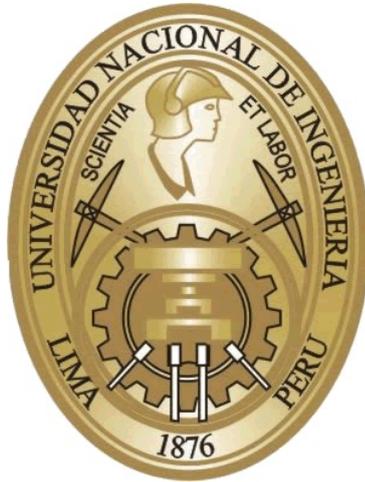


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO, GAS NATURAL Y
PETROQUÍMICA**



**ESTUDIO TÉCNICO PARA LA OBTENCIÓN DE ASFALTO DE ALTO
ÍNDICE DE PENETRACIÓN Y ASFALTO OXIDADO A PARTIR DE UNA
PLANTA DE OXIDACIÓN DE ASFALTO**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO PETROQUÍMICO

ELABORADO POR:

FÉLIX ALFREDO SALAZAR RODRÍGUEZ

PROMOCIÓN 2012 –1

LIMA – PERÚ

2013

A la bondad divina de DIOS y por ende a las personas que
más quiero; de manera muy especial a mi familia quienes
supieron apoyarme en todo momento.

**ESTUDIO TÉCNICO PARA LA OBTENCIÓN DE ASFALTO DE ALTO
ÍNDICE DE PENETRACIÓN Y ASFALTO OXIDADO A PARTIR DE UNA
PLANTA DE OXIDACIÓN DE ASFALTO**

1. Problemática	Pág. 1
1.1 Introducción	Pág. 2
1.2 Planteamiento del problema	Pág. 3
1.3 Objetivos	Pág. 5
1.3.1 Objetivo general	Pág. 5
1.3.2 Objetivos específicos	Pág. 5
1.4 Hipótesis	Pág. 6
2. El asfalto	Pág. 7
2.1 Obtención del asfalto	Pág. 7
2.2 Fisicoquímica del asfalto	Pág. 8
2.2.1 Asfaltenos	Pág. 8
2.2.2 Resinas	Pág. 8
2.2.3 Aromáticos	Pág. 8
2.2.4 Saturados	Pág. 9
2.3 Asfaltos refinados en el Perú	Pág. 9
2.3.1 Cementos asfálticos	Pág. 9
2.3.2 Asfaltos líquidos	Pág. 9
2.3.3 Emulsiones asfálticas	Pág. 10
2.3.4 Asfalto producido por PETROPERU	Pág. 10
2.3.5 Asfalto producido por Repsol	Pág. 11
2.4 Especificaciones técnicas	Pág. 11
2.4.1 Especificaciones técnicas peruanas	Pág. 11
2.4.2 Especificaciones técnicas internacionales	Pág. 15
2.5 Ensayos de laboratorio	Pág. 17
2.5.1 Penetración	Pág. 17
2.5.2 Punto de ablandamiento	Pág. 17
2.5.3 Índice de penetración	Pág. 18
2.5.4 Pérdida por calentamiento	Pág. 19
2.5.5 Gravedad específica	Pág. 19
2.5.6 Punto de inflamación	Pág. 20

2.5.7	Ductilidad	Pág. 20
2.5.8	Ensayo de película delgada en horno	Pág. 20
2.5.9	Solubilidad	Pág. 20
2.5.10	Viscosidad cinemática	Pág. 21
2.5.11	Revestimiento-desprendimiento	Pág. 21
2.5.12	Ensayo de oliensis	Pág. 21
2.6	Selección de tecnología	Pág. 22
2.6.1	Asfalto modificado con polímeros	Pág. 22
2.6.2	Asfalto de alto índice de penetración y oxidados	Pág. 23
2.6.3	Comparación de resultados	Pág. 23
2.6.3.1	Asfaltos para pavimentación	Pág. 23
2.6.3.2	Asfaltos de uso industrial	Pág. 25
2.6.4	Resumen comparativo	Pág. 27
2.7	Legislación ambiental	Pág. 30
3.	Estudio de mercado	Pág. 32
3.1	Materia prima	Pág. 33
3.2	Demanda de asfalto sólido	Pág. 38
3.3	Oferta de asfalto sólido	Pág. 41
3.4	Demanda de asfalto de alto índice de penetración	Pág. 42
3.5	Demanda de asfalto oxidado	Pág. 45
3.6	Capacidad de procesamiento de la refinería Conchán	Pág. 47
3.7	Precios en el mercado nacional	Pág. 48
4.	Descripción del proceso	Pág. 50
4.1	Proceso de oxidación de asfalto	Pág. 50
4.1.1	Proceso de oxidación en la planta piloto	Pág. 51
4.1.1.1	Temperatura de alimentación	Pág. 52
4.1.1.2	Datos de alimentación	Pág. 52
4.1.1.3	Tecnología de la planta piloto	Pág. 52
4.1.1.4	Tiempo de residencia en el reactor	Pág. 53
4.1.1.5	Caudal de aire	Pág. 53
4.1.1.6	Temperatura inicial de oxidación	Pág. 53
4.1.1.7	Temperatura final de oxidación	Pág. 53
4.1.1.8	Presión de reacción	Pág. 54
4.1.2	Proceso de oxidación a escala industrial	Pág. 54

4.1.2.1 Especificación de la carga	Pág. 54
4.1.2.2 Alimentación	Pág. 54
4.1.2.3 Reactor	Pág. 55
4.1.2.4 Control de temperatura del reactor	Pág. 56
4.1.2.5 Obtención de asfalto oxidado	Pág. 57
4.1.2.6 Obtención de asfalto de alto índice de penetración	Pág. 57
4.1.2.7 Descarga del producto	Pág. 57
4.1.2.8 Enfriamiento del asfalto oxidado	Pág. 58
4.1.2.9 Enfriamiento del asfalto de alto índice de penetración	Pág. 58
4.1.2.10 Condensador	Pág. 58
4.1.2.11 Decantador	Pág. 59
4.1.2.12 Incinerador de gases	Pág. 59
4.1.3 Condiciones de operación no deseadas	Pág. 60
4.2 Mecanismo de oxidación del asfalto	Pág. 60
4.3 Variables de operación	Pág. 62
4.3.1 Flujo de aire inyectado	Pág. 62
4.3.2 Temperatura de reacción	Pág. 64
4.3.3 Tiempo de residencia	Pág. 66
4.3.4 Presión de reacción	Pág. 70
4.4 Condiciones de operación	Pág. 72
5. Evaluación técnica	Pág. 73
5.1 Ubicación del proyecto	Pág. 73
5.1.1 Justificación de la ubicación	Pág. 73
5.1.1.1 Materia prima	Pág. 74
5.1.1.2 Transporte de materia prima	Pág. 74
5.1.1.3 Combustible	Pág. 74
5.1.1.4 Suministro de energía eléctrica	Pág. 74
5.1.1.5 Suministro de agua	Pág. 74
5.1.1.6 Infraestructura	Pág. 75
5.1.1.7 Mano de obra	Pág. 75
5.2 Tamaño de planta	Pág. 75
5.3 Dimensionamiento de la planta piloto	Pág. 77

5.4 Dimensionamiento de la planta a nivel industrial	Pág. 79
5.4.1 Tanque de almacenamiento de asfalto	Pág. 79
5.4.2 Bomba de alimentación	Pág. 79
5.4.3 Intercambiador de calor	Pág. 80
5.4.4 Compresor de aire a tornillo	Pág. 80
5.4.5 Oxidador	Pág. 81
5.4.6 Agitador en el interior del reactor	Pág. 81
5.4.7 Instrumentación de campo y cañerías	Pág. 82
5.4.8 Bomba de producto	Pág. 82
5.4.9 Decantador	Pág. 82
5.4.10 Horno incinerador	Pág. 83
5.5.10.1 Cámara de combustión	Pág. 83
5.5.10.2 Quemador primario	Pág. 83
5.5.10.3 Chimenea	Pág. 84
5.5 Rendimiento del proceso	Pág. 84
5.6 Servicios industriales	Pág. 84
5.7 Requerimiento de área de terreno	Pág. 85
5.8 Requerimiento de mano de obra	Pág. 85
5.9 Vida útil de las unidades	Pág. 86
6. Evaluación económica	Pág. 87
6.1 Valorización de la materia prima	Pág. 87
6.1.1 Aire	Pág. 87
6.1.2 Agua de enfriamiento	Pág. 88
6.1.3 Base asfáltica	Pág. 88
6.2 Valorización de productos	Pág. 89
6.2.1 Valorización del asfalto de alto índice de penetración	Pág. 89
6.2.2 Valorización del asfalto oxidado	Pág. 90
6.3 Capital fijo de inversión	Pág. 91
6.3.1 Costos directos	Pág. 92
6.3.2 Costos indirectos	Pág. 96
6.4 Costos de operación	Pág. 97
6.4.1 Costos fijos de operación	Pág. 97
6.4.2 Costos variables de operación	Pág. 99

6.5 Gastos generales	Pág. 101
6.6 Evaluación de la inversión	Pág. 101
6.6.1 Indicadores de rentabilidad	Pág. 105
7. Conclusiones y recomendaciones	Pág. 107
7.1 Conclusiones	Pág. 107
7.2 Recomendaciones	Pág. 110
Bibliografía	Pág. 111
Consultas a páginas web	Pág. 113
Anexos	Pág. 114
Anexo I: Puesta al día de los costos directos	Pág. 115
Anexo II: Puesta al día de los costos indirectos	Pág. 117
Anexo III: Flujo de caja económico y financiero del proyecto	Pág. 119
Glosario	Pág. 130
Nomenclatura	Pág. 132

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA

En este capítulo se pretende mostrar el panorama presente y las proyecciones para los siguientes años en lo referente a las reservas de crudo y la tendencia de la refinación tanto a nivel mundial como en la industria peruana.

Se plantea la problemática actual en el mercado peruano debido al uso de cemento asfáltico convencional, el cual presenta características deficientes frente a nuevas alternativas ampliamente difundidas en el mercado internacional.

El objetivo principal y secundario es el siguiente punto a tratar en este capítulo, en el se plantea lo que se desea lograr con este trabajo; la hipótesis es el último tema descrito, el cual pretende resolver la problemática anteriormente descrita.

1.1 INTRODUCCIÓN.

Los hidrocarburos son los principales productores de energía del planeta. Debido a esto, las reservas de petróleo son un indicador de gran importancia para el mercado de petróleo crudo, son uno de los pilares de las finanzas y la planeación de las compañías petroleras y de los países productores.

Las reservas de crudos depositadas en el subsuelo a nivel mundial, aproximadamente un 30% en volumen corresponde a crudos convencionales (crudos livianos y medianos); mientras que el 70% restante en volumen, corresponde a crudos pesados, extra pesados y bitúmenes. Las proyecciones indican que las reservas de crudos convencionales declinarán gradualmente con el transcurrir de los años mientras que las reservas de crudos pesados y extra pesados se incrementarán. El petróleo pesado se define como petróleo entre 10 a 22.3°API. Los petróleos de 10°API o menor densidad se conocen como extra pesados.

El desarrollo de la explotación de petróleo pesado empezó a finales del siglo pasado y se ha acelerado particularmente en los últimos años con el resurgimiento en la escena mundial de las grandes reservas de Venezuela y Canadá. Este crecimiento ha sido impulsado principalmente por factores como la menor disponibilidad de crudos

livianos, el encarecimiento de éstos y el surgimiento de avances tecnológicos que han reducido los costos de producción en las áreas de explotación.

En base a lo anterior, la explotación de crudo pesado se ha convertido en un recurso estratégico a nivel mundial, más aún si se tiene en cuenta que las posibilidades de encontrar yacimientos gigantes de crudo liviano son cada vez más escasas. En este sentido, se tiene previsto para los próximos 10 años, un incremento de la explotación de crudo pesado de hasta un 44% a nivel mundial.

El escenario comercial peruano en la actualidad es deficitario de crudo. En el año 2011 la producción nacional de crudo fue de casi 70 mil barriles diarios, con tendencia a la baja; esto se debe a la disminución en la producción de petróleo convencional (crudo ligero y medio).

Esta situación puede revertirse con la puesta en producción de los proyectos de crudo pesado en desarrollo en el Perú, ubicados en la selva norte (Cuenca del Marañón-Noreste de Perú); siendo los de mayor envergadura los siguientes: el Lote 67 (Perenco), el Lote 39 (Repsol); los cuales tienen contrato de explotación y exploración, respectivamente; y el Lote 1AB (Pluspetrol), que está actualmente en producción. De ellos el más importante es el lote 67, cuyos campos tienen un potencial de producción de más de 60 000 barriles de crudo pesado por día.

La capacidad de producción del lote 67 y el potencial de descubrimientos actuales y futuros de lotes vecinos a él, ha impulsado a la empresa estatal peruana PETROPERU S.A a iniciar un proyecto en dicha zona denominado: Proyecto de Transporte de Crudos Pesados, cuyo objetivo principal es ampliar el Oleoducto Nor-Peruano existente, propiedad de PETROPERU S.A y diseñado inicialmente para el transporte de crudo ligero, a fin de hacer viable el transporte de crudo pesado en mezcla con diluyente, alternativa de transporte definida en el estudio de factibilidad.

El diluyente usado para el transporte del crudo pesado sería el petróleo ligero descubierto por la empresa canadiense Talisman en el Lote 64 (ubicado en Loreto). El petróleo pesado es difícil de transportar, por lo que se necesita un diluyente para que pueda reducirse su densidad y viscosidad.

El desarrollo del Proyecto de Transporte de Crudo Pesado se realizará en dos etapas; En la primera se espera el transporte de una producción estimada de 90 a 100

MBPD, el cual incluiría la producción actual más el incremento por parte de los lotes 67 y 39. El crudo pesado transportado tiene como destino final el puerto de Bayovar, a partir del cual, el crudo puede ser distribuido al mercado peruano o exportado. La segunda etapa del Proyecto Integral de transporte de crudo pesado está condicionada si la producción en conjunto obtenida por los lotes de las empresas Perenco, Repsol, Pluspetrol, Talismán, Burlington-Conoco y otras, ubicadas en la Cuenca del Marañón, superan los 100 MBPD.

En resumen, la declinación de las reservas de crudo convencional y el aumento de reservas de crudo pesado a nivel mundial, sumado al potencial de producción de crudo pesado en el Perú conducen a la necesidad de incorporar cada vez un mayor volumen de crudo pesado en la carga de las refinerías operadas en la actualidad a nivel nacional.

Esta tendencia mundial puede ser aprovechada para la implementación de nuevos procesos en la industria de refinación nacional a fin de mejorar la calidad de los asfaltos producidos en la actualidad utilizando exclusivamente materia prima nacional.

En este sentido la tecnología de oxidación de asfalto permite obtener un asfalto de alto índice de penetración y asfalto oxidado con características mejoradas con respecto al asfalto convencional presentando un mejor desempeño en su uso tanto en la pavimentación como impermeabilizantes respectivamente.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Hasta la actualidad, en las refinerías del Perú se produce a partir del residual de vacío, cementos asfálticos clasificados de acuerdo a la normatividad peruana vigente en función a sus rangos de penetración; asfaltos líquidos, mezclando el cemento asfáltico con solventes y emulsiones asfálticas, mezclando el cemento asfáltico con un emulsionante en fase acuosa.

Estos productos tienen como su uso principal en obras de pavimentación y en el caso del cemento asfáltico de baja penetración también es usado como protección anticorrosivo en tanques, columnas y otros equipos así como también en revestimientos para impermeabilizar techos de viviendas.

Desde hace varios años, los cementos asfálticos graduados por penetración vienen siendo insuficientes para satisfacer los requerimientos técnicos actuales; los cuales, son cada vez más exigentes, con especial énfasis en el cemento asfáltico usado para pavimentación.

Esto es debido al incremento en la severidad al que es sometido principalmente por tres factores:

El primero es el aumento progresivo durante las últimas décadas de la carga (tonelaje) vehicular, producto del desarrollo tecnológico a nivel mundial, el cual impulsa el uso de vehículos de carga cada vez con mayor capacidad.

El segundo factor, es el incremento en el flujo de tránsito a nivel nacional, ello debido a una creciente demanda de compra de vehículos, incrementando de manera constante el flujo de vehículos que transitan en el Perú y por ende, la exigencia cada vez mayor del cemento asfáltico usado en la pavimentación.

El tercero son las distintas condiciones climáticas que presenta el Perú, el cual exige no solo un buen desempeño del cemento asfáltico, sino además mantener sus características a diferentes condiciones de temperatura.

Con respecto al cemento asfáltico de baja penetración, éste es usado en la industria, solo como un reemplazo al asfalto oxidado que se producía hasta inicios de la década de los noventa en la refinería Talara, ubicada en la ciudad de Talara, departamento de Piura.

A nivel mundial, solo se emplea el asfalto oxidado como protección anticorrosivo de tanques y otras estructuras, así como para impermeabilizar techos de viviendas; por presentar mejores características que el cemento asfáltico de baja penetración.

El uso del cemento asfáltico de baja penetración en el mercado peruano, debido a la carencia de una planta de oxidación de asfalto en operación en el Perú, redundando en una menor competitividad a nivel industrial por usar un producto en desuso a nivel mundial y genera un mayor gasto al usuario final que lo emplee como impermeabilizante de techos, ya que utilizará un producto con un tiempo de vida útil inferior al esperado en el mercado internacional.

Presentando como base esta problemática, se requiere el diseño de un ligante asfáltico con características reológicas superiores al cemento asfáltico graduado por penetración, llamado también cemento asfáltico convencional, que cumpla con los requerimientos, cada vez más exigentes, de desempeño para su empleo en la pavimentación a nivel nacional.

También es necesario la implementación de una planta de oxidación de asfalto; o caso contrario, la importación de asfalto oxidado para cubrir la demanda existente en el Perú de este tipo de producto. Ello redundaría en incrementar la competitividad de la industria nacional y mejorar la calidad de vida de la población al usar un material con mejor performance y mayor tiempo de vida útil en la infraestructura urbana.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis técnico que determine la tecnología más adecuada, de acuerdo a la realidad peruana, que permita mejorar las propiedades reológicas del cemento asfáltico convencional producido en el Perú.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Implementar un estudio técnico comparativo entre las diversas tecnologías existentes que permiten mejorar las propiedades del cemento asfáltico convencional comercializado en el Perú.
- En base al estudio técnico comparativo, determinar la tecnología más adecuada de acuerdo al mercado peruano actual.
- Realizar un estudio de mercado, a fin de obtener un pronóstico del volumen de ventas anual de los productos que se obtengan del proceso seleccionado, durante el tiempo que se implemente el proyecto.

- Detallar el proceso y las condiciones de operación de la tecnología seleccionada.
- En base al estudio de mercado, determinar el dimensionamiento de cada equipo que intervenga en el proceso seleccionado y los requerimientos necesarios para su correcto funcionamiento.
- Realizar un estudio económico del costo de implementación y operación del proceso seleccionado, a fin de obtener los distintos indicadores de rentabilidad, que hagan posible determinar la rentabilidad de la inversión.

1.4 HIPÓTESIS.

A través de la tecnología de oxidación de asfalto, se busca mejorar las propiedades reológicas del cemento asfáltico convencional producido en el Perú. Mediante este proceso se desea obtener un asfalto de alto índice de penetración que presente un desempeño mejorado en la pavimentación, y un asfalto oxidado que permita cubrir la demanda insatisfecha en el mercado peruano de un producto impermeabilizante de calidad similar al empleado en el extranjero.

CAPÍTULO II

EL ASFALTO

2.1 OBTENCIÓN DEL ASFALTO

Siendo el asfalto un componente del petróleo, resulta de importancia describir brevemente este último a fin de poder otorgar un panorama completo.

El petróleo es una mezcla compleja de diferentes tipos de hidrocarburos, se componen prácticamente de carbono e hidrógeno, con un pequeño porcentaje de otros elementos como azufre, nitrógeno y metales integrados en hidrocarburos de estructuras más o menos complejas.

Las moléculas de hidrocarburos que componen el petróleo son más complejas a medida que aumenta el punto de ebullición de las mismas. Desde el punto de vista estructural están presentes, en mayor o menor proporción, hidrocarburos parafínicos, aromáticos y nafténicos. Como su formación ha tenido lugar en atmósfera reductora, anaeróbica, no se encuentran hidrocarburos olefínicos en su composición.

El asfalto por su parte, es un componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución. El petróleo crudo se destila para separar sus diversas fracciones, denominando a los compuestos más pesados residual de vacío, residual asfáltico, cemento asfáltico de petróleo, o de manera más comercial asfalto.

Procesos similares producidos naturalmente han dado lugar a yacimientos naturales de asfalto, en algunos de los cuales el material se encuentra prácticamente libre de materias extrañas, mientras que en otros está mezclado con cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias.

Cuando se trata de productos naturales o artificiales carbonosos, similar en composición al asfalto, cuya procedencia no se identifica con el petróleo (como por ejemplo a partir de la hulla, el lignito o la madera), suele denominárseles alquitranes.

Los crudos de bajo Factor K_{100} , del tipo nafténico o mixto, contiene las mayores concentraciones de asfaltos de buena calidad.

2.2 FISICOQUÍMICA DEL ASFALTO.

La composición química de los asfaltos es muy compleja; básicamente está constituida por cadenas de moléculas compuestas principalmente por carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno, nitrógeno y complejos de vanadio, níquel, hierro, calcio y magnesio.

El asfalto en conjunto presenta propiedades termoplásticas, cuyo estado y nivel de consistencia varían con facilidad de sólido a semisólido e incluso a líquido viscoso, si la temperatura es favorable para ello.

