretos asfálticos.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en el laboratorio de materiales asfálticos PEPSA.

Límites de Atterberg y pruebas complementarias

Estos se incluyen en las normas de la SCT desde 1981 para conocer el grado de plasticidad de los finos, que será un indicio de la presencia de arcilla, la cual puede perjudicar la mezcla asfáltica dependiendo de su actividad y cantidad ya que se puede ocasionar una deficiencia en la adherencia de la película asfáltica y también influye la forma en que se presente, debido a que si se encuentra en forma de grumos, estos constituyen un punto débil en la carpeta.

Afinidad entre el material pétreo y el asfalto

Con esta característica se busca principalmente determinar algunas propiedades relativas a la afinidad entre partículas del material y la película de asfalto que las cubre, este factor es muy importante debido a que la mayor parte de los casos de fallas encontradas en los pavimentos son debido a que por falta de adherencia entre el agregado pétreo y el asfalto se introduce agua en la carpeta asfáltica dañándola.

La falta de adherencia entre el asfalto y el agregado puede deberse también a la presencia de una película de polvo o de arena fina adherida a la partícula del material pétreo.

Existen varias y diferentes pruebas para determinar esta característica, las más comunes son:

- o Desprendimiento por fricción
- o Cubrimiento con asfalto
- o Desprendimiento de la película
- o Pérdida de la estabilidad por inmersión en agua

Resistencia a la abrasión

Esta característica se determina mediante el desgaste de los materiales pétreos que se emplean en la construcción de las mezclas asfálticas, carpetas de riegos, riegos de sello, entre otros y sirve para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, la baja resistencia estructural que tienen, los planos de debilitamiento y de cristalización.

Para conocer la resistencia a la abrasión de los materiales se utiliza la maquina o prueba de Los Ángeles (Figura 3.2.1.2) y la maquina Deval.



Figura 3.2.1.2 Equipo para la prueba de Los Ángeles. Fuente: www.spanish.alibaba.com

Resistencia al intemperismo

Este factor se determina desde 1981 (Norma SCT) con la prueba de intemperismo acelerado y es un índice de grado de alteración que pueden alcanzar los materiales por la acción de los agentes atmosféricos.

Es importante considerar esta característica ya que esto se puede conocer la susceptibilidad que tienen los materiales a los efectos del ambiente.

Forma de las partículas

En esta característica las partículas de los agregados pétreos se clasifican por su forma alargada o de laja, esto para determinar el contenido de cada una de estas en una muestra del material, este factor se tiene que considerar ya que la resistencia de las partículas al quiebre depende de la forma de estas. Se identifican las partículas con un calibrador que tiene orificios de distintos tamaños y formas (Figura 3.2.1.3).



*Figura 3.2.1.3 Calibrador de espesor y longitud para identificar las partículas lajeadas y alargadas.
Fuente: www.laboratorioevanheslp.com*

Especificaciones de calidad

La normativa vigente en México para garantizar la calidad de los materiales pétreos que se emplea en la elaboración de mezclas asfálticas de cualquier tipo es la N-CMT-4-04, en esta se establece que según el tipo de mezcla en el que se vayan a utilizar, los materiales pétreos se clasifican como se indica a continuación:

- o Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría densa
- o Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría abierta
- o Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA
- o Materiales pétreos para mortero asfáltico
- o Materiales pétreos para carpetas por el sistema de riegos
- o Materiales pétreos para mezclas asfálticas para guarniciones

En cada una de las clasificaciones anteriores se detallan diferentes requisitos con los que se tiene que cumplir para elaborar la mezcla según la normativa.

3.3 TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Existen diferentes parámetros de clasificación para diferenciar las mezclas asfálticas:

1) POR FRACCIONES DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

- Masilla asfáltica

Esta es la combinación de polvo mineral mas el ligante o aglomerante, que será el asfalto.

- Mortero asfáltico

Esta es la combinación de masilla asfáltica mas agregado fino.

- Concreto asfáltico

Esta es la combinación de mortero asfáltico mas agregado grueso.

- Macadam asfáltico

Es la combinación de agregado pétreo grueso más el ligante o aglomerante, que será el asfalto.

2) POR LA TEMPERATURA DE COLOCACIÓN DE LA MEZCLA

- Mezclas asfálticas en caliente

Según la normativa N·CTR·CAR·1·04·006/14 de la SCT, las carpetas asfálticas con mezcla en caliente son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos de granulometría densa y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Estas carpetas, debido a que generalmente tienen espesores mayores de cuatro centímetros, tienen la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento.

Estas mezclas son elaboradas en caliente, utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos a temperaturas muy elevadas para su fabricación, arriba de los 100 °C, en un rango de los 150 °C, según la viscosidad del aglomerante, se calientan también los agregados pétreos que se van a utilizar, esto para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos a la hora de mezclarlos.

Se pueden elaborar en una planta mezcladora estacionaria o móvil y estas mezclas a su vez se clasifican a continuación:

Mezclas asfálticas de granulometría densa

Estas son mezclas en caliente, uniformes y homogéneas, elaboradas con agregados pétreos bien graduados y cemento asfáltico, el tamaño nominal de los agregados es entre 37.5 mm (1 ½") y 9.5 mm (3/8"). Se pueden utilizar en carpetas asfálticas de pavimentos que requieren de una alta resistencia estructural, ya sea que se trate de un pavimento nuevo, una renivelación o refuerzo de pavimento ya existentes (Figura 3.3.1).

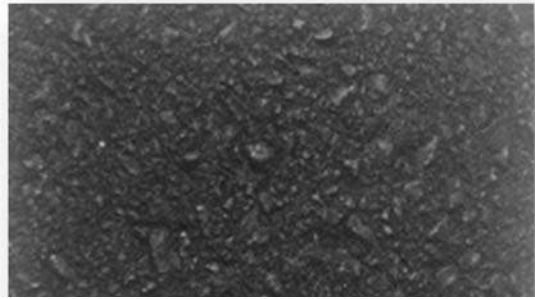


Figura 3.3.1 Mezcla asfáltica de granulometría densa puesta en un pavimento.

Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, *Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.*

El material pétreo que se utilice en la elaboración de mezclas asfálticas de granulometría densa, ya sea en caliente o en frío, en función de su tamaño nominal y de la intensidad del tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas, acumulados durante el periodo de servicio del pavimento en el carril de diseño, que en ningún caso será menor de diez años, cumplirá lo que se indica a continuación, según la normativa N-CMT-4-04/17:

- Cuando el tránsito esperado sea igual a un millón de ejes equivalentes o menor, el material pétreo, según su tamaño nominal, deberá cumplir con lo siguiente en la Tabla 3.3.1

Malla		Tamaño nominal del material pétreo ^[1]				
Abertura mm	Designación	9,5 (¾)	12,5 (½)	19 (¾)	25 (1)	37,5 (1½)
Porcentaje que pasa (en masa)						
50	2 in	—	—	—	—	100
37,5	1½ in	—	—	—	100	90 - 100
25	1 in	—	—	100	90 - 100	74 - 90
19	¾ in	—	100	90 - 100	79 - 92	62 - 83
12,5	½ in	100	90 - 100	72 - 89	58 - 81	46 - 74
9,5	¾ in	90 - 100	76 - 92	60 - 82	47 - 75	39 - 68
6,3	¼ in	70 - 89	56 - 81	44 - 71	36 - 65	30 - 59
4,75	Nº4	56 - 82	45 - 74	37 - 64	30 - 58	25 - 53
2	Nº10	28 - 64	25 - 55	20 - 46	17 - 42	13 - 38
0,85	Nº20	18 - 49	15 - 42	12 - 35	9 - 31	6 - 28
0,425	Nº40	13 - 37	11 - 32	8 - 27	5 - 24	3 - 21
0,25	Nº60	10 - 29	8 - 25	6 - 21	4 - 19	2 - 16
0,15	Nº100	6 - 21	5 - 18	4 - 16	2 - 14	1 - 12
0,075	Nº200	2 - 10	2 - 9	2 - 8	1 - 7	0 - 6

[1] El tamaño nominal de un material pétreo es la abertura de la malla con la que se designa el material que cumpla con una determinada granulometría.

Tabla 3.3.1 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa.

Fuente: Normativa N-CMT-4-04-17

Característica ^[1]		Valor
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		35
Desgaste Microdeval, %, máximo		18
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo		40
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	90
	Dos o más caras	80
Desprendimiento por fricción, %, máximo		20
ARENA Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco (d_{ps}), mínimo		2,4
Angularidad, %, mínimo		40
Equivalente de arena; %, mínimo		45
Azul de metileno, mg/g, máximo		18

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

[2] Será suficiente que el Intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

Tabla 3.3.2 Requisitos de calidad de material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa. Fuente: N-CMT-4-04-17

- Cuando el tránsito esperado es mayor de un millón de ejes equivalentes y hasta 30 millones de ejes equivalentes, el material pétreo según su tamaño nominal, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 3.3.2 y con los requisitos de calidad que se indican en la tabla 3.3.3

Característica ^[1]		Valor
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		30
Desgaste Microdeval, %, máximo		18
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo		40
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	95
	Dos o más caras	85
Desprendimiento por fricción, %, máximo		20
ARENA Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Angularidad, %, mínimo		45
Equivalente de arena; %, mínimo		50
Azul de metileno, mg/g, máximo		15

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

Tabla 3.3.3 Requisitos del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa. Fuente: N-CMT-4-04-17

- Si el tránsito esperado es mayor a 30 millones de ejes equivalentes, el material pétreo, según su tamaño nominal, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 1 y con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 3.3.4.

Característica ^[1]		Valor
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		30
Desgaste Microdeval, %, máximo		15
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y ladeadas, %, máximo		35
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	100
	Dos o más caras	90
Desprendimiento por fricción, %, máximo		20
ARENA Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Angularidad, %, mínimo		45
Equivalente de arena, %, mínimo		55
Azul de metileno, mg/g, máximo		12

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

Tabla 3.3.4 Requisitos del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa.

Fuente: N-CMT-4-04-17

Mezclas asfálticas de granulometría abierta

De igual manera son mezclas en caliente, uniformes, homogéneas y con un alto porcentaje de vacíos, elaboradas con agregados pétreos de granulometría uniforme con tamaño nominal entre 12.5 mm (1/2") y 6.3 mm (1/4") y cemento asfáltico. Estas mezclas se pueden utilizar para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y por lo general, se construyen sobre una carpeta de granulometría densa (Figura 3.3.2).

Uno de los objetivos principales de esta mezcla es satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta. Como ventajas podemos observar que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

Por tener un alto grado de vacíos y estar expuestas a la intemperie estas mezclas son muy susceptibles al envejecimiento y desgranamiento a corto plazo, además de que no

deben ser colocadas en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación sea menor de 600 mm por año. Por esto, cuando son aplicadas como capa de rodadura, se debe de programar el mantenimiento de 2 a 3 años aproximadamente, donde se pueda recuperar esta capa mediante fresado y se coloque una nueva.

Una de las ventajas de ser capas de espesor pequeño es que así se protegen las capas inferiores y se le proporciona una superficie adecuada al usuario que circula sobre ella.



Figura 3.3.2 Mezcla asfáltica de granulometría abierta puesta en un pavimento.

Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.

El material pétreo que se emplee en la elaboración de mezclas asfálticas de granulometría abierta, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 3.3.5, así como los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 3.3.6

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)
		12,5 (½)
Abertura mm	Designación	Porcentaje que pasa (en masa)
19	¾ in	100
12,5	½ in	65 – 100
9,5	¾ in	48 – 72
6,3	¼ in	30 – 52
4,75	Nº4	18 – 38
2	Nº10	15 - 33
0,85	Nº20	12 – 28
0,15	Nº100	5 - 19
0,075	Nº200	2 – 4

Tabla 3.3.5 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta.

Fuente: N-CMT-4-04-17

Característica ⁽¹⁾		Valor
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		25
Desgaste Microdeval, %, máximo		15
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ⁽²⁾	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo		35
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	100
	Dos o más caras	90
Pulimento acelerado, %, mínimo		30
Desprendimiento por fricción, %, máximo		10
ARENA Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Angularidad, %, mínimo		45
Equivalente de arena, %, mínimo		55
Azul de metileno, mg/g, máximo		12

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

Tabla 3.3.6 Requisitos del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta, granulometría discontinua, tipo SMA y tipo CASAA.

Fuente: N-CMT-4-04-17

Mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA

Son mezclas en caliente, uniformes, homogéneas elaboradas con agregados pétreos de granulometría discontinua con tamaño nominal entre 19.0 mm (3/4") y 9.5 mm (3/8") y cemento asfáltico. Su nombre, proviene de la abreviación en inglés Stone Matrix Asphalt.

Estas mezclas se pueden utilizar en capas de rodadura (Figura 3.3.3), mejorando las condiciones de circulación de los vehículos respecto a una carpeta asfáltica convencional, al tener una elevada macrotextrura se evita que el agua de lluvia forme una película continua sobre la superficie del pavimento y al igual que en las mezclas anteriores esto puede ser una gran ventaja ya que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal y aparte, reduce el ruido hacia el entorno por la fricción entre llantas y la superficie de rodadura.

También pueden ser utilizadas en capas inferiores en carreteras de alto tránsito debido a su aporte estructural. Son mezclas provenientes de tecnología alemana y proporcionan grandes ventajas y beneficios a los pavimentos, el único inconveniente es que por la alta cantidad de cemento asfáltico que requieren para su elaboración y las fibras que utilizan para evitar el escurrimiento son mezclas que resultan ser costosas y para poder aplicarlas se tiene que realizar la relación de costo beneficio.



Figura 3.3.3 Mezcla asfáltica tipo SMA puesta en un pavimento.

Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.

El material pétreo que se emplee en la elaboración de mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA, en caliente, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 3.3.7, en función de su tamaño nominal, así como los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 3.3.6.

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)		
		6,3 (¼)	9,5 (¾)	12,5 (½)
Abertura mm	Designación	Porcentaje que pasa (en masa)		
19	¾ in	—	—	100
12,5	½ in	—	100	90 - 100
9,5	¾ in	100	70 - 95	50 - 80
6,3	¼ in	56 - 86	43 - 68	29 - 50
4,75	Nº4	30 - 45	30 - 50	20 - 35
2	Nº10	19 - 26	19 - 29	15 - 23
0,85	Nº20	16 - 22	15 - 22	13 - 20
0,075	Nº200	9 - 12	8 - 12	8 - 11

Tabla 3.3.7 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA. Fuente: N-CMT-4-04-17

Mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo CASAA

Siguiendo la normativa N-CSV-CAR-3-02-015/10, las capas de rodadura con mezcla asfáltica en caliente de granulometría discontinua tipo CASAA (Figura 3.3.4), son aquellas que se constituyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrampamiento, cómoda y segura.

El nombre CASAA, proviene de la abreviación Capa Asfáltica Superficial Altamente Adherida. Proporciona alta fricción interna y resistente a deformaciones, que provee una

excelente macrotextura y capacidad drenante, para proporcionar una fricción adecuada y reducir el fenómeno de acuaplaneo; reduce el nivel del ruido y pulverización de agua durante la lluvia.



Figura 3.3.4 Colocación de mezcla tipo CASAA. Fuente: www.amaac.org.mx

El material pétreo que se emplee en la elaboración de mezclas asfálticas de granulometría, tipo CASAA, en caliente, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 3.3.8, en función de su tamaño nominal, así como los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 3.3.6.

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)		
		6,3 (¼)	9,5 (¾)	12,5 (½)
Abertura mm	Designación	Porcentaje que pasa (en masa)		
19	¾ in	—	—	100
12,5	½ in	—	100	85 - 100
9,5	¾ in	100	85 - 100	60 - 80
6,3	¼ in	64 - 73	51 - 62	41 - 54
4,75	Nº4	40 - 55	28 - 36	28 - 36
2	Nº10	20 - 30	19 - 30	19 - 30
0,85	Nº20	13 - 21	13 - 21	13 - 21
0,425	Nº40	9 - 16	9 - 16	9 - 16
0,25	Nº60	7 - 12	7 - 12	7 - 12
0,15	Nº100	6 - 10	6 - 10	6 - 10
0,075	Nº200	4 - 7	4 - 7	4 - 7

Tabla 3.3.8 Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo CASAA. Fuente: N-CMT-4-04-17

-Mezclas asfálticas en frío

La mezcla asfáltica en frío es una mezcla del agregado con asfalto emulsionado o rebajado, son elaboradas en una planta mezclador móvil o en el sitio, con este proceso nos referimos cuando la preparación de la mezcla será sobre la misma superficie donde va a ser aplicada, para la cual se utiliza maquinaria y equipos más simples.

El asfalto es menos viscoso en este estado de emulsión y esto hace que la mezcla sea más fácil de trabajar y compactar. El aglutinante puede ser precalentado hasta no más de 60°C, el resto de las operaciones en el procedimiento se llevan a cabo a temperatura ambiente.

Por sus características, este tipo de mezclas pueden ser utilizadas generalmente como capas de rodamiento, material para bacheo en pavimentos flexibles, capa de base o sub-base, siendo todas estas empleadas en tramos de bajo tránsito.

Las mezclas asfálticas en frío se pueden clasificar en:

Mezclas asfálticas de granulometría densa

Son mezclas realizadas en frío, uniformes, homogéneas, elaboradas con emulsión asfáltica y materiales pétreos bien graduados. Tiene un tamaño nominal entre 37.5 mm y 9.5 mm. Se utilizan en la construcción de carpetas asfálticas en pavimentos nuevos e los que la intensidad del tránsito es igual al millón de ejes equivalentes o menor.

Se recomiendan en pavimentos donde no se requiera una alta resistencia estructural, en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes y muy comúnmente para la reparación de baches.

El material pétreo que se utilice en la elaboración de mezclas asfálticas de granulometría densa en frío, al igual que en caliente según la normativa N-CMT-4-04/17 se tiene en las Tablas 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 y 3.3.4 de este capítulo.

Microaglomerados

Es una capa delgada de rodadura de mezcla en frío, con un diseño especializado, constituida por emulsión de rompimiento controlado normalmente con polímero, agregado fino triturado de granulometría densa, filler mineral y agua, para proporcionar una superficie de rodamiento cómoda y segura al usuario del camino.

Una de las ventajas que ofrecen es una apariencia uniforme y textura suave (Figura 3.3.5), la colocación es más silenciosa que un riego de sello, impermeabiliza la superficie (sellando y reduciendo la oxidación), restaura la superficie y la resistencia al acuplaneo, ofrecen una mayor resistencia al esfuerzo de viraje (torque) de los vehículos y construcción de pronta apertura al tránsito.



Figura 3.3.5 Colocación de una capa con microaglomerado. Fuente: www.amaac.org.mx

El material pétreo que se utilice en la elaboración de microaglomerados cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 3.3.9 y con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 3.3.10.

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	Tipo A ^[1]	Tipo B ^[2]
9,5	¾ in	100	100
4,75	Nº4	90 - 100	70 - 90
2	Nº10	65 - 90	45 - 70
0,85	Nº20	39 - 64	23 - 44
0,425	Nº40	26 - 44	16 - 29
0,25	Nº60	15 - 27	10 - 23
0,15	Nº100	10 - 21	7 - 18
0,075	Nº200	5 - 15	5 - 15

[1] Para obras de menos de un millón de ejes equivalentes y para aeropuertos.

[2] Para obras de más de un millón de ejes equivalentes.

Tabla 3.3.9 Requisitos de granulometría del material pétreo para microaglomerados.

Fuente: N-CMT-4-04-17

Característica ^[1]		Valor
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		30
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	25
Equivalente de arena, %, mínimo		65
Angularidad de la arena		45

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

Tabla 3.3.10 Requisitos de calidad del material pétreo para microaglomerados.

Fuente: N-CMT-4-04-17

-Mezclas asfálticas por el sistema de riegos

Estas mezclas se componen mediante la aplicación de uno o dos riegos de un material asfáltico, intercalados con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado de tamaños decrecientes que, según su denominación, satisfagan los requisitos de calidad. Cuando se utiliza el sistema de riegos, las carpetas se pueden clasificar de uno, dos o tres riegos. Las de un riego o la última capa de las carpetas de dos o tres riegos, pueden ser o no permeables, es habitual que se coloquen sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica y sea nueva o existente, como capa de rodadura para proporcionar resistencia al derrampamiento y al pulimiento (Figura 3.3.6).



Figura 3.3.6 Colocación de carpeta. Fuente: www.aguayo.com.do

El material pétreo que se utilice en la elaboración de capas de rodadura construidas por el sistema de riegos, según su denominación, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 3.3.11, así como los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 3.3.12.

Malla		Denominación del material pétreo				
Abertura mm	Designación	1	2	3-A	3-B	3-E
Porcentaje que pasa						
31,5	1½ in	100	—	—	—	—
25	1 in	95 mín	—	—	—	—
19	¾ in	—	100	—	—	—
12,5	½ in	5 máx	95 mín	100	—	100
9,5	¾ in	—	—	95 mín	100	95 mín
6,3	¼ in	0	5 máx	—	95 mín	—
4,75	Nº4	—	—	—	—	5 máx
2	Nº10	—	0	5 máx	5 máx	0
0,425	Nº40	—	—	0	0	—

Tabla 3.3.11 Requisitos de granulometría del material pétreo para capas de rodadura por el sistema de riegos.
Fuente: N-CMT-4-04-17

Característica ^[1]	Valor	
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo	2,4	
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo	30	
Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo	35	
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	100
	Dos o más caras	90
Pulimento acelerado, %, mínimo	30	

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

Tabla 3.3.12 Requisitos de calidad del material pétreo para capas de rodadura por el sistema de riegos. Fuente: N-CMT-4-04-17

3.3.1 BENEFICIOS DE LAS MEZCLAS EN CALIENTE EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Al utilizar las mezclas asfálticas en caliente podemos encontrar grandes beneficios en la infraestructura, Tinoco menciona algunos de los que se muestran a continuación:

- Durabilidad.

Las mezclas asfálticas en caliente pueden diseñarse y construirse para proveer pavimentos con una expectativa mínima de vida útil de 40 años y esto es importante ya que la construcción de una infraestructura que dure mucho tiempo y que requiera mantenimiento mínimo tiene gran impacto en los costos del proyecto principalmente.

- Reciclaje.

Durante las últimas décadas, principalmente a partir de la crisis del petróleo de 1973, se han llevado a cabo grandes esfuerzos para desarrollar técnicas de reutilización, dado que el asfalto moderno es 100% reciclable se puede aprovechar de esto, esta acción es muy conocida y está bien establecida.

Anteriormente estos materiales reciclados solo se usaban en capas inferiores o en niveles de rendimiento bajos, sin embargo con el paso del tiempo y avance de la tecnología se ha facilitado el rehúso de materiales de superficie de primera calidad en asfalto reciclado en caliente para capas de superficie.

En México ya se ha utilizado el uso de reciclados, conocidos comúnmente como RAP (Reclaimed Asphalt Planings) de materiales procedentes del fresado de capas de firmes envejecidos donde cada vez se convierte en una práctica más común, además de que representa grandes ventajas ecológicas y económicas.

- Contribución estructural.

Con los progresos tecnológicos se ha obtenido que con la gama de mezclas asfálticas en caliente se puede ofrecer un rendimiento mayor, esto es porque con este tipo de mezclas se pueden diseñar pavimentos flexibles que sean más duraderos y que

cuenten con espesores de construcción reducidos que tengan una buena capacidad estructural, así como las de los pavimentos que tienen mayor espesor.

Ligantes más duros y una mejor flexibilidad son cosas que pueden aportar las mezclas en caliente y estos pueden dar como resultado materiales más rígidos.

- **Satisfacción de los usuarios.**

Los materiales porosos y de textura adecuada reducen la contaminación acústica y ofrecen superficies de circulación más lisas, disminuyendo la resistencia a la rodadura, el uso del combustible y las emisiones de gases de escape.

Los asfaltos para mezcla en caliente de primera calidad permiten usar capas superficiales más finas, reduciendo el uso de materiales, tiempo de construcción y demoras para los usuarios.

- **Aportaciones.**

El uso del asfalto en caliente en la ingeniería vial está bien establecido, el desarrollo de mezclas templadas (WMA, Warm Mix Asphalt) consiste en una tecnología basada en los principios fundamentales del asfalto en caliente y permite un diseño de material, producción y construcción con el mismo equipo convencional de mezcla en caliente

3.3.2 CONSIDERACIONES PARA REALIZAR UNA MEZCLA ASFÁLTICA

De acuerdo con Cárdenas, algunas de las recomendaciones que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar y trabajar con mezclas asfálticas son las siguientes:

- 1) Realizar el análisis de las condiciones en las que va a trabajar la mezcla, tales como tráfico, tipo de infraestructura (carretera, vía urbana, aeropuerto, etc.), la capa de la que se trata y espesor, intensidad del tráfico pesado, clima, etc. Además, se tiene que distinguir si se trata de un firme nuevo o de una rehabilitación.
- 2) Determinar las propiedades fundamentales que se pretenden para la mezcla asfáltica, dadas las condiciones en las que ha de trabajar. Debe establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras.
- 3) Seleccionar según las distintas clasificaciones anteriores el tipo de mezcla que mejor se ajuste a los requerimientos que se pretenden, incorporando en este análisis las consideraciones económicas o de puesta en obra que haya que considerar.
- 4) Verificar los materiales disponibles, entre ellos los materiales pétreos, los cuales deben de cumplir con las especificaciones.

5) Elección del tipo de ligante, para seleccionar el tipo de asfalto se deben de considerar aspectos como el tipo de mezcla, la categoría del tráfico y el clima de la zona en que se pretenda construir el tramo o carretera.