La composición específica de un asfalto en particular dependerá principalmente de la procedencia del petróleo crudo del cual ha sido refinado. Sin embargo, es posible distinguir dos grandes grupos que lo constituyen: los asfaltenos y los maltenos.

Dentro del grupo de los maltenos, podemos distinguir a tres grupos estructurales con propiedades definidas, los cuales son los saturados, aromáticos y resinas.

2.2.1 ASFALTENOS.

Son estructuras complejas de compuestos aromáticos de color negro a marrón que contienen además de carbón, otros elementos químicos tales como nitrógeno, azufre, oxígeno. En general, son compuestos polares de alto peso molecular.

2.2.2 RESINAS.

Son compuestos muy polares de color marrón o marrón claro, sólidos o semisólidos. Al igual que los asfaltenos, son compuestos de carbón, hidrógeno y cantidades menores de nitrógeno, oxígeno y azufre. Las resinas son materiales muy adhesivos y actúan como dispersantes o peptizantes de los asfaltenos.

2.2.3 AROMÁTICOS.

Los aromáticos constituyen entre el 40 y 65% de la composición total de los asfaltos, son las fracciones de menor peso molecular en la estructura de los asfaltos, representan la mayor proporción de los dispersantes de los asfaltenos peptizados. Los

aromáticos son compuestos donde predominan las moléculas insaturadas, de peso molecular entre 300 a 2000, no polares, con especial capacidad para actuar como disolventes de otras cadenas hidrocarbonadas de alto peso molecular.

2.2.4 SATURADOS.

Son cadenas lineales y ramificadas, saturadas y no polares.

2.3 ASFALTOS REFINADOS EN PERÚ.

En el mercado nacional, el asfalto se produce en una variedad de tipos y grados que van, desde sólidos duros y quebradizos, a líquidos casi tan fluidos como el agua. Los asfaltos que se comercializan actualmente, son producidos principalmente por la empresa estatal PETROPERU S.A. y la empresa de capital privado REPSOL. De acuerdo a su consistencia son clasificados de la siguiente manera:

2.3.1 CEMENTOS ASFÁLTICOS

Llamados también asfaltos sólidos, son obtenidos por los fondos de la unidad de destilación a vacío. Este tipo de asfaltos se emplean en mezclas calientes para su uso en construcciones de pavimentos asfálticos o como recubrimientos. Estos a su vez son clasificados de acuerdo a su consistencia medida por el ensayo de penetración.

2.3.2 ASFALTOS LÍQUIDOS.

Llamados también Asfaltos cortados o Cut Backs, resultan de la dilución del cemento asfáltico con destilados del petróleo. Los diluyentes utilizados funcionan como vehículos, resultando productos menos viscosos que pueden ser aplicados a temperaturas más bajas

De acuerdo el tiempo de cura, determinado por la naturaleza del diluyente utilizado se clasifican en:

- RC: Asfalto líquido de Cura Rápida.
- MC: Asfalto líquido de Cura Media.
- SC: Asfalto líquido de cura lenta.

2.3.3 EMULSIONES ASFÁLTICAS.

Una emulsión asfáltica consiste en una fina dispersión de partículas de asfalto en agua. Las pequeñas gotas de asfalto se mantienen uniformemente dispersadas en la fase acuosa gracias a la incorporación de un agente emulsificante (surfactante), que al rodear la gota proporciona la repulsión necesaria para conservar la estabilidad del sistema.

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo a los siguientes criterios:

De acuerdo a la carga eléctrica que el emulsionante aporta a las partículas de asfalto se pueden clasificar en:

- Emulsiones Aniónicas.
- Emulsiones Catiónicas.
- Emulsiones no iónicas.

De acuerdo a la estabilidad de las emulsiones asfálticas, éstas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- De Rompimiento Rápido.
- De Rompimiento Medio.
- De Rompimiento Lento.

Las empresas PETROPERU S.A. y REPSOL clasifican para su venta los diversos tipos de asfalto anteriormente mencionado de la siguiente manera.:

2.3.4 ASFALTO PRODUCIDO POR PETROPERU

- Cemento asfáltico 10/20 PEN.
- Cemento asfáltico 20/30 PEN.

- Cemento asfáltico 40/50 PEN.
- Cemento asfáltico 60/70 PEN.
- Cemento asfáltico 85/100 PEN.
- Cemento asfáltico 120/150 PEN.
- Asfalto líquido MC-30.
- Asfalto líquido RC-70.
- Asfalto líquido RC-250.

2.3.5 ASFALTO PRODUCIDO POR REPSOL

- Cemento Asfáltico 60/70.
- Cemento Asfáltico 85/100.
- Cemento Asfáltico 120/150.
- Asfalto líquido MC 30.
- Asfalto líquido RC 250.

2.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Las especificaciones técnicas son documentos que establecen los límites mínimos y máximos de cada ensayo que un producto debe cumplir para considerarse que se encuentra conforme. Los ensayos se elaboran en base a resultados de la experiencia, la ciencia y del desarrollo tecnológico, de tal manera que se pueda estandarizar procesos, servicios y productos.

2.4.1 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PERUANA.

En lo referente a productos asfálticos, las especificaciones técnicas empleadas en el Perú se encuentran en las normas técnicas peruanas, estas últimas elaboradas por el Comité Técnico de Normalización de Petróleo, Derivados y Combustibles Líquidos.

En caso no se encontrara normado un producto en la reglamentación peruana, es válido usar como antecedente especificaciones acreditadas internacionalmente como la American Society for Testing and Materials (ASTM), American Association

of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) o Una Norma Española (UNE).

En la actualidad, no se producen asfaltos oxidados a escala industrial en el Perú. Pero hasta inicio de la década de los noventa, la empresa estatal PETROPERU S.A. producía asfaltos oxidados en la Refinería Talara, cuyo uso era principalmente como protección anticorrosivo de tanques y otras estructuras, así como para impermeabilizar techos de viviendas.

Los productos obtenidos a partir de este proceso, estaban normados por las antiguas especificaciones de asfaltos oxidados en el Perú que datan desde la década de los ochenta, la cual contemplaba los métodos de ensayo del cuadro II - 1 para caracterizarlos.

CUADRO II – 1

ANTIGUAS ESPECIFICACIONES DE ASFALTOS OXIDADOS EN EL PERÚ

PENETRACIÓN

DUCTILIDAD

VISCOSIDAD CINEMÁTICA

PUNTO DE INFLAMACIÓN

GRAVEDAD ESPECÍFICA

SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA

SUSCEPTIBILIDAD EN DISULFURO DE CARBONO %

PENETRACIÓN RESIDUAL (% DE LA ORIGINAL)

PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO A 325 °F (% EN PESO)

Elaboración propia.

Fuente: Manual De Especificaciones De Productos PETROPERU 1985.

Considerando que la Especificación Técnica Peruana, tanto para el cemento asfáltico convencional como para el asfalto modificado con polímero, no exige los ensayos necesarios para realizar una comparación del comportamiento de dichos productos; se tomará como referencia las especificaciones técnicas publicadas por empresas que operan en el Perú con reconocido prestigio internacional, dedicadas a la producción de cemento asfáltico convencional y asfalto modificado con polímeros.

Para el caso del cemento asfáltico sólido (convencional) producido a nivel nacional; en el cuadro II – 2 se muestra las especificaciones técnicas publicadas por la empresa estatal PETROPERU S.A.

CUADRO II – 2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PERUANAS PARA CEMENTO ASFÁLTICO													
ENSAYOS	MÉTODO ASTM	C.A. 10/20 PEN		C.A. 20/30 PEN		C.A. 40/50 PEN		C.A. 60/70 PEN		C.A. 85/100 PEN		C.A. 120/150 PEN	
		MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
PENETRACIÓN A 25°C, 100g, 5s, 0.1mm	D-5	10	20	20	30	40	50	60	70	85	100	120	150
PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND, COPA ABIERTA, °C	D-92	270		250		232		232		232		218	
GRAVEDAD ESPECÍFICA A 15.6/15.6 °C	D-70	REPORTAR		REPORTAR		REPORTAR		REPORTAR		REPORTAR		REPORTAR	
DUCTILIDAD A 25°C, 5cm/min, cm	D-113	REPORTAR		REPORTAR		100		100		100		100	
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, % MASA	D-2042	99		99		99		99		99		99.0	
PRUEBA DE CALENTAMIENTO SOBRE PELÍCULA FINA, 3.2mm, 163°C, 5 horas	D-1754												
PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO, % MASA							0.8		0.8		1.0		1.3
PENETRACIÓN RETENIDA, % DEL ORIGINAL	D-5					55+		52+		47+		42+	
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	D-113							50		75		100	
ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA (ÍNDICE DE PENETRACIÓN)						-1.0	+1.0	-1.0	+1.0	-1.0	+1.0	-1.0	+1.0
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 135 °C, cSt	D-2170	800		500		240		200		170		140	
REVESTIMIENTO-DESPRENDIMIENTO, MEZCLA AGREGADO-BITUMEN, %	D-3625					REPORTAR		REPORTAR		REPORTAR		REPORTAR	
REQUERIMIENTO GENERAL	El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.												

Elaboración propia.

Fuente: Especificaciones técnicas mostradas en la página web de la empresa estatal PETROPERU S.A.

Con el objetivo de mejorar el desempeño del cemento asfáltico convencional, en el Perú se viene utilizando la tecnología de modificación de asfaltos con polímeros, siendo el más usado para este fin el Estireno-Butadieno-Estireno (SBS).

En el cuadro II – 3 se muestra las especificaciones técnicas de asfaltos modificados con el polímero SBS, comercializado en el Perú por la empresa transnacional TDM Asfaltos.

CUADRO II – 3

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS DE LA COMPAÑÍA TDM ASFALTOS					
ENSAYOS	MÉTODO ASTM	BETUTEC 60/85		BETUTEC 60T	
		MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
PENETRACIÓN A 25°C, 100g, 5s, 0.1mm	D-5	40	70	55	70
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	D-36	60		60	
DUCTILIDAD, 5 °C, cm	D-113	2		15	
PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND, COPA ABIERTA, °C	D-92	235		230	
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 163°C, 48 HORAS	D-5976	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
DIFERENCIA EN PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	D36		2.2		2.2
DIFERENCIA EN PENETRACIÓN, 0.1mm	D-5		9		10
ÍNDICE DE PENETRACIÓN*	UNE 104-281/1-5	0/ + 2.0		0/ + 2.0	

*Valor calculado. Si bien el resultado depende del tipo de polímero empleado, la variación es mínima pudiéndose tomar los valores mostrados como promedios al modificar un asfalto con diversos polímeros.

Elaboración propia.

Fuente: Especificaciones técnicas mostradas en la página web de la empresa TDM Asfaltos.

2.4.2. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA INTERNACIONAL.

En el cuadro II – 4 se muestra como alternativa al uso de asfaltos modificados con polímeros, las especificaciones técnicas de los asfaltos de alto índice de penetración. Si bien el asfalto de alto índice de penetración no se produce en la actualidad en el Perú, se tomará como referencia el obtenido a partir de una planta de oxidación de asfalto con patente perteneciente a la empresa Argentina e-asphalt. El cual presenta

la versatilidad de obtener asfaltos oxidados con las especificaciones técnicas mostradas en el II – 5.

CUADRO II – 4

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ASFALTOS DE ALTO ÍNDICE DE PENETRACIÓN					
ENSAYOS	MÉTODO ASTM	TIPO 60/70		TIPO 85/100	
		MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
PENETRACIÓN	D-5	60	70	85	100
A 25° C, 100g, 5s, 0.1mm					
		VALORES PROMEDIOS		VALORES PROMEDIOS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	D-70	0.99		0.99	
A 25/25° C min					
DUCTILIDAD	D-113	80		80	
A 25°C, 5cm/min, cm min					
PUNTO DE INFLAMACIÓN, °C, min	D-92	230		230	
ENSAYO EN PELÍCULA DELGADA					
PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO	D-1754	1		1	
A 163°C durante 5 horas, %max.					
PENETRACIÓN RETENIDA	D-1754	50		50	
A 25° C, 100g, 5s, (% del original) min					
DUCTILIDAD DEL RESIDUO	D-1754	50		50	
A 25°C, 5cm/min, cm min					
SOLUBILIDAD EN 1,1,1 TRICLOROETANO % min	D-2042	99		99	
ÍNDICE DE PENETRACIÓN	UNE	+0.5	+2.0	+0.5	+2.0
	104-281/1-5				
ENSAYO DE OLIENSIS	AASHTO T 102	NEGATIVO		NEGATIVO	

Elaboración propia.

Fuente: Datos proporcionados en la página web del licenciante.

CUADRO II - 5

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ASFALTOS OXIDADOS					
ENSAYOS	MÉTODO	TIPO 85/25		TIPO 100/15	
	ASTM	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
PENETRACIÓN					
A 25° C, 100g, 5s, 0.1mm	D-5	15	25	8	18
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	D-36	85	95	100	112
		VALORES PROMEDIOS		VALORES PROMEDIOS	
GRAVEDAD ESPECÍFICA					
A 25/25 °C MÍNIMO	D-70	0.99		0.99	
PUNTO DE INFLAMACIÓN, °C MÍNIMO	D-92	230		230	
DUCTILIDAD					
A 25°C, 5cm/min, cm. min	D-113	3		2	
SOLUBILIDAD EN SULFURO DE CARBONO, % min	D-2042	99		99	
PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO					
A 163° C, 5 HORAS, % MÁX	D-6	0.2		0.2	

Elaboración propia.

Fuente: Datos proporcionados en la página web del licenciante.

2.5 ENSAYOS DE LABORATORIO.

Los ensayos más importantes realizados a los asfaltos son los siguientes:

2.5.1 PENETRACIÓN.

El ensayo de penetración (ASTM D-5) determina la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto a condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se determina la penetración normal a 25 °C, calentando la muestra en un baño de agua termostáticamente controlada, la aguja cargada con 100g y la carga se aplica durante 5 segundos. La unidad de penetración es la décima de milímetro.

2.5.2 PUNTO DE ABLANDAMIENTO.

Los asfaltos son materiales termoplásticos, por lo cual no puede hablarse de un punto de fusión en el término estricto de la palabra. Se establece entonces un punto de

ablandamiento, determinado por la temperatura a la que alcanza un determinado estado e fluidez. Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a diferentes temperaturas. El punto de ablandamiento es otra medida de consistencia y se determina usualmente por el método de ensayo Ring and Ball (R & B) o anillo y bola (ASTM D-36).

Este ensayo consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas, para luego dejar enfriar a la temperatura ambiente por cuatro horas. Sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso específicos, casi siempre de 9.51 mm de diámetro.

Una vez lista, se suspende la muestra sobre un baño de agua y se calienta el baño de tal manera que la temperatura del agua suba a velocidad constante. Se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura es el punto de ablandamiento.

2.5.3 ÍNDICE DE PENETRACIÓN.

Con los ensayos de penetración y punto de ablandamiento anteriormente descritos, los cuales son medidas de consistencia a distintas temperaturas, podemos introducir el concepto de susceptibilidad térmica.

La susceptibilidad térmica indica en cuanto afecta el cambio de temperatura a la viscosidad del asfalto, es decir, un asfalto con alta susceptibilidad térmica tiende a ser más duro (más viscoso) a medida que su temperatura disminuye y más blando (menos viscoso) a medida que su temperatura aumenta. La susceptibilidad térmica es una de las propiedades más importantes para medir el desempeño de un asfalto

El valor del índice de penetración proporciona un criterio de medida inversamente proporcional a la susceptibilidad térmica. El índice de penetración se define como la pendiente de la línea recta hallada de graficar el logaritmo de la penetración y la temperatura, la cual se muestra a continuación:

$$IP = \frac{500 * \log(P) + 20 * PA - 1951}{120 - 50 * \log(P) + PA}$$

Donde:

P: Penetración a 25 °C en 0.1mm

PA: Punto de ablandamiento en grados Celsius.

Los valores de índice de penetración (IP) de los asfaltos pueden variar de la siguiente forma:

- Asfaltos con $IP < -1$: Son altamente susceptibles a la temperatura.
- Asfaltos con $IP > +1$: Son poco susceptibles a la temperatura. Valores de este nivel indican asfaltos oxidados o modificados con polímeros.
- Asfaltos con $-1 < IP < +1$: Poseen una susceptibilidad térmica intermedia entre los dos casos anteriores. La mayoría de los ligantes asfálticos convencionales empleados en pavimentación presentan valores de índice de penetración comprendidos en este rango.

Otros ensayos realizados a los asfaltos se muestran a continuación:

2.5.4 PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO.

Este método de ensayo (ASTM D-6); consiste en la determinación de la pérdida de masa de un material bituminoso, por volatilización de los componentes más ligeros (excluida el agua), cuando se calientan, como en esta norma se describe.

2.5.5 GRAVEDAD ESPECÍFICA.

Este método de ensayo (ASTM D-70) describe los procedimientos que deben seguirse para la determinación de la gravedad específica o densidad relativa de los materiales bituminosos de consistencia sólida, semisólida o líquida. El método no es aplicable a los materiales líquidos de alta volatilidad.

2.5.6 PUNTO DE INFLAMACIÓN.

Este método de ensayo (ASTM D-92) describe el procedimiento para determinar la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, creando un destello en presencia de una llama abierta.

La finalidad de la prueba es identificar la temperatura máxima a la cual el producto puede ser manejado sin peligro de que se inflame.

2.5.7 DUCTILIDAD.

Este método de ensayo (ASTM D-113) determina la ductilidad de un asfalto como la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. Es un ensayo más de identificación del proceso de obtención del asfalto antes que cuantitativo.

A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de $25 \pm 0,5$ °C y a una velocidad de 5 cm/min $\pm 5\%$.

2.5.8 ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA EN HORNO.

Este método de ensayo (ASTM D-1754) se refiere a la determinación del efecto del calor y del aire sobre una película de materiales asfálticos semisólidos. Los efectos de este procedimiento se determinan a partir de la medición de propiedades como la penetración retenida y la ductilidad del asfalto antes y después del ensayo.

2.5.9 SOLUBILIDAD.

Este método de ensayo (ASTM D- 2042) determina el grado de pureza de un material asfáltico.

Una muestra es sumergida en un solvente donde se disuelven sus componentes activos, en tanto que las impurezas (sales, carbono libre y contaminantes inorgánicos) no se disuelven, sino que se depositan en forma de partículas.

Son solventes adecuados para usar en este método los siguientes:

- Tricloroetileno (C_2HCl_3) Grado reactivo.
- Tricloroetano (CH_3CCl_3) Grado reactivo.
- Sulfuro de carbono.

2.5.10 VISCOSIDAD CINEMÁTICA.

Este método de ensayo (ASTM D-2170), tiene como finalidad determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación.

La viscosidad se mide en el ensayo de viscosidad cinemática. El cual se basa en la medida del tiempo necesario para que fluya un volumen constante de material bajo condiciones de ensayo, como temperatura y altura del líquido, rígidamente controladas. Los asfaltos presentan un amplio rango de viscosidades, siendo necesario disponer de diversos viscosímetros que difieren en el tamaño del capilar.

2.5.11 REVESTIMIENTO-DESPRENDIMIENTO.

Este método de ensayo (ASTM D-3625), abarca un procedimiento rápido para la observación visual de la pérdida de adherencia en el asfalto por acción de agua hirviendo. Si la pérdida de adherencia debido al agua se indica, la prueba por otros procedimientos debe llevarse a cabo para evaluar mejor la mezcla.

2.5.12 ENSAYO DE OLIENSIS

Este método de ensayo (AASHTO T-102) tiene como objetivo determinar la existencia de productos craqueados o sobrecalentados, existiendo una distorsión en el significado de dicho ensayo por la floculación y precipitación de asfaltenos, ante la presencia de un electrólito de cadena simple o alifática como el n-heptano en el desarrollo de la prueba, no pasando la prueba por este efecto de solubilidad.

2.6 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA.

El creciente incremento a nivel mundial del volumen del tránsito y la cada vez mayor capacidad de carga de los vehículos pesados, ha provocado que, en la actualidad, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes. Frente a ello, el desarrollo de pavimentos de carreteras ha sido perfeccionado constantemente; dando origen, en los últimos años, a nuevos asfaltos que genéricamente fueron denominados “Asfaltos Modificados”.

La tecnología de pavimentación de carreteras ha hecho posible en la actualidad dos tipos de asfaltos modificados: Asfaltos modificados con polímeros y asfaltos de alto índice de penetración (conocidos como asfaltos multigrados). Ambos asfaltos modificados, presentan características mejoradas con respecto al cemento asfáltico convencional; siendo una de las más importantes, el incremento del índice de penetración.

2.6.1 ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS.

Los asfaltos modificados con polímeros son obtenidos a partir de la incorporación de un polímero o mezcla de ellos en el cemento asfáltico. El proceso de modificación es variable dependiendo del tipo de polímero empleado. Polímeros del tipo SBS requieren el empleo de un molino coloidal de elevado poder de cizallamiento, durante un tiempo y a una temperatura determinados, los cuales dependen de la naturaleza y del contenido de cada uno de los componentes. Para el caso de otros polímeros como el tipo Etileno Vinil Acetato (EVA), se requiere solamente un proceso de agitación.

Para llevar a cabo la modificación de asfalto, se debe conocer la compatibilidad de este con el polímero modificador, para que coexistan como sistema; es decir, debe ser miscible, lo que indica una mezcla monofásica.

En el Perú se ha venido desarrollando el uso del asfalto modificado con polímero, en creciente reemplazo al cemento asfáltico convencional. De los distintos tipos de polímeros a utilizar para este fin el más usado en el mercado peruano es el Estireno-butadieno-estireno (SBS). El cual, eleva el costo final del producto en un 15% con

respecto al cemento asfáltico convencional; pudiendo incrementarse hasta en un 25% dependiendo del polímero empleado.