Ya en el campo es necesario tomar en cuenta algunas recomendaciones también, para el control de calidad en campo de mezclas asfálticas, las cuales son:

- Controlar la trituración y verificar la calidad de los materiales pétreos y producto asfáltico.
- Calibrar la planta de mezcla en caliente para realizar el proporcionamiento de material pétreo y asfalto de acuerdo con el diseño aprobado.
- Verificar la calidad durante la producción, determinar por cada 800 toneladas (dependiendo la capacidad de la planta) de mezcla producida el contenido de asfalto, granulometría, humedad y propiedades volumétricas en campo.
- Realizar pruebas de desempeño en la mezcla tendida con sus propiedades volumétricas, al inicio del proyecto en un tramo de 100 metros, verificar granulometría y contenido de asfalto.
- Realizar pruebas de alerta y control en corazones de campo
- Verificar que se cumplan los criterios definidos en el diseño y si estos fallan, revisar el proceso para detectar el origen del problema y corregir.

4. PLANTAS ASFÁLTICAS

Una planta asfáltica es un conjunto de equipos mecánicos y electrónicos en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con asfalto para producir una mezcla asfáltica en caliente, que debe cumplir con las especificaciones requeridas, es decir, que contenga los sistemas que permitan calibrar la dosificación de agregados, cemento asfáltico y la temperatura necesaria para su mezclado.

Una planta asfáltica debe ser situada de manera que la entrega de materiales a la planta no se detenga por camiones que están llevando la mezcla terminada. A menudo se encuentran localizadas a un costado de la carretera o vía donde los agregados que lleguen requieran un mínimo manejo. El espacio donde se coloque la planta deberá estar limpio y plano, debe de contar con corrientes de agua, dirección principal del viento, tener proximidad con el sitio de trabajo, suelo sólido y firme, entre otras consideraciones.

4.1 FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA ASFÁLTICA

Para conocer sobre la operación y funcionamiento de una planta asfáltica en general, es necesario saber las funciones que tiene cada componente y parte que la conforman. Además de tener en cuenta las principales actividades que las plantas productoras de mezcla asfáltica deben llevar a cabo, las cuales son en el siguiente orden:

- 1) Predosificación de los agregados**
- 2) Secado y calentamiento de los agregados**
- 3) Eliminación y reincorporación del polvo**
- 4) Almacenamiento y dosificación del asfalto**
- 5) Mezcla agregado – asfalto**
- 6) Carga y transporte**

1) Predosificación de los agregados

Esta actividad se lleva a cabo con tolvas predosificadoras, como menciona G. Jeuffroy, son de diversos modelos, existen unas que son fijas y otras movibles, el número de compartimientos es variable y dependiendo las mezclas que se llevarán a cabo.

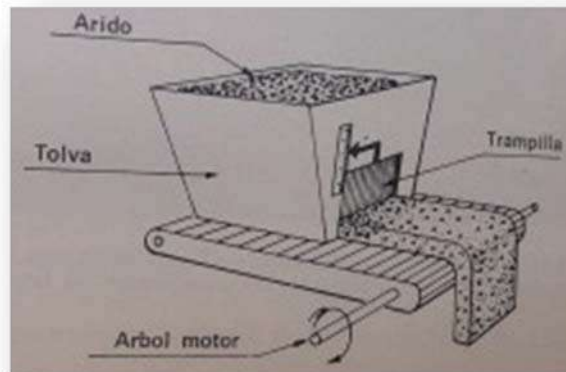
Las tolvas de materiales finos pueden equiparse de vibradores sobre sus paredes; vibradores cuya intensidad es regulable y que tiene una acción muy importante en el rendimiento, permaneciendo los otros parámetros de funcionamiento constantes. Los vibradores tienen como misión facilitar la evacuación de los agregados finos que tienen

tendencia, cuando están húmedos, a formar una bóveda en la tolva; pero actúan además dando a la arena una verdadera fluidez.

Las tolvas permiten una predosificación de tanto tipos de agregados como compartimientos haya. Vierten en paralelo o en serie, sobre una cinta que transporta el cordón de materiales, no mezclados, pero en la proporción conveniente. Debido a la gran variedad de máquinas que pueden haber, es por eso que existe un parámetro de reglaje (Figura 4.1.1).

Habiendo precedido al prerreglaje, en función del rendimiento que se haya fijado, se eligen 3 o 4 valores a priori, de parámetros de fin de reglaje π (amplitud de vibración de los vibradores, recorrido del cajón, velocidad de la cinta extractora de velocidad lenta, altura de trampillas, etc.)

Se hace marchar la instalación durante un tiempo t y se pesa la cantidad de materiales P_i que corresponden a este periodo (son indispensables ciertas precauciones para asegurarse de que el régimen es permanente y no cometer errores a causa de los materiales en circuito). Sobre un gráfico se lleva $Q_i = P_i/t_i$ en ordenadas y el parámetro π en abscisas, se llevan dos puntos Q_i y π y se traza la curva que los une. En general, basta un segmento de recta. Se interpola luego con el fin de determinar el valor de p que corresponde al rendimiento Q que se haya elegido.



*Figura 4.1.1 Principio de la dosificación volumétrica.
Fuente: Proyecto y construcción de carreteras, G. Jeuffroy*

Los aparatos de predosificación necesitan una atenta vigilancia porque pueden desreglarse, y no es fácil darse cuenta de ello. Las causas más frecuentes de los defectos de funcionamiento son:

- La humedad de las arenas
- Los materiales pasan a través de un orificio calibrado, determinado por una trampilla regulable, el detalle es que el reglaje depende de la sección del orificio y si esta varía por una u otra cosa, el rendimiento varía igual.
- La alimentación de los predosificadores se hace con pala cargadora o con bivalva. Si la anchura de la cuchara de la pala es excesiva o si las máquinas de

carga conducen mal, hay transferencias de material a un compartimento que no es el suyo.

Actualmente existen diversas maneras de controlar la apertura de estas tolvas, la más común es eléctricamente, sin embargo también se pueden controlar manualmente.

2) Secado y calentamiento de los agregados.

Para obtener una buena mezcla es indispensable que los agregados estén a temperatura suficiente para que el asfalto no se enfríe bruscamente a su contacto, sino que quede fluido y se reparta por toda su superficie.

Por otra parte, para evitar la formación de espuma y proyecciones, es necesario que los agregados estén deshidratados.

El calentamiento de los agregados tiene lugar en un tambor secador rotativo. Este aparato está constituido por un cilindro de chapa de acero, que está ligeramente inclinado y provisto en el extremo de un quemador de combustible. Los agregados introducidos por el otro extremo, procedentes del elevador en frío, atraviesan el tambor a contracorriente de los gases calientes.

El tambor gira alrededor de su eje, con el fin de permitir, a la vez, el avance de los materiales y la uniformidad de la temperatura. Unas chapas fijas en el interior del tambor elevan los agregados durante la rotación y, por medio de una juiciosa disposición, los hacen caer de nuevo en forma de cortina a través de los gases calientes. Hemos de resaltar que el calentamiento es debido a la radiación de la llama, mucho más que a la convección de los gases.

Las dimensiones de los secadores dependen de su capacidad. La rotación se asegura por medio de diferentes procedimientos (coronas, dentadas, neumáticos, etc.).

En ciertos secadores los quemadores se regulan automáticamente por medio del control de temperatura de los agregados. La temperatura a que deben salir los agregados dependerá de la temperatura del ligante y deberá mantenerse en un valor de 10°C a 15°C inferior a la del mismo. Por consiguiente, se tendrán que controlar las dos temperaturas.

El secado es una operación que tiene una influencia muy grande en el rendimiento de la planta y en los consumos del combustible. Los principales factores son:

- El contenido de agua de los agregados
- La granulometría de los materiales
- La temperatura requerida para la mezcla

Los parámetros sobre los que se puede actuar son:

- La duración de permanencia de los agregados en el secador, el consumo de aire y la regulación de los quemadores
- La temperatura del aire y de los agregados fríos

- La concepción del tambor secador

Sin entrar en el detalle de los casos posibles, para un secador bien regulado, con una temperatura del aire y de los agregados fríos de 15 °C y una temperatura de los agregados calientes de 150 °C se tiene lo siguiente:

- Una disminución de 15 °C en la temperatura de los agregados secos, aumenta el rendimiento del secador en 2% y disminuye otro tanto el consumo de combustible.
- Sí el rendimiento del secador es de 100 con agregados que tienen un 6% de humedad, cuando la humedad pasa al 12%, este rendimiento cae a 50 y alcanza 200 cuando la humedad baja al 2%

En el aspecto de los humos, se tiene como consecuencia el reglaje del quemador y la temperatura de los gases en la chimenea.

El tambor secador está provisto de ventiladores. Los gases calientes arrastran consigo una parte de los elementos finos de los agregados.

El quemador puede estar colocado al inicio o al final del tambor secador, y de esto depende el tipo de planta con la que se esté trabajando.

3) Eliminación y reincorporación del polvo.

Dentro del tambor secador se arrastran una parte de los elementos finos de los agregados, estos elementos finos son importantes para la calidad de las mezclas producidas y peligrosos cuando se les arroja a la atmosfera. Existen, por lo tanto, a la salida de los gases del secador un “colector de polvo” más o menos evolucionado según las circunstancias y principalmente según la molestia que puedan causar, a los que viven en los alrededores, los humos y polvos salidos de la planta.

Los gases calientes arrastran finos hasta un tamaño que puede alcanzar 0.5 mm y en una proporción que puede ser de hasta el 8% del peso de los agregados secos. La cantidad de gases evacuados a la atmosfera, que corresponden a la combustión de los quemadores del secador, pueden alcanzar 30 000 m³/h para una planta de 100 t/h, es decir, una planta de tipo medio.

Ahora bien, los finos o polvos son perjudiciales y además costosos, es por eso que deben de ser recuperados. Los procedimientos para esto son variados, se utilizan extractores o un sistema de extracción que depende del tipo de planta con que se esté trabajando.

Comúnmente existe el extractor de gases para la eliminación primaria de polvo, el procedimiento consiste en utilizar ciclones, depósitos metálicos troncocónicos en los que los gases entran tangencialmente al ciclón siguen una trayectoria helicoidal ascendente que proyecta el polvo contra las paredes debido a la fuerza centrífuga de este y se pegan a las paredes. Los finos caen en la base del ciclón desde donde se recogen de nuevo por medio de un transportador y regresan al horno (Figura 4.1.2).

Estos ciclones o recuperadores en seco, se colocan en forma de tubos de órgano a la salida del secador y su rendimiento varía según el fabricante, pero regularmente del 60% al 90%.

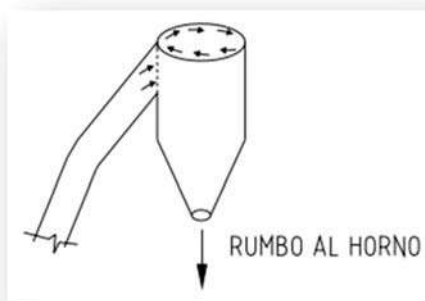


Figura 4.1.2 Esquema de un ciclón extractor de gases y polvo.
Fuente: www.biblioteca.udep.edu.pe

Existe también un lavador de finos, que es donde las partículas más finas (las cuales no han sido capturadas por el ciclón) son llevadas a través de una tubería hasta el lavador de finos (Figura 4.1.3), donde son rodeadas por una cortina de agua que cae sobre un sombrero chino, las cuales son expulsadas en forma de lodo (agua más partículas finas) hacia el pozo de sedimentación. Los gases que se escapan son tomados y conducidos nuevamente por la tubería para repetir el proceso de lavado.

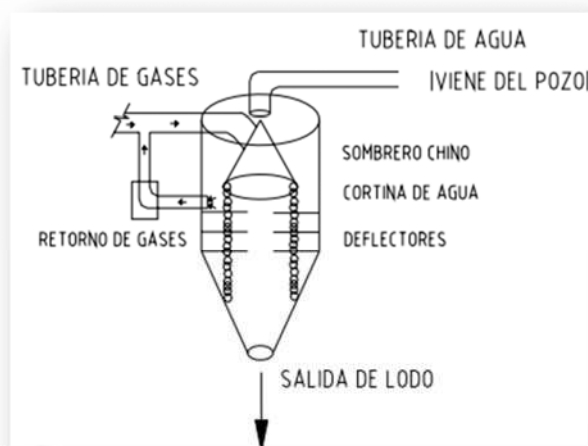


Figura 4.1.3 Esquema de un lavador de fino. Fuente: www.biblioteca.udep.edu.pe

Y por último se tiene un pozo o fosas de sedimentación (Figura 4.1.4), en esta parte viene el lodo del lavado y llena la fosa. Este lodo se decanta, el agua sube de nivel y pasa por la compuerta a la otra división hasta que la llena, una vez que se decanta este lodo se abre la compuerta de modo que pasa agua ya más limpia a la tercera división adonde será tomada por una tubería para ser reutilizada en el lavador de finos.

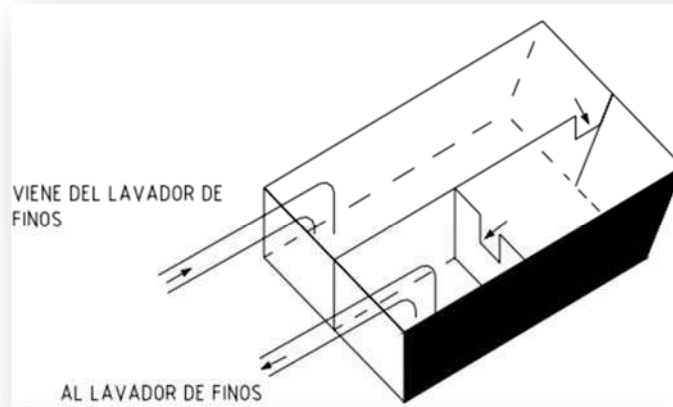


Figura 4.1.4 Esquema de un pozo de sedimentación. Fuente: www.biblioteca.udep.edu.pe

Una vez que la fosa se llena de lodo (Figura 4.1.5), un cargador frontal retira todo el lodo, limpiando la fosa, la forma inclinada es para que la cuchara del cargador entre con más facilidad en la fosa.

Los agregados entran en la misma extremidad en que se encuentra el quemador. De esta forma, los gases de escape del quemador que fluyen en el mismo sentido secan y calientan los agregados.



Figura 4.1.5 Fosa de lodos, vista delantera. Fuente: Elaboración propia.

El problema de la eliminación de polvo tiene actualmente gran importancia dentro de las campañas emprendidas para luchar contra la contaminación atmosférica.

Tratar con los gases también es importante ya que los contaminantes en estado gaseoso son muy peligrosos, ya que incluyen a los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles (COV).

El método más común de control de contaminantes gaseosos es la adición de dispositivos de control, agregado para destruir o recuperar un contaminante. La combustión es la rápida oxidación de una sustancia, producto de la combinación del oxígeno con un material combustible en presencia de calor. Cuando se completa la combustión, el flujo gaseoso se convierte en dióxido de carbono y vapor de agua, la combustión incompleta libera algunos contaminantes a la atmósfera.

El humo es un indicador de combustión incompleta y por eso es importante contar con una casa de bolsas (filtro de mangas) o también conocido como “bag house”, que permite eliminar los contaminantes generados por una combustión incompleta.

Al utilizar un sistema de bag house o casa de bolsas se puede eliminar el 99% de los polvos excedentes (contaminantes) en los gases de escape y el proceso en una planta asfáltica es el siguiente:

- El flujo de gases de escape se origina en la combustión, pasa por el sistema de purificación, desde la caja de golpeo, ducto de escape, ciclón, casa de bolsas y el ducto de extracción hasta la chimenea (líneas color azul Figura 4.1.6).

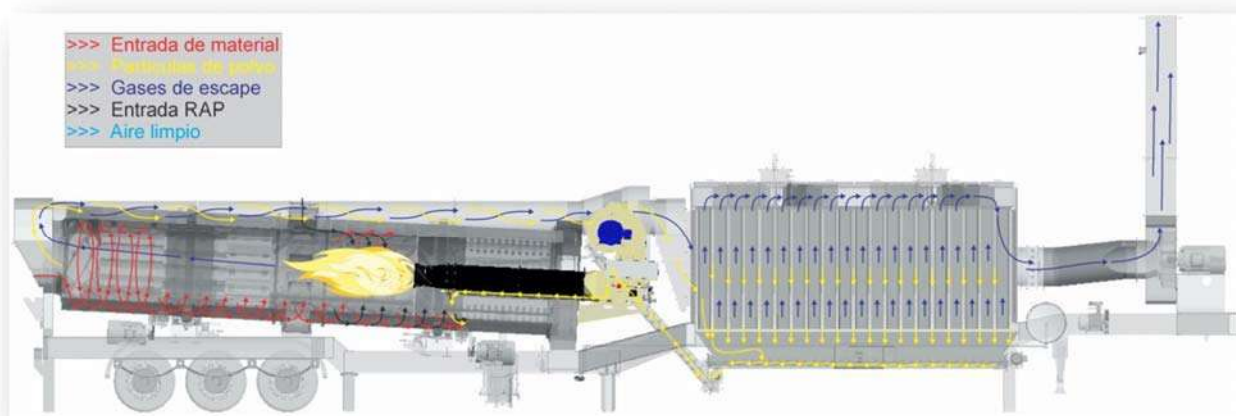


Figura 4.1.6 Trayectoria de los gases de escape y polvos en una planta.

Fuente: www.triaso.com.mx

- El material entra al tambor (líneas color rojo Figura 4.1.6) iniciado así el proceso de secado. Las micro partículas (polvo) son captadas por la caja de golpeo (líneas color amarillo Figura 4.1.6).
- Las partículas de polvo que no fueron atrapadas en la caja de golpeo llegan hasta el ciclón de mediana eficiencia, que con ayuda de la fuerza centrífuga que genera este mecanismo, son depositados en un cono de retención, que finalmente los hace caer a un transportador helicoidal de elevación, para posteriormente reincorporar los finos al tambor mezclador.
- El ciclón, como ya se mencionó anteriormente (Figura 4.1.7) es de mediana eficiencia, tiene la tarea de captar todas las partículas mayores a la malla 200, al remover éstas partículas se aumenta la vida de la bolsa y de todos los componentes, ya que son muy abrasivas.

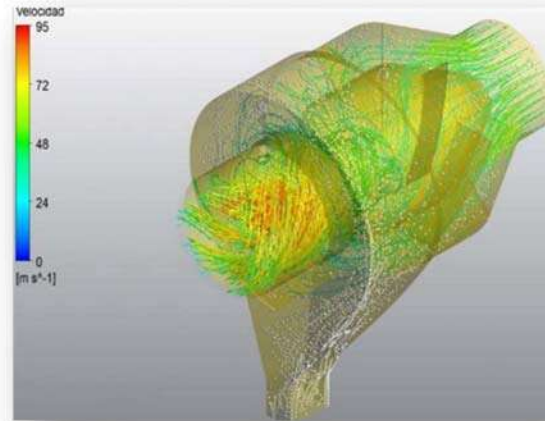


Figura 4.1.7 Ciclón de mediana eficiencia. Fuente: www.triaso.com.mx

Después del ciclón los gases entran a la casa de bolsas [Figura 4.1.8 (a)], en donde las partículas pasan por la placa perforada, las partículas de mayor tamaño caen por gravedad a los transportadores helicoidales y las de menor tamaño por la acción del extractor se adhieren a los filtros de manga. El material del filtro, es eficiente para retener partículas finas y puede sobrepasar 99% de remoción, en la mayoría de las aplicaciones. Para el cuidado de la tela de las bolsas tenemos una temperatura de gases no mayor a 200°C . Después de la acción del elemento filtrante los gases son expulsados de la casa de bolsas a través del ducto de salida [Figura 4.1.8 (b)] con ayuda del extractor.

Para aprovechar las partículas adheridas a los filtros y a su vez limpiar este tipo de filtro, se agrega aire limpio con las compuertas instaladas en la parte superior de la casa de bolsas [Figura 4.1.8 (c)], dicha compuerta permanece abierta solo en operación.

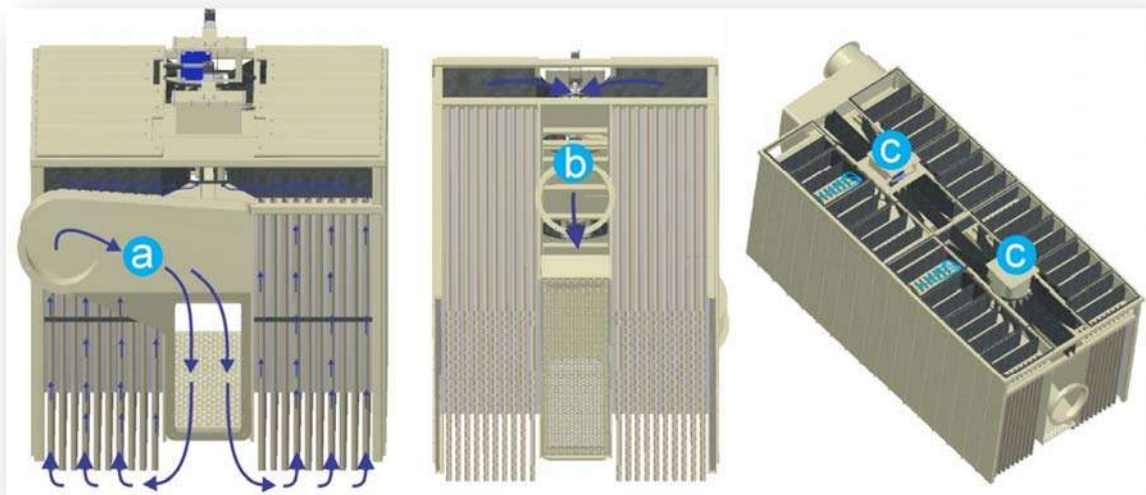


Figura 4.1.8 Trayectoria de los gases de escape. Fuente: www.triaso.com.mx

La casa de bolsas tiene la capacidad de captar todas las partículas de malla 200 y más pequeñas, todas estas partículas son atrapadas en la superficie del filtro ó bolsa, después, el extractor también contribuye para tomar aire limpio de la atmósfera y un motor paso a paso dirige este aire a través de la boquilla de limpiado, para desprender las partículas, hasta que caen a la parte inferior de la casa de bolsas (Figura 4.1.9).

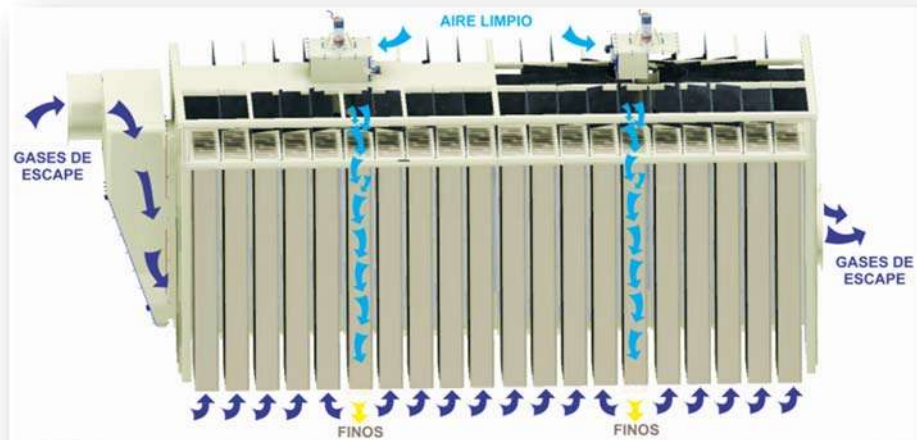


Figura 4.1.9 Circulación del aire limpio. Fuente: www.triaso.com.mx

El material cae al transportador helicoidal de la casa de bolsas, este transportador depositará los finos sobre el transportador helicoidal colector, el cual deposita las partículas sobre el transportador de elevación, para posteriormente depositarlos sobre el transportador helicoidal de retorno de finos, el cual capta los finos del ciclón y los de la casa de bolsas para posteriormente incorporarlos a la mezcla (Figura 4.1.10).

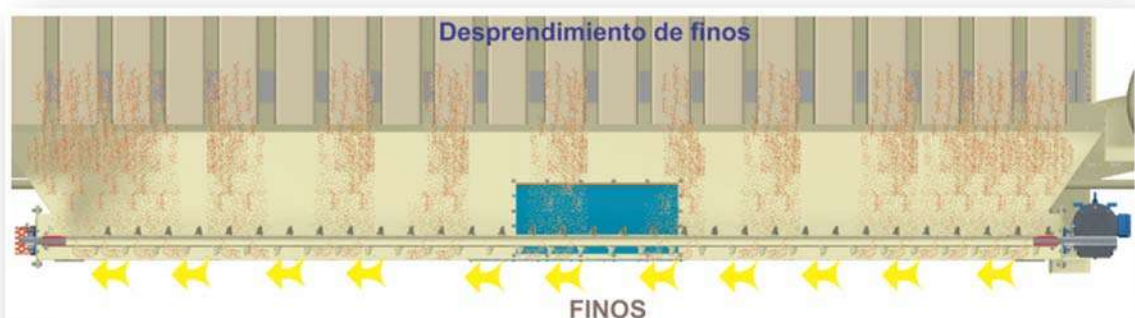


Figura 4.1.10 Circulación del material. Fuente: www.triaso.com.mx

Es muy importante retornar los finos de un tamaño menor a 15 micrones a la mezcla, ya que el tamaño de estas partículas es menor a la película de asfalto y puede sustituir al asfalto, se recomienda agregar una proporción de 1.2 partes de partículas de 15 micrones, por 1 parte de asfalto (en peso), lo que significa un ahorro de hasta la mitad del asfalto y materiales excesivos, desafortunadamente en una planta de flujo paralelo (con sistema de ciclón de agua o lavadora), al menos el 60% de los finos menores a malla 200 se dirige a la fosa de lodos, de no contar con un ciclón o lavadora las

partículas se emiten al medio ambiente, lo cual es un problema muy grave para el medio ambiente, que hoy en día sufre cambios drásticos debido a la contaminación.

Otro de los elementos esenciales que actúa en el proceso de mezclado, es el dámara (Figura 4.1.11), este mecanismo regula el flujo de aire que sale de la planta, el control de este aire permite optimizar la combustión, a través de los siguientes elementos:

- Cuerpo principal del dámara.
- Actuador Duff Norton: El cual se acciona desde la consola de control ya sea con control manual o digital.
- Compuerta dámara: Acomodo de placas tipo persiana que permite la entrada de aire, así como también restringe el exceso de aire.
- Brazo móvil: Pieza metálica desplazada por el actuador.