2.6.2 ASFALTO DE ALTO ÍNDICE DE PENETRACIÓN Y OXIDADOS.

La tecnología propuesta para obtener ambos productos, es mediante el proceso de oxidación de asfalto desarrollada por la empresa Argentina E-asphalt. Reconocida a nivel mundial por tener amplia experiencia en el desarrollo de tecnología usada en la pavimentación.

El proceso del licenciente E-asphalt permite la oxidación del asfalto a nivel industrial de manera continua o discontinua. En cualquiera de los dos procesos, un flujo de aire es inyectado por el fondo del reactor, agitando la masa de asfalto a medida que asciende. Este es un proceso exotérmico, donde el calor de reacción es removido por inyección de agua.

Las condiciones de operación se controlan de tal forma que mediante una variación de ellos se pueda obtener asfaltos oxidados o de alto índice de penetración. Finalmente los gases producidos en el transcurso de la reacción (N_2 , O_2 , CO , H_2S , SO_2) son llevados a tratamiento para eliminar la contaminación ambiental.

2.6.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

Para poder realizar un análisis que determine cual de los procesos mostrados anteriormente permite obtener un asfalto de mejor desempeño con respecto al cemento asfáltico convencional, y a su vez la implementación de dicha tecnología sea la más adecuada de acuerdo a la realidad nacional; se mostrará una comparación de ensayos y valores que cuantifiquen las características más importantes de los asfaltos clasificados en función a su uso tanto en la pavimentación como de manera industrial.

2.6.3.1 ASFALTOS PARA PAVIMENTACIÓN

El objetivo principal que se consigue con la modificación del asfalto para uso en la pavimentación, ya sea con la adición de polímeros o mediante la oxidación del asfalto para obtener asfaltos de alto índice de penetración; es la reducción de la susceptibilidad térmica, la cual le otorga simultáneamente rigidez a elevadas

temperaturas (resistencia al ahuellamiento) y flexibilidad en el rango de bajas temperaturas (resistencia a la fisuración térmica).

Los asfaltos modificados presentan una menor variación de su viscosidad con la temperatura logrando mantener una consistencia deseada a través de los cambios de temperatura a los cuales son expuestos durante su empleo en obras viales.

Esta reducción de la susceptibilidad térmica, la cual es medible mediante el incremento del índice de penetración le otorga a los asfaltos modificados un mejor desempeño puesto en obra y un mayor tiempo de vida útil con respecto al cemento asfáltico convencional.

En la industria peruana los asfaltos son clasificados para su venta en función a su rango de penetración. En base a esto y a fin de realizar una comparación entre asfaltos usados en la pavimentación de semejante clasificación; se comparará en el cuadro II – 6 los rangos de índice de penetración del cemento asfáltico convencional CAP 60/70 PEN, comercializado principalmente por las refinerías del Perú.

El asfalto BITUTEK 60T, modificado con SBS, el polímero más usado en el mercado peruano y por último el asfalto de alto índice de penetración 60/70, el cual es obtenido a partir del proceso de oxidación de asfalto del licenciante E-asphalt.

CUADRO II - 6

COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN DE ASFALTOS USADOS PARA PAVIMENTACIÓN							
ENSAYOS	MÉTODO ASTM	C.A 60/70 PEN		ASFALTO MODIFICADO BETUTEK 60T		ASFALTO DE ALTO ÍNDICE TIPO 60/70	
		MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
PENETRACIÓN A 25° C, 100g, 5s, 0.1mm	D-5	60	70	55	70	60	70
ÍNDICE DE PENETRACIÓN		-1.0	+1.0	0	+2.0	+0.5	+2.0

Elaboración propia.

En el cuadro II – 6 se muestra el índice de penetración del cemento asfáltico convencional CAP PEN 60/70; el cual varía de -1.0 a +1.0. Este rango es similar para los otros cementos asfálticos convencionales comercializados en el Perú, como

se muestra en el cuadro II – 2; aunque valores típicos de estos productos lo sitúan en un rango más estrecho, entre -1 a 0.

En función a estos valores y de acuerdo a la clasificación de los asfaltos en función a su índice de penetración, el cemento asfáltico convencional de penetración 60/70 presenta una susceptibilidad térmica intermedia.

Para el caso de los asfaltos modificados, conformados por el asfalto de alto índice de penetración y el asfalto modificado con polímeros presentan un índice de penetración en un rango de +0.5 a +2.0 y de 0 a +2.0 respectivamente. De estos valores, los rangos típicos de índice de penetración para ambos productos se encuentran entre +1.0 a +2.0, lo cual le confiere la clasificación de asfaltos de baja susceptibilidad térmica.

El uso de los asfaltos modificados en la construcción de pavimentos se ha extendido a nivel mundial, como respuesta a las condiciones más severas a la que es sometido durante su vida útil y buscando un mejor desempeño que permita prolongar su duración con respecto al cemento asfáltico convencional. Ello ha dado inicio a la nueva generación de pavimentos denominados flexibles.

2.6.3.2 ASFALTOS DE USO INDUSTRIAL.

Las características principales que se requieren para usar el asfalto como protección anticorrosivo de tanques y otras estructuras, así como para impermeabilizar techos de viviendas; es que presenten una baja penetración y alto punto de ablandamiento. Ello le otorga una consistencia dura y una baja susceptibilidad térmica. Esta última propiedad evita que varíe su viscosidad debido a los cambios de temperatura del lugar donde es aplicado.

Un asfalto con las características mencionadas anteriormente, presenta cualidades impermeabilizantes de gran estabilidad a altas temperaturas y menos quebradizo a bajas temperaturas, lo cual es un requisito importante para garantizar un buen desempeño durante el tiempo de vida útil.

A nivel mundial, estas características son logradas únicamente mediante el proceso de oxidación de asfalto. Si bien en el Perú estuvo en operación hasta inicio de la

década de los noventa una planta que producía asfalto oxidado para comercializarlo en el mercado nacional; luego de su cierre, este producto fue reemplazado hasta la actualidad por asfalto convencional de baja penetración.

En el Perú, el asfalto de uso industrial es clasificado para su venta de acuerdo a su rango de penetración. Mientras que, es usual clasificar al asfalto oxidado a nivel mundial por los valores medios de los rangos especificados de punto de ablandamiento y penetración.

En base a esto y a fin de poder realizar un análisis de las características entre productos de semejante clasificación; en el cuadro II – 7 se hará una comparación de las especificaciones técnicas más importantes entre el asfalto convencional de baja penetración usado de manera industrial en el Perú de penetración 10/20, con respecto al asfalto oxidado clasificado como 100/15.

Este último obtenido a partir de la tecnología de oxidación de asfalto del licenciante E-asphalt.

CUADRO II - 7

COMPARACIÓN DE ASFALTOS DE USO INDUSTRIAL					
ENSAYOS	MÉTODO ASTM	C.A. 10/20 PEN		ASFALTO OXIDADO TIPO 100/15	
		MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
PENETRACIÓN A 25°C, 100g, 5s, 0.1mm	D-5	10	20	8	18
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	D-36			100	112

Elaboración propia.

En el cuadro II – 7 se observa que tanto el cemento asfáltico convencional 10/20 y el asfalto oxidado presentan bajos rangos de penetración. Lo que demuestra que ambos poseen una consistencia semejante a temperatura ambiente.

Con respecto al ensayo de punto de ablandamiento, no es frecuente realizarlo dentro de la especificación técnica del cemento asfáltico convencional, tanto en el Perú como a nivel mundial, debido a que este producto no es usado para requerimientos de baja susceptibilidad térmica.

Como referencia se menciona, que un asfalto obtenido a partir del proceso de destilación atmosférica, seguido de una destilación al vacío, presenta valores de punto de ablandamiento en un rango comprendido entre 40°C hasta un máximo de 50°C.

A fin de poder incrementar el valor del punto de ablandamiento del cemento asfáltico convencional, se desarrolló a partir del proceso de oxidación el asfalto oxidado el cual puede alcanzar rangos de punto de ablandamiento marcadamente superiores con respecto al cemento asfáltico convencional, como puede observarse en el cuadro II – 7.

Ello junto a su baja penetración, se traduce en un notable decrecimiento de su susceptibilidad térmica, lo cual le otorga las características necesarias para garantizar una consistencia dura y constante en un amplio rango de temperaturas.

2.6.4 RESUMEN COMPARATIVO.

Partiendo del análisis realizado en el ítem 2.6.3 y otros puntos de índole económico-comercial; en los cuadros II – 8 y II – 9 se muestra una serie ventajas y desventajas de manera comparativa.

El primero es con respecto a la implementación de las tecnologías de modificación del asfalto con polímeros frente a la implementación una planta de oxidación de asfalto para obtener asfalto de alto índice de penetración; ambos usados en la industria de la pavimentación.

El segundo es con respecto a la producción nacional de asfalto oxidado frente a la importación, para cubrir la demanda de dicho asfalto de uso industrial.

CUADRO II – 8

CUADRO COMPARATIVO	
ASFALTO DE ALTO ÍNDICE DE PENETRACIÓN	ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS
DEPENDENCIA EXTRANJERA: Solo requiere del proceso de oxidación para obtener asfalto de alto índice de penetración a partir del asfalto convencional. No depende de materia prima extranjera para lograr esta transformación.	DEPENDENCIA EXTRANJERA: Requiere adicionarle al asfalto convencional, polímeros producidos en el extranjero; lo cual lo hace dependiente de materia prima de los países productores.
COSTO DE MATERIA PRIMA: El crudo pesado empleado para producir el asfalto convencional, presenta un precio inferior a los marcadores de crudo extranjeros. El costo es relativamente bajo.	COSTO DE MATERIA PRIMA: Adicional al costo del crudo pesado empleado para producir asfalto convencional, se debe incrementar el de los polímeros empleados. Siendo estos últimos altos y con tendencia a subir en los siguientes años.
STOCK DE CARGA PARA ALIMENTACIÓN: Al requerir solo asfalto convencional, el cual es producido en el Perú, el suministro no es afectado por incidentes extranjeros de origen natural o bélicos. Por ende, no es necesario un volumen grande de stock de materia prima.	STOCK DE CARGA PARA ALIMENTACIÓN: Al emplear adicionalmente al asfalto convencional, polímeros producidos en el extranjero, el suministro puede verse afectado por incidentes naturales o conflictos bélicos. Se requiere un amplio stock de polímeros.
INVERSIÓN DE EQUIPOS: Requiere la implementación de un reactor oxidador, un incinerador de gases y equipos auxiliares. El costo inicial es superior	INVERSIÓN DE EQUIPOS: Requiere un molino coloidal y equipo auxiliar en caso se modifique con el polímero SBS. El costo inicial es inferior.
VOLUMEN DE VENTAS: Al ser un producto nuevo en el mercado nacional, requerirá de tiempo para que se incremente el porcentaje de participación en el mercado.	VOLUMEN DE VENTAS: El porcentaje de participación en el mercado se incrementa de manera continua, debido a que su mejor desempeño ya ha sido comprobado en el mercado peruano.
INCREMENTO DE COSTO: A nivel mundial, en países que presentan la ventaja competitiva de producir polímeros, el costo del asfalto de alto índice es un intermedio entre el costo de modificar al asfalto con polímero y el costo del asfalto convencional.	INCREMENTO DEL COSTO: El costo de venta es alto debido a los precios de importación de los polímeros empleados como materia prima.
OPORTUNIDAD DE MERCADO: El proceso de oxidación de asfalto presenta la ventaja competitiva de producir, variando las condiciones de operación, asfalto oxidado para satisfacer el mercado peruano de asfalto de uso industrial.	OPORTUNIDAD DE MERCADO: Se requiere un análisis que determine la mejor opción, entre implementar una planta de oxidación de asfalto para producir solo asfalto oxidado o importarlo del extranjero.

Elaboración propia.

CUADRO II - 9

CUADRO COMPARATIVO	
PRODUCCIÓN NACIONAL DE ASFALTO OXIDADO	IMPORTACIÓN DE ASFALTO OXIDADO
DEPENDENCIA EXTRANJERA: No se dependerá de la importación del producto.	DEPENDENCIA EXTRANJERA: Tendremos una constante dependencia de importación del producto para garantizar el suministro.
INVERSIÓN INICIAL: Se requiere una mayor inversión inicial para instalar una planta de oxidación de asfalto.	INVERSIÓN INICIAL: La inversión inicial es menor debido a que solo se requiere de equipos auxiliares y tanques para almacenar y distribuir el producto.
INCREMENTO DE COSTO: El costo de producción es relativamente bajo comparado con otros procesos de refinación; por ende, el precio de venta no se ve incrementado de manera significativa.	INCREMENTO DE COSTO: El costo es mayor con respecto a una producción nacional, debido a la suma del costo de venta en el extranjero más el pago por transporte marítimo.

Elaboración propia.

A partir de las ventajas y desventajas presentadas en el cuadro II – 8, se puede concluir que la tecnología más adecuada para producir asfalto, usado en la construcción de la nueva generación de pavimentos flexibles, que cumpla con los más altos estándares de desempeño es implementando una unidad de oxidación de asfalto para obtener cemento asfáltico de alto índice de penetración.

El resultado de esta conclusión es debido principalmente a la ventaja competitiva que presenta el proceso de oxidación de asfalto, el cual no requiere importar materia prima para su producción a partir del asfalto convencional, evitando de esta manera, la dependencia de polímeros procedentes del extranjero utilizados en la modificación del asfalto con polímeros.

Otro factor importante es el costo final del producto. Si bien la construcción de una planta de oxidación de asfalto requiere una mayor inversión inicial con respecto a la implementación de una unidad de producción de asfalto modificado con polímeros; de acuerdo a experiencias del licenciante E-asphalt se ha determinado que un costo de venta del asfalto de alto índice de penetración intermedio entre el costo del asfalto convencional y el asfalto modificado con polímeros; garantiza una óptima

rentabilidad de la inversión realizada en la implementación de una planta de oxidación de asfalto.

Finalmente, otro factor tomado en cuenta en la elección de la tecnología de oxidación de asfalto es la versatilidad que presenta de producir, variando las condiciones de operación asfalto oxidado.

Ello hará posible que el Perú no dependa de la importación de este producto para satisfacer la demanda interna. Lo cual no se da en la actualidad, debido a los altos costos que implica el transportar un producto desde el exterior, a una temperatura superior a las condiciones ambientales para impedir que se solidifique.

La falta de producción nacional de asfalto oxidado ha dado como resultado que en el mercado peruano sea más rentable suplir esta carencia usando un asfalto convencional de baja penetración como impermeabilizante; restando eficiencia y competitividad a la industria, así como calidad de vida de la población que emplea un producto no adecuado para ese fin.

2.7 LEGISLACIÓN AMBIENTAL.

Se puede definir a la calidad ambiental como las características cualitativas y/o cuantitativas inherentes al ambiente en general o medio particular y su relación con la capacidad relativa de éste para satisfacer las necesidades del hombre y/o de los ecosistemas.

Asociado a este concepto, se encuentra el término “Límite Máximo Permisible”, el cual es un instrumento de gestión ambiental que busca regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas.

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) son definidos por la legislación ambiental peruana como la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente.

La característica más importante de los LMP, es que su cumplimiento es exigible legalmente; es decir, el titular de la actividad productiva que no cumpla con los mismos puede ser pasible de sanción.

De acuerdo al decreto supremo 074-2001 PCM Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, se muestra en el cuadro II – 10 el límite máximo para el CO.

Para los casos del H₂S y el SO₂ se muestra en el cuadro II – 11 los límites máximos de acuerdo al decreto supremo 003 – 2008 MINAM Estándares Nacionales de Calidad Ambiental.

CUADRO II – 10

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE (D.S. N° 074-2001-PCM)				
PARÁMETRO	PERIODO	VALOR (ug/m ³)	FORMATO	MÉTODO DE ANÁLISIS (1)
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	10 000	Promedio móvil	Infrarojo no dispersivo (NDIR)
	1 hora	30 000	NE más de una vez/año	

(1): O método equivalente aprobado.

NE Significa no exceder.

Elaboración propia.

Fuente: D.S N° 074-2001- PCM

CUADRO II – 11

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE (D.S N° 003-2008 MINAM)					
PARÁMETRO	PERIODO	VALOR (ug/m ³)	VIGENCIA	FORMATO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Dióxido de azufre (SO ₂)	24 horas	80	1 de Enero del 2009	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	20	1 de Enero del 2014		
Hidrógeno Sulfurado (H ₂ S)	24 horas	150	1 de Enero del 2009	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)

Elaboración propia.

Fuente: D.S N° 003-2008- MINAM.

CAPITULO III

ESTUDIO DE MERCADO

Un estudio de mercado nos permite conocer la demanda de un determinado producto, el cual están dispuestos a comprar los consumidores, teniendo como consideraciones para optar dicha opción un precio determinado y el nivel de satisfacción que pueda generar la compra.

La finalidad del estudio de mercado es probar que existe un número suficiente de individuos, empresas u otras entidades que dadas ciertas condiciones presentan una demanda que justifica la puesta en marcha de un determinado programa de producción de bienes o servicios.

Uno de los factores decisivos para el éxito de un proyecto, es que el producto o servicio tenga mercado, por tal motivo es importante encontrar una demanda insatisfecha y potencia, porque la primera va a permitir ingresar al mercado y la segunda crecer dentro de él.

Considerando que el proceso de oxidación de asfalto se implementará en la refinería Conchán; en este capítulo se realiza una proyección de la oferta del crudo que abastece de materia prima a dicha refinería, a fin de poder garantizar la producción de cemento asfáltico convencional (asfalto sólido) que se empleará como carga de alimentación a la unidad de oxidación de asfalto.

Utilizando como base datos históricos se realiza una proyección de la demanda interna en el mercado peruano del asfalto sólido así como la oferta neta para el mercado nacional del asfalto sólido producido por las refinerías existentes en el país usado de manera industrial así como en pavimentación.

En base a la demanda interna estimada se obtiene la proyección de venta del asfalto de alto índice de penetración y asfalto oxidado durante el tiempo de operación de la unidad de oxidación de asfalto.

Los precios actuales del asfalto usado de manera industrial así como en la pavimentación es el último punto a tratar en este capítulo.

Estos datos servirán de base posteriormente en el capítulo de evaluación económica para establecer la viabilidad económica del proyecto.

3.1 MATERIA PRIMA

La materia prima que procesa la refinería Conchán está compuesta por crudos de distintos orígenes; a partir del cual, mediante una operación de destilación atmosférica se obtiene, a partir de los fondos, el crudo reducido.

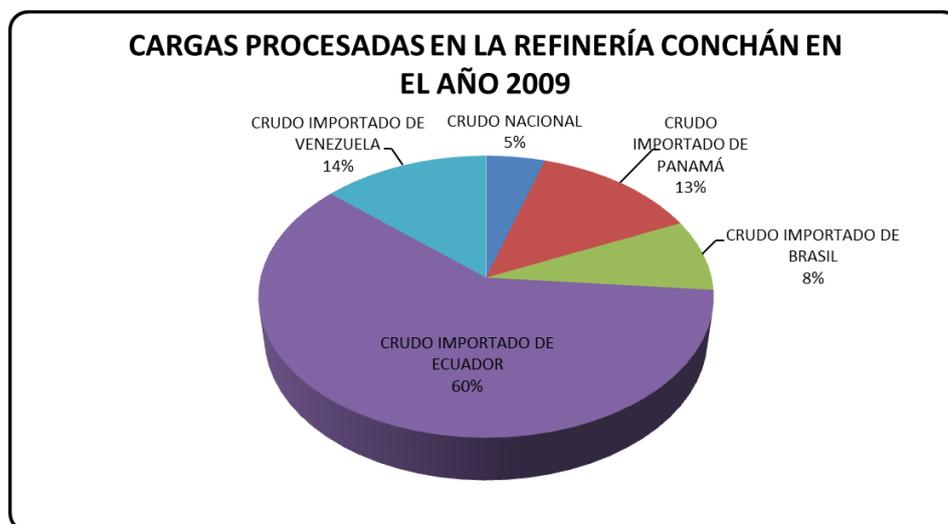
Este último es usado como alimentación a una unidad de destilación al vacío, del cual se obtiene desde los fondos el asfalto sólido (llamado también residual de vacío) que será utilizado como materia prima para la planta de oxidación de asfalto.

A fin de mantener un proceso continuo en la planta de oxidación de asfalto, se requiere contar con un abastecimiento constante de crudo adecuado, para obtener, mediante los procesos unitarios descritos anteriormente el asfalto sólido necesario para la alimentación.

A continuación se muestra en los gráficos del III – 1 al III – 3 los diversos orígenes en porcentaje, del crudo procesado en la refinería Conchán durante los años 2009 al 2011.

Ello servirá de base para determinar el origen principal del crudo que abastece a dicha refinería y poder realizar una proyección de la capacidad de abastecimiento para los años que dure el proyecto.

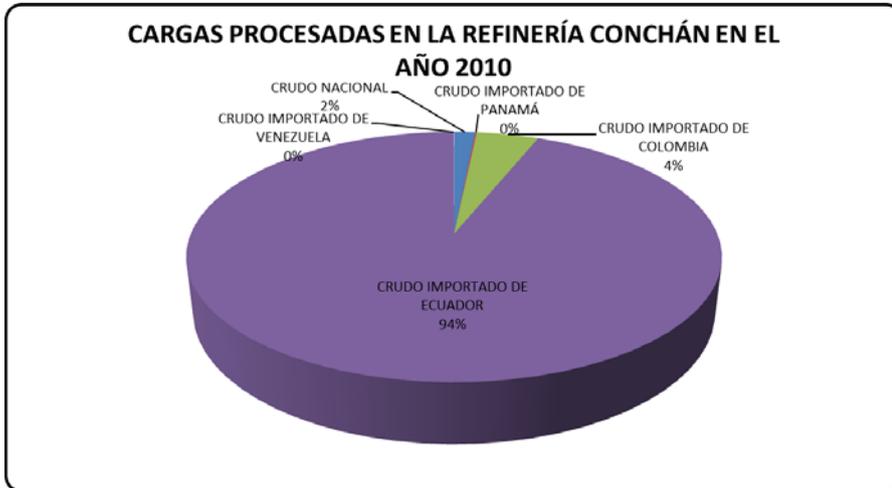
GRÁFICA III - 1



Elaboración propia.

Fuente: Anuario Estadístico de hidrocarburos 2009 MINEM.

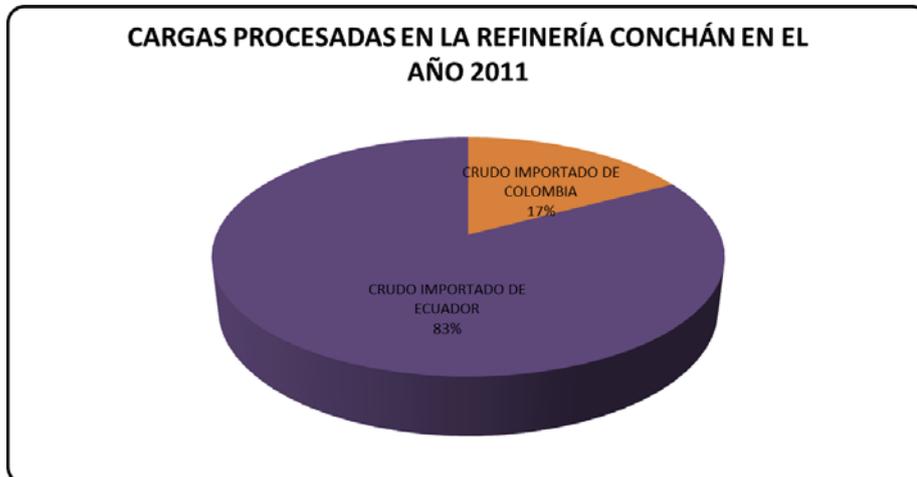
GRÁFICA III - 2



Elaboración propia.

Fuente: Anuario Estadístico de hidrocarburos 2010 MINEM.

GRÁFICA III - 3



Elaboración propia.

Fuente: Anuario Estadístico de hidrocarburos 2011 MINEM.

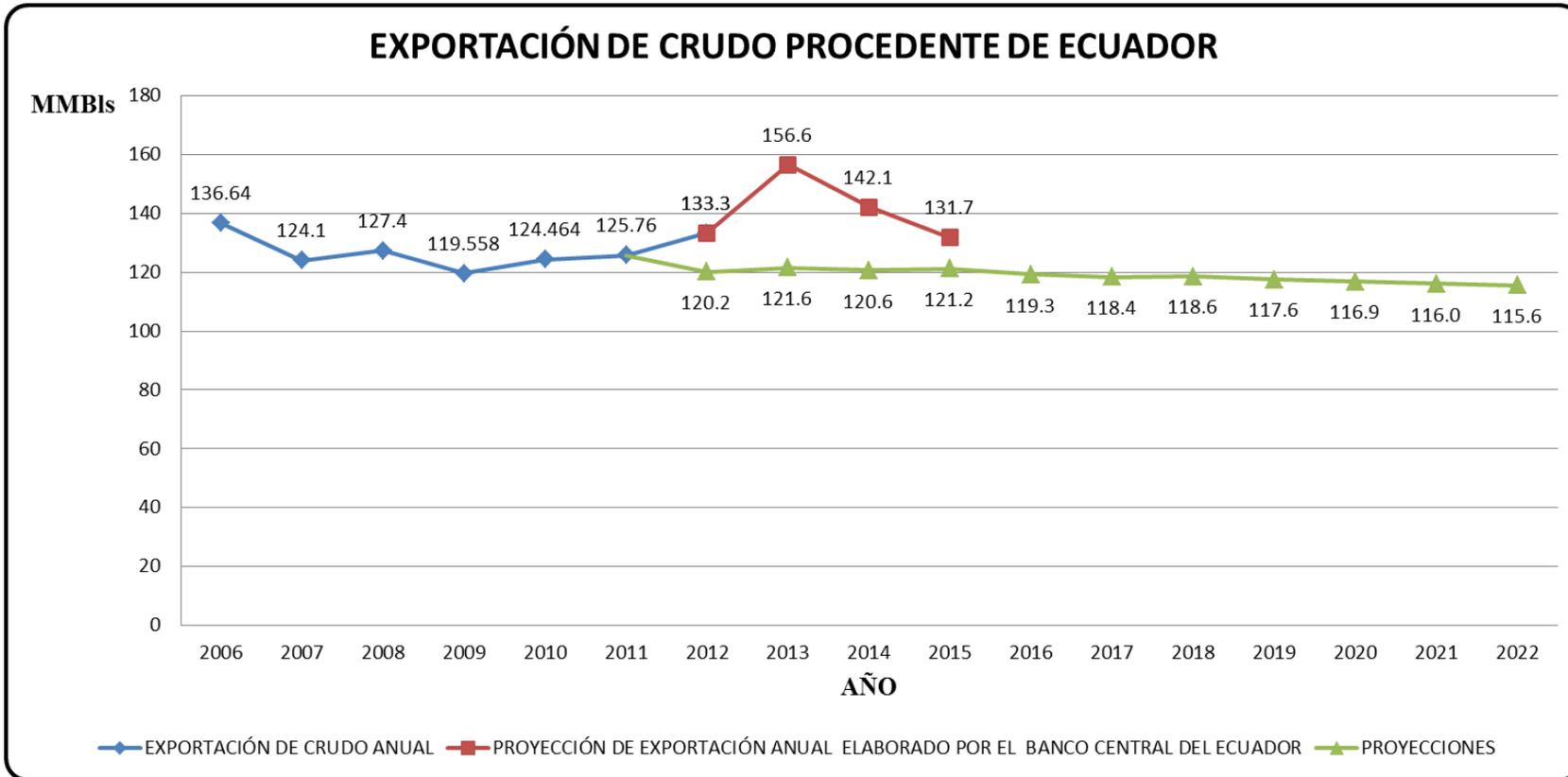
En base a las gráficas III – 1, III – 2 y III – 3, se determina que el crudo que alimenta principalmente a la refinería Conchán proviene de Ecuador, siendo el denominado Crudo Oriente Ecuatoriano (COE) la principal fuente de importación.

Ello es debido a que el crudo COE es reconocido mundialmente porque a partir de él se refina asfalto de buena calidad y la refinería Conchán procesa principalmente asfaltos.

A fin de garantizar el suministro constante de crudo a la refinería Conchán y en un volumen adecuado para poder producir asfalto oxidado y de alto índice de penetración, de acuerdo a las necesidades del mercado peruano; en la gráfica III – 4 se muestra una proyección de las reservas de crudo para exportación con las que cuenta Ecuador.

Para ello se utilizó los datos del volumen de exportación de crudo que realizó Ecuador años anteriores y las proyecciones del volumen de exportación realizadas por el Banco Central del Ecuador

GRÁFICO III - 4



Elaboración propia.
Fuente: Datos del EP PETROECUADOR.

En el gráfico III - 4 se presenta en marcadores azules las exportaciones realizadas por Ecuador en millones de barriles por año entre el 2006 a 2011.

De estos datos se puede concluir que las exportaciones se mantuvieron casi constantes en general, siendo el punto más bajo el año 2009, para darse luego un incremento del volumen de crudo exportado en los años 2010 y 2011.

Desde el 2006 se vino incrementando las exportaciones de crudo por parte de la empresa petrolera estatal en Ecuador y al mismo tiempo se produjo una disminución de las exportaciones de crudo de las empresas privadas. Esta tendencia originó que a partir del 2011 se exporte de Ecuador principalmente crudo Oriente el cual presenta las siguientes características:

- Crudo Oriente: 23 grados API promedio – crudo intermedio.

Con marcadores rojos se puede observar en el gráfico III - 4 la tendencia de exportación de crudo realizada por el Banco Central del Ecuador. Se espera un crecimiento de 8% en el 2012 y 17.5% durante el 2013; mientras que en los años 2014 y 2015 se proyecta registrar reducciones en el volumen exportado, como resultado de la disminución de la producción de varios campos petroleros maduros explotados en la actualidad.

Se espera revertir esta situación a partir del 2016 debido a los contratos de servicio firmados a principio del 2012, entre el estado ecuatoriano y empresas particulares, a fin de que estas últimas ejecuten actividades en campos de producción estatales, que permitan optimizar la producción, mediante el empleo de tecnología de recuperación mejorada y realizar trabajos de exploración en los campos Shushufindi-Aguarico y Libertador-Atacapi; los cuales son los campos más productivos y antiguos de Ecuador.

En base al análisis realizado se puede asumir una exportación relativamente constante de crudo procedente de Ecuador, cuyo pronóstico en volumen se puede apreciar a través de los marcadores en color verde del gráfico III - 4.

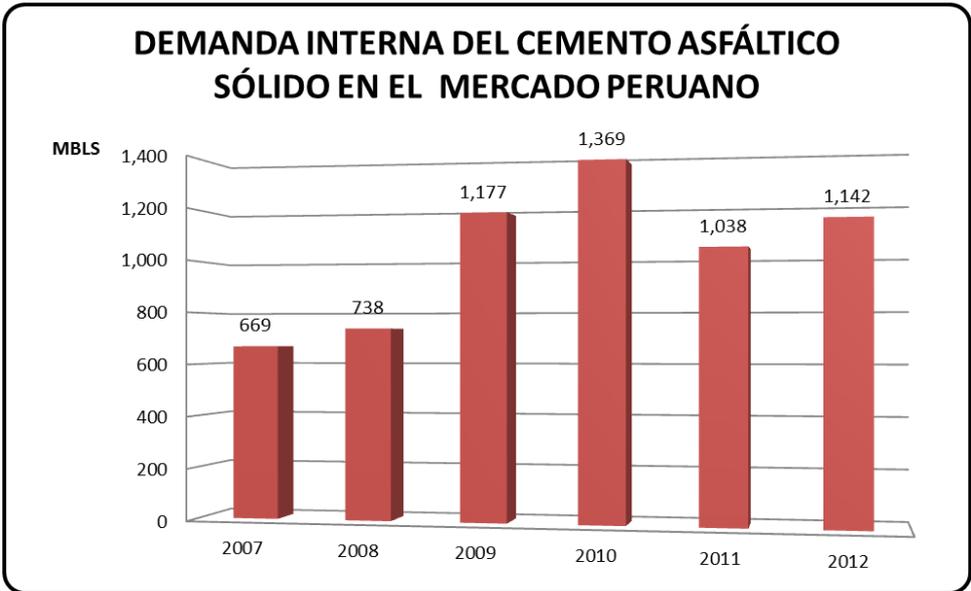
Esta tendencia cuyo límite inferior es 115.6 MMBls hacia fines del 2022 supera ampliamente los requisitos de volumen de crudo a importar por parte de la refinería Conchán, los cuales de acuerdo al Anuario Estadístico de Hidrocarburos publicado por el MINEM al 2011 es de 3.05 MMBls anuales, operando a una tasa de rendimiento en la producción de 60%.

Teniendo un pronóstico favorable durante los próximos 10 años, se puede garantizar el suministro constante de crudo a la refinería Conchán y consecuentemente, el volumen de materia prima necesario para justificar la instalación de una planta de oxidación de asfalto.

3.2 DEMANDA DE ASFALTO SÓLIDO

En base a los datos obtenidos en las estadísticas mensuales publicadas por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) se elaboró la gráfica III – 5, el cual muestra la demanda interna del cemento asfáltico sólido (convencional) en el Perú desde el año 2007 al 2012.

GRÁFICA III – 5



Elaboración propia.
Fuente: Estadística mensual publicada en la página web del MINEM.

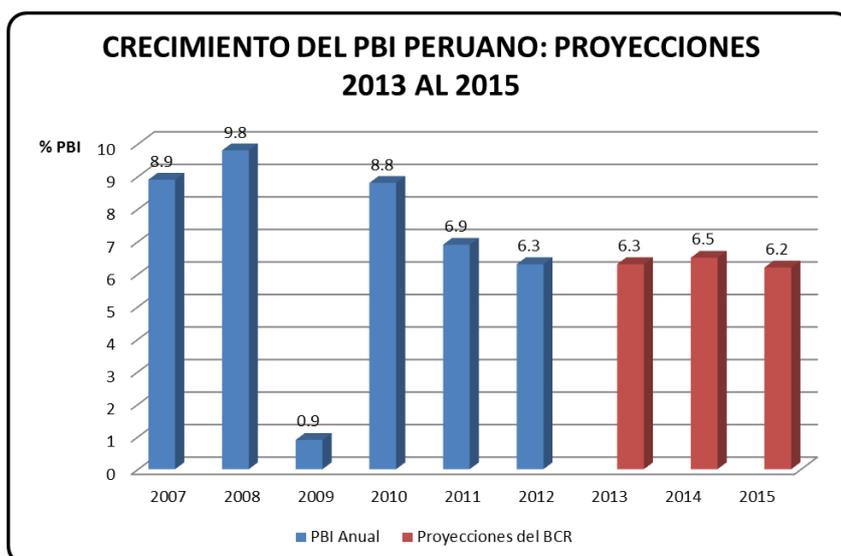
En la gráfica III – 5 Se puede observar el crecimiento constante en la demanda interna de cemento asfáltico sólido, llegando a incrementarse un poco más del doble en su consumo entre los años 2007 al 2010.

Este aumento puede ser explicado debido al elevado crecimiento del PBI peruano durante los mismos años, el cual es resultado de la suma de esfuerzos de una creciente clase empresarial en el país y una política de estado. Ello ha motivado la inversión en el país durante la última década, de parte tanto del capital privado nacional como del arribo de inversión extranjera.

Este crecimiento constante de la industria peruana redundará, entre otros requerimientos, contar con una producción de asfalto oxidado y cemento asfáltico de alto índice de penetración, los cuales serán usados como materia prima respectivamente, en la protección de equipos industriales por parte del sector privado principalmente y en la pavimentación de carreteras por parte del estado para obtener vías de acceso más rápidas a fin de ser eficientes y competitivos en la venta de productos peruanos tanto para el mercado interno como el extranjero.

En base a estudios realizados por el Banco Central de Reserva (BCR), se espera una proyección del crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI) peruano para el año 2013, 2014 y 2015 bordeando ligeramente el 6% como se muestra en la gráfica III – 6; lo que corrobora que se seguirá incrementando la inversión en infraestructura en el interior del país.

GRÁFICA III – 6



Elaboración propia

Fuente: Datos de las proyecciones realizadas por el BCR.

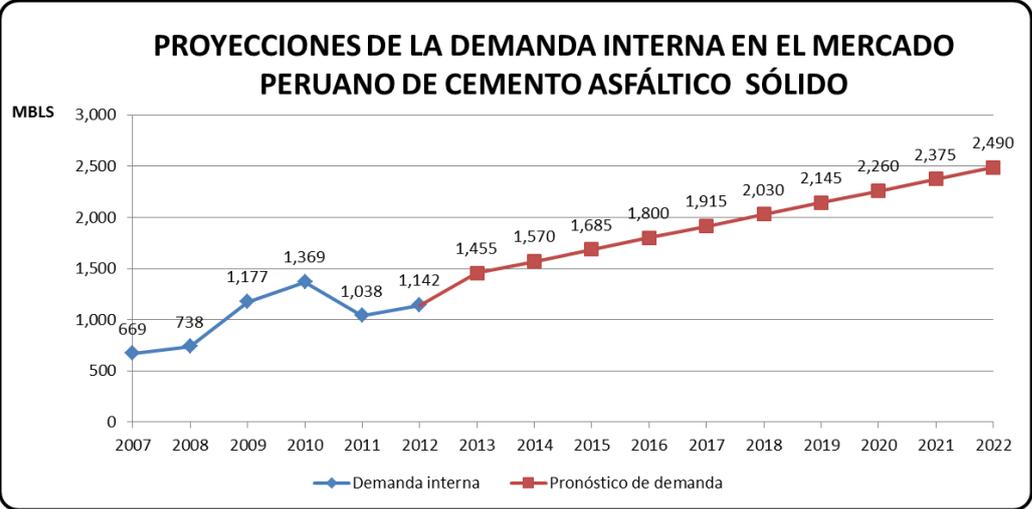
Debido a este auge económico, se puede realizar una extrapolación de datos a fin de cuantificar la demanda de asfalto sólido (llamado también cemento asfáltico convencional) vendido por las refinerías en el país para los próximos 10 años. Ello será necesario para realizar luego una estimación de ventas del asfalto oxidado y asfalto de alto índice de penetración.

Es necesario resaltar, que para realizar una proyección de ventas de cemento asfáltico convencional no se toma en cuenta la ligera disminución de demanda durante el año 2011; el cual se puede explicar por la paralización de muchos proyectos de inversión en el país debido a la incertidumbre política vivida durante las elecciones presidenciales del 2011 y los primeros meses de asumido el mando el nuevo Presidente de la República Peruana.

Luego de este periodo de tiempo, de acuerdo al crecimiento del PBI durante el año 2012 se puede afirmar que la clase empresarial peruana e inversionistas extranjeros retomaron sus proyectos de inversión al constatar el continuismo de las políticas estatales de promoción a la inversión y respeto a la propiedad privada dentro del marco legal peruano vigente.

La gráfica III – 7 muestra en base a las ventas desde los años 2007 al 2012, una proyección de la demanda de cemento asfáltico convencional para los siguientes 10 años usando la función pronóstico de Excel.

GRÁFICO III – 7



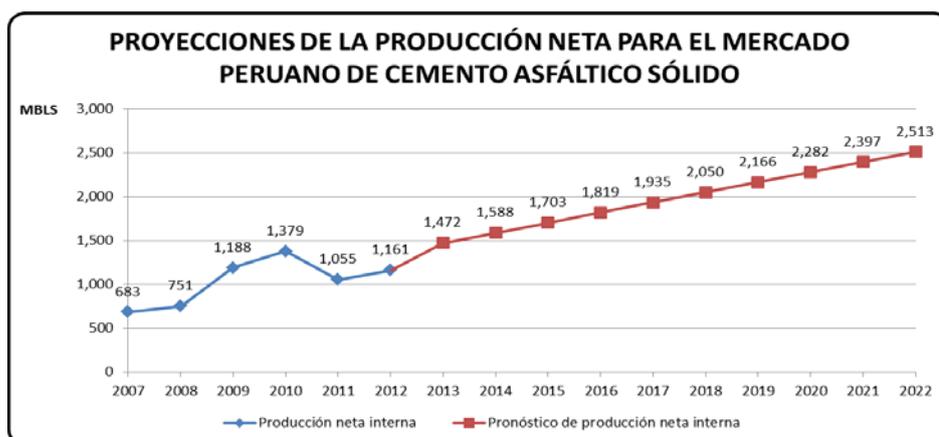
Elaboración propia.
 Fuente: Estadística mensual publicada en la página web del MINEM.

A partir de la gráfica III – 7, observamos un continuo crecimiento en la demanda de cemento asfáltico sólido en el país, el cual se justifica debido a las proyecciones realizadas del PBI por el Banco Central de Reserva para los siguientes años.

3.3 OFERTA DE ASFALTO SÓLIDO.

En base a los datos obtenidos en las estadísticas mensuales publicadas por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y las proyecciones del PBI hasta el año 2015 se elaboró la gráfica III – 8; el cual muestra la producción neta para el mercado nacional de asfalto sólido (llamado también cemento asfáltico convencional) desde el año 2007 al 2012 y una proyección desde el año 2013 hasta el año 2022.

GRÁFICO III – 8



Elaboración propia.

Fuente: Estadística mensual publicada en la página web del MINEM.

3.4 DEMANDA DE ASFALTO DE ALTO ÍNDICE DE PENETRACIÓN.

El desarrollo de la infraestructura en el país, para continuar con el crecimiento económico que presenta el Perú desde hace varios años, no solo requiere el incremento de empresas de producción y servicios o su mejora tecnológica mediante la adquisición de nueva maquinaria, sino principalmente una red vial nacional interconectada que asegure una fluidez rápida y eficiente de los productos, que garantice una entrega a tiempo de la mercadería y aminore los costos operativos relacionados a la logística de distribución.

Para este fin el estado peruano, a través de PROINVERSION, viene desarrollando una serie de concesiones de obras viales con el objetivo de pavimentar las vías de acceso al interior del país, así como su mantenimiento durante el transcurrir de los años.

Debido a una precaria red vial implementada hasta la actualidad sumada a lo agreste de la geografía peruana, el desarrollo de una red vial eficiente que interconecte al país demandará un trabajo de construcción proyectado a largo plazo, asegurando de esta manera, la demanda de asfalto usado en la pavimentación para los siguientes años.

En los últimos años se ha venido incrementando en el Perú el uso del asfalto modificado con polímeros restando mercado al cemento asfáltico convencional

debido a que el primero es el único asfalto que se comercializa en el Perú con características mejoradas con respecto al cemento asfáltico convencional.

En la actualidad, un promedio del 25% del total del cemento asfáltico sólido comercializado en el Perú es adquirido por empresas con tecnología en modificación con polímeros ya que ninguna refinería cuenta con la infraestructura necesaria para realizar la modificación en sus plantas.