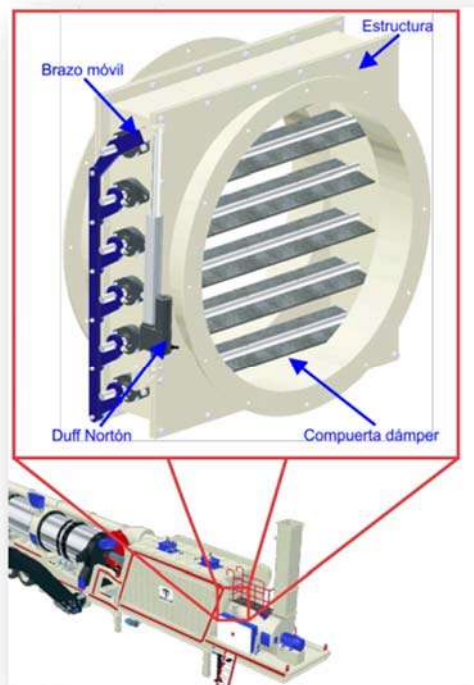


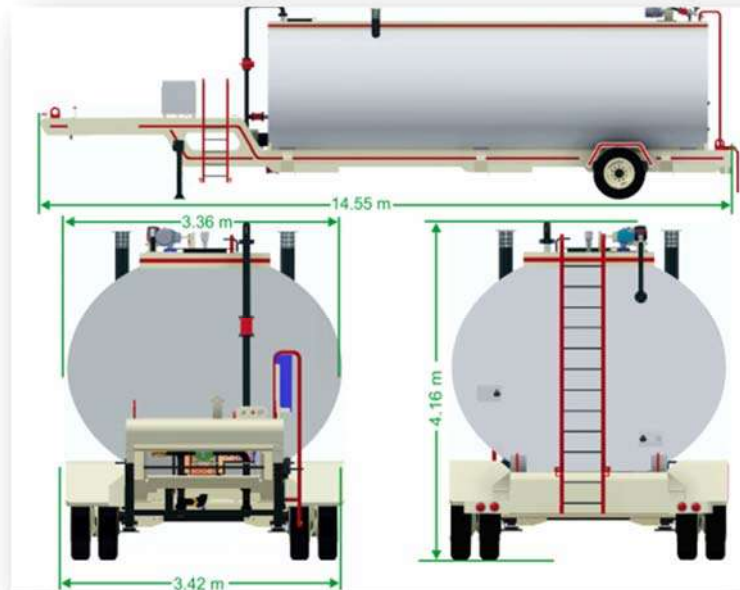
Figura 4.1.11 Dámara. Fuente: www.triaso.com.mx

4) Almacenamiento y dosificación del asfalto

El ligante se almacena en tanques de almacenamiento fijos o móviles, según el tipo de planta. Las cisternas o tanques móviles alcanzan capacidades de 80,000 litros. El ligante se suministra en caliente por medio de camiones procedentes de las refinerías.

Las cisternas o tanques de almacenaje de la planta tienen un sistema de calorificación para poner el ligante a la temperatura de mezclado. Hay que hacer notar que lo que importa, sobre todo, es la viscosidad del asfalto en el momento de su empleo. El calentamiento se realiza por contacto directo con la llama de un quemador

Un tanque promedio puede tener las siguientes dimensiones (Figura 4.1.12):



*Figura 4.1.12 Dimensiones generales de un tanque de almacenamiento de Asfalto.
Fuente: www.triaso.com.mx*

5) Mezcla agregado – asfalto

Uno de los fines principales de la planta es realizar una dosificación fija del ligante, que es el asfalto, y mantener esta dosificación constante, para ello se utilizan dos métodos:

El primer método consiste en no interrumpir el flujo de los agregados, cuyo caudal volumétrico y, por consiguiente, ponderal, se supone constante y en mezclarlo con una corriente igualmente continua que el ligante.

El segundo método consiste en trabajar por amasadas, es decir, en tomar del flujo continuo de agregados, suministrado por el pre dosificador, fracciones que se pesan separadamente y en mezclarlas con cantidades de ligante igualmente pesadas o simplemente medidas volumétricamente.

Estos dos métodos, base esencial de las plantas, tienen variantes. Existen plantas de funcionamiento volumétrico discontinuo y plantas de funcionamiento continuo que se verán más a detalle en los siguientes capítulos donde se hable de los tipos de plantas.

Cuando se utiliza el primer método y la mezcla se lleva a cabo dentro del mismo tambor, en la sección de mezclado se intenta aislar totalmente la flama, para evitar algún tipo de contacto directo con el material y a su vez la radiación que esta genera, evitando así la oxidación del asfalto.

La inyección de asfalto es la acción de agregar el aglutinante o ligante (asfalto) al material virgen, en ocasiones mezclado con RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) si es

que se está utilizando material reciclado y se realiza exactamente después de que el material ha pasado los álabes de radiación, inmediatamente después se agregan los finos a través del transportador helicoidal de descarga, el cual arrastra los finos atrapados por el ciclón y la casa de bolsas, así al momento que los finos se agregan a la mezcla, ya se tiene material cubierto de asfalto, el cual atrapa los finos, evitando así que los mismos (finos) vuelvan a ser arrastrados por el aire de succión del sistema.

6) Carga y transporte

Al tener la mezcla lista se pasa a un elevador, pasa hacia una bacha o salida (dependiendo del tipo de planta) para posteriormente descargarlo en un banco de almacenamiento o directamente en un camión de carga. El elevador donde la mezcla es transportada generalmente funciona con una cadena de arrastre (Figura 4.1.13) la cual se conforma de diferentes elementos.

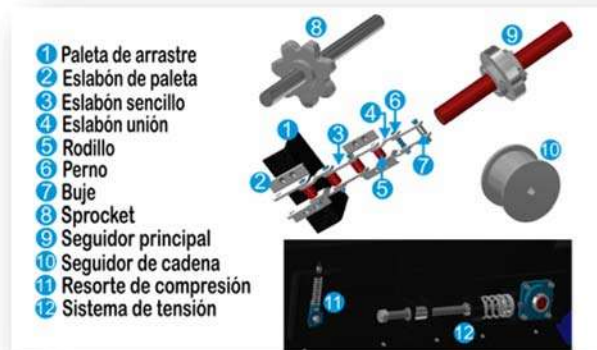


Figura 4.1.13 Partes principales de la cadena de arrastre. Fuente: www.triaso.com.mx

La descarga de la mezcla asfáltica resultante puede variar dependiendo los diferentes fabricantes, pero se debe de tomar en cuenta un punto elevado a una cierta altura en el elevador y considerar que esta sea adecuada para que un camión pueda recibir la mezcla asfáltica sin problemas (Figura 4.1.14).



Figura 4.1.14 Dimensiones generales de un elevador de descarga. Fuente: www.triaso.com.mx

4.2 HISTORIA DE LAS PLANTAS ASFÁLTICAS EN MÉXICO

A principios del siglo XX se aplicó por primera vez mezcla asfáltica en el zócalo de la ciudad de México y algunas calles del centro que fueron pavimentadas con bloques comprimidos de asfalto importados de Europa, al ser importado y aplicarlo bajo especificaciones estrictas de los fabricantes, se elevaban considerablemente los costos y producirlo en México implicaba el pago de patente, adquisición de tecnología y capacitación de ingenieros y técnicos tanto en la elaboración como en el tendido. Esos bloques no eran del tipo de mezcla asfáltica que conocemos en la actualidad, sin embargo fueron la primera aplicación de productos asfálticos en pavimentos que se tiene registro alguno (Zamudio, 2011).

Con el paso del tiempo el estudio de los pavimentos en México comienza de 1920 en adelante y más detalladamente en 1934 cuando fue fundado el primer laboratorio (Figura 4.2.1), cuya finalidad era estudiar y controlar los materiales que se utilizaban en esa época, en especial los materiales asfálticos ante el auge de estos como capa estructural y superficie de rodamiento. Sin embargo, no existía en México normativa alguna que indicara el procedimiento correcto para elaborar las mezclas asfálticas por lo que fue necesario recurrir a la literatura extranjera, principalmente la americana, creada por fabricantes de asfalto que contaban con la experiencia sobre el tema. Los avances en la tecnología para la aplicación de estos pavimentos conducen a la creación de pequeñas plantas de mezcla asfáltica, tanto en caliente como en frío. Las primeras aportaciones en esta materia las realizó el Departamento Central del Distrito Federal, al instalar dos plantas de mezcla asfáltica en caliente en 1936 (Figura 4.4.2). Le siguió otra planta en la ciudad de Chihuahua, que se instaló en 1938, principalmente para el mejoramiento de las superficies de rodamiento en calles y calzadas dentro de la ciudad.

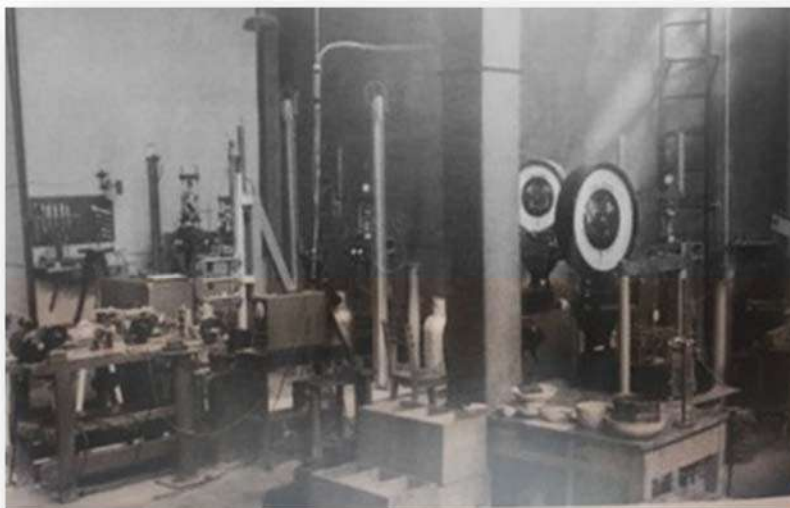


Figura 4.2.1 Primer laboratorio instalado en la ciudad de México.

Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.



Figura 4.2.2 Primeras plantas asfálticas en México.

Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.

La mayoría de los materiales pétreos empleados para elaborar mezclas asfálticas venían de los ríos a los cuales, por su variada granulometría, solamente se aplicaba el proceso de cribado y, de esta manera obtener la granulometría deseada.

Alrededor del 80% del material de éste presenta una mala adherencia con el asfalto, así se identificó este problema en las mezclas entre los años de 1945 a 1946 y se volvió necesaria la aplicación de aditivos promotores de adherencia. Al introducir el sistema de mezcla en caliente se presentaron aún más los problemas de adherencia entre los materiales, esta característica se revisaba al momento de mezclar los materiales y se realizaba de manera cualitativa con base en la experiencia del personal encargado del mezclado.

Con las plantas de mezclado en caliente y su proceso, fue un poco más complicado observar esta característica, además, el calor favorecía que el asfalto aparentara un cubrimiento uniforme con el agregado, apareciendo los problemas de desprendimiento en los tramos en donde se tendía esta mezcla.

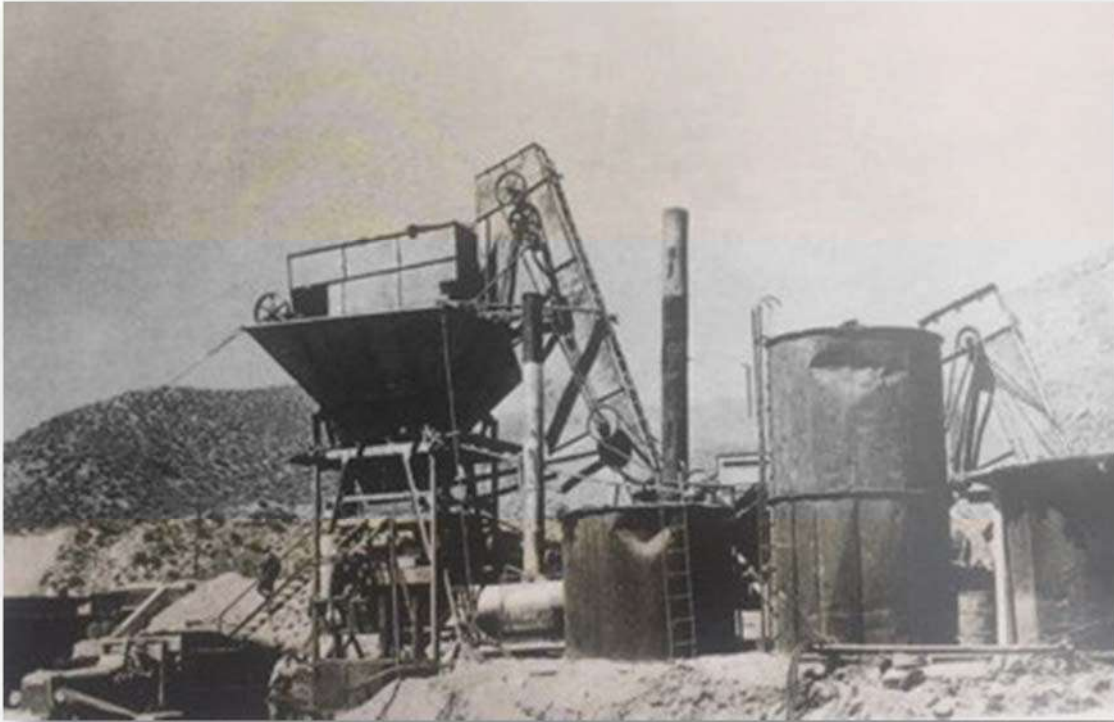


Figura 4.2.3 Planta de asfalto de producción discontinua con capacidad de 200 toneladas por día, fue instalada en el Arrollo del Encanto, Baja California en 1933.

Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.

Ante el crecimiento del uso de las mezclas asfálticas en caliente, para 1950 ya había alrededor de 12 o 14 plantas y para el año 1960 ya existían en México 40 plantas de producción discontinua o también llamadas *bachas*, por su nombre en inglés “*BatchPlant*”, estas plantas tienen un control de dosificación por masa, además, el tambor secador de agregado pétreo que las compone es independiente del área de mezclado asfalto-pétreo (Figura 4.2.3). Como ventaja de este tipo de plantas es que estas características hacen que la mezcla asfáltica cumpla con los requisitos de diseño (Borla, 2008).

Conforme fue avanzando el tiempo, se tuvo la necesidad de tener plantas de mezclado que hasta cierto punto fueran portátiles, así, se podrían llevar a los tramos de construcción y disminuir considerablemente los costos y tiempos de acarreo.

Surgieron entonces las plantas de producción continua de contraflujo y flujo paralelo. Se dice en palabras del ingeniero Gabriel Gutiérrez Rocha, que estas últimas generan una mezcla con calidad tres veces inferior que la planta de *bachas*, siendo las plantas de producción continua de contraflujo una buena opción para no tener esa pérdida tan grande de calidad (S.N.C., 1994).

4.3 TIPOS DE PLANTAS ASFÁLTICAS

Por la facilidad para transportarse e instalarse una planta puede estar fija y estacionaria o puede ser móvil y portátil, además de que puede ser pequeña o grande, por la diversidad de las capacidades de producción pueden ser chicas, 45 toneladas por hora (TPH) o hasta de 500 toneladas por hora (TPH). Sin embargo, la variante más importante para su clasificación es el sistema de producción, y se definen como plantas de producción continua y planta de producción discontinua.

El propósito principal de los distintos tipos de plantas es el mismo, producir una mezcla en caliente que posea las propiedades de asfalto y agregados que cumplan con el proyecto y las especificaciones. Cualquiera de los dos tipos de planta, ya sea dosificadora o de tambor puede ser estacionaria o portátil, la diferencia entre estos dos tipos es que en la planta de dosificación se secan y calientan los agregados y después, en un mezclador separado, lo combinan con el asfalto en dosis individuales; mientras que en la planta mezcladora de tambor continua se secan los agregados y lo combinan con el asfalto en un proceso continuo y en la misma sección del equipo, que es en el tambor (Institute, 1993).

Más adelante se muestra un diagrama con la clasificación de las plantas asfálticas y se explica detalladamente las características de cada tipo (Figura 4.3.1).

Clasificación de Plantas Asfálticas

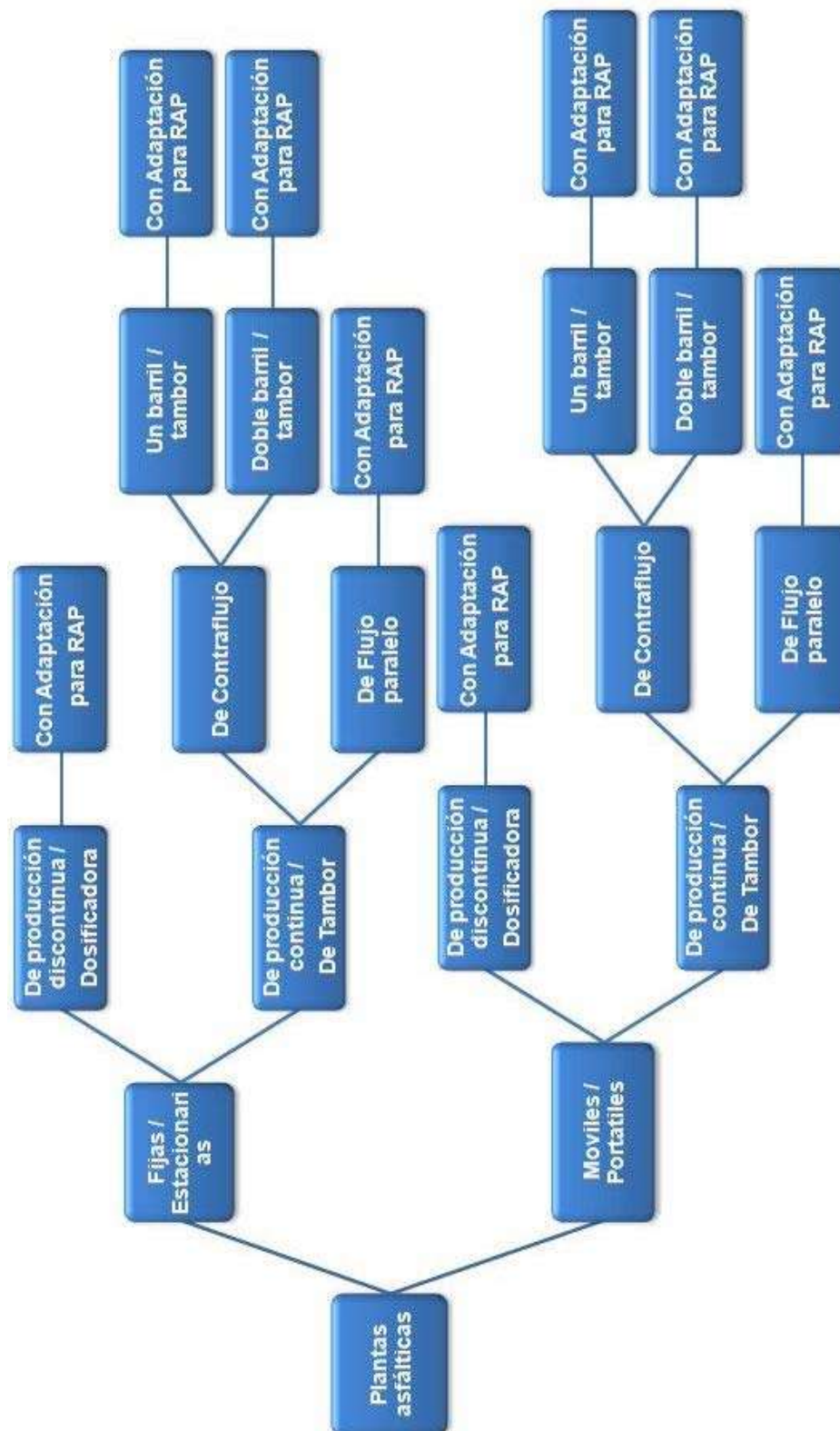


Figura 4.3.1 Clasificación de plantas asfálticas. Fuente: Elaboración propia.

- **Planta fija o estacionaria**

La característica de esta planta es que se encuentra instalada o situada en un solo lugar permanentemente, por su producción puede ser continua o discontinua.

- **Planta móvil o portátil**

Esta planta puede ser fácilmente desmantelada y movida por ferrocarril o carretera para posteriormente volverla a instalar con un mínimo de tiempo y energía, es decir que puede ser transportada de una obra a otra, por su producción puede ser continua o discontinua.

- **Planta de producción discontinua**

Este tipo de planta también es conocido como dosificadora o “tipo bachadas”, por su nombre en inglés “BatchPlant”, en estas los depósitos de almacenaje se retiran cantidades deseadas de agregado caliente de diferentes medidas, para producir una sola “bachada” o cantidad de mezcla (Figura 4.2.2). La combinación total de agregados, es vaciada dentro de una cámara mezcladora y el asfalto, que también es pesado, es totalmente mezclado con el agregado, después de esto el material es vertido por la amasadora (Plata, 2019).

En este proceso los agregados son combinados, calentados, secados, proporcionados, y mezclados con el cemento asfáltico para producir una mezcla asfáltica en caliente. Una planta puede ser pequeña o grande, dependiendo de la cantidad de mezcla asfáltica que esté produciendo. También puede ser estacionaria o portátil.

Ciertas operaciones básicas son comunes en las plantas de dosificación (Figura 4.3.2):

- Almacenamiento y alimentación en frío del agregado
- Secado y calentamiento del agregado
- Cribado y almacenamiento del agregado caliente
- Almacenamiento y calentamiento de asfalto
- Medición y mezclado de asfalto y agregado
- Carga de la mezcla final caliente

Los principales componentes de este tipo de planta son los siguientes:

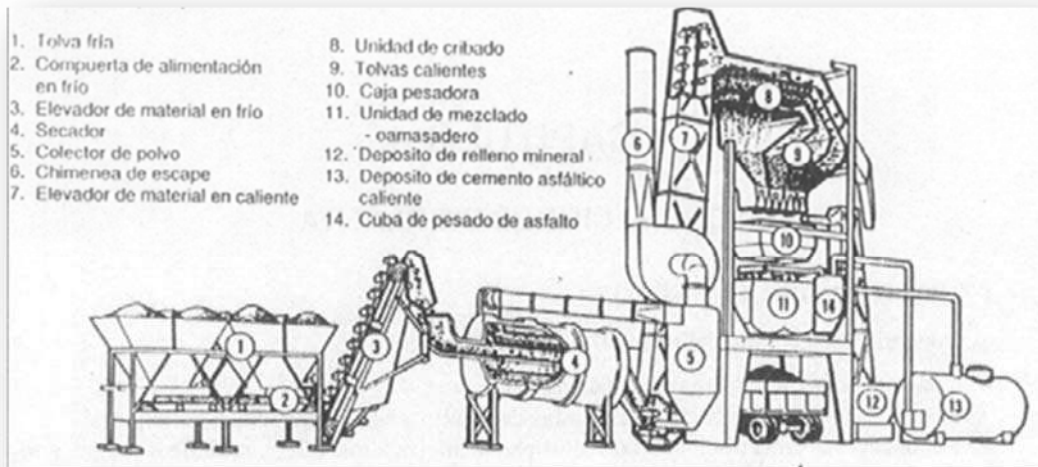


Figura 4.3.2 Planta de producción discontinua.

Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.

El material se alimenta a la planta, por medio de tractor cargador, o bandas transportadoras, depositándose en las tolvas para materiales fríos. Estas tolvas están equipadas con compuertas ajustables para regular la caída del material al alimentador de fríos para que caiga al depósito con una primera graduación granulométrica. De este depósito es llevado hasta la tolva de entrada al secador. Al entrar al secador el polvo puede ser reincorporado, en caso necesario, en el recipiente, en donde se une al material que sale del secador. De ahí es llevado a las cribas vibratorias, para ser separados por tamaños, depositándose en las tolvas de material caliente.

Por las compuertas de estas tolvas se extrae de cada una la cantidad en peso que fijan las granulometrías del proyecto. Se bombea el cemento asfáltico, pasan al mezclador, en donde se homogeniza la mezcla y se descarga en los camiones y se transporta al lugar de pavimentación (Figura 4.3.3).

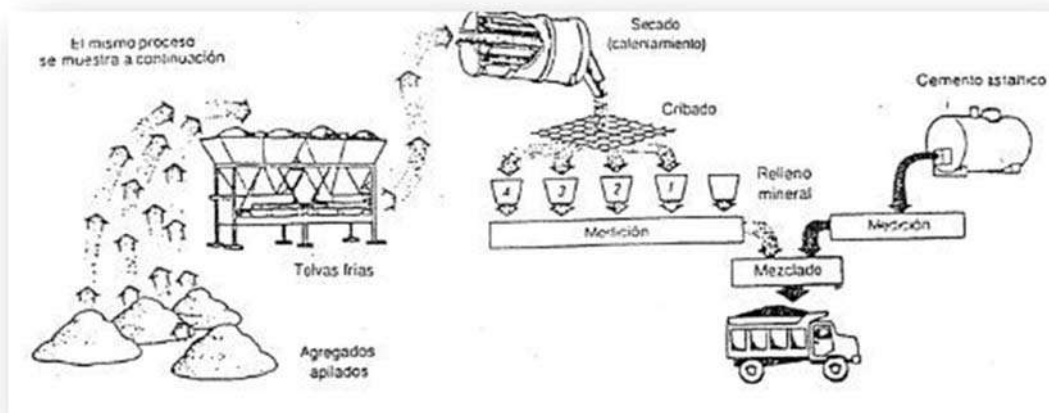


Figura 4.3.3 Operaciones básicas de una planta dosificadora en presentación esquemática.

Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.

Un ejemplo actualmente de este tipo de planta se encuentra a orillas de Tarímbaro, Michoacán. Es una planta dosificadora y además móvil o portátil, pertenece a Pavimentos Asfálticos Tres Marías S. A. de C.V. y es proveniente de una empresa americana (Figura 4.3.4). A pesar del tiempo que tiene de fabricación, actualmente se conserva muy eficiente; esto debido a la gran variedad de cambios y modificaciones que ha tenido a lo largo del tiempo, lo cual hace que sea una gran particularidad de esta planta. Además del buen mantenimiento y operación que se tiene diariamente.



*Figura 4.3.4 Planta asfáltica estacionaria dosificadora.
Fuente: Pavimentos Asfálticos Tres Marías S.A. de C.V.*

La planta se modificó para ser móvil, se separaron las distintas partes que la conforman y se adaptaron con chasis para su fácil transporte (Figura 4.3.5).

La planta asfáltica dosificadora principalmente se conforma por una tolva grande para los agregados pétreos (Figura 4.3.6), la cual se encuentra sub dividida con placas metálicas en 4 partes para dosificar los diferentes materiales. (Figura 4.3.7



*Figura 4.3.5 Colocación de la planta dosificadora.
Fuente: Pavimentos Asfálticos Tres Marías S.A de C.V.*



Figura 4.3.6 Tolva de almacenamiento de agregados pétreos. Fuente: Elaboración propia



Figura 4.3.7 Tolva sub dividida. Fuente: Elaboración propia

En este proceso de dosificación los agregados son combinados, calentados, secados, proporcionados, y mezclados con el cemento asfáltico en la unidad de mezclado para producir una mezcla asfáltica en caliente y depositarla en los camiones (Figura 4.3.8).



Figura 4.3.8 Unidad de mezclado o amasadora. Fuente: Elaboración propia

- **Plantas de producción continua**

Son de características más simples, adecuadas especialmente para concretos asfálticos a los que no se les exija especificaciones de gran rigidez.

Este tipo de planta también es conocido como plantas mezcladoras de tambor, en estas, el proceso de elaboración consiste en los siguientes pasos:

Dosificación de agregados, homogeneización, secado, calentado de manera interrumpida, inyección y combinación del asfalto.

Estos últimos procedimientos son realizados dentro de un tambor, donde existe una clasificación, ya sea si es de flujo paralelo o de contraflujo, después del mezclado sigue cargar la mezcla a un camión y transportarlo.

De flujo paralelo

En este tipo de plantas, en el tambor secador primeramente se secan los agregados y después se adiciona el asfalto caliente. El medidor de flujo de asfalto si es automático, así que se puede medir exactamente la cantidad de asfalto que entra la mezcla. Previamente, antes del mezclado, el asfalto es calentado a una temperatura de 150 °C en el calentador, el tiempo de mezclado es de 45 segundos a 1 minuto aproximadamente. Cuando se tiene la mezcla asfáltica se abren las compuertas del mezclador y esta cae al camión a una temperatura de 150 °C, quedando lista la mezcla para ser transportada a obra.

Paralelamente a la producción de la mezcla se debe de tener un proceso de extracción de gases, es necesario que los gases generados y el polvo en el horno rotativo se traten, este extractor o sistema de extracción depende del tipo de planta con que se esté trabajando.

Un ejemplo de este tipo de planta se encuentra en la ciudad de Morelia, cerca de la carretera Morelia-Guadalajara, en la salida a Quiroga fabricada por la empresa SiMMEX, la cual es una empresa mexicana fabricante de plantas asfálticas y demás maquinaria necesaria para la construcción, sus plantas han venido evolucionando desde los principios de fabricación hace 12 años aproximadamente lo que los ha hecho adquirir gran experiencia sobre el tema de las plantas asfálticas.

La planta asfáltica que se relata es propia de los dueños de SiMMEX, los cuales se hicieron cargo de su instalación y han llevado la operación de esta a través de los años. El proyecto de instalación se llevo hace más de 3 años con el propósito inicial de manejar una planta asfáltica eléctrica propia, conocer sus necesidades y procedimientos requeridos para así poder mejorar la fabricación de estas.

Desde que se comenzó a operar la planta, ha traído consigo grandes beneficios a la empresa, ya que según los registros de la empresa, semanalmente se mantienen operando, teniendo producciones para cumplir pedidos desde 60 a más de 100 toneladas. La mayoría de la producción de mezcla asfáltica elaborada en esta planta ha sido destinada a proyectos para particulares, sin embargo la producción también ha beneficiado la pavimentación de la ciudad de Morelia. También ha resultado como una buena inversión económicamente hablando ya que una planta asfáltica SiMMEX puede costar desde cuatro millones, siendo de las más económicas en el mercado y comparando con las ganancias que se pueden obtener con ella, resulta ser una buena opción tener y operar una planta asfáltica.

Como ya se mencionó, la planta es de producción continua o tambor (Figura 4.3.9) de flujo paralelo y cuenta con las siguientes características:

- Capacidad: Hasta 90-120 Ton/h.
- Pistas extendidas que aumentan el torque y durabilidad al cilindro secador



Figura 4.3.9 Tambor mezclador de planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia

- 3 Tolvas eléctricas con control manual o automático, con capacidades de 30 m³ y control de mezcla semiautomático operado desde el panel en la cabina de control con retroalimentación (Figura 4.3.10).
- Tanto las tolvas como el sistema de inyección de asfalto cuentan con variadores electrohidráulicos controlados



Figura 4.3.10 Tolvas de almacenamiento para materiales pétreos. Fuente: Elaboración propia

- Extractor de polvos (Figura 4.3.11), es un sistema de recuperación de productos de combustión y separador de partículas de gran volumen que permite una separación óptima de polvos, con diseño optimizado de conducción directa, todo montado sobre un cilindro de suficiente volumen para evitar trayectos que reduzcan la fluidez de los productos de combustión. Cuenta con ventilador

extractor de gran capacidad y baja velocidad que evita el desgaste por fricción por alta velocidad, montado en un gran eje, con chumaceras intercambiables de alta capacidad.

- El sistema de recuperación de Filler recupera del 80 al 95% de finos en la mezcla



Figura 4.3.11 Extractor de polvos de la planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia

- Transportador de descarga con cadena metálica (Figura 4.3.12), cuenta con una base especial para transportarse en el chasis de la propia planta.



Figura 4.3.12 Transportador elevador. Fuente: Elaboración propia

- Un Quemador (Figura 4.3.13) que cuenta con una bomba para combustible, encendido de piloto con chispa de electrodo y electroválvula de gas LP manual, el quemador es expandible hasta una capacidad de 70'000,000 BTU/hr, con compuerta manual para regular flujo de aire para combustión.

- Tiene la capacidad de quemar cualquier tipo de combustible, de manera particular los combustibles alternos que tienen un menor costo.



Figura 4.3.13 Quemador de la planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia

De contra flujo

Se le llama de contra flujo porque en una dirección entran los agregados y en la otra dirección salen los gases y la flama del quemador, estos gases hay que expulsarlos del horno porque si no el horno se satura y no habrá oxígeno que nos permita generar la llama y es por eso que son expulsados usando un extractor, donde como se explicó anteriormente se pueden tener distintos sistemas para extraer los polvos y gases.

El secado y la mezcla con el asfalto se hacen en el mismo tambor, donde se desplazan los agregados pétreos y los gases en la misma dirección. El diseño de tambores secadores mezcladores largos, con relaciones longitud a diámetro mayor a 5 metros, ha permitido reducir la temperatura de los gases en zona de mezcla, eliminando la posibilidad de deteriorar la mezcla asfáltica. En la planta más compacta, la captación de polvos se hace normalmente mediante un colector o extractor montado en el mismo chasis.

De lo descrito anteriormente de ambos tipos, en las plantas continuas todo es continuo hasta antes de la carga al camión que depende de condiciones especiales del tendido de carpeta, como puede ser: temperatura ambiente, distancia de acarreo, facilidad de colocación, número de camiones disponibles, etc.

La dosificación de los agregados y el asfalto es básica, dado que no hay manera de dosificarlo por unidad de peso directamente, sino por flujo de material, siendo éste el tema a desarrollar de operación de plantas de producción continua.

Los principales componentes de este tipo de planta productora de mezcla asfáltica son los siguientes (Figura 4.3.14):

1. Tolvas de agregado de alimentación en frío
2. Sistemas de transporte y pesado de agregado
3. Mezclador de tambor
4. Colector de polvo o extractor
5. Transportador de mezcla en caliente
6. Silo de compensación para mezcla
7. Cabina de control
8. Tanque de almacenamiento de asfalto

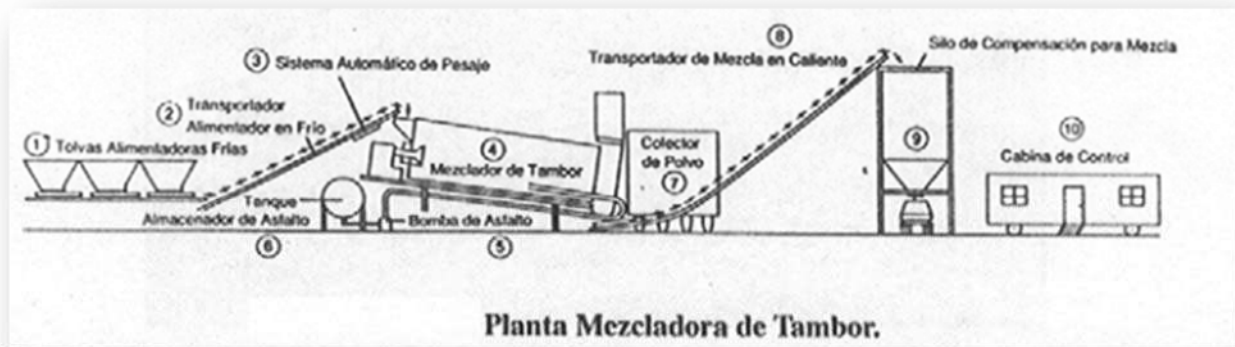


Figura 4.3.14 Planta mezcladora de tambor.

Fuente: Manuel Tinoco Zamudio, Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México.

Un ejemplo que tenemos sobre este tipo de planta lo fabrica la empresa TRIASO, es de las empresas más reconocidas a nivel internacional en la fabricación de plantas asfálticas, algo que las caracteriza es la gran variedad de precios que manejan en el mercado y sus diseños que ofrecen una gran facilidad de operación.

Se encuentra ubicada en Morelia Michoacán, cerca de la salida a Salamanca. La planta pertenece a la empresa constructora EUNICE S.A. de C.V. es una planta eficiente y moderna, tiene aproximadamente 2 años desde su instalación y en especial esta planta ha brindado grandes beneficios a la empresa ya cuenta con un sistema de incorporación de RAP, retorno 100% de finos y caja de bolsas para altas exigencias ecológicas. Estas características han mostrado grandes ventajas económicas para la empresa, su producción de mezcla es utilizada en proyectos particulares y en beneficio de la pavimentación de las redes carreteras cercanas a la ciudad.

Cuenta con tambor mezclador de 110-160 Tmph (Figura 4.3.15), el tambor y los álabes (que se encuentran por dentro de este) son de acero especial aleado resistente a los problemas por las altas temperaturas, tiene aros montados sobre muelles muy flexibles para dar mayor suavidad de operación y mayor duración a todos los elementos de tambor.

Como se puede observar cuenta con un chasis reforzado, 3 ejes y 12 llantas, esto para mantener su alineación como base de rodamiento del tambor. Tiene un apartado para la entrada de aditivos sólidos, tales como celulosa, cemento Portland, cal, entre otros. Existe baja velocidad de aire dentro del tambor, para un mínimo arrastre de finos. En la parte superior cuenta con un collar para incorporación de material de carpeta reciclada (RAP) y sellos metálicos tipo laberinto que sirven para eliminar la entrada de aire frío al tambor, obteniendo un ahorro en el combustible, además de que esto ayuda a disminuir la velocidad de aire dentro del tambor, que resulta en menor arrastre y pérdida de finos.



Figura 4.3.15 Tambor mezclador de planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia

Dentro del tambor existen 8 secciones de álabes para elaborar las mezclas:

- En la primera sección se tiene la entrada, empuje y acondicionamiento del material
- En la segunda sección es el secado, con vello pleno para un secado total
- La tercera sección está encargada de calentamiento
- La cuarta sección, en caso de tratarse de mezcla con RAP, es la incorporación de este material reciclado alimentando en el collar
- La quinta sección es de mezclado de los agregados sobrecalentados con el RAP
- La sexta, también de mezclado, en este caso, mezclado con los finos de la caja de bolsas y el asfalto inyectado
- La séptima sección es sobre la homogeneización total de la mezcla
- La octava, por último está la parte de expulsión y desalojo total para transferir la mezcla al elevador



Figura 4.3.16 Elevador de arrastre para la salida de la mezcla. Fuente: Elaboración propia

La planta asfáltica tiene un elevador de arrastre para la salida de la mezcla (Figura 4.3.16), de forma recta, el elevador está montado y abisagrado. Al inicio de este elevador, en la parte inferior se encuentra la salida de mezcla, con mínima entrada de aire frío indeseable. Por último, en la parte superior del elevador se encuentra la tolva receptora y liberadora de mezcla, también conocida como “bacha”, esta tiene un capacidad de 0.5 m³, la apertura puede ser automática con un control programable ya sea por peso o por tiempo o también puede ser manual, por dentro de esta tolva y liberadora se tienen un compresor de aire de 7.5 hp.



Figura 4.3.17 Banda de alimentación de la planta. Fuente: Elaboración propia

La banda de alimentación al tambor (Figura 4.3.17) es de una longitud aproximada de 8 metros, son bandas vulcanizadas en unión (sin grapas), esto para dar mayor duración y suavidad de operación. También se tiene parrilla para retener los sobretamaños. Estas bandas transportan a los agregados desde las tolvas (Figura 4.3.18) al tambor mezclador.

Al final del tambor se encuentra el ciclón captador y reincorporador de finos que capta y reincorpora el 98% de los finos de hasta 60 micrones, para reincorporarlos a la mezcla,

descarga los finos recolectados a transportador helicoidal. Esta parte de la planta evita que las partículas grandes lleguen a las bolsas de la caja de bolsas y puedan dañarlas.



Figura 4.3.19 Planta asfáltica TRIASO. Fuente: Elaboración propia

También al final del tambor se encuentra lo que es el quemador, este funciona con un sistema de “aire total”, esto quiere decir que el quemador regula el 100% del aire para la combustión, sin ayuda del extractor del tambor. Debido a esto el quemador se monta atornillado al tambor, evitando la entrada de aire frío, al evitar entrar aire frío se ahorra el combustible que se usaría para calentarlo, esto permite una carburación exacta y eficiente.

Una ventaja es que el combustible se automatiza a una presión constante, independiente de la variación en su flujo, esto le permite trabajar eficientemente hasta al 30% de su potencia. Para la planta de 110-160 Tmph, tiene una capacidad de 33,000,000 Btu/Hr. Debajo del quemador se cuenta con un conjunto de filtro, precalentador y bomba de combustible, montado sobre una base abisagrada y deslizante, también tiene un sistema de filtrado y de precalentamiento de combustible, para quemar eficientemente combustibles alternos.

Cabe mencionar la siguiente característica de esta planta, que es la caja de bolsas (Figura 4.3.19), es una gran ventaja que aporta beneficios a la planta, estas bolsas tienen una resistencia al calor de 204 °C constantes, para una planta con capacidad de 110-160 toneladas por hora respecto al área filtrante, las bolsas tienen una larga vida de servicio y cuenta con aproximadamente 308 bolsas.

Tienen dos modos de control: Manual y automático por presión diferencial. Las bolsas mantienen los gases a más de 100 °C, con lo que se evita la condensación y humedad en los finos, esta humedad en los finos puede ser perjudicial ya que se convierten en lodo no limpiable que puede dañar las bolsas, los finos húmedos no son incorporados uniformemente a la mezcla asfáltica.

La función principal de la casa de bolsas o “bag house” es captar y reincorporar el total de finos, descargar los finos recolectados al transportador helicoidal que los reintegra a

la mezcla, el sistema de limpieza es tipo “Aire inverso”, con control integrado. La caja de bolsas es modular, para asegurar una limpieza perfecta, para este tipo de planta cuenta con dos módulos. La caja es de gran tamaño en comparación con otras, esto para lograr una menor velocidad de elevación de finos y tener una calidad uniforme de la mezcla asfáltica durante toda la jornada, al trabajar el 100% de las bolsas aumenta su vida útil.



Figura 4.3.18 Tolvas de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia



Figura 4.3.20 Tolva receptora y liberadora. Fuente: Elaboración propia

Los polvos almacenados que se acumulan en la caja de bolsas se expulsan por medio de la tolva receptora (Figura 4.3.20).

Por último en el extremo cuenta con una chimenea con puertos para mediciones ecológicas, necesarias para verificaciones por dependencias protectoras del medio ambiente. La planta también cuenta con tanques de asfalto de 45,000 a 90,000 litros (Figura 4.3.21).



Figura 4.3.21 Tanques de diesel y asfalto. Fuente: Elaboración propia



Figura 4.3.22 Cabina de control. Fuente: Elaboración propia

La cabina o consola de control (Figura 4.3.22) con computadora es la encargada de controlar directamente todas las partes de la planta, es una gran ventaja ya que le da gran facilidad y practicidad a la operación y control de toda la planta, esta se encuentra dentro de la caseta de control.



Figura 4.3.23 Mezcla asfáltica en caliente producida en planta. Fuente: Elaboración propia

Como producto final se obtiene la mezcla asfáltica (Figura 4.3.23), la cual es previamente tomada durante la producción para realizarle las pruebas de laboratorio y verificar que se encuentre dentro del diseño realizado y cumpla con las características (como contenido de asfalto) correspondientes.

Las plantas de producción continua y de contraflujo trabajan regularmente con un solo tambor o barril mezclador, sin embargo para mayor eficiencia se puede trabajar con un sistema de “Double Barrel” o doble barril. Donde uno tiene la función de secar y el otro de mezclar.

Con el paso del tiempo cada vez es más común encontrar este tipo de sistemas, un ejemplo de este tipo de planta se encuentra en la Ciudad de México, esta planta asfáltica es de suma importancia para el país ya que es de las principales productoras de mezcla asfáltica en México, es una planta estacionaria proveniente de la marca ASTEC, de producción continua o de tambor (Figura 4.3.24), tiene aproximadamente 63 años produciendo, con el paso del tiempo se han agregado componentes y adaptaciones que la han hecho trabajar de manera muy eficiente y adecuada.

En comparación con los anteriores tiene una capacidad de alta producción, ya que particularmente esta planta necesita altos volúmenes de producción debido a la gran demanda que tiene que cumplir diariamente, su capacidad de producción va desde 200 a 600 toneladas métricas por hora.



Figura 4.3.24 Planta asfáltica de la Ciudad de México. Fuente: Elaboración propia

El proyecto de instalación de la planta ha sido de los más polémicos e importantes a lo largo de la historia en México, la particularidad de esta planta y la semejanza que se tiene con la planta de estudio de este trabajo es que es perteneciente al gobierno del estado y debido a la gran producción que esta ofrece, a la dependencia que pertenece y a la magnitud de sus instalaciones esta planta cuenta con su propia estructura orgánica (PDACDMX, 2000), la cual es la siguiente:

- Director general de la planta productora de mezclas asfálticas
 - Director de administración y finanzas de la planta productora de mezclas asfálticas
 - Jefe de unidad departamental de recursos financieros
 - Jefe de unidad departamental de recursos materiales, abastecimientos y servicios
 - Jefe de unidad departamental de capital humano
 - Subdirector de control de calidad y distribución
 - Jefe de unidad departamental de distribución y comercialización
 - Jefe de unidad departamental de control de calidad y gestión ambiental
 - Subdirector de operación y producción
 - Jefe de unidad departamental de mantenimiento de maquinaria y equipo industrial
 - Jefe de unidad departamental de producción de mezclas asfálticas
 - Jefe de unidad departamental de extracción y trituración de materiales pétreos

Los componentes de esta planta se suministran con patas de acero graduales, los cimientos de cemento sostienen las patas y los componentes y tiene su propio manual de operación, el cual es un elemento indispensable para el control y operación de esta. Además, cuenta con silos grandes, y acceso para mantenimiento.



*Figura 4.3.25 Mezclador de tambor "Double Barrel" en la planta asfáltica de la ciudad de México.
Fuente: Elaboración propia*

Esta planta está equipada con un mezclador de tambor Double Barrel (Figura 4.3.25) y se utilizan silos de almacenamiento para mantener la mezcla. Tiene tolvas de material reciclado que entran al tambor, que como se mencionó, es un doble barril, en este se aprovecha la parte interna del barril para secar y la parte externa es la que realiza el mezclado.

En el sistema del tambor interior (Figura 4.3.26) que es el encargado del secado está diseñado para trasladar el agregado a través del proceso de mezcla con máxima eficiencia.

El secado del agregado virgen es el primer paso en el proceso y tiene lugar en el tambor interior. El proceso de secado comienza cuando el agregado virgen ingresa al tambor interno a través de una rampa de gravedad. La compuerta libre restringe la entrada de aire al tambor mientras deja pasar el agregado.

El ángulo de la rampa de entrada con revestimiento de cerámica permite que el material fluya libremente hacia el tambor. Las paletas de vanguardia mueven el material hacia las zonas de secado. Una vez que el agregado se seca y se calienta, sale del tambor a través de las aberturas de salida e ingresa a la cámara de mezclado externa.



*Figura 4.3.26 Proceso de secado en el tambor Double Barrel interior.
Fuente: www.astecinc.com*

En cuestión del tambor exterior (Figura 4.3.27), que es que encargado de la mezcla, en esta parte el agregado de materiales en el orden adecuado y en el momento adecuado es la clave para que lograr una mezcla de buena calidad, siempre. Los ingredientes se agregan a la mezcla caliente en un orden que permite una mejor igualación de la temperatura y una distribución uniforme de todas las partículas de la mezcla.

En la primera parte de la secuencia de mezclado, el material reciclado ingresa a la cámara de mezclado a través de la entrada de material reciclado. El reciclado, que puede ser RAP, tablas de ripia, caucho triturado o una mezcla de estos, se calienta al contacto con el agregado virgen caliente.

Cuando los materiales vírgenes y reciclados tienen la temperatura adecuada y están bien mezclados, se inyecta el ligante líquido en la cámara de mezclado. Como la mezcla se mueve en la cámara de mezclado, las paletas mezcladoras la agitan constantemente.

Por último, los finos de la cámara de filtros y otros aditivos ingresan a la cámara de mezclado y se incorporan a la capa gruesa de asfalto, revistiendo las rocas. El proceso de mezclado secuencial de ASTEC evita que los finos absorban más asfalto de lo adecuado puesto que el cemento asfáltico se distribuye completamente antes de añadir los finos.

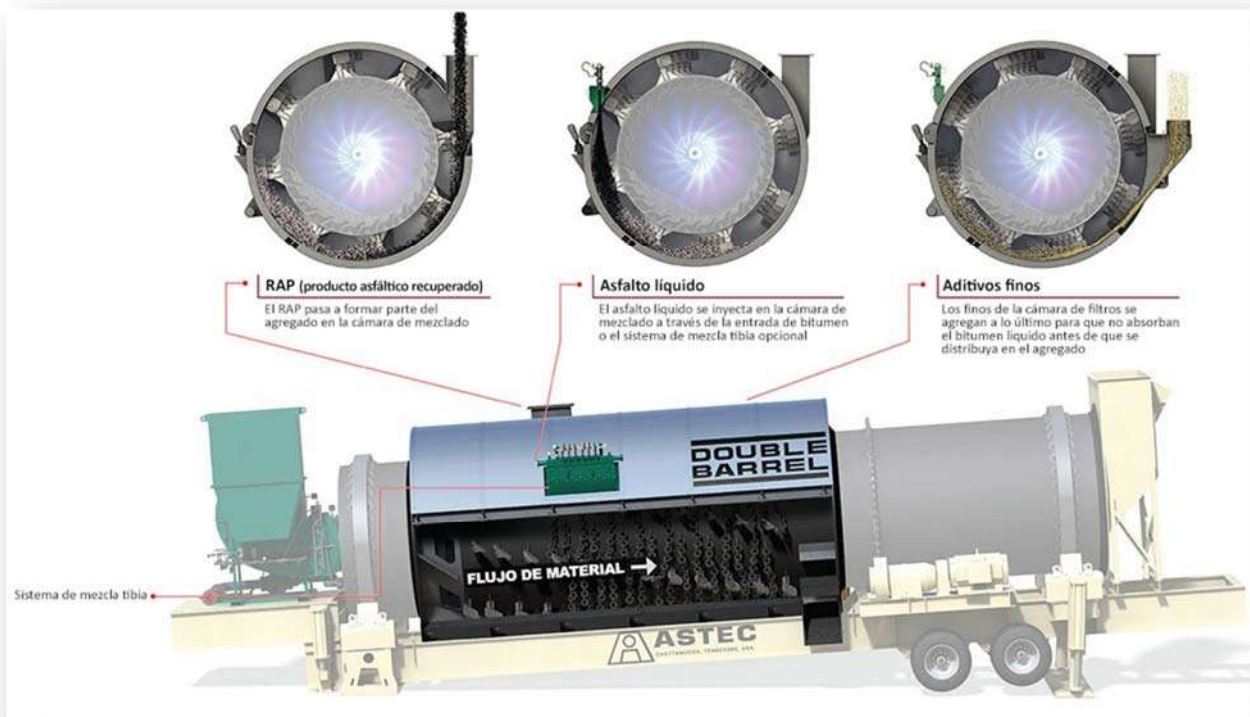


Figura 4.3.27 Proceso de mezclado en el tambor Double Barrel exterior.
Fuente: www.astecinc.com

Cabe mencionar la parte de flujo de gas también en el mismo tambor (Figura 4.3.28), donde intervienen los hidrocarburos y vapor. En esta planta hay una liberación continua de vapor mientras el RAP se introduce y se calienta. Esta es una de las claves del éxito del Double Barrel como procesador de RAP:

El vapor cubre totalmente el agregado virgen súper caliente y el RAP desplaza al oxígeno. Como resultado, hay menos oxidación de la mezcla, a medida que el RAP se seca, también se pueden producir emisiones de humo azul con el vapor.