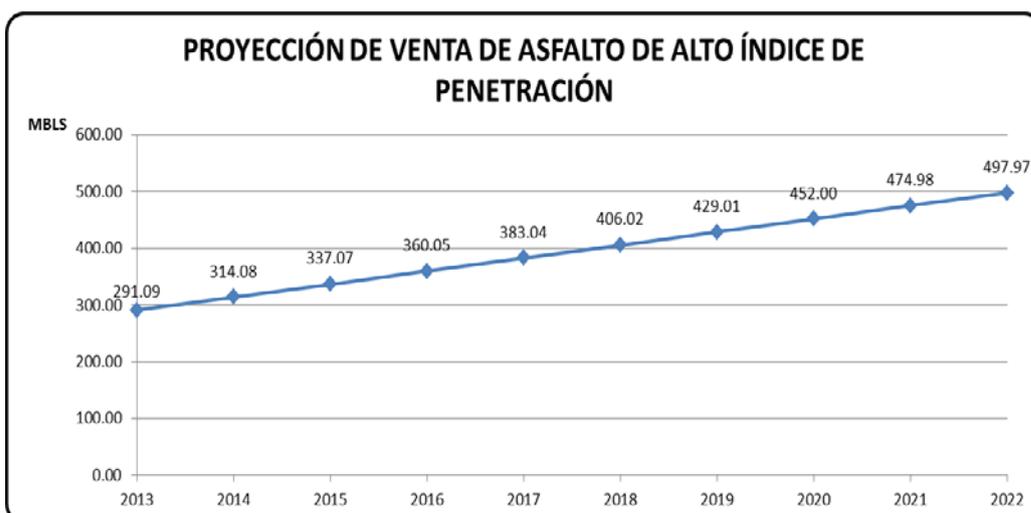
Debido a que el asfalto de alto índice de penetración que producirá la planta de oxidación de asfalto presenta un comportamiento similar al asfalto modificado con polímero pero se comercializará a un precio inferior a este último se espera que el asfalto de alto índice de penetración obtenga la participación de mercado con la que cuenta actualmente el asfalto modificado con polímeros.

A fin de realizar un estudio de mercado moderado, se estimará que el asfalto de alto índice de penetración tendrá un porcentaje de participación de 20% del total del cemento asfáltico sólido comercializado en el Perú.

Si bien este porcentaje de participación del asfalto de alto índice de penetración puede incrementarse con el transcurrir del tiempo, a fin de realizar el pronóstico de la demanda se considerará invariable durante el tiempo que opere la planta.

El gráfico III – 9 muestra el volumen proyectado de ventas de cemento asfáltico de alto índice de penetración.

GRÁFICO III – 9



Elaboración propia.

A partir de la gráfica III – 9 podemos obtener el cuadro III – 1 donde se muestra la cantidad (en TM) proyectado de ventas de asfalto de alto índice de penetración hasta el año 2022.

CUADRO III – 1

AÑO	PRONÓSTICO (MBLS)	PRONÓSTICO TM
2013	291.09	45,816.00
2014	314.08	49,433.86
2015	337.07	53,051.73
2016	360.05	56,669.59
2017	383.04	60,287.46
2018	406.02	63,905.32
2019	429.01	67,523.19
2020	452.00	71,141.05
2021	474.98	74,758.92
2022	497.97	78,376.78

Elaboración propia.

3.5 DEMANDA DE ASFALTO OXIDADO.

Como se mencionó anteriormente, el crecimiento constante de la industria peruana; debido a inversiones de capital nacional o el arribo de capital extranjero; redundan en un aumento en la infraestructura en el Perú.

Este aumento trae consigo, entre otras mejoras, la compra de equipos industriales más modernos o la ampliación de los ya existentes, a fin de satisfacer una demanda creciente de productos o servicios tanto en el mercado interno como para la exportación.

Este aumento en equipos industriales produce un mercado que demanda cada vez mayores volúmenes de asfaltos oxidados, cuyo uso es principalmente el de protección anticorrosivo de equipos industriales como tanques y otras estructuras así como para impermeabilizar techos de viviendas.

En la actualidad, en el Perú no existe una comercialización interna de asfaltos oxidados. Para cubrir esta demanda insatisfecha se utiliza como reemplazo, los cementos asfálticos convencionales de penetración 10/20 al 40/50; los cuales, como se mostró anteriormente, no son los adecuados para ese propósito.

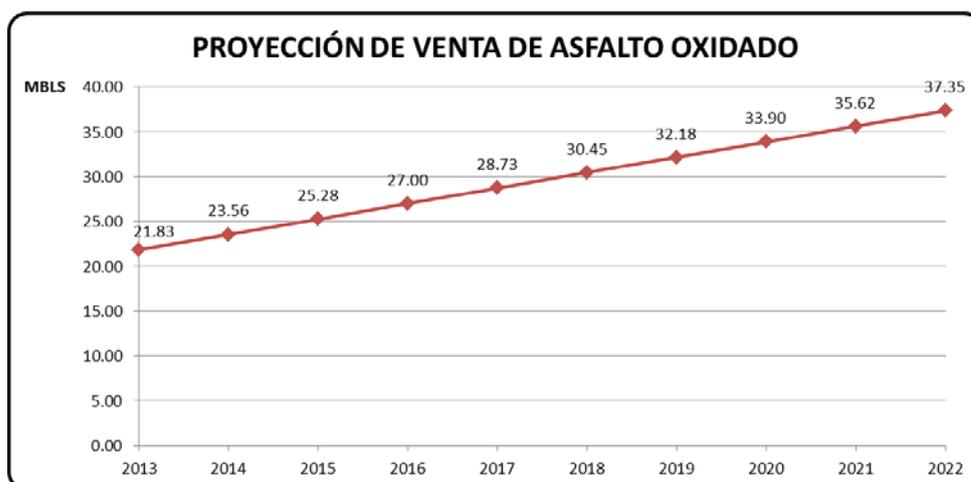
Debido a los costos de procesamiento, se comercializará el asfalto oxidado con un incremento de precio de 3% con respecto al cemento asfáltico convencional de penetración 10/20 al 40/50.

Este incremento en el precio se ve justificado para el usuario final, como se mencionó anteriormente, debido al mayor tiempo de vida útil y mejor comportamiento del asfalto oxidado frente al cemento asfáltico convencional de penetración 10/20 al 40/50.

La participación en el mercado a nivel nacional de los asfaltos de uso industrial es del 2% del total del asfalto sólido comercializado en el Perú. Se espera que el asfalto oxidado cubra dicha demanda, pero a fin de realizar un estudio de mercado moderado, se estima que el asfalto oxidado obtenga una participación del 1.5% del total del asfalto sólido comercializado en el Perú.

La gráfica III – 10 nos muestra la proyección del volumen de venta de asfalto oxidado hasta el año 2022.

GRÁFICA III – 10



Elaboración propia.

En base a los datos obtenidos de la gráfica III – 10 obtenemos el cuadro III – 2 en el cual se muestra la cantidad (en TM) proyectado de venta de asfalto oxidado.

CUADRO III – 2

AÑO	PRONÓSTICO (MBLS)	PRONÓSTICO TM
2013	21.83	3,436.20
2014	23.56	3,707.54
2015	25.28	3,978.88
2016	27.00	4,250.22
2017	28.73	4,521.56
2018	30.45	4,792.90
2019	32.18	5,064.24
2020	33.90	5,335.58
2021	35.62	5,606.92
2022	37.35	5,878.26

Elaboración propia.

3.6 CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO DE LA REFINERÍA CONCHÁN.

A fin de hallar la capacidad máxima de producción de asfalto de la refinería Conchán, a continuación se realiza un balance volumétrico del crudo procesado en dicha refinería en función a su capacidad instalada.

En base al análisis anteriormente descrito con respecto al origen del crudo que se procesa en la refinería Conchán, se determinó que la importación de dicha materia prima proviene principalmente del denominado Crudo Oriente Ecuatoriano (COE), el cual es producido en Ecuador.

El crudo COE es considerado a nivel mundial de buena calidad para la producción de asfalto ya que contiene aproximadamente un 56% en volumen de dicho producto.

Se sabe además que la capacidad instalada de alimentación de crudo a la refinería Conchán es de 13.5MBLS/DC. Dicho volumen multiplicado por 365 días da un volumen anual de 4927.5MBLS.

Del último volumen hallado el 56% corresponde al asfalto que puede ser producido. Ello resulta finalmente en una capacidad de producción máxima de asfalto al año de 2759.4MBLS en la refinería Conchán.

Del estudio de demanda realizado, tanto para el asfalto de alto índice de penetración como para el asfalto oxidado, se hizo una proyección de volumen de demanda anual máximo de 497.97MBLS y 37.35MBLS respectivamente. Ello resulta en una demanda máxima anual de 535.32 MBLS de productos terminados de la planta de oxidación de asfalto.

Considerando que la variación de volumen entre la carga de alimentación al proceso de oxidación de asfalto y el producto obtenido es despreciable, se concluye que la capacidad máxima de producción de asfalto de la refinería Conchán el cual es 2759.4MBLS al año es superior al requerimiento de materia prima por parte del proceso de oxidación de asfalto el cual es de 535.32 MBLS al año para cumplir con la demanda máxima estimada, tanto de asfalto de alto índice de penetración como de asfalto oxidado.

Ello demuestra que la refinería Conchán cuenta con la infraestructura necesaria para refinar el volumen de asfalto sólido requerido para utilizarlo como carga de

alimentación al proceso de oxidación de asfalto durante el tiempo que dure el proyecto.

3.7 PRECIOS EN EL MERCADO NACIONAL.

Para poder contar con una referencia de los costos finales, excluyendo el IGV, de los asfaltos que serán reemplazados en el mercado interno peruano por el asfalto oxidado y el asfalto de alto índice de penetración, a continuación se presenta en el cuadro III - 3 los costos de venta final al público sin IGV del asfalto de baja penetración que actualmente es usado de manera industrial y comercializado en camiones cisterna.

CUADRO III – 3

PRODUCTO (VENDIDO EN CAMIÓN SISTERNA)	PRECIO (SOLES/GALÓN)
ASFALTO SÓLIDO 10/20 AL 20/30	8.26
ASFALTO SÓLIDO 40/50	7.97

Elaboración propia.

Fuente: Fuente: Página web de PETROPERU S.A.

Debido a que el asfalto que se emplea en la actualidad de manera industrial tiene precios variables de acuerdo a su graduación por penetración como se muestra en el cuadro III - 3, en el capítulo de evaluación económica se determina un precio referencial promedio y a partir de ello se evalúa el precio final del asfalto oxidado con un castigo de 3% debido al costo del procesamiento.

En el cuadro III – 4 se presenta el costo de venta final al público, excluido IGV, del asfalto modificado con polímeros SBS que comercializa actualmente en el Perú la empresa transnacional TDM asfaltos y el asfalto usado en pavimentación comercializado por la empresa estatal PETROPERU S.A.

CUADRO III- 4

PRODUCTO (VENDIDO EN CAMIÓN SISTERNA)	PRECIO (SOLES/GALÓN)
ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO SBS	9.17
ASFALTO SÓLIDO	7.97

Elaboración propia.

Fuente: Páginas web de las empresas TDM asfaltos y PETROPERU S.A.

Si bien el incremento del precio del asfalto modificado con polímeros es del 15% con respecto al asfalto graduado por penetración que comercializa la empresa estatal PETROPERU S.A. este incremento del costo puede ser superior dependiendo del polímero empleado pudiendo llegar hasta un 25%.

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En lo que respecta al diseño del asfalto, la investigación y el avance tecnológico ha venido desarrollando el uso de ligantes asfálticos cada vez más duraderos, con mejor comportamiento mecánico y mayor resistencia a la susceptibilidad térmica.

Es en este contexto que se ha desarrollado la tecnología de oxidación del asfalto, a fin de producir a partir de ella, asfalto oxidado para uso industrial y asfalto de alto índice de penetración para uso en la pavimentación. En este sentido, el presente capítulo comienza con una descripción detallada del proceso de oxidación; luego un resumen teórico de dos puntos importantes como son el mecanismo de oxidación del asfalto y el cambio de sus propiedades en función a las variables de operación; para finalmente concluir con las condiciones de operación requeridas para la producción de asfalto oxidado y asfalto de alto índice de penetración.

4.1 PROCESO DE OXIDACIÓN DE ASFALTO.

El presente trabajo se ha desarrollado en base a la tecnología propuesta por el licenciante argentino ADELO Argentina S.R.L. a través de su unidad de desarrollo de tecnología y venta de maquinarias para la industria del asfalto, denominada E-asphalt; el cual es propietario de la patente de la planta de oxidación de asfaltos. Dicha tecnología cuenta con la versatilidad de trabajar según el proceso de oxidación continua o batch; aunque el licenciante recomienda el proceso continuo.

La adquisición de la tecnología está conformada por los equipos necesarios para la producción a nivel industrial de los productos antes mencionados y el tratamiento de los gases efluentes productos de la reacción, así como la entrega de una planta piloto.

En el diseño se asume que para producir asfalto oxidado o asfalto de alto índice de penetración se debe tener un suministro de asfalto sólido proveniente de refinerías.

4.1.1 PROCESO DE OXIDACIÓN EN LA PLANTA PILOTO.

Para garantizar las características específicas del asfalto oxidado y del asfalto de alto índice de penetración, de acuerdo al requerimiento del mercado, algunos detalles específicos en la construcción del reactor dependerán de las pruebas que se realice en la planta piloto usando como alimentación para este último el asfalto sólido proveniente de los fondos de la unidad de destilación de vacío que proveerá regularmente al reactor oxidador de asfalto de escala industrial.

El licenciante recomienda realizar pruebas en la planta piloto antes de iniciar la producción a nivel industrial, en caso se cuente con una materia prima de propiedades diferentes a lo usualmente empleado o se requiera cambiar las condiciones de operación para obtener un producto con propiedades particulares.

El proceso en la planta piloto se inicia ingresando el asfalto en el cuerpo del oxidador, luego se comienza a ingresar aire en el reactor abriendo la válvula del compresor de aire en forma constante, tomando el tiempo respectivo a cada ensayo en particular (desde 30 minutos hasta 4 horas), controlando la presión y la temperatura final de oxidación.

El aire ingresa por el inferior de la planta piloto, el cual cuenta con un dispositivo dispersor de finas burbujas de aire como se muestra en la figura IV – 1. Estos pequeños agujeros tienen un diámetro de 2 milímetros que permiten una fina dispersión de aire, provocando un íntimo contacto con el asfalto.

A medida que el asfalto base se oxida con el ingreso del aire, este se va endureciendo, disminuyendo su penetración, aumentando su viscosidad y su punto de ablandamiento; entre otros cambios.

FIGURA IV – 1. Distribuidor de aire



Fuente. E-asphalt.

A continuación se detalla el proceso en la planta piloto:

4.1.1.1 TEMPERATURA DE LA ALIMENTACIÓN

Para todas las pruebas, se debe calentar el asfalto a una temperatura no menor de 200°C y se incorpora a la planta piloto por su boca superior. Esta luego se cerrará de acuerdo a una unión doble danesa y su sello correspondiente.

4.1.1.2 DATOS DE ALIMENTACIÓN

Se deberá realizar los ensayos de penetración a 25°C según Norma ASTM D5 y la de punto de ablandamiento Ring and Ball (R&B) de acuerdo a Norma ASTM D36, a cada partida que se utilice como muestra a oxidar en la planta piloto.

Estos datos, serán de importancia para poder obtener las curvas de oxidación (variación de la penetración y el punto de ablandamiento con el tiempo de residencia en la planta piloto).

4.1.1.3 TECNOLOGÍA DE LA PLANTA PILOTO

La planta piloto está diseñada para trabajar en sistema “batch” (proceso discontinuo o por lotes).

4.1.1.4 TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL REACTOR.

Se refiere al tiempo necesario para obtener las especificaciones a cumplir de los productos terminados. Se realizarán pruebas en la planta piloto a distintos tiempos de reacción a fin de poder obtener las curvas de oxidación.

4.1.1.5 CAUDAL DE AIRE.

El caudal de aire a utilizar en la planta piloto será de: 1.0 dm³ por kilogramo de asfalto por minuto.

4.1.1.6 TEMPERATURA INICIAL DE OXIDACIÓN.

Es importante que la temperatura inicial de oxidación sea superior a los 180°C. Si bien la reacción de oxidación es exotérmica, comenzar con temperaturas menores a la determinada, hará que el tiempo de residencia en el reactor sea mayor, aumentando los costos de reacción.

4.1.1.7 TEMPERATURA FINAL DE OXIDACIÓN.

La temperatura final de oxidación no debe superar los 290°C y debe mantenerse en ese nivel para la obtención de asfaltos sumamente oxidados.

Sin embargo, para asfaltos levemente oxidados (es el caso de obtención directa de asfaltos viales de alto índice de penetración), la temperatura de oxidación estará en el orden de los 250°C.

Deberá tenerse sumo cuidado que la temperatura no supere los 300-320°C, dado que se encuentra a temperaturas cercanas al punto de inflamación de los asfaltos a la presión de reacción.

La presencia del oxígeno del aire y la alta temperatura puede provocar la explosión del equipo con su consiguiente rotura y riesgo potencial hacia los operadores.

En caso de llegar a esa temperatura, el equipo viene provisto con válvula de seguridad para el venteo inmediato del exceso de aire en la parte superior de la planta piloto. Cuando el equipo esté presurizado entre valores de 1 a 2 Kg./cm² positivos, los riesgos potenciales de sobre calentamiento disminuyen.

4.1.1.8 PRESIÓN DE REACCIÓN.

Se mantendrá dentro de un rango de 1.5 a 2.0 Kg/cm². El caudal de aire a utilizar y la presión dentro de la planta piloto deben mantenerse constantes durante el tiempo de residencia.

4.1.2 PROCESO DE OXIDACIÓN A ESCALA INDUSTRIAL.

El proceso de oxidación a escala industrial para obtener asfalto oxidado o asfalto de alto índice de penetración se describe a continuación.

4.1.2.1 ESPECIFICACIÓN DE LA CARGA

La carga de alimentación se obtiene a partir del asfalto sólido (llamado también cemento asfáltico convencional). Para conocer la especificación exacta de la entrada se deben realizar pruebas de laboratorio, principalmente de penetración y punto de ablandamiento. Las cuales, son esenciales para operar el reactor oxidador de la planta.

4.1.2.2 ALIMENTACIÓN

El asfalto base se bombea de los fondos de la unidad de destilación de vacío continuamente a la unidad de oxidación para garantizar el suministro constante.

En caso de que la materia prima utilizada como alimentación se encuentre almacenada, se calienta desde la temperatura de almacenamiento, de aproximadamente 120 °C a la temperatura de proceso necesaria a la entrada de reactor a 200°C.

Esto se hace en funcionamiento continuo por intercambio de calor entre la alimentación y el retorno del producto terminado caliente (aprox. 260 °C), vía aceite de transferencia térmico.

Para el comienzo de la operación empleando asfalto base almacenado, la carga al reactor debe ser precalentado a 200 °C por medio de aceite de transferencia térmico, siendo este último calentado por el intercambiador de aceite térmico.

4.1.2.3 REACTOR

El aire requerido para la oxidación es soplado desde el fondo del reactor a través de cañerías de 2” aproximadamente de diámetro desde un compresor.

Las cañerías de aire entran en el reactor a través de su tope y luego bajan verticalmente hasta la base del reactor, donde el aire se alimenta al área de la reacción a través de un inyector.

Puesto que el inyector de aire es grande en diámetro, las burbujas creadas al final de las cañerías son pequeñas y, como tal, minimiza la cantidad de oxígeno disponible a la entrada debido a su rápida elevación, previniendo el calentamiento localizado del asfalto. Por esto, se minimiza la formación de craqueo térmico y coque.

Para lograr la utilización de oxígeno del aire al máximo, es necesario reducir el tamaño de las burbujas de aire crecientes.

Cuando las burbujas de aire se inyectan desde el fondo del reactor, ellas empiezan a subir y estas inmediatamente se rompen en más pequeñas, y son dispersadas por la primera turbina (o mezclador de disco). Es a estas alturas que la intensa reacción óptima empieza, involucrando la combinación de la alimentación con las burbujas de aire pequeñas y vapor.

Las burbujas pequeñas continúan subiendo dentro del cilindro de la reacción, crecen y aumentan su tamaño.

Las 2 turbinas adicionales (o mezcladores) minimizan y dispersan las burbujas de aire en ascenso dentro del oxidador. De esta manera, las burbujas de aire que no reaccionaron en la zona del fondo del reactor completan la reacción durante su ascenso.

Por consiguiente la utilización del oxígeno del aire se perfecciona y el consumo requerido de aire por tonelada de asfalto oxidado se reduce al mínimo.

La alimentación del asfalto se bombea en la parte más baja del reactor a aproximadamente 200 °C. Debido a la turbina y a la gran superficie de burbujas de aire, la oxidación del asfalto se realiza intensivamente. Adicionalmente, la oxidación

es aumentada por un dispositivo circulante que previene zonas muertas de baja reacción dentro del reactor.

La secuencia de movimiento de la carga inicia cuando el material procesándose circula hacia arriba rápidamente dentro del cilindro de la reacción, luego continúa hacia abajo entre la pared externa del cilindro de la reacción y la pared del reactor. Esta continua circulación, junto con la dinámica del propio proceso, asegura una reacción uniforme y de forma consistente, asegurándose la alta calidad del producto.

El reactor consiste en tres componentes principales:

- Equipamiento de reactor
- Las turbinas (o mezcladores) de disco multi-etapas.
- El cilindro de la reacción, localizado concéntrico en el equipamiento del reactor.

4.1.2.4 CONTROL DE TEMPERATURA DEL REACTOR

La temperatura de la reacción es controlada por pequeñas cantidades de agua, insertadas en las cañerías de aire que se encuentran en la parte superior del reactor, luego el aire y el agua circulan por una cañería vertical al fondo del reactor donde son liberados.