El ventilador de la cámara de filtros empuja el vapor y el humo azul hacia la llama del quemador. Los hidrocarburos del humo azul se incineran mientras que el vapor simplemente pasa a la cámara de filtros y luego al tubo de escape.

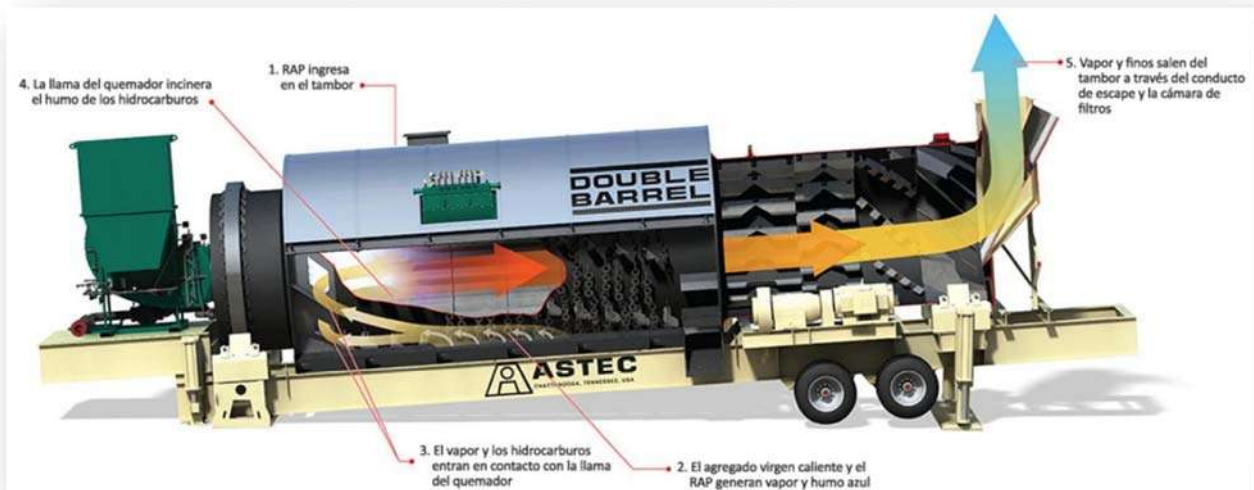


Figura 4.3.28 Proceso de flujo de gas en el tambor Double Barrel. Fuente: www.astecinc.com

Al igual que las plantas portátiles y reubicables de ASTC, las plantas estacionarias (como esta) están equipadas con muchas características innovadoras. Está diseñada con una serie de módulos que se transportan con camión y se adjuntan en el sitio.

El equipo de control de contaminación y ruido incluye conductos de descarga, sistemas que capturan los vapores de hidrocarburos, silenciadores para los conductos de escape y para los ventiladores de los quemadores. El quemador con el que se seca el agregado, es de última generación, es bajo en emisiones, cuenta con un silenciador. Estas funciones hacen a la planta buenos vecinos a la comunidad, lo que es muy agradable y conveniente ya que se encuentra dentro de la ciudad. Los silos presentan un ángulo cónico pronunciado de 66 °C que brinda descarga libre de segregación a través del flujo en masa. Tienen la capacidad de almacenar productos durante cuatro días sin perder la calidad de la mezcla.

La planta asfáltica tiene 4 tolvas, se instalan al transportador colector, la extensión de la criba de malla ancha y de las paredes de la tolva, y los artículos opcionales y en la misma planta se encuentra un tren de trituración el cual tiene sistemas de trituración primario, secundario y terciario. Principalmente se manejan mezclas densas que van desde los $\frac{3}{4}$ "

En esta planta se tiene una temperatura de producción de 120 a 130 °C por lo que se utilizan aditivos, cuya función es disminuir la viscosidad del asfalto para que se pueda manipular la mezcla a temperaturas más bajas, puesto que las temperaturas de las mezclas en caliente son superiores a los 150 °C. Se tienen 3 tanques de almacenamiento, en cada uno pueden almacenar hasta 110,000 litros de asfalto, estos se almacenan de 150 a 160 °C para que puedan fluir.

La planta tiene un colector de polvos que es una cámara o caja de bolsa, que tiene 1500 bolsas para capturar los polvos, que son producto de la producción. Esta cámara

de filtros con sistema de limpieza por impulsos de aire con un colector primario se despacha con los cimientos instalados. Los módulos de filtros se instalan en la parte superior y se crea un sello hermético entre la parte superior e inferior. El conducto de entrada, la base y el conducto de escape del ventilador son pre armados e instalados en la cámara de filtros. Las partículas de polvo pesadas y gruesas se recolectan en un colector primario antes de que el aire pase por la cámara de filtros.

Cuenta con un sistema “verde” (Figura 4.3.29) que es una gran innovación, el sistema verde utiliza agua para producir una mezcla de asfalto tibia y espumosa, que es inodora, no produce humo, tiene mayor durabilidad y lo que hace es hacer espumar el asfalto para que así todavía se ardiera mejor el asfalto al agregado, este sistema tiene el propósito también de ahorrar energía y eliminar el humo y las emisiones sin perjudicar la calidad de la mezcla.



Figura 4.3.29 Sistema Green Double Barrel (Sistema Verde). Fuente: www.astecinc.com

Se controla eléctricamente, utilizan gas natural como combustible y se encuentra conectado directamente a la red por medio de grandes tuberías (Figura 4.3.30).



Figura 4.3.30 Componentes de la planta de asfalto. Fuente: Elaboración propia

También en la planta se encuentra el laboratorio, donde se revisan los agregados, para determinar su dureza, su densidad y que sea material basáltico al 100 % de igual manera se hacen pruebas a el asfalto, algunas de ellas son penetración, viscosidad, punto de inflamación, entre otras, todas estas pruebas abaladas en las normativas. El contenido de asfalto es primordial y debe estar en un rango, igual que la granulometría,

es por esto que durante la producción de mezcla se toman especímenes para las pruebas y si no llegan a coincidir con el diseño.

Otro ejemplo que se tiene sobre las plantas de elaboración de mezcla asfáltica que trabajan con el sistema de doble tambor es uno similar pero el principio de este es que trabaja con dos tambores por separado y lo encontramos actualmente a orillas de Morelia, cerca de Tarímbaro, es una planta asfáltica que de igual manera pertenece a Pavimentos Asfálticos Tres Marías S. A. de C.V. y es proveniente de una empresa americana.

Esta planta ha sido modificada con el paso de tiempo ya que ha llevado a cabo su producción durante muchos años, fue alrededor del 2000 que se comenzaron las modificaciones y en el 2007 se comenzó a operar de una manera diferente ya que debido a que se superó la demanda de producción la planta cambio a ser de producción continua con sistema de doble tambora contraflujo, pero separados (Figura 4.3.31). Estos cambios fueron debido a la gran demanda de producción que se tiene, el primero, que se encuentra en la parte superior es el encargado de secar yes capaz de alcanzar una capacidad de 270 toneladas por hora y el segundo, que está en la parte inferior es donde se realiza la mezcla, en este tambor podemos observar los alabes que se encuentran dentro del barril (Figura 4.3.32) los cuales ayudan a realizar la mezcla homogénea.

Una de las ventajas de tener este sistema con dos barriles es que el asfalto no entra en contacto directamente con la flama, lo que hace que este no se oxide y tenga una mejor eficiencia.



*Figura 4.3.31 Planta asfáltica con dos barriles.
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 4.3.32 Interior del tambor de mezclador.
Fuente: Elaboración propia*

Después del proceso de mezclado, el material se vierte por un elevador (Figura 4.3.33) donde se descarga la mezcla asfáltica producida en caliente lista para ser transportada (Figura 4.3.34).



*Figura 4.3.33 Elevador transportador de material.
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 4.3.34 Mezcla asfáltica producida en planta.
Fuente: Elaboración propia*

La planta cuenta con 4 tolvas almacenadoras de agregados pétreos, cada una con su salida independiente y manejada desde la cabina de control esto ayuda a elaborar gran variedad de mezclas para las carpetas asfálticas (Figura 4.3.35).



Figura 4.3.35 Tolvas almacenadoras y dosificadoras. Fuente: Elaboración propia

Otra particularidad de esta planta es que los tanques de almacenamiento se encuentran enterrados superficialmente (Figura 4.3.36), esto para poder adquirir altas temperaturas más fácilmente. Como combustible principal la planta utiliza un alterno, que ha resultado tener grandes beneficios, sin embargo para poder hacer uso de este adecuadamente y sin que repercutiera en los procesos se tuvieron que hacer adaptaciones en el quemador, las cuales fueron hechas y ha podido trabajar de manera correcta y óptima. En el quemador se controla el flujo del combustible, dependiendo el volumen que se vaya a meter para controlar la temperatura.

El combustible alternativo proviene de aceites reciclados, por lo que se ha tomado la precaución de colocar un colador en la parte del tanque donde ingresa en combustible (Figura 4.3.37), con esto, se ha podido evitar que pequeños derechos o partículas innecesarias entren al tanque de almacenamiento y se utilicen en la planta.



Figura 4.3.36 Tanques de almacenamiento enterrados. Fuente: Elaboración propia



Figura 4.3.37 Colador de residuos en la entrada de los tanques. Fuente: Elaboración propia

Dentro del tambor secador hay una corriente de aire, de vapores y de polvos, para el sistema de recolección de los polvos esta planta asfáltica cuenta con distintos procesos, el primero es utilizando un ciclón (Figura 4.3.38), que por medio de choque el polvo más grueso se baja por medio de gravedad, de ahí sigue la corriente de aire hasta el filtro o baghouse (Figura 4.3.39) y en esa parte se atrapan todos los demás finos, el material cae por medio de chorros o disparos de aire a presión, aproximadamente cada 0.05 segundos, esto para limpiar el polvo que queda saturado en cada bolsa y de ahí pasa a caer a una tolva que por medio de un gusano se manda a un ducto que lo reincorpora al mezclador.

El extractor tiene un motor de 200 caballos de fuerza y aproximadamente 60 ciclos. Es importante controlar adecuadamente la abertura del dámper en el extractor ya que de no ser así no se tendrá una buena carburación o se pueden estar reincorporando polvos de más.

El bag house en su interior cuenta con 54 líneas de 15 filtros cada una (Figura 4.3.40). La eficiencia del bag house hace que se recolecte el 100% de los polvos, lo que permite que la planta se encuentre certificada con el medio ambiente ya que no se emiten partículas al medio ambiente, tienen buena carburación y no despiden contaminantes.



Figura 4.3.39 Colector Bag house o caja de bolsas.
Fuente: Elaboración propia



Figura 4.3.40 Bolsas en el interior del Bag house.
Fuente: Elaboración propia

El funcionamiento de toda la planta es eléctrico y se controla desde la cabina de control (Figura 4.3.41) que se encuentra en conjunto a la planta, ahí mismo se tienen los controles de todas las partes que conforman la máquina.



Figura 4.3.41 Interior de la cabina de control.
Fuente: Elaboración propia



Figura 4.3.38 Ciclón recolector de polvos. *Fuente: Elaboración propia*

Se cuenta con un laboratorio dentro de las mismas instalaciones (Figura 4.3.42), donde se tiene una prensa Marshall y un horno de secado entre otros aparatos, para poder verificar las muestras (Figura 4.3.43) durante la producción de mezcla asfáltica.

La producción de mezcla varía diariamente, teniendo periodos donde la demanda es más grande y otros donde esta baja al grado de producir durante dos horas diariamente.



Figura 4.3.42 Laboratorio de pruebas. Fuente: Elaboración propia



Figura 4.3.43 Muestra representativa de mezcla asfáltica en caliente producida en planta. Fuente: Elaboración propia

4.3.1 PLANTAS PARA LA FABRICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS EN CALIENTE

Como lo comenta (Ibarra, 2003), de forma resumida se entiende por reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en planta al proceso mediante el cual los materiales recuperados en el levantamiento o retiro de la capa de un pavimento deteriorado, que puede hacer por medio del fresado o demolición, o de mezclas nuevas que no han sido utilizadas por ser un excedente o por no haber cumplido con las especificaciones de proyecto, estos son mezclados en caliente con agregados y ligantes nuevos, así como agentes rejuvenecedores en caso necesario.

Posteriormente, la mezcla es trasladada, colocada y compactada en obra como si se tratara de una mezcla convencional. El fin es producir nuevas mezclas en caliente que cumplan con los requerimientos de calidad, resistencia y durabilidad exigidos para el tipo de capa en que serán utilizados. Actualmente este tipo de mezclas se designan generalmente para capas inferiores, o para rehabilitación de pavimentos existentes, sin embargo, se ha comprobado que un buen diseño y proceso pueden formar parte de un pavimento nuevo, ya que pueden resultar muy útiles como una carpeta asfáltica de mezcla convencional, sin que esto signifique un problema de calidad, resistencia o durabilidad.

El material recuperado de pavimentos asfálticos envejecidos se denomina **RAP**, de su nombre en inglés “Reclaimed Asphalt Pavement”, y es uno de los elementos más

importantes a tener en cuenta durante el proceso de reciclado de pavimentos ya que tiene gran influencia sobre las características del producto final (Figura 4.3.1.1).



Figura 4.3.1.1 Fresadora obteniendo RAP de un pavimento envejecido.

Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"

Las propiedades del RAP dependen en gran medida de las condiciones y características de los materiales que lo componen y del tipo de mezcla asfáltica del que proviene. La utilización de material fresado en la producción de mezclas asfálticas recicladas en caliente requiere algunos cuidados, que van desde el diseño de mezclas en el laboratorio hasta su producción en la planta y la aplicación en campo.

El proceso en la planta de asfalto es más complejo ya que existe una mayor limitación en lo tocante al calentamiento del RAP (tanto en términos de tiempo como de temperatura). Cuanto mayor sea la cantidad de material fresado que se desea añadir a la mezcla reciclada, mayor será la necesidad de cuidados con esa fuente de calor.

Anteriormente se describió que existen dos tipos de plantas de asfalto que operan de manera diferente: las discontinuas y las continuas.

De acuerdo con (ASTEC, 1998), las plantas discontinuas y las plantas continuas de tambor-secador-mezclador, son las indicadas para preparar mezclas de alta calidad utilizando RAP, siempre y cuando se tomen ciertas precauciones para evitar problemas relacionados con el uso de RAP.

A continuación se mencionan algunas adaptaciones necesarias para el uso de RAP, así como los procedimientos que deben emplearse para la fabricación de mezclas recicladas en caliente dependiendo el tipo de planta que se esté utilizando:

Plantas discontinuas

Como ya se mencionó, las plantas **discontinuas** producen la mezcla asfáltica por lotes que se controlan debidamente por pesaje. Las tolvas frías almacenan los agregados, que por medio de una cinta transportadora son llevados a un tambor de secado y calefacción que funciona con la energía de un quemador. La incorporación de RAP, generalmente a niveles más bajos durante el proceso de mecanizado en las plantas discontinuas, se puede hacer de dos maneras: La primera es introduciendo el material a

ser reciclado directamente en el mezclador o la segunda, en la entrada inferior del elevador.

Para la utilización de RAP en una planta asfáltica discontinua existen cinco métodos y en todos estos casos es necesario sobrecalentar los agregados. Una mayor humedad en el RAP y un porcentaje más alto de utilización del mismo requerirán temperaturas proporcionalmente más elevadas en el agregado pétreo. A menos que el RAP esté extremadamente seco no pueden utilizarse proporciones de RAP superiores al 40% en este tipo de plantas. El sobrecalentar los agregados a temperaturas muy altas hace que el acero del secador se caliente mucho más de lo normal, lo que podría dañarlo. La solución estaría más bien en utilizar un secador enfriado por aire, pero su utilización, además de encarecer la instalación solo permitiría utilizar proporciones ligeramente superiores al 40% de RAP, lo que no justifica la inversión.

Primer método

El primer método para la fabricación de mezclas recicladas en caliente en una planta discontinua consiste en introducir el RAP frío en la funda del elevador caliente junto con el agregado sobrecalentado (figura 4.3.1.2), juntos son clasificados y almacenados en tolvas calientes.

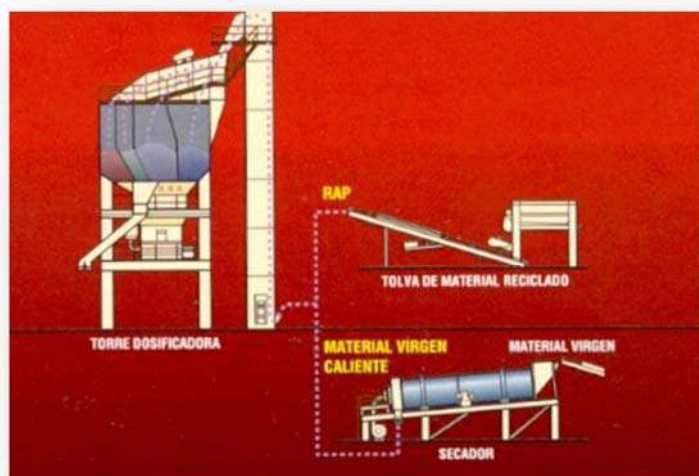


Figura 4.3.1.2 Planta discontinua con ingreso de RAP en elevador caliente.

Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"

A medida que el agua se va evaporando del RAP, se genera vapor, el cual es extraído de forma continua por el sistema recolector existente en la torre dosificadora. Este método no causa problemas de emisión, sin embargo, únicamente deben utilizarse proporciones bajas de RAP a menos que la tela de la criba de la plataforma inferior exceda de 5 a 6 mm. El uso de porcentajes más altos con menos de 5 mm de tela de cribado produce una composición pegajosa que, a menudo, destruye o ciega la criba.

Segundo método

En el segundo método, la torre dosificadora debe tener una quinta tolva caliente, en este caso, el RAP frío y preclasificado se puede introducir en la funda del elevador caliente junto con el agregado sobrecalentado y preclasificado (Figura 4.3.1.3). El elevador entrega el material mezclado directamente a la quinta tolva, desviándolo de las cribas de la torre.

Este método da resultados óptimos y permite utilizar hasta el 40% de RAP y permite pasar de mezclas con RAP a mezclas vírgenes sin vaciar las tolvas calientes porque no se sobrecalientan los materiales existentes en las mismas.

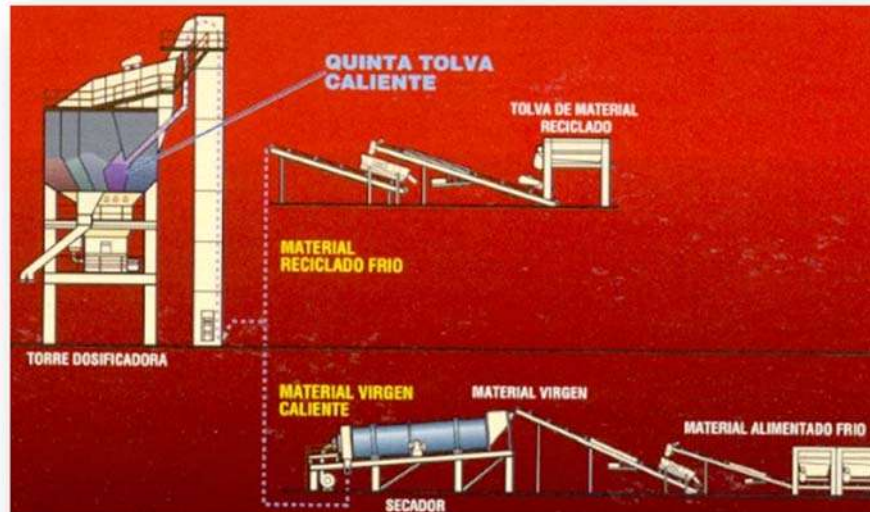


Figura 4.3.1.3 Planta discontinua con quinta tola caliente de la torre dosificadora.

Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"

Tercer método

En este, se entrega el RAP frío preclasificado directamente a la tolva de pesaje de la torre dosificadora junto con el agregado sobrecalentado de la tolva caliente. Para aumentar el tiempo del calentado del RAP, puede dejarse caer el RAP intercalado entre los agregados calientes. Normalmente se produce una explosión suave cuando se deja caer el material sin mezclar de la tolva de pesaje a la amasadora en funcionamiento.

La amasadora mezcla instantáneamente el RAP frío con el agregado caliente, y la explosión es el resultado de evaporación casi instantánea del agua del material fresado. Generalmente se requiere de una "Baghouse" más grande para dar salida al vapor del mezclador.

Cuarto método

Este método consta de un nuevo sistema de control de alimentación que se está usando en las plantas discontinuas, se alimenta el RAP hacia una tercera balanza para obtener una cantidad determinada del mismo (Figura 4.3.1.4). Después de pesado, se

deja caer el RAP en una tolva con un alimentador, el cual introduce el RAP en la amasadora en un intervalo de 20 a 30 segundos, lo que retarda el ciclo de la mezcla, pero que permite una alimentación controlada. Por lo tanto, se extiende la generación de vapor a un intervalo de 20 a 30 segundos y facilita su control y eliminación. La tasa máxima de reciclado con este método está sobre el 20 a 25%.

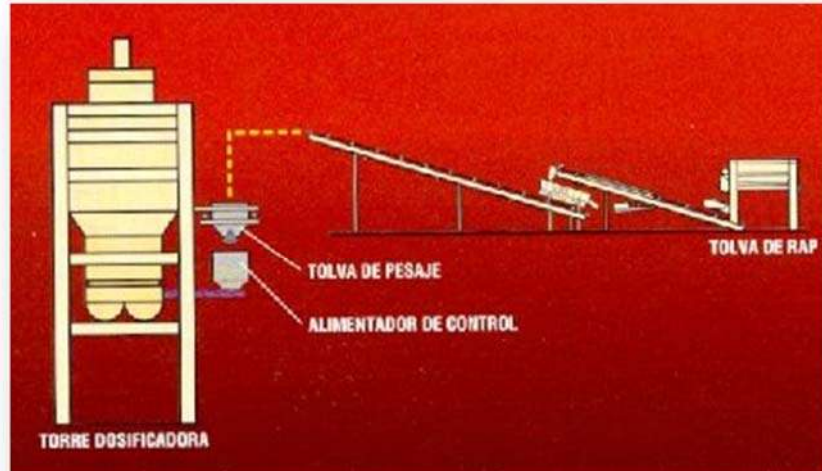


Figura 4.3.1.4 Planta discontinua con alimentación controlada a la tolva de pesaje.

Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"

Quinto método

Por último, el quinto método incorpora un secador separado utilizado para recalentar el RAP. Actualmente este solo es utilizado principalmente en Europa y aunque comparativamente con los sistemas anteriores es un sistema muy caro aunque tiene la gran ventaja de que se pueden utilizar proporciones de RAP del 35 a 40%.

Actualmente algunas empresas tienen adaptadas este tipo plantas, tales como RUBAU y PABASA (Figura 4.3.1.5).



Figura 4.3.1.5 Planta discontinua con doble tambor secador para calentamiento del RAP de la empresa PABASA.

Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"

En las plantas discontinuas de este tipo es importante notar que los gases del presecador son utilizados como aire secundario y se conduce hacia el secador del agregado, el cual consume el humo para evitar emisiones contaminantes (Figura 4.3.1.6).

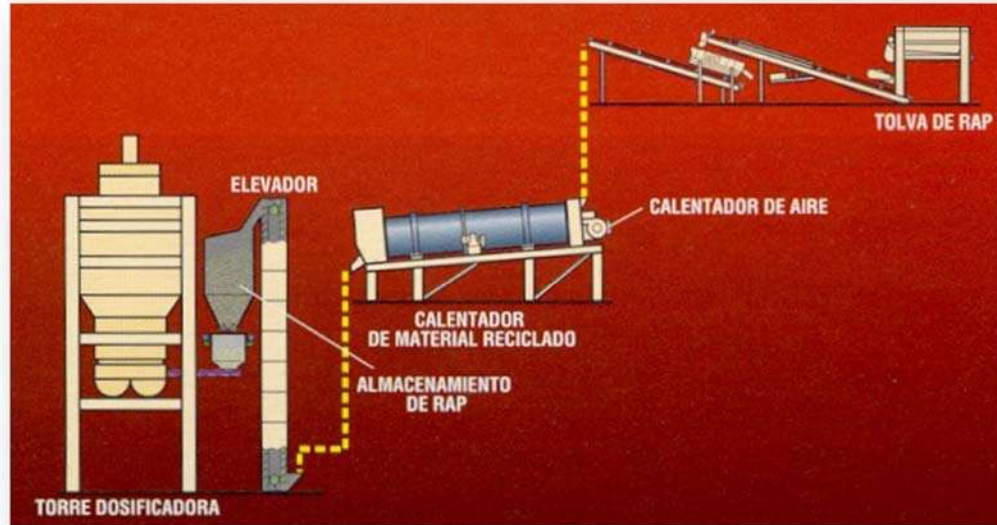


Figura 4.3.1.6 Planta discontinua con secador separado.

Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"

Plantas continuas

Las plantas **continuas** o volumétricas, como su propio nombre lo sugiere, producen la mezcla asfáltica de manera ininterrumpida y el pesaje de los agregados se hace de forma individual.

En las plantas continuas, refiriéndonos a las que son de tambor secador-mezclador ya sea de contraflujo o flujo paralelo, de acuerdo con ASTEC (1998) puede decirse que existen básicamente cinco tipos de plantas en total, capaces de manipular RAP aunque las adaptaciones pueden variar dependiendo el tipo de planta que se esté tratando.

A continuación se mencionan estos tipos de plantas, dependiendo las características de la planta, ya sea flujo paralelo o contraflujo:

En las plantas continuas con tambor mezclador de **flujo paralelo**, los agregados entran en la misma extremidad en que se encuentra el quemador.

De esta forma, los gases de escape del quemador que fluyen en el mismo sentido secan y calientan los agregados. La configuración para la adición de RAP es a través de un anillo en el centro del tambor, donde el RAP es calentado principalmente por convección. Más específicamente se pueden establecer dos tipos de planta con esta adaptación.