La temperatura del reactor es controlada única, directa y rápidamente por la cantidad de agua insertada. Esto garantiza, la seguridad del funcionamiento.

Por consiguiente, la cantidad óptima de aire siempre se sopla en el reactor y la velocidad de la reacción está al máximo durante el tiempo de reacción del asfalto. Al mismo tiempo, la temperatura de la reacción se mantiene constante entre 250 a 290 °C.

Efectos de despojamiento de vapores livianos del asfalto, causados por el vapor creciente mejora la calidad del asfalto. Ni agua o vapor se rocía por encima del asfalto y por consiguiente, ningún espumado o craqueo ocurre en el reactor.

Adicionalmente el punto de inflamación del producto puede aumentar vía el efecto despojador causado por el agua vaporizada que se inyecta junto al aire del proceso desde el fondo del reactor.

4.1.2.5 OBTENCIÓN DE ASFALTO OXIDADO.

Se puede obtener asfalto oxidado a partir de una oxidación severa en el reactor manteniendo una temperatura de oxidación de 290° C.

4.1.2.6 OBTENCIÓN DE ASFALTO DE ALTO ÍNDICE DE PENETRACIÓN.

Para obtener asfalto de alto índice de penetración a partir del proceso de oxidación se pueden seguir dos procedimientos:

El primero es a partir de una oxidación severa del asfalto base a las condiciones de obtención de asfalto oxidado y luego mezclarlos con el mismo asfalto base en proporciones que permitan llegar a la especificación requerida.

Para conocer el volumen exacto del asfalto oxidado y del asfalto base, la mezcla se debe realizar primeramente a nivel de laboratorio con leve agitación (200-300 rpm) por un tiempo de 15 minutos aproximadamente a una temperatura de 180°C.

El segundo procedimiento es a partir de una leve oxidación, o también llamada semi oxidación; a condiciones de operación ensayadas primeramente en la planta piloto, hasta llegar a los valores de especificación, sin hacer mezclas con componentes no oxidados.

El tiempo de residencia en el reactor dependerá del índice de penetración del asfalto base (se estima en no más de 90 minutos) y la temperatura de reacción debe estar en el orden de los 250° C.

4.1.2.7 DESCARGA DEL PRODUCTO

Para la descarga del asfalto oxidado, se instalan bombas de desplazamiento con mandos de velocidad, a fin de reunir los requisitos para obtener flujos de descarga variables. El control de flujo de la descarga se realiza vía el nivel de llenado del reactor.

4.1.2.8 ENFRIAMIENTO DEL ASFALTO OXIDADO

Para la comercialización de asfaltos oxidados a terceros, la temperatura de almacenamiento no debe ser inferior a un nivel de 200°C, para ello el asfalto oxidado debe ser enfriado por debajo de la temperatura de proceso (290 °C). Este enfriamiento se puede lograr mediante un intercambio de calor con la alimentación.

4.1.2.9 ENFRIAMIENTO DEL ASFALTO DE ALTO ÍNDICE DE PENETRACIÓN

Para el caso de fabricación de asfaltos de alto índice de penetración, se llevará por cañerías el asfalto producido en el oxidador al tanque de mezcla y despacho, para ser mezclado con el asfalto base, de acuerdo a la especificación del producto final. En este caso, el asfalto oxidado producido no deberá ser enfriado.

En caso se realice una semi oxidación para obtener el asfalto de alto índice de penetración sin realizar mezclas, el enfriamiento para el almacenaje del producto no debe ser inferior a los 200°C. Esta disminución de temperatura se puede lograr intercambiando calor con la carga de alimentación.

4.1.2.10 CONDENSADOR

Los gases producidos por la oxidación del asfalto, más el vapor de agua que se produjo por la inyección de agua al oxidador, salen por una cañería de 7" en la parte superior del oxidador.

Estos ingresan al condensador donde:

- El vapor de agua se condensa desde los 260 °C (aproximadamente), hasta los 70 °C en fase líquida e ingresan al decantador.
- Los gases hidrocarburos se dividen en condensables (temperatura de licuación mayor a 80 °C) y no condensables (temperatura de licuación por debajo de los 80 °C)

Los gases condensables pasan al decantador y los no condensables se envían por medio del soplador al horno incinerador. Será necesario realizar la incineración de los gases no condensables si los olores de estos gases son del tipo azufrados, es decir con la formación de mercaptanos.

4.1.2.11 DECANTADOR

Tanto el agua de proceso utilizada en el reactor oxidador, como los gases condensables se enfrían en el condensador y pasan a la fase líquida. Como son inmiscibles entre ellos, por un proceso de decantación se separan las fases de agua e hidrocarburos.

La fase superior serán los hidrocarburos condensables, que se envían al tanque de extracto aromático o como combustible del horno incinerador y el agua se reprocesa nuevamente para ser ingresada al oxidador.

4.1.2.12 INCINERADOR DE GASES

Los gases no condensables se envían por intermedio del soplador al horno incinerador. El quemador debe ser a gas natural o residual (dual) de aprox. 40 000 a 50 000 Kcal/hora. Deberá tener una entrada primaria para el combustible gas o líquido que mantendrá la llama del piloto.

También requerirá una entrada secundaria circunferencial para hacer el ingreso del gas proveniente del condensador, para ser quemado con la llama del quemador primario.

Esa entrada circunferencial rodea al ingreso de la llama del quemador primario. La presión del gas de salida del condensador se encuentra en el orden de 1 bar. Ese gas del condensador, estará mezclado con aire que ingresa en el sistema. La temperatura del gas será en el orden de los aprox. 80 a 100 °C, de acuerdo a la temperatura de condensación de gases en el condensador.

4.1.3 CONDICIONES DE OPERACIÓN NO DESEADAS.

El craqueo localizado en forma fuerte es la principal causa de deterioro de la calidad del producto final; esto puede ocurrir cuando los dispersores de aire no están bien diseñados.

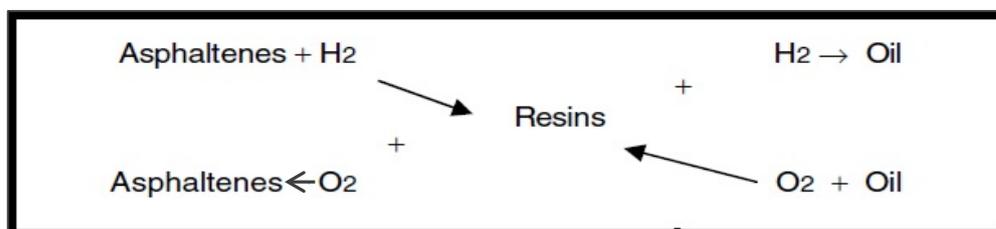
El éxito del diseño del proceso de oxidación es distribuir el aire al producto tan homogéneo y eficaz como sea posible; esto se logra teniendo en cuenta lo siguiente:

- El oxígeno debe ser usado totalmente para minimizar el tiempo de residencia en el reactor y que prácticamente ningún resto de oxígeno permanezca en los gases a la salida.
- El producto debe estar homogéneamente en contacto con el oxígeno del aire.
- No se debe permitir que el producto se sobrecaliente localmente.

4.2 MECANISMOS DE OXIDACIÓN DEL ASFALTO

El asfalto es básicamente una dispersión coloidal de los asfaltenos en el petróleo con resinas como el agente estabilizante, las cantidades de estos pueden variar ampliamente con el tipo de crudo.

En el proceso de oxidación los asfaltenos pueden ser hidrogenados a resinas, las resinas pueden ser hidrogenadas a aceites; las resinas se pueden oxidar a asfaltenos, el aceite se puede oxidar a resinas. Por lo tanto:



Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

Los cambios químicos que se producen en la estructura molecular del asfalto se expresan de la siguiente manera:

- Aumento de la concentración de asfaltenos.

- Disminución de la fase malténica.

Los asfaltos son sistemas coloidales donde los asfaltenos se encuentran dispersos en la fase malténica, que son aceites aromáticos de alto peso molecular y se puede clasificar de acuerdo al tipo de coloide de la siguiente manera:

- Asfaltos de obtención directa en refinerías : Sistema Coloidal Tipo SOL
- Asfaltos oxidados : Sistema Coloidal Tipo GEL

Los asfaltos levemente oxidados son sistemas coloidales Tipo Mixto.

Al aumentar la concentración de asfaltenos en el asfalto oxidado, disminuye la penetración, se eleva el índice de penetración, aumenta el punto de ablandamiento y disminuye la ductilidad de los mismos.

Básicamente la oxidación es un procedimiento de polimerización siguiendo la ruta:

1. La adición de O_2 para formar componentes inestables a partir de la cual el agua es eliminada dejando compuestos insaturados que se polimerizan.
2. La adición de O_2 para formar derivados carboxílicos a partir de la cual el CO_2 es eliminado seguido de una nueva polimerización.
3. Formación y eliminación de productos de oxidación volátiles distintos al H_2O y CO_2 seguido de una nueva polimerización.

Vale la pena señalar, que los mejores crudos a partir del cual se obtiene un residual de vacío, con una composición ideal para el proceso de oxidación de asfalto con aire son aquellos con alto porcentaje de la fracción de asfaltenos y bajo porcentaje en hidrocarburos parafínicos y ceras.

Las resinas pueden ser oxidados a asfaltenos con relativa facilidad, por lo que los crudos ricos en resina son buena materia prima para el proceso de oxidación.

Los aceites también pueden ser oxidados a asfaltenos, pero ellos deben ser oxidados primero a resinas, lo que requiere una operación más severa. El residual crackeado simplemente no hace buen asfalto.

En base a lo explicado se presenta el cuadro IV – 1, el cual muestra el carácter que tienen las moléculas que componen el asfalto base para el proceso de oxidación.

CUADRO IV – 1

TIPO DE MOLÉCULAS	PERFORMANCE A LA OXIDACIÓN
PARAFÍNICAS	MALA
AROMÁTICAS	BUENA
NAFTÉNIAS	MUY BUENA

Elaboración propia.

Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

4.3 VARIABLES DE OPERACIÓN.

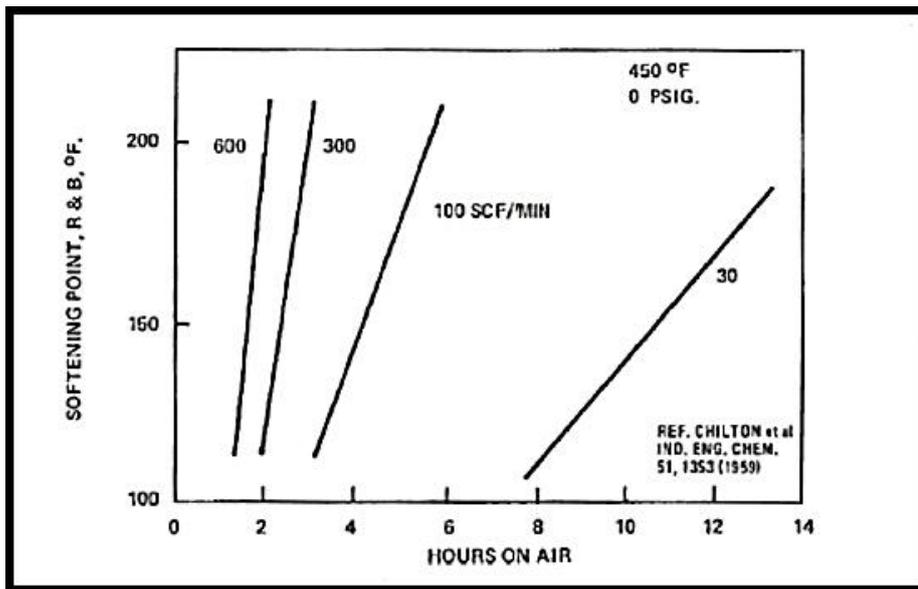
A continuación se presenta las variables de operación y de que manera afectan las propiedades del asfalto oxidado y el asfalto de alto índice de penetración, obtenidos de la unidad de oxidación de asfalto.

4.3.1 FLUJO DE AIRE INYECTADO

Esta es la variable más importante en el proceso, si la temperatura, la presión y el tiempo de residencia se mantiene constante en el oxidador, el punto de ablandamiento del asfalto puede ser notablemente incrementado aumentando el flujo de aire. Este aumento es más grande en los flujos de aire bajos que los valores más altos.

Finalmente se alcanza un punto donde el aumento del flujo de aire tiene poco efecto sobre el punto de ablandamiento. Esto se muestra en el gráfico IV – 1.

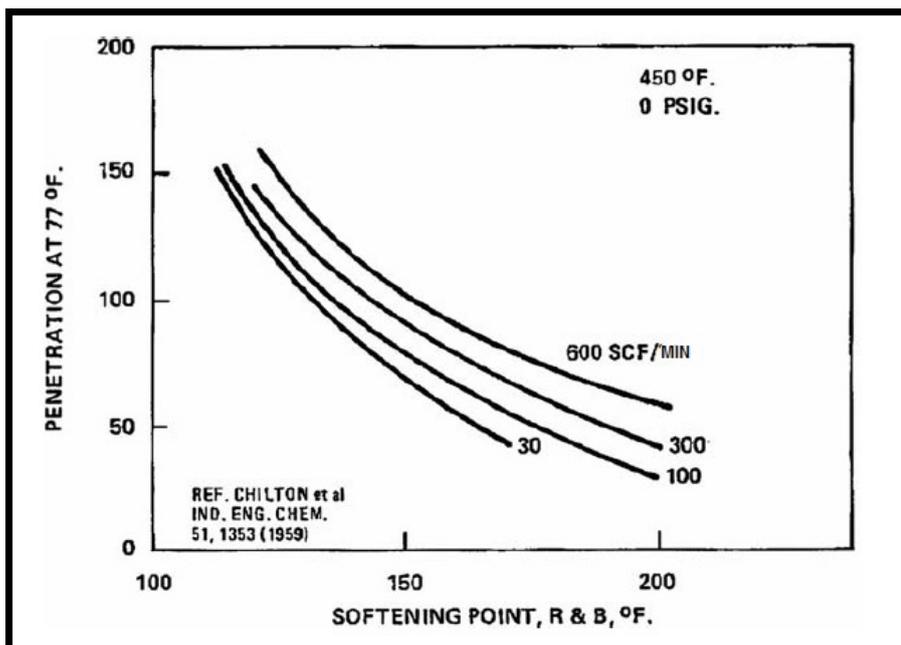
GRÁFICO IV – 1 . Efecto del flujo de aire en el punto de ablandamiento.



Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

La penetración del asfalto también se ve afectado por el flujo de aire tal como se muestra en el gráfico IV -2.

GRÁFICO IV – 2. Efecto del flujo de aire en el punto de ablandamiento y la penetración.



Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

El suministro de aire no debe contener agua libre, pero no necesita ser secado. Si el aire se suministra por un compresor alternativo, un buen diseño del recolector de agua es suficiente para eliminar el agua libre.

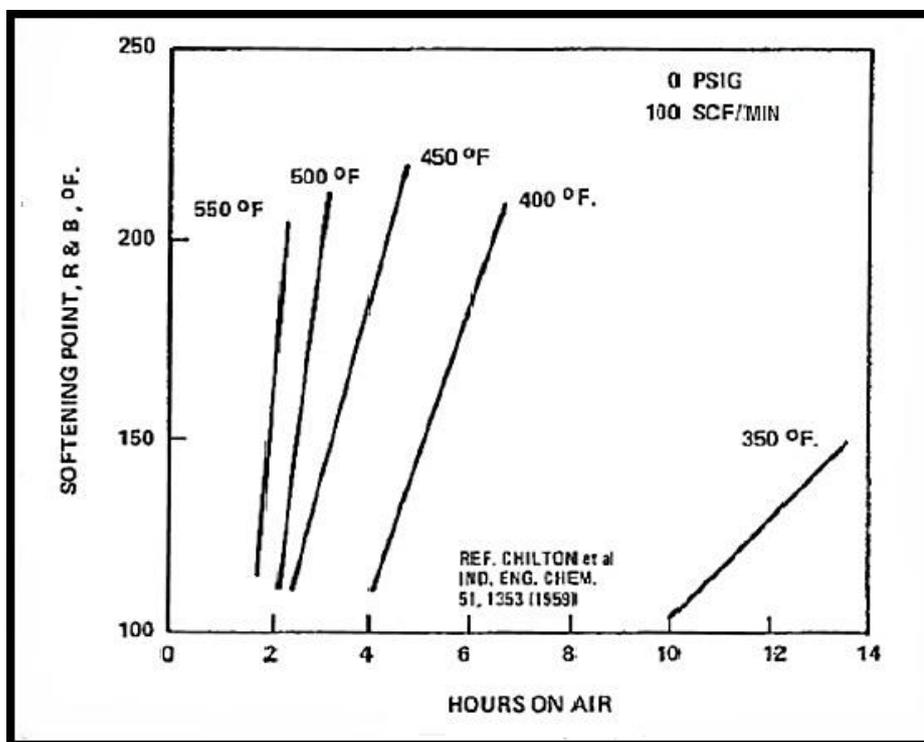
4.3.2 TEMPERATURA DE REACCIÓN

Si las otras variables se mantienen constantes, un incremento en la temperatura del oxidador aumenta el punto de ablandamiento del asfalto.

El efecto del incremento de la temperatura en el punto de ablandamiento es más grande en los niveles de temperatura más bajos que cuando la temperatura está en niveles altos.

Finalmente se alcanza un punto donde el aumento de la temperatura tiene poco efecto sobre el punto de ablandamiento, el gráfico IV – 3 muestra este efecto.

GRÁFICO IV – 3. Efecto de la temperatura en el punto de ablandamiento.

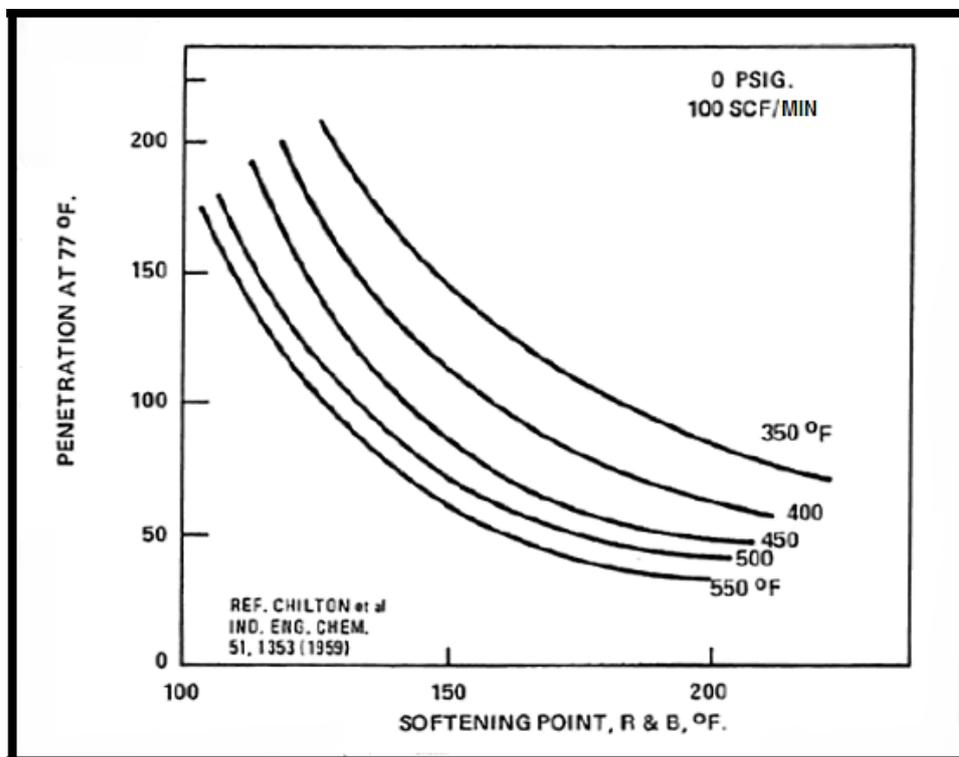


Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

La relación entre el punto de ablandamiento y penetración aumenta al disminuir la temperatura.

Para aumentar el punto de ablandamiento sin afectar a la penetración, es necesario reducir la temperatura de reacción, soplar aire durante un período más largo, o incrementar el tiempo de residencia del asfalto. El gráfico IV - 4 muestra este comportamiento.

GRÁFICO IV - 4. Efecto de la temperatura en el punto de ablandamiento y la penetración.



Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

Existen ciertas limitaciones a las temperaturas a la cual el oxidador puede ser diseñado u operado.

El diseño del oxidador no debe ser superior a 10°C (50 °F) por debajo del punto flash calculado a la presión de operación del reactor, de la carga de alimentación o de

cualquiera de sus componentes. Sin embargo, debe reconocerse que una efectiva reacción de oxidación no se produce a temperaturas inferiores a 215°C (420 °F).

La reacción de oxidación de asfalto es exotérmica y como tal debe ser controlada por alguna forma de enfriamiento, el medio de refrigeración a utilizar será inyectar agua junto con el flujo de aire el cual ingresa en estado vapor debido a la temperatura del reactor.

El propósito principal de este vapor es controlar la temperatura del reactor y actuar como capa de vapor para evitar la explosión en la atmósfera aire/carga existente en esta zona.

4.3.3 TIEMPO DE RESIDENCIA.

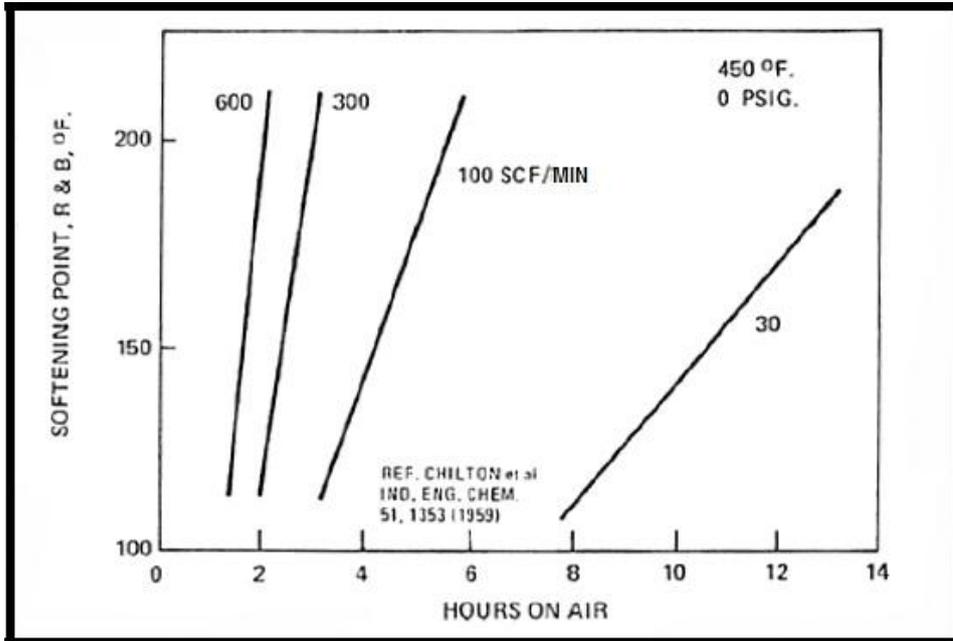
Si todas las demás variables se mantienen constantes, el punto de ablandamiento puede ser aumentado notablemente incrementando el tiempo de residencia del asfalto en contacto con el aire en el oxidador.

En el caso de procesos continuos, esto se consigue mediante la variación del caudal o aumentando el volumen de asfalto (profundidad) en el oxidador.

En el caso del proceso por lotes esto se consigue variando el tiempo de residencia del lote.

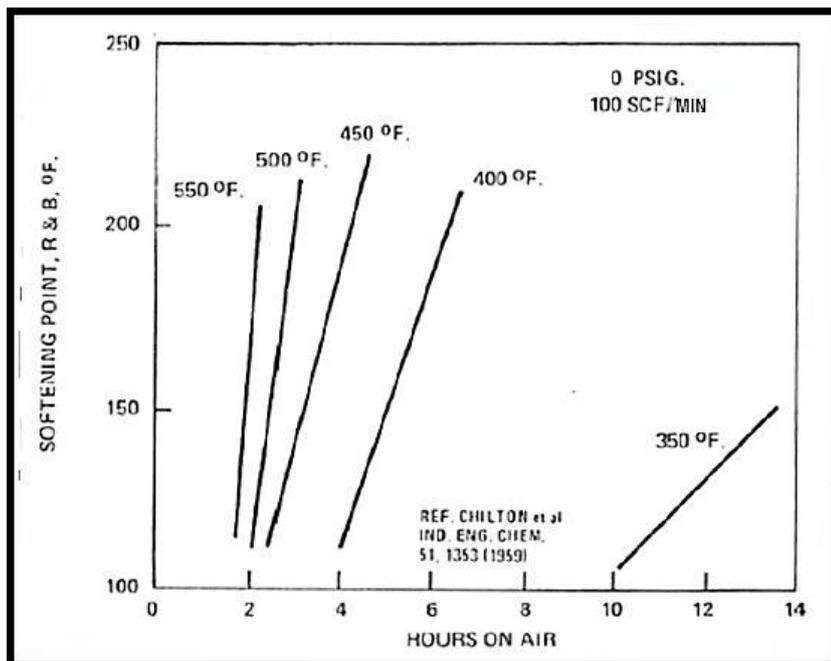
Los gráficos desde el IV – 5 al IV – 8 muestran el efecto del cambio del tiempo de residencia.

GRÁFICO IV – 5. Efecto del tiempo de residencia sobre el punto de ablandamiento a diferentes flujos de aire.



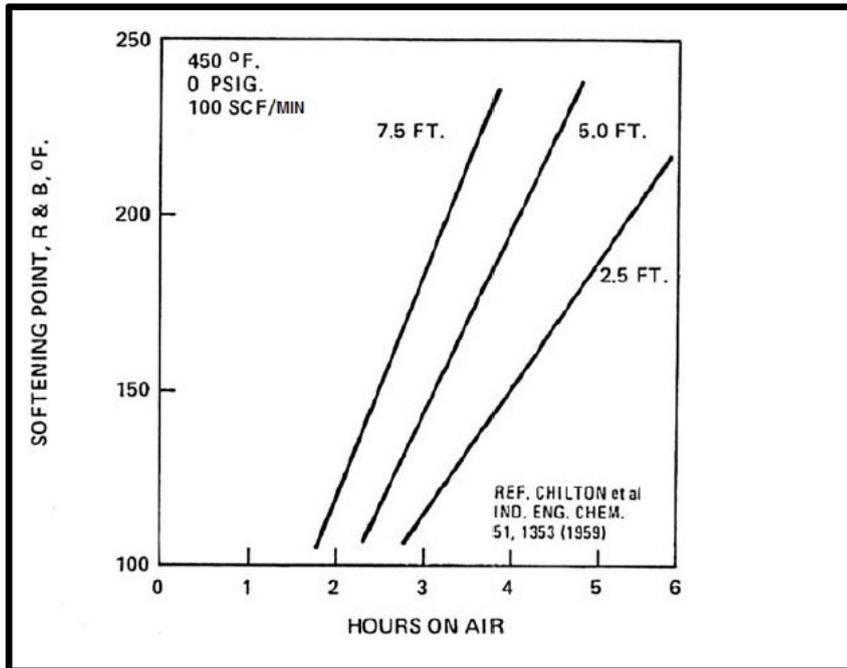
Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

GRÁFICO IV - 6. Efecto del tiempo de residencia sobre el punto de ablandamiento a diferentes temperaturas.



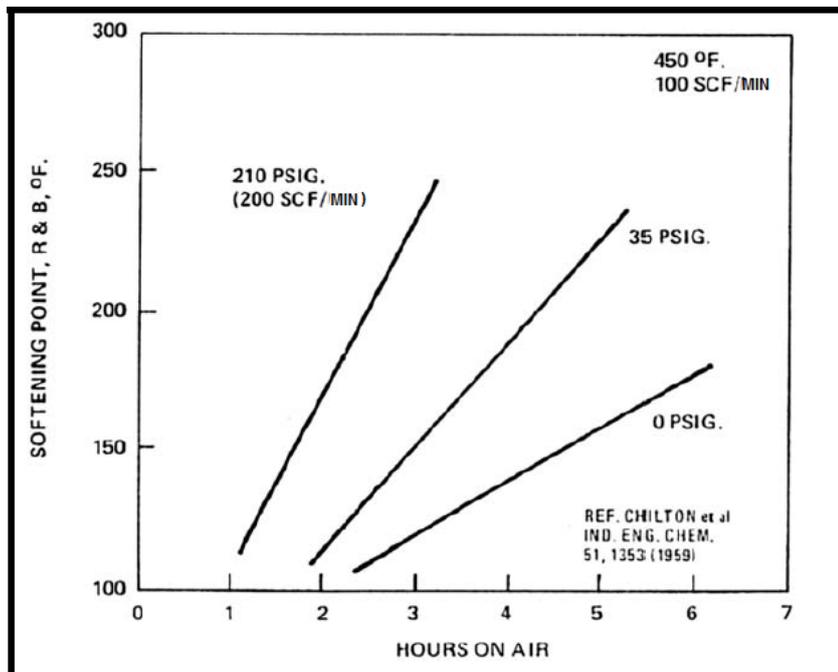
Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

GRÁFICO IV – 7. Efecto del tiempo de residencia sobre el punto de ablandamiento a diferentes profundidades de la carga en el oxidador.



Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

GRÁFICO IV – 8. Efecto del tiempo de residencia sobre el punto de ablandamiento a diferentes presiones del oxidador.



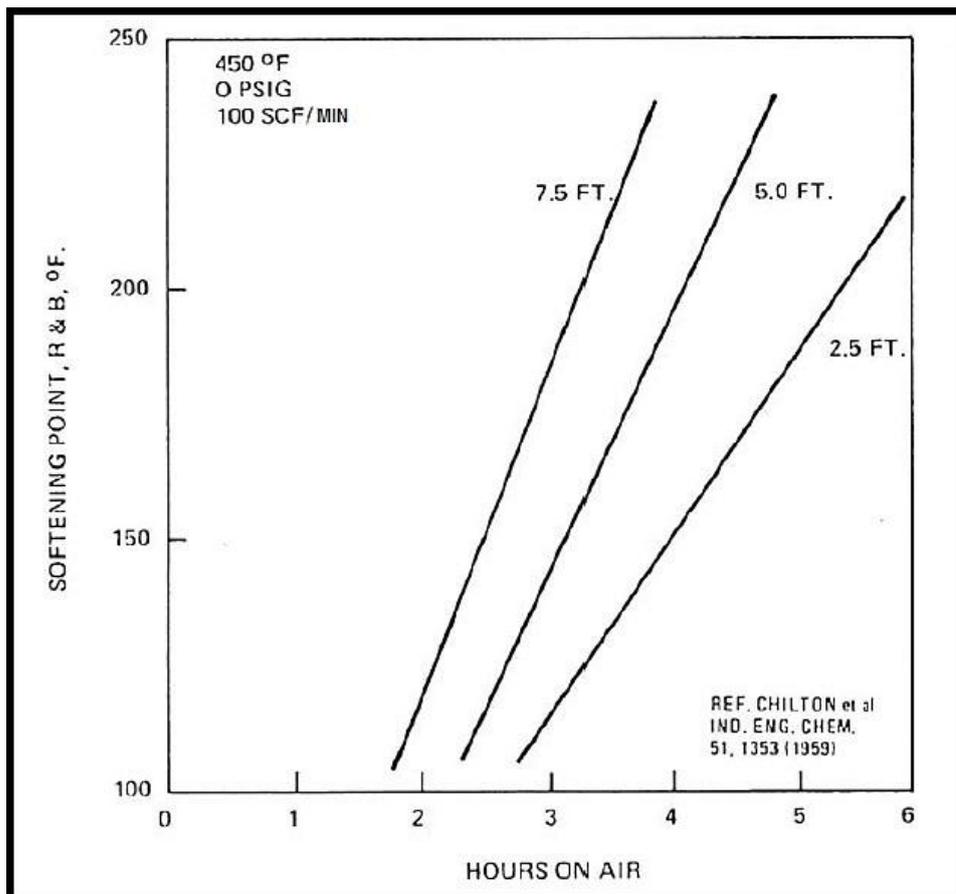
Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

El tiempo de residencia necesario para la oxidación es diferente en cada caso, dependiendo de cuanto se requiere modificar el punto de ablandamiento o de penetración.

El aumento del tiempo de contacto (tiempo que el aire pasa a través del volumen de asfalto) o el nivel de profundidad del asfalto en el recipiente oxidador, aumentará el punto de ablandamiento del asfalto si todas las demás variables se mantienen constantes. En este caso, el punto de ablandamiento es cambiado sin alterar la relación punto de ablandamiento / penetración.

El efecto de esta variable es el mismo que el aumento del tiempo de residencia del asfalto. El gráfico IV- 9 muestra este efecto.

GRÁFICO IV – 9 Efecto del nivel del oxidador en el punto de ablandamiento.



Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

Aunque la altura de la carga y el tiempo de residencia del aire están estrechamente relacionados ellos no tienen exactamente el mismo efecto en el proceso de oxidación.

Cuanto mayor sea el nivel de la carga más eficiente es el proceso de oxidación. Esto es así porque la misma cantidad de aire es mejor aprovechado por permanecer en contacto con la carga durante un período más largo.

Dado que el aire no está completamente utilizado en el momento que sale del oxidador, el asfalto puede ser oxidado más rápido con el mismo caudal de aire en un oxidador alto y de diámetro más pequeño que uno de un mayor diámetro pero de menor altura, a pesar de que el tiempo de residencia será la misma en ambos casos.

El nivel de la carga en el oxidador es por lo general no más de $2/3$ de la altura total del recipiente.

Por lo menos 10 pies deben permanecer libres de líquidos por encima del nivel de llenado del oxidador. Esto es para permitir el desprendimiento de fluidos y la formación de espuma.

4.3.4 PRESIÓN DE REACCIÓN.

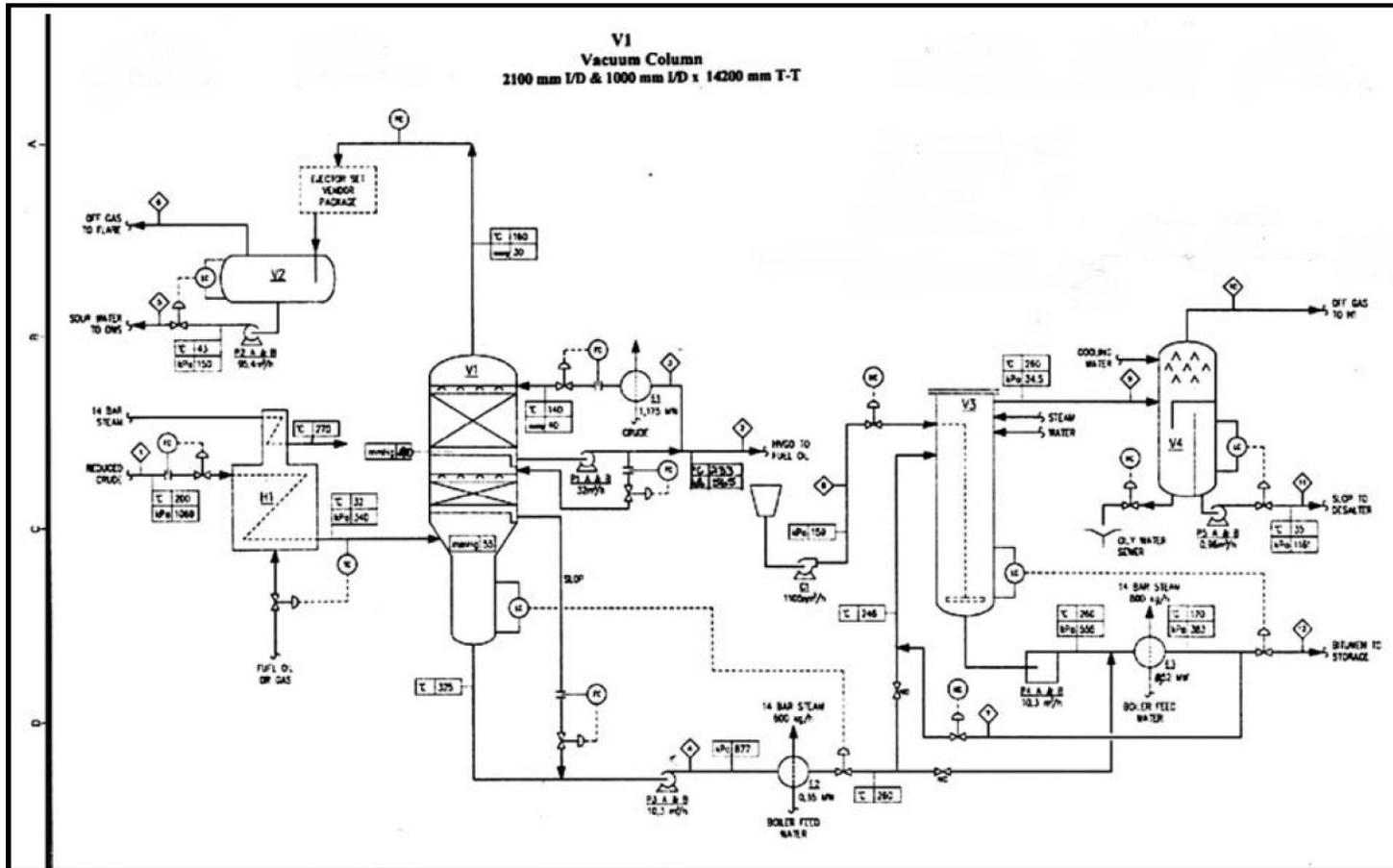
Con todas las demás variables constantes, el aumento de la presión del oxidador incrementará el punto de ablandamiento de asfalto. El efecto del aumento de la presión sin embargo no es tan grande como el efecto de aumentar cualquiera de las otras variables.

Por lo general no es económico operar a alta presión ya que las ganancias en las tasas de endurecimiento son pequeñas en relación con el efecto de las otras variables.

A efectos prácticos, la presión no se considera una variable de diseño y para una operación frecuente el rango de presión varía entre 1.5 a 2.0Kg/cm².

En el gráfico IV – 10 se muestra un diagrama de flujo del proceso, el cual comienza desde el horno para incrementar la temperatura de la carga a la unidad de vacío, la unidad de destilación al vacío, el reactor oxidador de asfalto y por último el separador de fases del efluente del reactor.

GRÁFICO IV – 10. Diagrama de flujo de proceso de una típica planta de oxidación de asfalto.



Fuente: Handbook of Petroleum Processing.

4.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN.

A continuación se muestra en el cuadro IV – 2, las condiciones de operación y el cambio de las propiedades más importantes durante el proceso de obtención del asfalto oxidado y asfalto de alto índice de penetración.

CUADRO IV – 2

	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	ASFALTO OXIDADO OXIDACIÓN SEVERA	ASFALTO ALTO ÍNDICE DE PENETRACIÓN SEMI OXIDACIÓN	ASFALTO ALTO ÍNDICE DE PENETRACIÓN OXIDACIÓN SEVERA Y MEZCLA
FLUJO DE AIRE m ³ Aire/min*m ³ Asfalto	0.4 - 0.6	0.4 - 0.6	0.4 - 0.6
TEMPERATURA DE REACCIÓN °C	290	250	290
TIEMPO DE RESIDENCIA horas	4 - 6	1.5	3
PRESIÓN DE REACCIÓN Kg/cm ²	1.5 - 2.0	1.5 - 2.0	1.5 - 2.0
TEMPERATURA DE INICIO °C	200 - 215	200 - 215	200 - 215
CONDICIONES INICIALES			
PENETRACIÓN A 25°C	73 - 150	73 - 150	73 - 150
PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	45 - 50	45 - 50	45 - 50
CONDICIONES FINALES			
PENETRACIÓN A 25°C	10 - 30	60	61
PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	85 - 110	67	60

Elaboración propia.

Fuente: Datos proporcionado por el licenciante.

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN TÉCNICA

El presente capítulo inicia con el estudio de la ubicación del proyecto. Para esto se realizó el análisis de una serie de factores; como el área geográfica que facilite la venta del producto y al mismo tiempo proporcione una materia prima de manera continua, homogénea y de la mejor calidad.

Factores operativos como los servicios de electricidad, necesarios para mantener en funcionamiento permanente los controles de la planta, agua para el control de la temperatura y el suministro del combustible necesario para garantizar la adecuada operación del horno de incineración de gases y de los demás equipos que lo requieran.

El desarrollo del capítulo continúa con el dimensionamiento de la planta piloto y el de la planta a escala industrial, este último teniendo en cuenta los volúmenes de venta proyectados en el capítulo de estudio de mercado.

Finalmente se termina con un análisis de los requerimientos necesarios para operar el proceso de manera continua y eficiente.

5.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO.

La Unidad de procesamiento de oxidación de asfalto se implementará en la refinería Conchán; ubicada en el distrito de Lurín, provincia de Lima.

La refinería es propiedad de la empresa estatal PETROPERU S.A. y presenta actualmente un panorama idóneo para el desarrollo de nuevas tecnologías que mejoren la calidad de vida de la población; incentivado principalmente por la ley N° 28840, aprobada en el congreso llamada: Ley de Fortalecimiento y Modernización de la Empresa Petróleos del Perú – PETROPERU S.A.

5.1.1 JUSTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN.

La justificación para optar como ubicación del proyecto a la refinería Conchán se presenta a continuación:

5.1.1.1 MATERIA PRIMA

De acuerdo al análisis realizado en el capítulo de estudio de mercado se determinó que la refinería Conchán cuenta con abastecimiento de crudo de manera continua y en la cantidad suficiente.

A partir del crudo que procesa dicha refinería se obtiene los fondos de la unidad de vacío (llamado también base asfáltica), el cual servirá como carga de alimentación a la planta de oxidación de asfalto.

Finalmente el oxígeno del aire que se suministrará al reactor se puede obtener por intermedio de un equipo especial para este fin cuyas características específicas se detallarán más adelante.

5.1.1.2 TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA

El corte de asfalto sólido que servirá de carga a la unidad de oxidación de asfalto se produce íntegramente en la refinería Conchán, por lo que el costo de transporte de materia prima es nulo.

5.1.1.3 COMBUSTIBLE

A partir del año 2010, la refinería Conchán cuenta con un suministro continuo de gas natural por parte de la empresa Gas Natural de Lima y Callao –Cálidda; el cual viene siendo usado como combustible en sus procesos.

Para ello se ha implementado en la refinería un sistema paralelo al ya existente, el cual permita la versatilidad de quemar residual, como se venía haciendo anteriormente o gas natural de acuerdo a los requerimientos de la planta.

Este sistema garantiza el suministro del combustible necesario para operar el quemador de gases de la unidad de oxidación de asfalto de manera eficiente.

5.1.1.4 SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica para el proyecto será abastecida por el sistema eléctrico interconectado nacional.

5.1.1.5 SUMINISTRO DE AGUA

El agua empleada para los procesos existentes en la refinería Conchán es suministrada desde la laguna que se encuentra dentro de sus instalaciones, el cual es

tratado y recirculado nuevamente al proceso, a fin de optimizar el uso de este recurso y reducir su consumo solo a reposición por pérdidas de evaporación.