Primer tipo

En primer lugar están las plantas con mezclador de flujo paralelo, que como se mencionó anteriormente cuentan con un tambor con anillo de entrada central, fueron utilizadas principalmente en las décadas de los 70 y 80s con eficacia, sin embargo no pasaron las estrictas normas de emisión de gases que se fueron implantando en años posteriores. Este tipo de plantas usaban hasta el 25% de RAP sin producir humos.

Segundo tipo

En segundo lugar están las plantas con secador, también de **flujo paralelo** con mezclador independiente, también son conocidas como plantas de mezclador “Drum Mix Coater I” (Figura 4.3.1.7), y tuvieron su apogeo en la década de los 80, podían utilizar del 30 al 35% de RAP sin producir humo, sin embargo, igual que las anteriores, tampoco llegaron a superar las nuevas normativas.

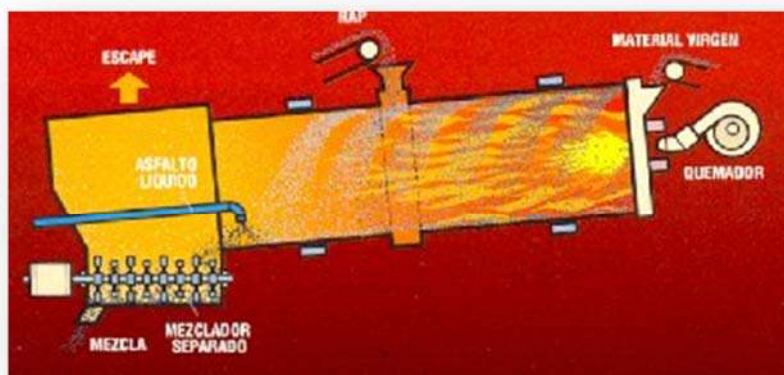


Figura 4.3.1.7 Planta continua con secador de flujo paralelo con mezclador separado (DMC I).

Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral “Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta”

En las plantas continuas con tambor tipo **contraflujo**, los agregados se añaden en el extremo superior opuesto al quemador y fluyen en sentido contrario a los gases. Normalmente, este tipo de planta puede procesar mezclas con hasta un 50% de RAP. Por lo general, hay tres posibilidades para añadir RAP en las plantas con esta configuración:

Primer tipo

Posteriormente aparecieron las plantas con secador de contraflujo y un mezclador continuo, que se denominaron plantas de mezclador “Drum Mix Coater II” (Figura 4.3.1.8) y que permiten utilizar del 35 al 50% de RAP. En estas plantas, ni el líquido ni el RAP se exponen al vapor o a las altas temperaturas durante el proceso de secado. Producen mezclas de excelente calidad hasta con un 40% de RAP y cumplen con todas las normas de emisión de gases. Su desventaja es que requieren un mezclador muy grande de alta potencia y un secador enfriado por aire, en especial cuando utilizan proporciones altas de RAP.

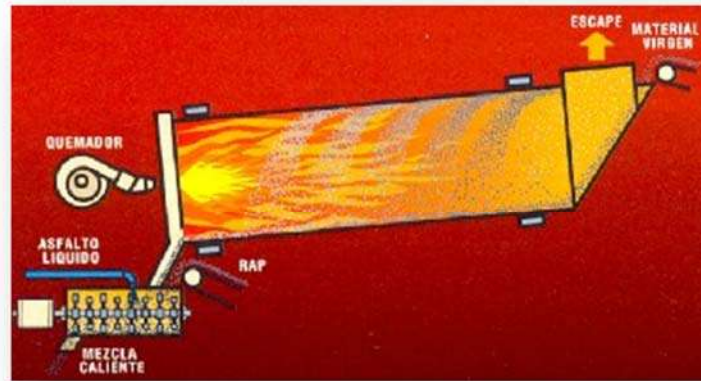


Figura 4.3.1.8 Planta continua con secador de contraflujo con mezclador separado (DMCII).

Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"

Segundo tipo

En segundo lugar están las plantas de mezclador con tambor de contraflujo (Figura 4.3.1.9), una característica es que cumplen todas las nuevas normas de emisión de gases, pero tienen como desventaja su corto tiempo de mezcla, el cual no siempre proporciona una mezcla óptima. En condiciones de proporciones altas de RAP, la corta sección de fusión y de mezclado del tambor que posee, podría dar lugar a no fundir el RAP suficientemente, produciendo una mezcla no homogénea.

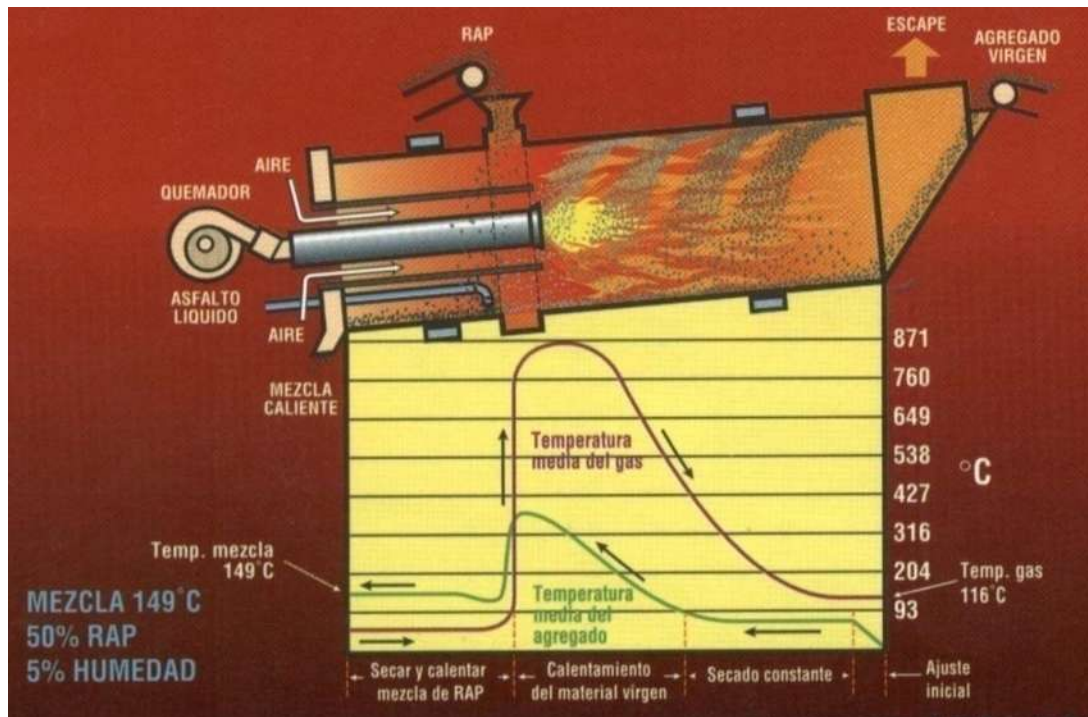


Figura 4.3.1.9 Planta continua con tambor secador mezclador de contraflujo.

Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta"

Tercer tipo

Por último se tienen las plantas con doble tambor o “Double Barrel” (Figura 4.3.1.10), que son una combinación de un secador de contraflujo y un mezclador. El mezclador con doble tambor funciona como un DMC II, con un mezclador grande ubicado debajo de la parte inferior del secador.

Este mezclador de gran tamaño da tiempo suficiente para que se funda completamente el RAP después de haberse mezclado con el material sobrecalentado (Figura 4.3.1.11). El tiempo de mezcla es lo suficientemente prolongado como para obtener una mezcla muy homogénea antes de que se inyecte el ligante nuevo en la mezcla, y hay tiempo suficiente para que los materiales combinados se enfríen a la temperatura normal de mezcla, después de haber añadido el RAP.

Durante el proceso de mezclado, toda la cámara de mezcla se llena de vapor. Dicho vapor origina una atmosfera inerte en la sección de mezcla, el vapor tiende a separar el aceite ligero, pero ya que ningún gas fluye por el mezclador, el aceite permanece en la mezcla y hace más brillante el RAP, dándole la apariencia de una mezcla nueva.

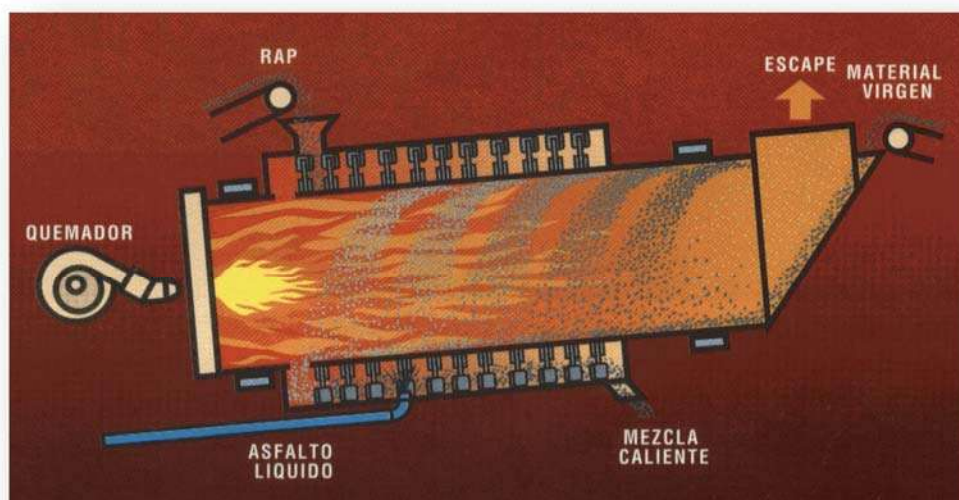


Figura 4.3.1.10 Planta continua con tambor secador mezclador de doble tambor.

Fuente: Jorge Alarcón Ibarra, Tesis doctoral “Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta”

En estas plantas puede añadirse hasta un 50% de RAP sin contaminar la atmósfera con emisiones dañinas. Al tener una alta eficacia térmica sus costos operativos se reducen considerablemente. El calor del tambor del secador va directamente a la sección de mezcla en lugar de escapar a la atmósfera.



Figura 4.3.1.11 Planta continua con tambor secador-mezclador DoubleBarrel. www.astecinc.com

Tanto en las plantas discontinuas como en las continuas, la utilización de contenidos más elevados de RAP (superiores al 25%) en la mezcla reciclada requiere un precalentamiento del material para evitar contacto directo de la llama del quemador con el ligante existente en el RAP. Por consiguiente, el contenido de RAP será en función del tiempo y la forma de exposición al calor durante todo el proceso de mecanizado. La planta debe estar preparada y adaptada para garantizar el calentamiento y la homogeneización entre el material fresado, los materiales vírgenes, además de los posibles aditivos químicos (García, 2001).

5. PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA ADM DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACÁN

En el estado de Michoacán el gobierno del estado cuenta con una planta de elaboración de mezcla asfáltica en caliente, marca ADM (Asphalt Drum Mixers) (Figura 5.1.1), la cual se ha encontrado en desuso durante algunos años, provocándole deterioro y desaprovechando las grandes ventajas que se podrían tener al operarla, es por eso que al observar esta situación se pretende realizar una propuesta para su instalación y operación, dando así gran beneficio a los tramos carreteros en la zona de Puruándiro para dar servicio a una serie de obras de rehabilitación en el municipio.

Se ha propuesto la instalación primeramente de la planta en esta zona, debido a la gran cantidad de tramos dañados que existen en esta parte del estado, con el objetivo principal de rehabilitar e incluso reconstruir los pavimentos asfálticos de estas carreteras.

La planta inicialmente se encontraba en el municipio de Zacapu, Michoacán por lo que primeramente fue trasladada e instalada en el nuevo sitio.

5.1 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA ASFÁLTICA DEL PROYECTO

La planta asfáltica en estudio es de la serie SPL 60-160TPH y fue fabricada por Asphalt Drum Mixers, empresa internacional que fabrica plantas de asfalto estacionarias y portátiles de alta calidad, así como sus componentes desde 1974. Las plantas de asfalto de ADM trabajan proporcionando un rendimiento eficiente de alta calidad en más de 40 países de los 6 continentes (Figura 5.1.2).



Figura 5.1.1 Planta asfáltica ADM. Fuente: www.admasphaltplants.com

Esta planta asfáltica trabaja con un sistema de producción continua o tambor de flujo paralelo y tiene una capacidad que va desde las 60 a las 160 toneladas por hora y es personalizable para cumplir con las especificaciones exactas de su operación.



Figura 5.1.2 Planta asfáltica en estudio. Fuente: Elaboración propia

La calidad de la mezcla asfáltica depende inicialmente de la precisión al momento de dosificar los materiales pétreos, se cuenta con 3 tolvas de almacenamiento de agregados en frio (Figura 5.1.3), estas tolvas resisten el paso del tiempo ya que se encuentran reforzadas, construidas con acero pintado de soldado completo, columnas de resistencia industrial y arriostramiento final.

Las paredes laterales cónicas y un sistema de ventanillas radiales ajustables mejoran el flujo del material y simplifican la operación. Junto con las tolvas se encuentra la banda colectora o alimentadora, montada sobre los rodillos de carga (Figura 5.1.4), esta banda se encarga de la recolección de material dosificado que es depositado por las tolvas para ser transportado al tambor mezclador. El diseño de la cinta de alimentación previene la acumulación y maximiza el flujo de agregados.



*Figura 5.1.3 Tolvas de almacenamiento.
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 5.1.4 Banda transportadora de agregado.
Fuente: Elaboración propia*

La planta está diseñada para producir aproximadamente 160 toneladas por hora, sin embargo la capacidad de producción depende también de otros factores, como la humedad, el tipo de agregados, el combustible, la temperatura del asfalto, etc.

En el tambor, inicialmente los agregados al ser introducidos son secados y como se mencionó anteriormente, trabaja con un sistema de flujo paralelo, lo que indica que el quemador se encuentra en el inicio del secador (Figura 5.1.5) y el agregado entra al tambor de manera paralela a la flama.



Figura 5.1.5 Quemador. Fuente: Elaboración propia

El tambor realiza un sistema giratorio por medio de aros de rodamiento, muelles y soportes, entre otros componentes, y dentro de él se encuentran los alabes (Figura 5.1.6), que son paletas de mezclado de diferentes tamaños. En el tambor se realizan las diversas acciones de secado y mezclado en diferentes secciones (Figura 5.1.7), primeramente es el secado de los agregados, después estos se calientan y se pasa a la sección de inyección del asfalto y mezclado.



Figura 5.1.6 Alabes dentro del tambor de la planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia

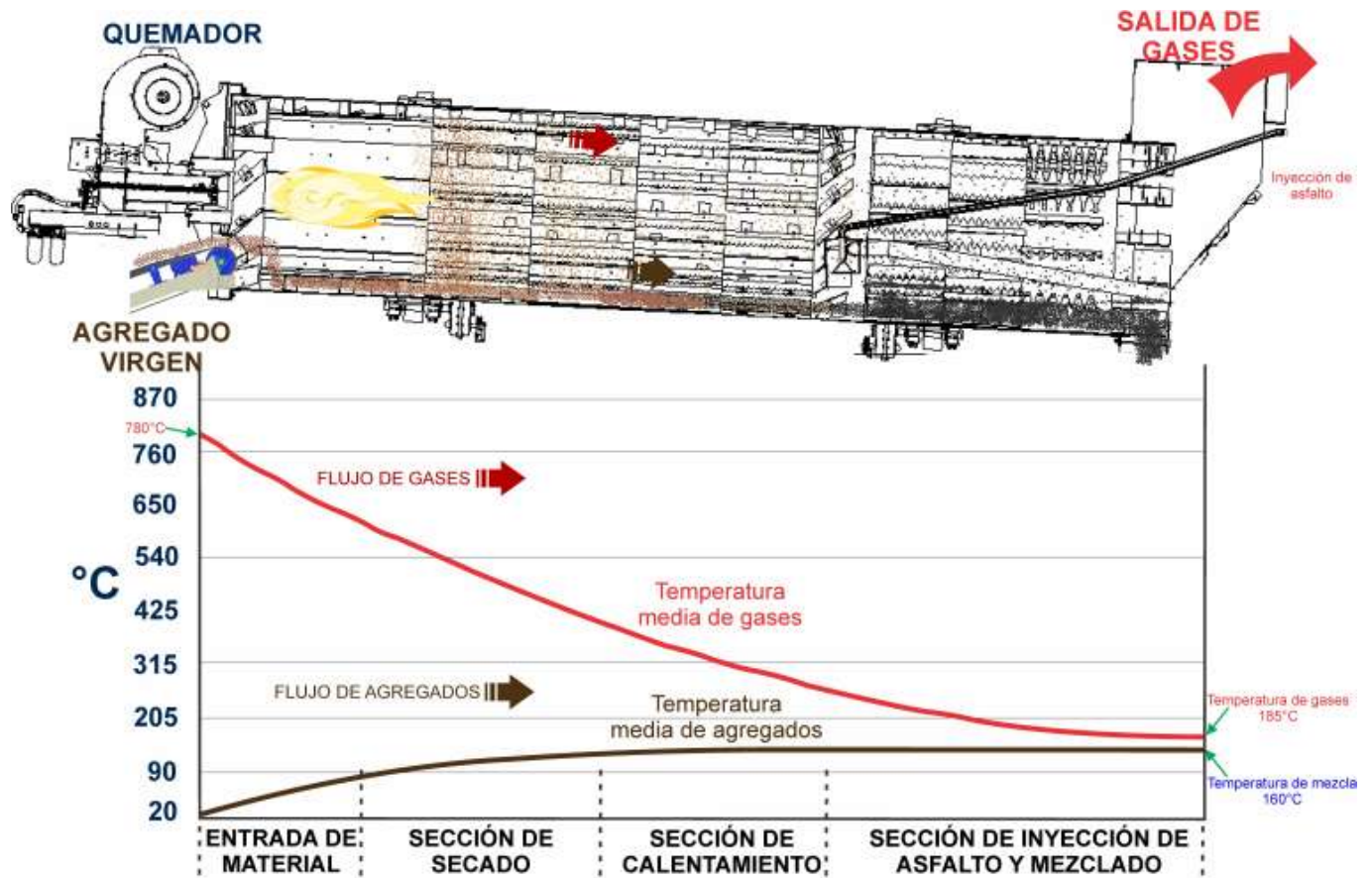


Figura 5.1.7 Gráfica de comportamiento y temperatura de agregados y gases de una planta de flujo paralelo.
Fuente: www.triaso.com.mx

La temperatura del quemador no permite calentar el material para el RAP, sin embargo se pueden realizar adaptaciones o modificaciones para poder utilizar un tipo de sistema para trabajar con mezclas que utilicen material reciclado, el cual pueda aportar grandes beneficios a la planta.

Dentro del tambor se generan gases y polvos debido a la combustión y a la aglomeración en el cemento de asfalto. Para controlar esto la planta utiliza un colector primario, el cual es una caja de golpe o de choque (Figura 5.1.8), cuya finalidad es mejorar la eficiencia de la planta.

Una caja de golpe es un compartimiento cerrado de metal, se encuentra al final del tambor mezclador y trabaja reduciendo la velocidad de los gases, haciendo que las partículas choquen en el interior de este y lentamente caigan por medio de la gravedad en una tolva de descarga (Figura 5.1.9).



Figura 5.1.8Caja de golpe en la planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia

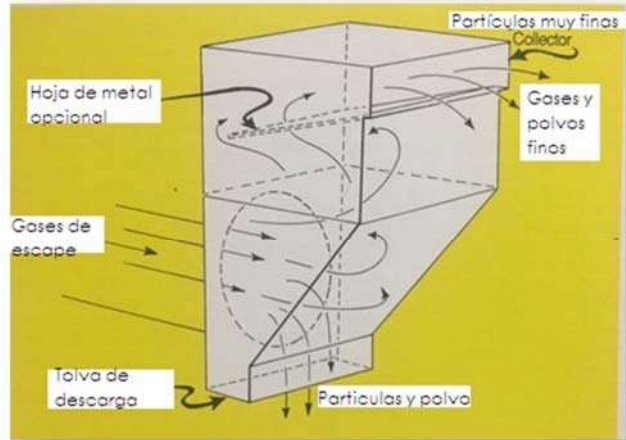


Figura 5.1.9Funcionamiento de una caja de golpe. Fuente: The fundamentals of the operation and maintenance of the exhaust gas system in a hot mix asphalt facility, NAPA

Solo las partículas grandes (con tamaño mayor de 40 micras) pueden eliminarse con la cámara de sedimentación que tiene la caja de golpe y dado que también es necesario eliminar partículas mucho más pequeñas, la cámara de sedimentación se utiliza principalmente como pre-limpiadores, precediendo a equipos de recolección más caros y eficientes.

Al caer el polvo se realiza un lavado donde se le incorpora un medio líquido, generalmente agua para obtener una mezcla lodosa, el lavado húmedo implica un contacto íntimo entre el gas de escape sucio y el agua. Durante esta interacción, la partícula de polvo se transfiere del gas de escape al líquido y los lodos pasan a ser depositados en una fosa o estanque de lodos (Figura 5.1.10). Estos depósitos suelen ser fijos construidos con concreto al momento de instalar una planta asfáltica. Con los sistemas de lavado con agua es común tener un depósito de sedimentación desde el cual el líquido de lavado se lleva al lavador y al que se devuelve el líquido de lavado. Es prácticamente un sistema de circuito cerrado. Cabe mencionar que existen pequeñas pérdidas del líquido de lavado debido a la evaporación de algo de agua.



Figura 5.1.10 Fosa de lodos en la planta asfáltica. Fuente: Elaboración propia.

El principio de estos depósitos es permitir que las partículas recolectadas se asienten del líquido de lavado entre la entrada y la salida del depósito. Cuantas más partículas permanezcan suspendidas en el líquido, menos partículas se eliminarán del gas de escape, lo que provocará que queden más partículas en los gases acumulados.

El flujo del líquido del lavado desde la entrada hasta la salida debe ser lo suficientemente lento como para permitir que las partículas caigan al fondo del depósito, esto se logra mediante la instalación de pequeñas presas en los depósitos (Figura 5.1.11).

En el caso de la planta en estudio, los depósitos son rectangulares, por lo que los vertederos que tiene se dividen en varios rectángulos más pequeños, existe también un aliviadero que permite que el líquido se derrame a la siguiente sección. Es mejor colocar el aliviadero en el extremo opuesto de la sección con respecto a donde se encuentra la entrada o la salida de la sección.

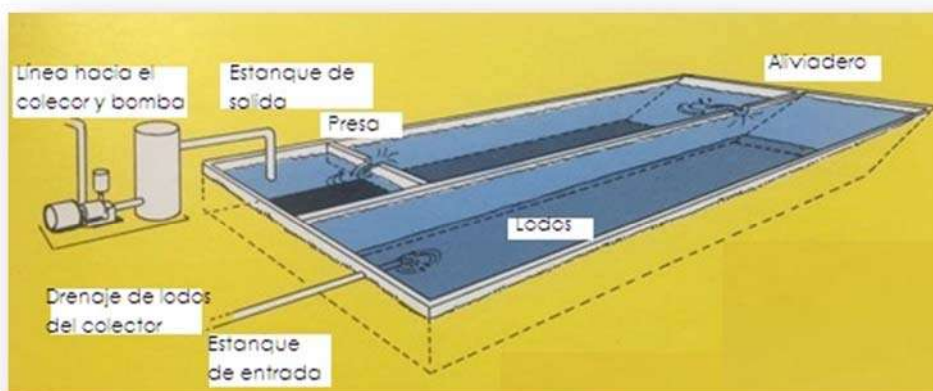


Figura 5.1.11 Configuración de un estanque o fosa de lodos.

Fuente: The fundamentals of the operation and maintenance of the exhaust gas system in a hot mix asphalt facility, NAPA

El asfalto que es inyectado en el tambor mezclador es almacenado en un tanque que se encuentra en las mismas instalaciones de la planta (Figura 5.1.12), está compuesto de un cilindro de sección elíptica, aislado térmicamente con fibra de vidrio y recubierto con lámina de acero inoxidable, este tanque almacena cemento asfáltico y ofrece una capacidad desde 37.850 a 132.475 litros. Utilizando un sistema de bobina de serpentina para alcanzar un área de intercambio de calor de más de 111 m², lo que asegura consistencia en las temperaturas del cemento asfáltico. El tanque viene con chasis de carga pesada con viga I y tren de apoyo con manivelas manuales para tener una mejor estabilidad. El panel de control estándar está montado en el tanque e impermeable al agua, lo que aumenta la durabilidad.

Cuenta con un sistema de paro automático de la bomba de llenado para evitar derrames y uno de recirculación de asfalto a través de la bomba de descarga, para lograr un calentamiento más rápido y homogéneo. También cuenta con un detector de nivel que evita el encendido de quemador, cuando se tiene un nivel muy bajo de asfalto

para evitar que las gasificaciones causen daños físicos al personal o la muerte, así como también daños materiales.



Figura 5.1.12 Tanque de almacenamiento para cemento asfáltico. Fuente: Elaboración propia.

El monitor del tanque de almacenamiento se comunica directamente con el panel de control instalado en la consola de control del equipo, con esto también podrá monitorear la temperatura en el interior del tanque, el nivel y el consumo del asfalto, directamente en la consola.

La mezcla del material se lleva a cabo dentro del mismo tambor, en la sección de mezclado que es la parte final del tambor como se mostró anteriormente, en la cual se aísla totalmente la flama, para evitar algún tipo de contacto directo con el material y a su vez la radiación que esta genera, evitando así la oxidación del asfalto. La inyección de asfalto es la acción de agregar el aglutinante (asfalto) al material virgen (los agregados).

La sección de los álabes de salida de material debe revisarse periódicamente, para evitar así que la mezcla se acumule en esta sección, provocando así un desgaste en las paletas, tambor, dona de álabes y un mayor consumo en los motores

La planta asfáltica cuenta con un elevador montado y abisagrado de arrastre de forma recta (Figura 5.1.13), donde al terminar el mezclado cae la mezcla asfáltica caliente a este elevador de salida, es transportada por un sistema de cadena de arrastre y al final, en la parte superior o elevada se encuentra la tolva receptora y liberadora de mezcla o conocida también como “bacha” que se encarga de descargar el material a una banco de almacenamiento o directamente a un camión de carga.



Figura 5.1.13 Elevador montado donde se descarga la mezcla. Fuente: Elaboración propia.

Por último, otros de los elementos con los que cuenta la planta de asfalto son: la cabina de control (Figura 5.1.14), diseñada para la protección y confort del operador del equipo, así como para proteger la consola de control de factores climatológicos y el polvo que se genera al tener al equipo de operación y el generador de energía (Figura 5.1.15), que es sumamente necesario ya que la planta funciona de manera eléctrica, el cual también se encuentra protegido contra el ambiente que pudiera dañarlo.



Figura 5.1.14 Cabina de control. Fuente: Elaboración propia.



Figura 5.1.15 Generador de energía. Fuente: Elaboración propia

5.2 TRANSPORTE DE LA PLANTA ASFÁLTICA

En cuestión de transporte, al ser una planta móvil se cuenta con gran facilidad de traslado de cada uno de sus componentes, ya que todos están diseñados con chasis metálico, soportes abatibles, patines de transporte para rápido enganche, desenganche y estacionamiento y patas de soporte con altura predeterminada y abatibles.

Para el proceso de traslado de la planta se requieren alrededor de dos camiones, una grúa y maquinaria como retroexcavadora y en cuestión de personal se necesitan alrededor de 6 personas para realizar el trabajo, este procedimiento de traslado de la planta tuvo una duración aproximadamente de 2 días.

Todos los componentes tienen el diseño para poder separarse y así poder ser transportados más fácilmente en un solo tráiler. A continuación se muestra una serie de imágenes que muestran el traslado de la planta desde el punto inicial (Zacapu, Michoacán) al punto donde se pretende ser instalada (Puruándiro, Michoacán).



Figura 5.2.1 Colocación de los neumáticos a las tolvas. Fuente: Elaboración propia



Figura 5.2.2 Transporte de las tolvas dosificadoras. Fuente: Elaboración propia



Figura 5.2.3 Transporte de tambor secador. Fuente: Elaboración propia



Figura 5.2.4 Transporte de tanque de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia



Figura 5.2.5 Transporte del generador de la planta. Fuente: Elaboración propia

5.3 INSTALACIÓN DE LA PLANTA ASFÁLTICA

Después del traslado de los componentes que conforman a planta asfáltica se continúa con el proyecto de instalación de todo el equipo para poder operarla, esta planta tiene un diseño que permite una instalación relativamente rápida y sencilla de sus componentes; sin embargo, para lograr obtener un mayor rendimiento es recomendable adquirir conocimientos básicos de cada elemento del equipo, sobre lo que hay que hacer y lo que no, en cuanto a la instalación de cada uno de estos. Así como conocer la zona donde será colocada y las condiciones de este.

5.3.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA

Puruándiro

Es un municipio del Estado de Michoacán, Se localiza al norte del Estado, en las coordenadas 20°05' de latitud norte y 101°31' de longitud oeste, a una altura de 1,890 metros sobre el nivel del mar, teniendo como temperatura promedio 25°C. Limita al norte con José Sixto Verduzco, al este con el Estado de Guanajuato, al sur con Jiménez y Morelos, y al oeste con el municipio de Angamacutiro y Panindícuaro. Su distancia a la capital del Estado Morelia es de 108 km. Extensión Su superficie es de 722.37 Km² y representa el %1.22 del total del Estado.

Su relieve lo constituyen la depresión del Lerma y el sistema volcánico transversal. Predominan los valles y planicies (Valle de Puruándiro). Tiene cerros, como el Grande, la Campana, los Negros, del Sáuz, Camatarán y Blanco, de la Cruz, de los negros.

Su hidrografía se constituye por los arroyos Cofradía, Tablón, Jazmín, Laguna, Conono, Colorado, entre otros y el clima predominante es templado con lluvias en verano.

El municipio de Puruándiro cuenta con 48 localidades, las cuales son:

- | | |
|--------------------------|-------------------------------------|
| - Batuecas | - El Rincón de Don Pedro |
| - Chamacuero | - El Rodeo de las Rosas (Las Rosas) |
| - Ejido Puruándiro | - Galeana |
| - El Armadillo | - Huatajo |
| - El Fresno de Guadalupe | - Isaac Arriaga (Santa Ana Mancera) |
| - El Granjenal | - Janambo |
| - El Pilar | |
| - El Pueblito | |

- | | |
|--|-----------------------------------|
| - Janamuato | - Manuel Villalongín |
| - La Barranca | - Nuevo Progreso (Casas Viejas) |
| - La Campanita (Colonia la Campanita) | - Nuevo Urén |
| - La Cantera | - Piedras Anchas |
| - La Cofradía | - Potrero del Tablón |
| - La Excusa | - Puruándiro |
| - La Hacienda de Ururuta (Ururuta) | - Sabino Buenavista (El Sabino) |
| - La Higuera | - San Isidro de la Cuesta |
| - La Quemada | - San José del Reparo (El Reparo) |
| - La Quemadita | - San José Otunguitiro |
| - La Soledad de Santa Ana (La Soledad) | - San Lorenzo |
| - Las Letras | - San Miguel |
| - Las Ranas | - San Nicolás |
| - Las Tortugas (Emiliano Zapata) | - San Pedro (San Pedro Carano) |
| - Los Pirules | - Sanguijuelas |
| - Los Reyes | - Santa Clara |
| | - Santa Teresa |
| | - Villachuato |

Villachuato

La planta asfáltica se encuentra en un terreno perteneciente a gobierno del estado, ubicado a orillas de la comunidad de Villachuato, municipio de Puruándiro, del Estado de Michoacán de Ocampo (Figura 5.3.1.1).

Villachuato es un pueblo en crecimiento, se encuentra en las coordenadas GPS: Longitud -101.634722 y Latitud 20.148333. La localidad se encuentra a una mediana altura de 1690 metros sobre el nivel del mar, goza de un clima templado y cuenta con una población total de 3120 personas (datos proporcionados del INEGI).

La ubicación exacta del terreno tiene coordenadas:

Latitud (dec): 20.1264003

Longitud (dec): -101.5967243

La planta asfáltica se encuentra sobre el tramo Zináparo – Villa Morelos (Figura 5.3.6). A unos kilómetros de la ubicación de la planta se encuentra también la comunidad de Janamuato la cual es parte del municipio de Puruándiro también, es más pequeña ya que según el último censo realizado por el INEGI cuenta con 1763 habitantes.



Figura 5.3.1.1 Ubicación de la planta. www.googlemaps.com

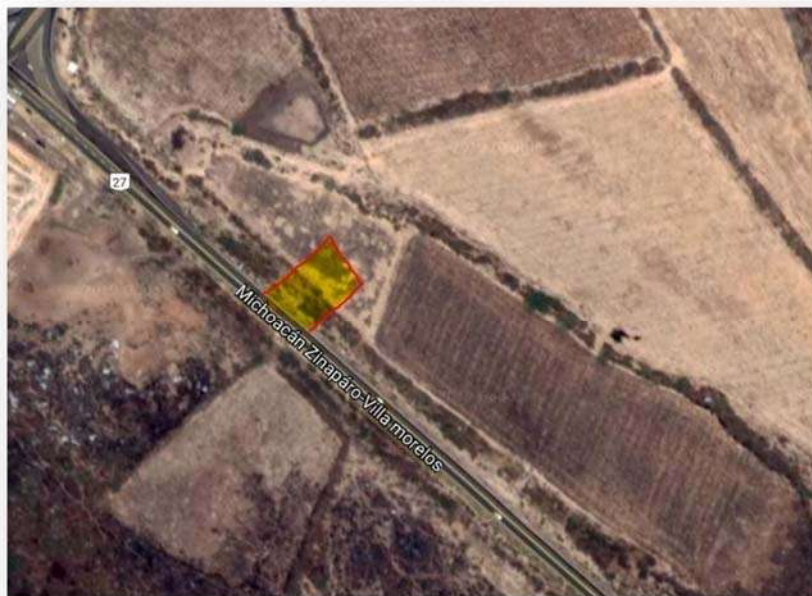


Figura 5.3.1.2 Ubicación del terreno. Fuente: www.googlemaps.com

En cuanto a la red carretera de la zona se puede observar actualmente que en su mayoría se encuentra bastante deteriorada y dañada, con una serie de grietas e incluso desprendimiento de la capa superficial en la mayoría de los tramos pertenecientes a la

zona, a continuación se muestran algunas imágenes de los distintos tramos que atraviesan este municipio con daños en el pavimento (Figura 5.3.1.3 a Figura 5.3.1.6).



Figura 5.3.1.3 Tramo con pavimento dañado.
Fuente: www.googlemaps.com



Figura 5.3.1.4 Tramo con pavimento dañado.
Fuente: www.googlemaps.com



Figura 5.3.1.5 Tramo Zináparo Villa- Morelos.
Fuente: www.googlemaps.com



Figura 5.3.1.6 Tramo Zináparo Villa- Morelos.
Fuente: www.googlemaps.com

5.3.2 PREPARACIÓN DEL TERRENO

Ya ubicada la zona es necesario conocer las condiciones topográficas del terreno donde se pretenda colocar todo el equipo,

Dado que los componentes del equipo son considerablemente pesados y que la estructura puede presentar una vibración constante, es de suma importancia tenerlos montados sobre un terreno plano, compactado y nivelado, para evitar daños tanto a la maquinaria como al área de trabajo que la rodea (Figura 5.3.2.1).



*Figura 5.3.2.1 Terreno limpio y nivelado donde se pretende instalar la planta.
Fuente: Elaboración propia*

5.3.3 INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS

La instalación de la planta asfáltica constará básicamente de las siguientes fases:

- 1) Posicionamiento
- 2) Levante y colocación de los equipos
- 3) Conexiones y tuberías en general

Para poder realizar estas fases será necesaria maquinaria como tracto camión, grúa y retroexcavadora, también pueden ser necesarias algunas herramientas y materiales como: pirómetro, cables de diferentes calibres, varillas para tierra, poliuretano espuma, tuberías, conexiones y accesorios de PVC de diferentes tamaños, durmientes impregnados, válvulas, mangueras, cintas, aceites y grasas, gato hidráulico, juego de llaves, nivel, pala, marro, multímetro, entre otros (Figura 5.3.3.1).

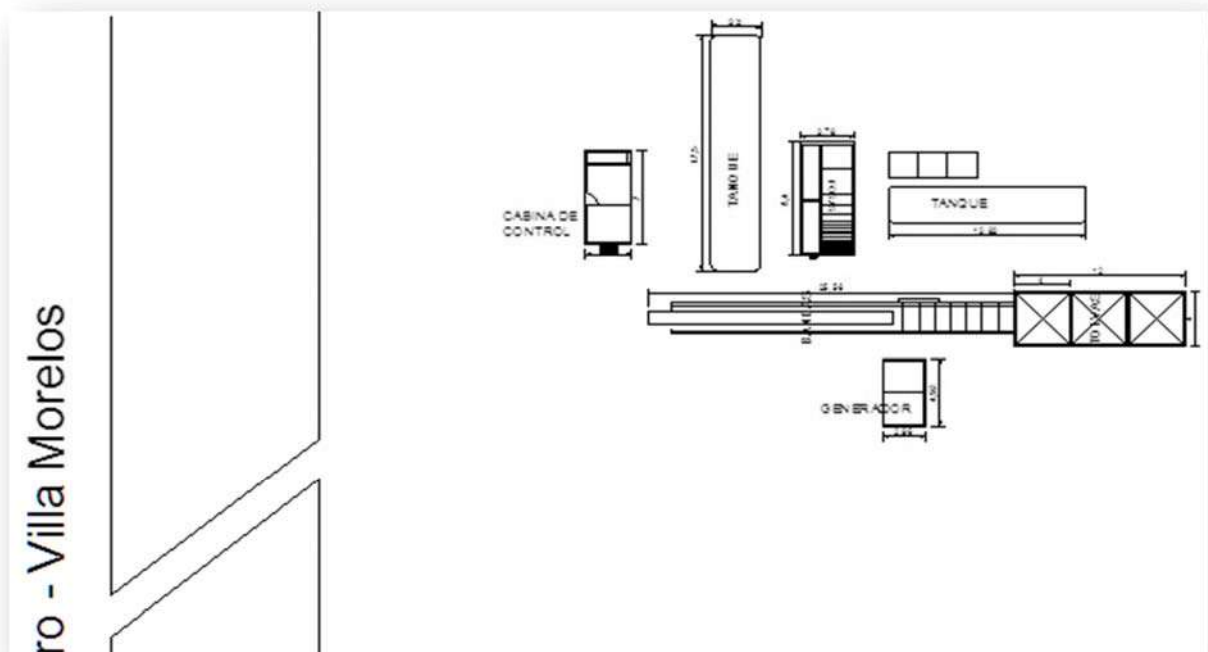


Figura 5.3.3.1 Materiales necesarios para la instalación

En cuestión del personal necesario, la instalación puede realizarse con una brigada de 6 o 7 personas.

1) Posicionamiento

Es indispensable tener una idea clara de la disposición típica de cada uno de los componentes que integran al equipo (Figura 5.3.3.2), con lo que puede evaluar las dimensiones, nivelación y compactación del terreno.



*Figura 5.3.3.2 Croquis de la ubicación de los componentes de la planta.
Fuente: Elaboración propia*

Al contar con una idea del dimensionamiento de sus componentes es necesario considerar elementos que deben ser fijos en el terreno, uno de ellos es una rampa de alimentación a las tolvas dosificadoras.

La unidad de tolvas tiene una altura considerable, esto impide introducir el material directamente sobre la tolva, por lo que tendrá que construir una rampa, se tiene una propuesta de esta para poder planear el posicionamiento de los elementos (Figura 5.3.3.3). Esta puede ser construida con diversos materiales, desde tierra suelta con llantas hasta concreto, dependiendo de la durabilidad que se desee.

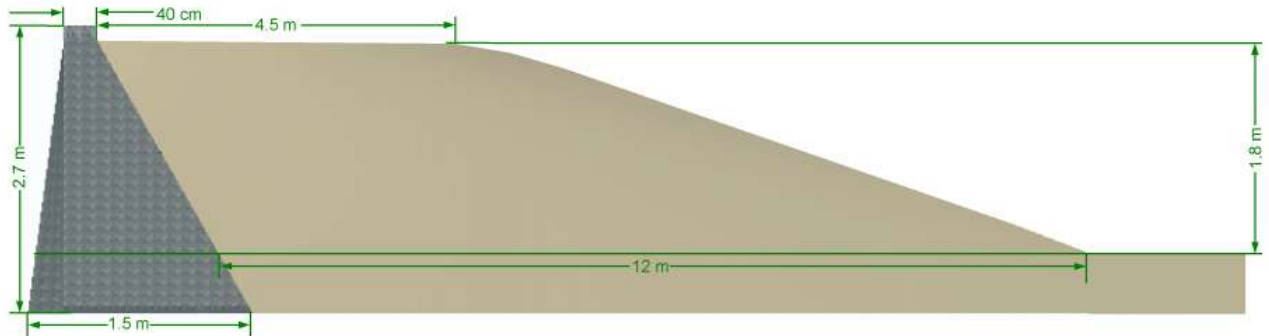


Figura 5.3.3.3 Dimensiones generales de la rampa. Fuente: Elaboración propia.

La rampa se construyó con ayuda de una retroexcavadora, moviendo material suelto y adicionando algunas llantas recicladas para sujetar el material dándole forma a la rampa (Figura 5.3.3.4).



Figura 5.3.3.4 Elaboración de la rampa alimentadora. Fuente: Elaboración propia

Otro elemento es la fosa de lodos (Figura 5.3.3.5), ya que la planta asfáltica en estudio no cuenta con un sistema de recolección de polvos y es necesario tratarlos, actualmente la zona donde se colocará la planta ya cuenta con una fosa con

dimensiones de 8 x 5 m aproximadamente, la cual se pretende seguir en uso y es por eso que es necesario considerarla para proponer el posicionamiento de los elementos.



Figura 5.3.3.5 Fosa de lodos en la actual zona. Fuente: Elaboración propia

Se contempló un área de almacenamiento de los agregados, que esté ubicada a un lado de la planta, para poder tenerlos apilados, estas pilas deberán ser cuidadosamente construidas sobre una superficie limpia y estable y el movimiento de los vehículos y maquinaria cerca de las pilas deberá ser muy estricto para evitar que estas pilas se derrumben.

2) Levante y colocación de los equipos

Es recomendable calzar el equipo sobre durmientes (Figura 5.3.3.6), lo cual permite soportar la vibración del equipo y durabilidad, además sirve para que el equipo sea de un sistema completamente móvil y al momento de calzar revisar que el eje principal de la planta se encuentre nivelado (Figura 5.3.3.7). También realizar una inspección visual del equipo, para cerciorarse que los componentes no presentan algún daño que altere la operación o función específica de cada parte que hayan tenido al haber sido trasladados.



*Figura 5.3.3.6 Colocación de durmientes para calzar el chasis de la planta.
Fuente: Elaboración propia*

Por su peso, se propone que el primer elemento a instalar sea el tanque de almacenamiento de asfalto, con ayuda de un camión colocarlo en la posición planteada, tener listo los durmientes para colocarlos con un gato hidráulico o grúa debajo de los soportes, en el caso de que vayan a ser requeridos y finalmente retirar las llantas de los ejes y una vez colocado es muy importante verificar que haya quedado bien nivelado.



*Figura 5.3.3.7 Nivelación de la base de los equipos.
Fuente: Elaboración propia*

Se continúa con el tambor secador que con ayuda del tracto-camión se puede estacionar en el espacio destinado y con la orientación deseada (Figura 5.3.3.8), se recomienda que este se encuentre de manera perpendicular al tanque de asfalto, buscando la manera en que la parte donde se inyecta el asfalto quede cercana (de 2 a 3 metros) al tanque, de igual manera hay que verificar que el tubo de inyección de asfalto en el tanque de almacenamiento, debe quedar orientado hacia la entrada de asfalto del tambor mezclador.



Figura 5.3.3.8 Colocación del tambor secador. Fuente: Elaboración propia

Cuando la planta ha sido calzada, se realiza el acomodo del ducto de expulsión de gases de escape, para transporte se tenía doblado, para evitar un exceso de dimensiones. Para colocarlo en la posición de trabajo es necesario levantar el ducto, hasta que se obtenga la posición vertical y cuando este sobre la vertical, colocar los tornillos de sujeción para que quede fijo

Después de revisar la nivelación del tambor secador y de verificar el suministro de energía correspondiente, se procede a colocar en posición al elevador de salida de mezcla. El elevador se puede colocar a 45° con respecto al chasis del equipo [Figura 5.3.3.9(a)] o a 135° [Figura 5.3.3.9 (c)], lo cual depende de las limitantes del terreno, aunque la posición ideal es a 90° con respecto al chasis [Figura 5.3.3.9 (b)].

Y ya que el elevador está en la posición de trabajo, revise la nivelación de la bacha, que debe ser igual a 0° con respecto a la horizontal, así como también, la correcta nivelación del equipo en general [Figura 5.3.3.9 (d)].



Figura 5.3.11 Elevador de salida de mezcla. Fuente: www.triaso.com.mx

En seguida colocar el depósito o tanque de combustible, en una posición orientada al quemador del tambor mezclador, a una distancia mínima de 3m con respecto al chasis del tambor.

Como siguiente paso se procede a instalar la unidad de tolvas (Figura 5.3.3.10), este es el elemento que habrá que posicionar en seguida de la rampa. Con ayuda del tractor-camión se colocaron con la separación ideal con respecto a la rampa de alimentación.



Figura 5.3.3.10 Colocación de las tolvas. Fuente: Elaboración propia

Tener listos los durmientes (de ser necesarios) para posicionarlos en los soportes, desmontar la banda alimentadora y colocarla sobre el mismo eje que el tambor secador, verificando que queden unidos y que la banda transportadora llegue al acceso del tambor.

Por último es importante considerar la ubicación y colocación de los demás elementos, como la caseta de control, o un espacio para pruebas de laboratorio.

3) Conexiones y tuberías en general

Una vez colocados los elementos en sus posiciones se deberán realizar las conexiones entre los gabinetes de control y la consola y conectar el equipo al generador o al transformador de la subestación.

En el tanque de almacenamiento de asfalto, se coloca la bomba de descarga y se llevan a cabo las conexiones eléctricas del tanque en su gabinete de control.

Posteriormente se procede a Instalar la manguera de acero inoxidable que une la entrada de inyección de asfalto del tambor con el extremo del tubo que sale de la bomba de inyección de asfalto

En el tambor secador, una vez colocado, conectar la línea de combustible del puerto inferior del depósito. Finalmente realizar las conexiones, revisarlas y a las uniones de la

tubería también, para evitar fugas de combustible y pérdidas de presión, que afectan el sistema de bombeo.



Figura 5.3.3.11 tanque de almacenamiento Fuente: Elaboración propia

En las tolvas y la banda alimentadora realizar las conexiones eléctricas y verificar en el gabinete de control.

Cuando la caseta de control ya se encuentre colocada es necesario verificar e instalar cada una de las conexiones y conectores de los elementos que conforman la planta, después, realizar la conexión del generador eléctrico.

Ya teniendo todo instalado y colocado en su lugar se recomienda realizar la prueba del sistema de control y arranque de motores para después pasar a pruebas de operación.

5.4 OPERACIÓN DE LA PLANTA ASFÁLTICA

Para poder producir mezcla asfáltica en la planta es necesario contar con los materiales necesarios para producirla, que básicamente son los agregados pétreos y el material ligante que será el asfalto.

Para poder obtener agregados pétreos adecuados fue necesario realizar algunos muestreos en los bancos de material cercanos a la zona donde se encuentra la planta, esto para poder seleccionar el material que más convenga y sea de mejor calidad, cumpliendo con las especificaciones de la normativa. Finalmente se obtuvo material de dos diferentes bancos:

El primero fue el banco de Urequio, en el kilómetro 6+500 del camino Panindicuaro Urequio, desviación a la derecha a 1,800 metros (Figura 5.4.1).



Figura 5.4.1 Banco de material cribado. Fuente: Elaboración propia

El segundo fue un banco de material triturado de Tlazazalca, en el kilómetro 48+900 del camino La Piedad–Carapan, desviación a la izquierda 3200 metros (Figura 5.4.2).



Figura 5.4.2 Banco de material triturado. Fuente: Elaboración propia

Al llevar los materiales obtenidos en los muestreos a un laboratorio para realizar las pruebas correspondientes, se realizaron las granulometrías de ambos para realizar un diseño de mezcla por el método Marshall (Figura 5.4.3).

Para ver a detalle los resultados del diseño llevado a cabo revisar reporte en los apéndices al final de este trabajo.



Figura 5.4.3 Pastillas elaboradas en laboratorio para diseño de mezcla. Fuente: Elaboración propia

Después de realizar las pruebas correspondientes se propuso tomar materiales de ambos bancos para realizar una mezcla que cumpliera con la normativa, utilizando en su totalidad de material triturado para las gravas y en las arenas utilizando ambos materiales, en una proporción de 30% con material triturado y 25% con material volcánico (Figura 5.4.4).



*Figura 5.4.4 Acopio de agregados petreos dentro de la zona de la planta asfáltica.
Fuente: Elaboración propia*

El otro elemento fundamental para la mezcla asfáltica es el ligante o asfalto que se va a utilizar, en este caso para la producción se utilizará un PG 64-22, este cemento asfáltico tendrá un desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas tan altas como sesenta y cuatro (64) grados Celsius y tan bajas como menos veintidós (-22) grados Celsius y de acuerdo a la temperatura de la zona es un cemento adecuado.

Para poder operar la planta ya teniendo todo el equipo instalado de manera adecuada es necesario realizar pruebas de operación y habiendo realizado las pruebas de operación y teniendo todo listo y en orden se procede a operar la planta, debido a su diseño se recomienda un operador de planta y un operador de carga principalmente, sin embargo para operarla correctamente es necesario contar con cuatro personas por lo menos y la función con cada uno de ellos es:

- Una persona para monitorear la salida del material en cada tolva, monitoreo y ajuste de bandas dosificadoras y banda colectora.
- Una persona para monitorear la temperatura del tanque de almacenamiento, revisar la bomba de inyección, realizar la descarga y monitorear el nivel del asfalto.

- Una persona para monitorear la flotación del tambor mezclador, presión de aire, presión del combustible, temperatura de salida de mezcla y muestreo de mezcla.
- El operador principal, deberá organizar a su equipo de trabajo para obtener el mayor rendimiento del equipo, además de instruirlos para que su equipo de trabajo realice las maniobras necesarias, para la distribución total de los componentes.

La producción de carpeta asfáltica involucra las siguientes operaciones: dosificación de agregados, calentamiento para eliminación de humedad y recubrimiento asfáltico. La siguiente gráfica muestra la variación de la tasa de producción, conforme el contenido de humedad de los agregados y la altura en la que opera el equipo, esta grafica se puede utilizar para corroborar o tener una idea de la producción en base a las características de la zona y los agregados pétreos.

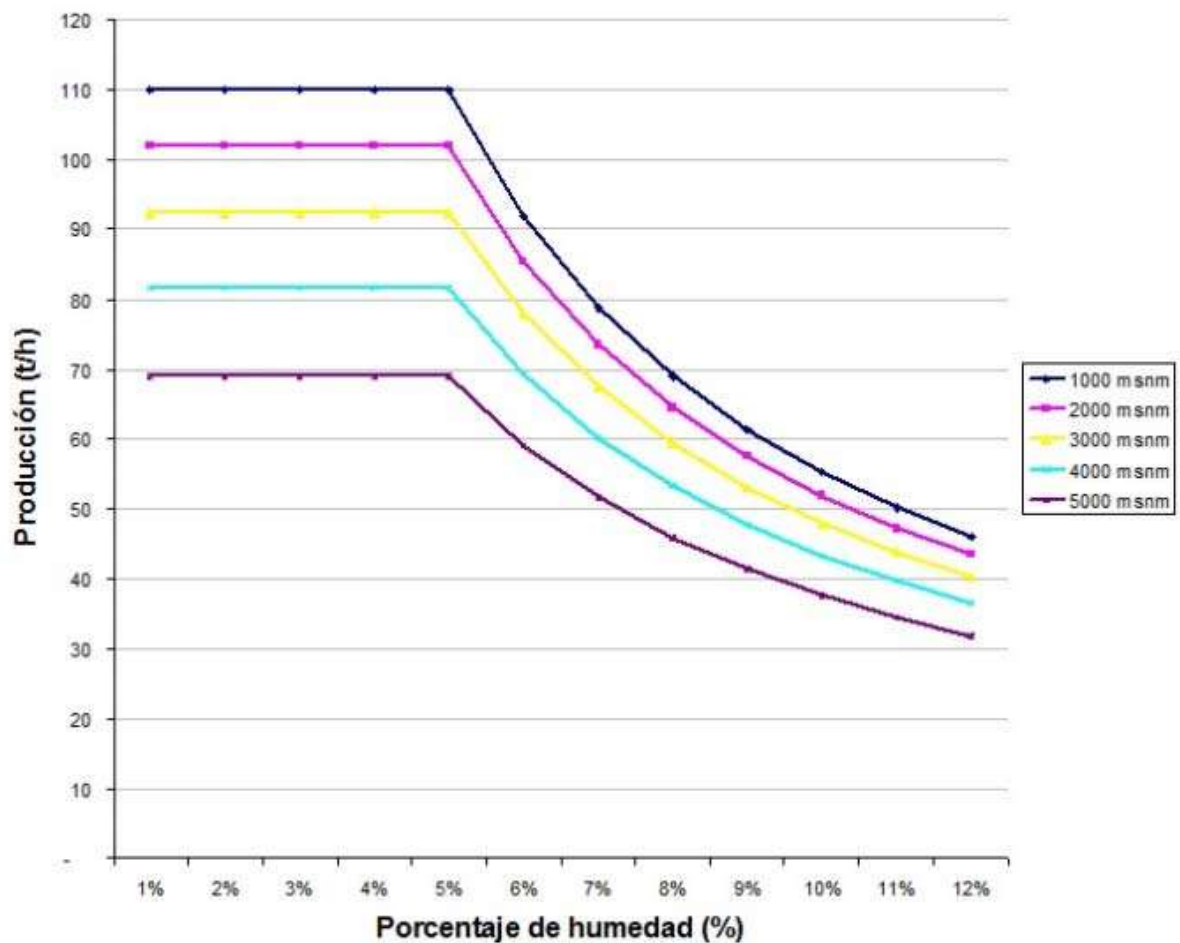


Figura 5.4.5 Variación de producción con respecto al porcentaje de humedad. Fuente: www.triaso.com.mx

Para que una mezcla alcance una granulometría idónea, habrá que considerar bastantes factores, desde el porcentaje ideal de cada material agregado, el peso

específico de cada uno de los materiales, el porcentaje de asfalto, la temperatura de mezclado, porcentaje de humedad de los materiales, etc.

5.4.1 RECOMENDACIONES DURANTE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA

- Verificar que la planta esté trabajando en un correcto balance, teniendo uniformidad y continuidad en la producción.
- Revisar el sistema de secado, ya que de este depende la capacidad de la máquina, debido a que la humedad que contengan los agregados harán que la operación y producción sea más rápida o lenta.
- Tener la precaución de no sobrecargar de agregados el sistema de cribado.
- Sí se llegase a tener un problema con la humedad en los agregados se puede aumentar el calor, quemando más combustible u otra opción, reducir el flujo en los agregados.
- Revisar continuamente las mallas en el sistema de cribado para verificar que no se encuentren rotas o en mal estado.
- Evitar el sobrecalentamiento de la mezcla, ya que esto puede dañar al asfalto, por lo que se debe controlar la temperatura especificada.
- Durante el proceso de producción, verificar la consistencia de la mezcla, siendo que esta muestre una fluidez adecuada.
- Entregar y retirar ordenadamente el material al almacenamiento aproximadamente al mismo ritmo.
- Mantener una operación continua de la planta
- Reconocer los problemas potenciales que pueden ocurrir durante la operación de la planta y describir las medidas apropiadas para prevenir dichos problemas.

Entender las responsabilidades específicas de un supervisor de planta.

6. CONCLUSIONES

Las carreteras son el medio de transporte más usado en México, se cuenta principalmente con la red federal, las redes estatales, los caminos rurales y las brechas. Los pavimentos que constituyen a las carreteras se clasifican generalmente en dos tipos: rígidos y flexibles, donde los pavimentos flexibles han mostrado grandes ventajas en comparación a los rígidos, es por eso que la mayoría de las carreteras están conformadas principalmente por pavimentos asfálticos.

Es importante tener en cuenta que existe una gran variedad de agentes que pueden dañar y ocasionar diferentes fallas en los pavimentos, es por eso que se deben realizar diseños adecuados de las mezclas asfálticas y las capas que los conforman.

Las mezclas asfálticas que se utilizan en los pavimentos flexibles son una combinación de asfalto con agregados minerales pétreos. El asfalto es un producto termo plástico derivado del petróleo y su comportamiento en los pavimentos depende de la temperatura y del tiempo de carga. Los materiales asfálticos se clasifican según la normativa en: cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados. Los agregados pétreos para la elaboración de estas mezclas en general son producto de trituración o cribado.

Existen diferentes parámetros de clasificación de estas mezclas de acuerdo a la normativa. El principal parámetro se basa en la temperatura de colocación, donde se pueden tener mezclas en caliente y mezclas en frío. Las mezclas en caliente se elaboran principalmente en una planta asfáltica y el procedimiento que llevan a cabo en general se puede resumir en seis diferentes pasos: Predosificación de los agregados, secado y calentamiento de estos, eliminación y reincorporación del polvo, almacenamiento y dosificación del asfalto, la mezcla entre agregado y asfalto, y la descarga de la mezcla final.

Las plantas se clasifican en dos tipos generalmente, de producción continua y discontinua, cada una tiene sus ventajas sobre la otra, sin embargo al llevar a cabo una producción de mezcla en una planta discontinua se puede tener un mejor control en la dosificación de los materiales y obtener una mezcla más similar a la de diseño. La desventaja de estas es que suelen ser más costosas debido al equipo que requieren y es más recomendable que se encuentren en un sitio fijo, en cambio las plantas de producción continua tienen la ventaja de tener un costo menor y una mejor facilidad para trasladarse fácilmente de sitio, lo que las hace más comerciables en México. Debido al éxito que han tenido las plantas continuas se han realizado modificaciones y maneras para hacer más eficiente su producción, creando sistemas de doble barril o adaptaciones para utilizar material recuperado de pavimentos asfálticos envejecidos denominado RAP.

El tambor o barril que conforma a las plantas continuas tiene un quemador dentro, el cual define si la planta trabaja con el flujo de la flama paralelo a los materiales o a

contra flujo con ellos. Se ha demostrado que al trabajar con flujo paralelo la mezcla puede tener variaciones en la temperatura durante su mezclado por lo que es más fácil trabajar los materiales a contra flujo.

Dependiendo el tipo de planta y las características que posee se realizan las adaptaciones para utilizar material reciclado. La planta asfáltica en estudio es de producción continua y trabaja con flujo paralelo y a pesar de que no cuenta con un sistema de reciclado de pavimento es importante mencionarlo como una alternativa a futuro, la cual puede beneficiar a los proyectos de rehabilitación de carreteras.

Anteriormente la planta en estudio se encontraba en desuso en el municipio de Zacapu lo cual se estima que con el paso de tiempo la planta comenzaría a deteriorarse desaprovechando la capacidad de producción de mezcla asfáltica que se podría tener al operarla. Es por eso que con la elaboración de este trabajo se ha podido impulsar su instalación donde se espera que llevando un control de producción adecuado (entre 60 y 160 toneladas por hora) pueda abastecer a distintos proyectos del gobierno principalmente. Primeramente se optó por ser instalada en la zona de Puruándiro ya que actualmente es una zona en la que las carreteras muestran gran deterioro, además de ser un punto central entre toda la zona del Bajío del Estado de Michoacán, lo cual sirve para poder iniciar la rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos asfálticos en esta parte del Estado.

También se verificaron los materiales pétreos disponibles y cercanos a la zona, haciendo un muestreo donde se concluyó que la mejor propuesta para abastecer a la planta fue la del banco de material de Tlazazalca, sin embargo, durante el diseño de la mezcla en el laboratorio por el método Marshall se obtuvo una granulometría utilizando materiales de distintos bancos, cuya proporción fue de 45% grava de material triturado y para las arenas y finos, 30% material triturado y 25% material cribado. Y en cuestión al tipo de ligante se tomaron aspectos como el tipo de mezcla, la categoría del tráfico y el clima de la zona en que se pretenda construir el tramo o carretera por lo que se propuso trabajar con un PG 64-22.

El espacio donde se colocó la planta se mantiene limpio y plano, cuenta con corrientes de agua, dirección principal del viento, proximidad con el sitio de trabajo, suelo sólido y firme. Durante la instalación se buscó la manera más óptima para que el suelo donde se colocaron los componentes de la planta se encontrara totalmente nivelado. La instalación de la planta se resume en tres principales pasos, que fueron el posicionamiento de los equipos, la colocación de estos y las conexiones necesarias tanto tuberías como conexiones eléctricas. Ya instalados los equipos se calibraron para realizar el proporcionamiento de material pétreo en las tolvas y la inyección de asfalto de acuerdo con el diseño, el cual dio como resultado en el diseño un 6% de contenido.

Afortunadamente durante la investigación de este trabajo se inició el proyecto de instalación de la planta asfáltica, en un proceso desde el transporte de los equipos hasta las pruebas de operación finales con una duración aproximada de 4 meses, actualmente la planta asfáltica se encuentra lista para operar.

7. GLOSARIO

Abatible: Que se puede abatir o que puede pasar de la posición vertical a la horizontal y de la horizontal a la vertical.

Abrasión: Acción de quitar o arrancar algo mediante fricción. Se denomina abrasión a la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material o tejido.

Acuaplaneo: Es la situación en la que un vehículo atraviesa en la carretera a cierta velocidad una superficie cubierta de agua, llevándolo a una pérdida de tracción y control del mismo por parte del conductor.

Activos: Valor total de lo que posee una sociedad comercial.

Adyacente: Que está muy próximo o unido a otra cosa.

Aglomerante: Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto, por efectos de tipo exclusivamente físico.

Agregado pétreo: Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras

Álabe: Diente de la rueda de un mecanismo dispuesto de manera que al pasar una lengüeta, varilla o mazo lo levanta y deja caer después.

Anión: Es un ion con carga eléctrica negativa, es decir, que ha ganado más electrones.

Asfalto: Mineral negro de origen natural u obtenido artificialmente por destilación del petróleo.

Autopista: Vía de comunicación entre poblaciones reservada a la circulación exclusiva de vehículos automóviles, que dispone de calzadas separadas para ambos sentidos por una mediana, accesos y salidas independientes, cruces o pasos a distinto nivel, y carece de acceso directo a las propiedades colindantes.

Baches: Roturas en la superficie que penetran hasta la base o por debajo de ella.

Banco de material: Aquel lugar previamente estudiado y que está constituido por roca o material granular susceptible de ser utilizado en la construcción.

Bisagra: Mecanismo para la apertura o cierre de una puerta, ventana o tapa o para articular dos superficies; consiste en dos piezas metálicas o de plástico que están articuladas por un eje común y se fijan en dos superficies separadas, generalmente una móvil y otra fija, como una puerta o ventana y su marco, y permite el giro de una de estas piezas sobre la otra para juntar o separar las superficies.

Brecha: Camino empedrado, terracería de alguna forma no concreta.

Capa de rodadura: Capa superior del pavimento formado por mezclas bituminosas.

Carretera: Vía de comunicación, generalmente interurbana, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles.

Catión: Es un ion con carga eléctrica positiva, es decir, que ha perdido electrones. Los cationes se describen con un estado de oxidación positivo.

Chasis: Consiste en una estructura interna que sostiene los diferentes vehículos, y aporta rigidez y da forma a un vehículo u objeto en su construcción y uso.

Cohesivo: Que mantiene una unión estrecha

Combustible: Sustancia o materia que al combinarse con oxígeno es capaz de reaccionar desprendiendo calor, especialmente las que se aprovechan para producir calor.

Compacto: Que tiene una estructura apretada y poco porosa.

Concesión: Acción de otorgar una administración a particulares o empresas el derecho para explotar alguno de sus bienes o servicios durante un tiempo determinado.

Conservación de carreteras: Trabajos encaminados a mantener un adecuado nivel de servicio de las carreteras.

Construcción: Acción de construir

Cribar: Pasar una materia por una criba para separar las partes finas y las gruesas o para limpiarla de impurezas.

Cristalización: Proceso químico por el cual, a partir de un gas, un líquido o una disolución, los iones, átomos o moléculas establecen enlaces hasta formar una red cristalina

Cuota: Parte o porción fija y proporcional que se paga por un servicio.

Decantación: Es un método físico utilizado para la separación de mezclas, se usa para separar un sólido de uno o dos líquidos, uno más denso que otro que ocupará la parte inferior de la mezcla.

Denso: Que tiene mucha materia o masa con relación a su volumen.

Dentado: Que tiene dientes, filo de sierra o muescas en el borde.

Derrapar: deslizarse de costado; generalmente es usado para referirse a los autos cuando patinan de costado.

Desmantelar: Derribar o desmontar algo, especialmente clausurar o demoler un edificio u otro tipo de construcción con el fin de interrumpir o impedir una actividad.

Drenar: Hacer salir el exceso de agua de un lugar.

Dúctil: Que es capaz de cambiar y transformar su forma por presión.

Durmiente: Madero colocado horizontalmente sobre el cual se apoyan otros, horizontales o verticales.

Eje equivalente: Cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente de 18 kips (8,16 t = 80 kN) para un periodo determinado, utilizamos esta carga equivalente por efectos de cálculo ya que el transito está compuesto por vehículos de diferente peso y numero de ejes.

Emulsión: Es un proceso que consiste en la mezcla de dos líquidos diferentes que no se puedan mezclar, es decir, que sean inmiscibles entre sí.

Estacionaria: Que se mantiene en el mismo lugar, estado o situación durante cierto tiempo, sin adelantarse ni retroceder.

Etimología: Origen o procedencia de las palabras, que explica su significado y su forma.

Extractor: Aparato o pieza para extraer una cosa.

Filler: Es un material finamente molido o pulverizado, cuyo tamaño de partículas pasan por el tamiz número 200 (0.075 mm).

Fisura: Abertura alargada y con muy poca separación entre sus bordes

Fresado: Consiste principalmente en el corte del material que se mecaniza con una herramienta rotativa de varios filos.

Fricción: Rozamiento entre dos cuerpos en contacto, uno de los cuales está inmóvil.

Guarnición: Es el colado que contiene la losa de la banqueta que por lo general se pinta de amarillo o blanco.

Granulometría: Es el estudio de la distribución estadística de los tamaños de una colección de elementos de un material sólido fraccionado

Helicoidal: Que tiene forma de hélice.

Hidrocarburo: Compuesto químico formado por carbono e hidrógeno.

Hidrografía: Parte de la geografía física que estudia y describe los mares, los ríos, los lagos y otras corrientes de agua.

Homogéneo: Que está formado por elementos con características comunes referidas a su clase o naturaleza, lo que permite establecer entre ellos una relación de semejanza y uniformidad.

Infraestructura carretera: Es todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro.

Inmersión: Introducción completa de un cuerpo en un líquido.

Intemperismo: Es el proceso de transformación química de las rocas en suelo.

Laja: Piedra grande no tallada ni esculpida, lisa, plana y no muy gruesa.

Ligante: Producto que pega o aglutina los pigmentos a la superficie del cuero, formando una película o film de acabado.

Macadam: Material de construcción que está constituido por un conjunto de áridos, de granulometría discontinua, obtenido extendiendo y compactando un árido grueso cuyos huecos se rellenarán con un árido fino denominado recebo. Pavimento formado con piedra machacada y arena y prensado con rodillos compresores.

Macrotextura: Textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados

Mantenimiento: Conservación de una cosa en buen estado o en una situación determinada para evitar su degradación.

Materiales granulares: Fragmentos de roca producidos por acciones erosivas. Su tamaño y forma depende de: la calidad de la roca madre de donde se originaron, del grado de meteorización, y del desgaste que haya sufrido durante el transporte.

Mezcla asfáltica: Combinación de asfalto con agregados minerales pétreos, en proporciones de acuerdo a las propiedades de la mezcla que se deseen.

Microaglomerado: También conocido como slurry, slurry asfáltico o lechada bituminosa, es una técnica de conservación de pavimentos que aplicada adecuadamente, constituye una solución económica, ecológica, eficaz y eficiente a muchos problemas no estructurales de carreteras y viales con firmes asfálticos.

Micrón: Unidad de presión que equivale a 10⁻⁶ o 10⁻³ metros de mercurio.

Miscibilidad: Término usado en química que se refiere a la propiedad de algunos líquidos para mezclarse en cualquier proporción, formando una disolución.

Multímetro: Instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas, como corrientes y potenciales, o pasivas, como resistencias, capacidades y otras.

Naftaleno: Fórmula química: C₁₀H₈) es un sólido blanco que se volatiliza fácilmente y se produce naturalmente cuando se queman combustibles.

Normativa: Norma o conjunto de normas por las que se regula o se rige determinada materia o actividad.

Óptimo: Que es extraordinariamente bueno o el mejor, especialmente en lo que se refiere a las condiciones o características de una cosa, por lo cual resulta muy difícil o imposible encontrar algo más adecuado

Oxidación: Fenómeno químico en virtud del cual se transforma un cuerpo o un compuesto por la acción de un oxidante, que hace que en dicho cuerpo o compuesto aumente la cantidad de oxígeno y disminuya el número de electrones de alguno de los átomos.

Parafina: Sustancia sólida, blanca, translúcida, inodora y que funde fácilmente, que se obtiene de la destilación del petróleo o de materias bituminosas naturales y se emplea para fabricar velas y para otros usos.

Pavimento: Estructura compuesta por capas, que a su vez están constituidas por diferentes materiales los cuales tienen diferentes funciones. Los pavimentos son diseñados para resistir cargas verticales y para soportar cambios de temperatura y lluvia y al menos una de sus capas está constituida por una mezcla asfáltica

Peaje: Pago correspondiente a los derechos de tránsito o circulación por determinados lugares, como algunas autopistas, puentes, túneles, aduanas, etc.

Permeable: Que deja pasar agua u otro líquido a través de sus poros.

Peso específico: Relación entre el peso de una sustancia y su volumen.

Planta asfáltica: Es un conjunto de equipos mecánicos y electrónicos en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con asfalto para producir una mezcla asfáltica en caliente (a grandes temperaturas), que debe cumplir con ciertas especificaciones y que se utilizan para la construcción de superficies de rodamientos.

Polímero: Sustancia química que resulta de un proceso de polimerización. Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones, algunas más se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales.

Proyecto: Idea de una cosa que se piensa hacer y para la cual se establece un modo determinado y un conjunto de medios necesarios.

Quemador: En general, se conoce como quemador a todo dispositivo que facilita la mezcla de un combustible y un comburente y en el que se produce la combustión.

Reblandecimiento: Poner blanda o más blanda una cosa.

Rehabilitación: Conjunto de técnicas y métodos que sirven para recuperar una función o actividad del cuerpo (en este caso una carretera), que se ha perdido o dañado

Reología: Parte de la física que estudia la viscosidad, la plasticidad, la elasticidad y el derrame de la materia.

Requerimiento: Petición de una cosa que se considera necesaria, especialmente el que hace una autoridad.

Riego de sello: Tratamiento superficial que requiere la adherencia completa de un ligante asfáltico a una gravilla que es aplicada posteriormente.

Rodera: Huella o surco que al pasar deja una rueda en el suelo.

Sedimentar: Proceso por el cual se depositan o precipitan los materiales transportados por distintos agentes y procedentes de la erosión y la meteorización de las rocas, pasando a ser sedimentos.

Solvente: Sustancia que puede disolver.

Subbase: Superficie de suelo preparada sobre la que se ha de construir un cimientado o pavimento.

Subrasante: Capa en la que se apoya la estructura del pavimento

Termoplástico: Adjetivo que permite calificar al material que resulta maleable ante el calor. En otras palabras: un termoplástico, al encontrarse a una temperatura elevada, pierde su estado rígido y se deforma. Los termoplásticos, cuando son calentados, se funden y se derriten.

Tolva: Recipiente en forma de pirámide o cono invertido, con una abertura en su parte inferior, que sirve para hacer que su contenido pase poco a poco a otro lugar o recipiente de boca más estrecha.

Tonelada: Unidad de masa del Sistema Internacional, de símbolo t, que es igual a 1000 kilogramos.

Trabajabilidad: engloba varias propiedades interdependientes como la consistencia, la cohesión (adherencia interna), la tendencia a la homogeneidad, la plasticidad y la tixotropía.

Tránsito vehicular: Fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista.

Trascender: Pasar de un ámbito a otro, atravesando el límite que los separa.

Troncocónico: Que tiene forma de tronco de cono.

Vereda: Camino estrecho que se ha formado por el paso de personas y animales.

Viscosidad: Es una medida de la resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.

Volátil: Que se volatiliza fácilmente en contacto con el aire.

8. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Alberto, C. G. (2013). *“Estudio de mezclas asfálticas colocadas en vías de la región amazónica del Ecuador mediante pruebas de desempeño”*. Ecuador: Tesis.

ASTEC. (1998). *“Fresado y Reciclaje de pavimentos”*. Madrid: Revista Potencia Vol. 403.

Borla, R. (2008). *Dos mil años de chapopote*. La Jornada.

García, J. (2001). *“Equipos y maquinaria para el reciclado en caliente”*. Barcelona: Asociación Española de la Carretera.

Ibarra, J. A. (2003). *“Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta”*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona: Tesis doctoral .

Institute, A. (1993). *“Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types”*. Manual Series No. 3.

National Asphalt Pavement Association (NAPA), History of Asphalt

PDACDMX. (2000). *Planta de Asfalto del Distrito Federal*. CDMX: Casa editorial Oros.

Plata, U. N. (2019). *Operación de planta de concreto asfáltico de producción continua* . Argentina: Curso de caminos I.

Revista Performance, Octubre 2010. Mezclas asfálticas en caliente “el caso por la sostenibilidad”, Historia de Asfáltica número 23.

Rodrigo, B. (18 de marzo de 2008). *Dos mil años de chapopote*. La jornada.

S.N.C., Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (1994). *Historia de los Caminos de México* . México: Tomo 1, 2, 3.

Vasconcelos Savasini Kamila, 28 de junio, 2018. Adaptaciones necesarias en las plantas para el reciclado en caliente de las mezclas asfálticas.

Zamudio, T. (2011). *Historia y Evolución de las Mezclas Asfálticas en las Carreteras de México*. México: Primera edición, Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. (AMAAC).

Normativas SCT

Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), N-CMT-4-04/08 Características de los Materiales, Materiales para pavimentos, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas

Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), N-CMT-4-05-002/06 Características de los Materiales, Materiales para pavimentos, Calidad de Materiales Asfálticos Modificados

Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), N-CMT-4-05-001/06 Características de los Materiales, Materiales para pavimentos, Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), N-CMT-4-05-003/08 Características de los Materiales, Materiales para pavimentos, Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras.

Páginas de internet Consultadas

<http://www.periodicoelsur.com/noticia.aspx?idnoticia=39016>

<https://www.admasphaltplants.com/es/plantas-de-asfalto-de-la-serie-spl>

<http://www.periodicoelsur.com/noticia.aspx?idnoticia=39016>

http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Datos-Viales-2013/Velocidad/16_MICHOACAN.pdf

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/14/34065-14.pdf>

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/Capitulo4.pdf>

<https://lavozdemichoacan.com.mx/regional/acuerdan-alcaldes-y-la-scop-mejora-de-carreteras-de-la-region-de-puruandiro/>

<http://www.BeyondRoads.com>

<http://www.pabasa.mx/>

<http://www.astecinc.com>

<http://www.hardinpaving.com>

<https://rotativo.com.mx/2018/03/29/noticias/locales/san-juan-del-rio/cruzan-autopista-mexico-queretaro-mas-de-120-vehiculos-por-minuto-695711/>

<https://rafaelprietoc.wordpress.com/2013/07/05/175-kilometros-en-la-carretera-del-sol/>

<https://www.eluniversal.com.mx/autopistas/las-carreteras-mas-importantes-de-mexico>

<https://regeneracion.mx/paciencia-intensa-carga-vehicular-en-la-mexico-cuernavaca/>

<https://www.mexicoenfotos.com/estados/guanajuato/irapuato/carretera-panamericana-MX12182472851551>

<http://www.simmexsa.com/>

<http://www.triaso.com.mx>

<https://www.gob.mx/sct/articulos/programa-nacional-de-infraestructura-carretera-2018-2024-185945?idiom=es>

9. APENDICES

INFORME DE CALCULO MARSHALL PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

Informe No.: CCC-FOR-TC-I019-LT1-006-001-0002-00-19

SOLICITANTE:		PLANTA DE ASFALTO													
OBRA:		CARRETERA CUITZEO - ZINAPARO TRAMOS AISLADOS													
LOCALIZACION:		ESTADO DE MICHOACAN													
ENVIADA POR:		PERSONAL DEL LABORATORIO				TRAZABILIDAD		ID FORMATO		FORTEC-R030		Consecutivo		00002	
														Año 2019	
														FECHA:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
														SIN ADITIVO	
														PG 64-22	
														3/4"	
														MATERIALES:	
														BANCOS UREQUIO Y TLAZALCA	
														TAMANO MAXIMO:	
														MATERIAL ASFALTICO:	
														ADITIVO EMPLEADO:	
														2 DE DICIEMBRE DEL 2019	
		</													