Este sistema implementado en la refinería, se puede aprovechar para re utilizar el agua empleada para controlar la temperatura del reactor y de esta manera, el costo del agua de proceso, corresponde solo al tratamiento previo para su uso adecuado en la planta de oxidación de asfalto.

5.1.1.6 INFRAESTRUCTURA

La refinería Conchán presenta la infraestructura necesaria para la adecuada operación de la planta de oxidación de asfaltos.

En la actualidad es la refinería con mayor volumen de venta de asfaltos en el país y cuenta para ello con el equipo necesario para el adecuado tratamiento de la materia prima, laboratorio para análisis de hidrocarburos, servicios industriales, almacenes de productos calientes y una planta de despacho de productos asfálticos.

5.1.1.7 MANO DE OBRA

La refinería Conchán cuenta con personal calificado en el manejo del crudo, operaciones de refinación y adecuado almacenaje y venta.

Al ser considerada una refinería asfaltera, su personal cuenta con el perfil técnico necesario para ser adiestrados por los representantes de la compañía E-asphalt en el manejo operativo de la planta de oxidación de asfaltos o si fuera necesario adiestrar a nuevo personal.

5.2 TAMAÑO DE LA PLANTA.

Para determinar el tamaño óptimo de la planta de oxidación de asfalto se requiere un análisis interrelacionado, donde se maximice la rentabilidad del proyecto y el valor agregado del producto final, frente a un costo mínimo de recursos, tanto de materia prima como gastos operativos.

La cantidad demandada proyectada a futuro es quizás el factor condicionante más importante para determinar el tamaño de la planta, aunque necesariamente las demás variables determinarán el volumen óptimo de operación, el cual no siempre es el que maximice las ventas.

De acuerdo a la experiencia del licenciante e-asphalt, a fin de obtener una rentabilidad económica adecuada, en un mercado donde se pretende introducir por primera vez asfalto de alto índice de penetración; recomienda instalar una capacidad de producción no menor a la mostrada a continuación, de acuerdo al tipo de producto a obtener:

- Asfalto Industrial(o asfalto oxidado): 75/35; 85/25; 100/15; 120/5 (Punto de ablandamiento/Penetración): 40 MBLS por año (6 295.7 TM).
- Asfalto de alto índice de penetración (o asfalto multigrado): 60/70; 70/100 (Penetración min./Penetración max.): 515 MBLS por año (81 057.2 TM).

La planta tendrá una capacidad de producción total máxima aproximada de 555 MBLS por año operando de manera continua.

Considerando que la variación de volumen entra la carga de alimentación al proceso de oxidación de asfalto y los productos obtenidos son despreciables, dicho proceso requiere una alimentación máxima de asfalto sólido de 555 MBLS por año, el cual es un volumen inferior a la capacidad máxima de procesamiento de asfalto sólido con la que cuenta la refinería Conchán el cual es de 2 759.4 MBLS por año de acuerdo al análisis volumétrico realizado en el capítulo de estudio de mercado.

Ello demuestra que la refinería Conchán cuenta con la infraestructura requerida para abastecer el volumen de alimentación máximo de la planta de oxidación de asfalto recomendado por el licenciante E-asphalt.

Se debe tener presente que la capacidad mostrada de la planta de oxidación de asfalto es solo aproximada, el cual dependerá principalmente del producto específico que se desea obtener; debido a que, como se mencionó en capítulos anteriores, el tiempo de residencia para producir asfalto oxidado y asfalto de alto índice puede variar, inclusive en horas; modificando la exactitud del volumen mostrado.

De acuerdo al volumen de venta proyectado en el capítulo de estudio de mercado; para el último año de operación de la planta de oxidación de asfaltos, se esperaría una tasa de rendimiento en la producción de asfalto de alto índice de 96.6% y con respecto al asfalto oxidado de 93.3%.

Ambos rendimientos permiten un margen de operatividad en los últimos años, a partir del cual se puede variar el tiempo de residencia para obtener productos con diversas características, de acuerdo a la demanda del mercado. En base a esto se determina que el tamaño de planta sugerido por el licenciante es el adecuado para la demanda nacional.

5.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA PILOTO

Este deberá construirse en acero inoxidable AISI 304 para realizar las pruebas y ensayos piloto. Las conexiones están bridadas y perfectamente selladas. Deberá reunir las condiciones de seguridad en lo referente al aislamiento térmico y mantenimiento de la temperatura. La tapa inferior, que se mantiene fija durante los procesos de experimentación está atornillada con 12 tornillos y tuercas resistentes a la presión.

Por otro lado, una junta resistente a la alta temperatura se insertará entre la tapa inferior y el cuerpo del oxidador piloto. Todas las conexiones, como la entrada de aire, salida, válvula de seguridad, salida de asfalto, control de la temperatura y manómetro, serán colocadas en la tapa superior y la tapa inferior del equipo.

La tapa superior está unida al equipo por una unión doble danesa que permitirá el ingreso del asfalto caliente en forma manual. Esta llevará un sello de viton resistente a la temperatura y a los gases provenientes de la oxidación del asfalto más el aire que no reaccione con el asfalto.

La planta piloto debe presentar las dimensiones mostradas en el cuadro V – 1.

CUADRO V – 1

DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA PILOTO	
EQUIPO	TAMAÑO
DIÁMETRO (cm)	10
ALTURA (cm)	80
VOLUMEN (cm ³)	6,280
VOLUMEN DE ASFALTO NETO A OXIDAR (cm ³)	4,710
RELACIÓN: ALTURA DE EQUIPO/DIÁMETRO	8
ALTURA NETA DE ASFALTO A OXIDAR (cm)	60
RELACIÓN: ALTURA DE ASFALTO/DIÁMETRO	6
CAUDAL DE AIRE (dm ³ /Kg de asfalto*minuto)	1

Fuente: e-asphalt

A continuación se muestra en las fotografías V – 1 y V - 2 la parte inferior de la planta piloto, después de realizar una operación de ensayo por parte de la empresa E-asphalt

FOTOGRAFÍA V - 1



Fuente: E- asphalt.

FOTOGRAFÍA V - 2



Fuente: E-asphalt.

5.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA A NIVEL INDUSTRIAL.

De acuerdo a la capacidad de la planta de oxidación recomendada por el licenciante del proceso, la empresa E-asphalt; el dimensionamiento de los equipos principales se muestra a continuación:

5.4.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ASFALTO.

En caso se utilice como carga asfalto almacenado, el tanque deberá tener un volumen de 20 m³; el mismo puede ser horizontal o vertical, con serpentina de calentamiento para el mantenimiento de la temperatura con aceite térmico.

5.4.2 BOMBA DE ALIMENTACIÓN.

Esta bomba proporciona la alimentación desde el tanque de almacenamiento a la unidad de procesos de asfaltos.

La baja velocidad puede ajustarse con el mando de velocidad, con un caudal de proceso: $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$ y a engranajes, se requiere un motor de 5 HP. Se recomienda la instalación de un juego doble de bombas por problemas de quemado de motor de alguna de ellas. Estas bombas también enviarán el asfalto base al tanque de mezcla para la obtención de asfalto de alto índice de penetración en caso necesario.

5.4.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR.

Se requiere un intercambiador de calor para incrementar la temperatura de la alimentación del asfalto base al oxidador de $120 \text{ }^\circ\text{C}$ a $200 \text{ }^\circ\text{C}$ en el caso que este se encontrara almacenado. Ello se puede lograr por intercambio de calor a través de la corriente de salida vía aceite térmico.

Las dimensiones que debe tener el intercambiador de calor del asfalto base a través de aceite térmico son las siguientes:

- Superficie de transmisión de calor: 19 m^2 ; número de tubos: 180; diámetro: $3/8''$
- Caudal de aceite: $7.5 \text{ m}^3/\text{h}$ a $260 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Caudal de asfalto base: $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$ a $120 \text{ }^\circ\text{C}$.

El intercambiador de calor entre la corriente de entrada y la corriente de salida vía aceite térmico, provocará la condensación de algunos componentes de los gases de salida y el vapor de agua, producidos durante la reacción de oxidación. Luego la fase condensada hidrocarburo/agua es enviada al decantador y los gases no condensables al incinerador.

5.4.4 COMPRESOR DE AIRE A TORNILLO.

Para la producción aire de proceso para el reactor, se requiere un compresor con la capacidad de proporcionar un caudal entre 0.4 a $0.6 \text{ m}^3 \text{ aire}/\text{m}^3 \text{ asfalto.minuto}$.

De acuerdo al licenciante, se sugiere el uso de un compresor de tornillo con requisitos similares al de la marca Atlas Copco modelo GA-37, vendido en el Perú, el cual presenta las siguientes características:

- Presión de trabajo: 5Bar/ Presión máxima: 7.5 Bar
- Caudal de aire máximo: 6.2 m³/minuto (372 m³/hora)
- Potencia del compresor: 50 HP, 60 Hz
- Volumen del equipo: (1 730*903*1 670) milímetros: 2.60 m³
- Peso aproximado: 970 Kg.

5.4.5 OXIDADOR (REACTOR)

- Diámetro: 1.65 metros.
- Altura: 6.60 metros.
- Volumen reactor: 14 m³.
- Volumen neto de trabajo: 10 m³.
- Presión máxima: 2.5 bar.
- Caudal teórico de pasaje de asfalto: 2.5 m³/h.
- Camisa de calentamiento: 1.0m³ aceite térmico (opcional).
- Temperatura máxima de operación: 290 °C.
- Material: Acero al carbono.
- Temperatura nominal de entrada de alimentación: 200 °C.
- Temperatura nominal de corriente de producto de salida: 260 °C.
- El proceso es continuo (sin embargo el modo batch es posible).
- El oxidador incluye cilindro interno de la reacción, cañerías de aire, bocas de inspección y aislación.
- El control de la presión se encuentra en la línea de los gases de salida del reactor.

5.4.6 AGITADOR EN EL INTERIOR DEL REACTOR

El agitador es un sistema que incluye tres unidades de disco mezclador por etapas, ejes, cojinetes, engranajes, sellos mecánicos con las siguientes especificaciones:

- Material Acero inoxidable AISI 304.

- Controles eléctricos (enfriados por aire, opcional).
- Velocidad del agitador: 145 RPM.
- HP del motor: 15

5.5.7 INSTRUMENTACIÓN DE CAMPO Y CAÑERÍAS

Se instalarán las siguientes cañerías, válvulas e instrumentación:

- Líneas de alimentación y producto.
- Líneas de gases de salida al incinerador.
- Válvulas de mando, manejo manual (electrónico es opcional)
- Conexión de muestras.
- Control de temperatura
- Control de presión
- Incluye aislación térmica de las cañerías hasta la unión existente.

5.4.8 BOMBA DE PRODUCTO

Esta bomba tiene como función la descarga del producto del reactor a los tanques de producto, para la fabricación de asfalto de alto índice de penetración o para almacenar asfalto oxidado. Debe tener las siguientes especificaciones:

- Caudal: 2.5 m³/h.
- Potencia del motor: 5HP.

5.4.9 DECANTADOR

Este equipo es un tanque cilíndrico que presenta las siguientes características:

- Relación h/d: 1.5

- Se encuentra equipado con visores.
- Volumen de 1.6 m³.

Su función es separar las fases hidrocarburo/agua que se producen en el condensador (el intercambiador de calor de la corriente de entrada al reactor).

El flujo promedio de las fases condensables en una operación continua es:

- Agua: 0.265m³/h.
- Gases condensables: 0.125 m³/h.

5.4.10 HORNO INCINERADOR

Su función es el tratamiento térmico de los gases de salida del reactor, obtenidos del proceso a alta temperatura.

La Unidad de Incinerador consiste de:

5.4.10.1 CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

- Recipiente horizontal.
- Diámetro interno: 0.80 metros.
- Longitud aproximada: 1.50 metros.
- Incluye líneas internas.
- Temperatura de la incineración: 790 °C
- Potencia térmica generada en la cámara de combustión : 430 000Kcal./h

El ingreso de los gases de incineración se realiza sobre el quemador primario.

5.4.10.2 QUEMADOR PRIMARIO.

- Combustible: Gas natural o residual.
- Capacidad calorífica quemador: Entre 40 000 a 50 000 Kcal./h
- Bajos contenidos de NOx con tiro natural.

5.4.10.3 CHIMENEA.

- Chimenea de metal
- Altura: 9.0 metros

5.5 RENDIMIENTO DEL PROCESO.

El rendimiento mostrado a continuación es en porcentaje en peso.

- Rendimiento teórico de la reacción (Según la calidad producida): 95%.
- Consumo de oxígeno: Más de 75%

5.6 SERVICIOS INDUSTRIALES.

Aire: Presión requerida en la cabeza del oxidador: 1.5 a 2Kg/cm².

Energía eléctrica para:

- Bombas: 15 Hp en total.
- Agitador: 15Hp
- Compresor de aire: 50 HP.

El flujo promedio de agua de enfriamiento se asume, de acuerdo a la recomendación del licenciante, como 1% del caudal de aire inyectado. Tomando un caudal de aire promedio de 0.5m³/m³ de asfalto por minuto y una capacidad de 10m³ de asfalto en el reactor; el caudal de aire promedio resultaría 300m³/hora. Finalmente el flujo promedio de agua de enfriamiento resultaría siendo 3m³/h.

El requerimiento de energía promedio del quemador primario es de 45 000Kcal/hora.

A partir de estos datos se elabora el cuadro V – 2, en el cual se muestra los requerimientos de servicios industriales.

CUADRO V – 2. Servicios industriales

SERVICIOS INDUSTRIALES	
AGUA DE ENFRIAMIENTO	3 m ³ /h
ENERGÍA ELÉCTRICA	80HP ó 58.84Kw
ENERGÍA CALORÍFICA	45 000KCal/hora ó 0.178 MMBTU/hora

Elaboración propia

5.8 REQUERIMIENTO DE ÁREA DE TERRENO

La refinería Conchán se encuentra ubicada en el kilómetro 26.5 de la carretera Panamericana Sur, en el distrito de Lurín, departamento de Lima. En una extensión total de 500 mil metros cuadrados a orillas del mar.

La distribución de la refinería es de 182.1 mil metros cuadrados destinados a sus límites de batería, instalaciones auxiliares, complementarias y de almacenamiento y manipulación.

Actualmente cuenta con un área de 219.9 mil metros cuadrados disponibles para el crecimiento futuro de sus operaciones de los cuales el proceso de oxidación de asfalto, incluido el horno incinerador, ocupará un área de 10m².

A partir de los datos presentados se puede afirmar que la refinería Conchán cuenta con el área suficiente para la construcción de la unidad de oxidación de asfalto.

5.8 REQUERIMIENTO DE MANO DE OBRA

La mano de obra requerida para la operación del proceso de oxidación de asfalto garantizando un producto de calidad a un mínimo costo se presenta en el cuadro V - 3.

Debido a que el proceso de oxidación de asfalto operará de manera continua se dispondrá de 3 turnos diarios y el personal laborará 5 días por semana con 30 días de vacaciones anuales.

CUADRO V- 3. Mano de obra.

CARGO	NÚMERO DE PERSONAL	PERSONAL REQUERIDO
JEFE DE UNIDAD	1 POR DÍA	1
INGENIERO SENIOR	1 POR DÍA	1
INGENIERO JUNIOR	1 POR TURNO	3
OPERADOR	2 POR TURNO	6

Elaboración propia.

Para cubrir los días no laborables por vacaciones del personal y descanso semanal a fin de mantener un proceso continuo se contratará adicionalmente un ingeniero senior, un ingeniero junior y dos operadores.

De acuerdo a ello el total de trabajadores que laborarán en la planta de oxidación de asfalto se muestra en el cuadro V – 4.

CUADRO V – 4. TOTAL DE PERSONAL.

CARGO	TOTAL DE PERSONAL
JEFE DE UNIDAD	1
INGENIERO SENIOR	2
INGENIERO JUNIOR	4
OPERADOR	8

Elaboración propia.

5.10 VIDA ÚTIL DE LAS UNIDADES

Para el presente trabajo, en base a referencias de procesos similares en el extranjero, se considerará una vida útil de las unidades que conforman el proceso de oxidación de asfalto de 10 años.

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para realizar todo proyecto es necesario invertir un capital determinado a fin de lograr la transformación de un material en un producto terminado y obtener a su vez una ganancia que, de acuerdo a ciertos parámetros económicos demuestre la rentabilidad del proyecto.

El análisis económico para la obtención de asfalto de alto índice de penetración y asfalto oxidado, a partir de un proceso de oxidación de asfalto, se llevará a cabo valorizando la materia prima y los productos terminados. Luego se detallará el capital fijo de inversión y los costos operativos, este último tanto variables como fijos.

A partir de estos datos se realiza un flujo de caja del cual, se podrá obtener los datos necesarios para cuantificar la rentabilidad del proyecto en base a la situación económica actual del país y los pronósticos de venta de los productos terminados.

La tasa cambiaria a emplear en moneda extranjera será la cotización en Perú con fecha noviembre del 2012 la cual fue de 2.58 soles/\$.

6.1 VALORIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

A partir de los capítulos anteriores, se requiere tres tipos de materia prima para el proceso de obtención de asfalto de alto índice a partir de una planta de oxidación de asfalto:

- Aire.
- Agua de enfriamiento.
- Base asfáltica.

6.1.1 AIRE

El aire se obtendrá del medio ambiente en la refinería Conchán. Al ser una materia prima abundante y de libre disponibilidad el gasto económico debido a su uso sólo implicará la adquisición del compresor requerido para extraer el aire y los gastos de electricidad para su funcionamiento.

EL monto de dichos gastos se analizará en la sección de costos directos y costos variables de operación respectivamente.

6.1.2 AGUA DE ENFRIAMIENTO.

La refinería Conchán presenta un sistema mediante el cual recicla el agua utilizada para sus procesos, logrando de esta manera minimizar el consumo de este recurso. El agua empleada para reposición debido a pérdidas por evaporación, es extraída de la laguna que se encuentra dentro de los límites de la planta.

El caudal extraído para este fin es mínimo y por lo tanto no afecta el ecosistema de la laguna. En base a esto, el agua empleada en las unidades de la refinería Conchán, solo presenta un costo debido al tratamiento previo antes de usarlo en los procesos.

6.1.3 BASE ASFÁLTICA.

De acuerdo a lo mencionado en capítulos anteriores, la materia prima que se usará como carga a la unidad de oxidación de asfalto, es el asfalto sólido de graduación por penetración entre 73 y 150.

A fin de determinar un costo de la materia prima, se tomará como referente el precio ex planta de los cementos asfálticos publicados por la empresa PETROPERU S.A., los cuales presentan el mismo costo para las graduaciones por penetración entre 40 a 150.

A partir del precio ex planta obtenemos los precios base o precios netos de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Precio ex planta: precio base (o precio neto) + IGV}$$

Donde el precio base (o precio neto) es el precio de la materia prima más el costo de producción y gastos generales.

En el cuadro VI – 1 se observa el precio base más IGV de los cementos asfálticos de PEN 40/50 al PEN 120/150 vigentes desde el ocho de junio del 2012 en la refinería Conchán.

CUADRO VI – 1. Precio ex planta de la refinería Conchán.

CEMENTO ASFÁLTICO-SÓLIDO DE PAVIMENTACIÓN		
PEN 40/50 AL 120/150		
CARRO CISTERNA	7.97	Soles/Galón + IGV
CILINDRO (55 GALONES)	8.02	Soles/Galón + IGV

Elaboración propia.

Fuente: Página web de PETROPERU S.A.

Se considerará el precio base del asfalto vendido en carros cisternas. A este precio base de 7.97 Soles/Galón se realizará una reducción de 25.5% por conceptos de gastos generales, los cuales no incurre el cemento asfáltico debido a que su uso será exclusivamente como carga a otro proceso y no como venta.

En base a esto el cemento asfáltico usado como materia prima en la planta de oxidación de asfalto tendrá un costo de 5.93 Soles/Galón (613.33US\$/TM).

6.2 VALORIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS.

A continuación se hace un análisis para determinar un precio tentativo del asfalto de alto índice de penetración y del asfalto oxidado; los cuales hagan posible obtener una rentabilidad del proyecto.

6.2.1 VALORIZACIÓN DEL ASFALTO DE ALTO ÍNDICE.

Para obtener el precio base de venta del asfalto de alto índice de penetración, nos basaremos en el precio base de los cementos asfálticos usados para pavimentación en el país, los cuales son los de PEN 60/70 al PEN 120/150. Ellos presentan un precio base de acuerdo al cuadro VI – 1 de 7.97 Soles/Galón para ventas mediante carros cisternas.

Debido a los costos del proceso de oxidación y por la mejor performance presentada por los asfaltos de alto índice de penetración, se le impondrá un castigo al precio base del asfalto graduado por penetración de 4.8%. De acuerdo a esto, el precio base del asfalto de alto índice de penetración será de 8.35 Soles/Galón (863.63 US\$/TM).

6.2.2 VALORIZACIÓN DEL ASFALTO OXIDADO.

Para suplir los asfaltos oxidados que se producían hasta inicios de los noventa en el Perú, hoy en día se usan como asfaltos industriales sólidos, los cementos asfálticos de penetración 10/20 al 40/50.

El precio ex planta de los cementos asfálticos de penetración 10/20 y 20/30, procedente de la refinería Conchán, vigente desde el 8 de junio del 2012 se muestra en el cuadro VI – 2.

CUADRO VI – 2. Precio ex planta de la refinería Conchán.

CEMENTO ASFÁLTICO-SÓLIDO DE PAVIMENTACIÓN PEN 10/20 AL 20/30		
CARRO CISTERNA	8.26	Soles/Galón + IGV
CILINDRO (55 GALONES)	8.32	Soles/Galón + IGV

Elaboración propia.

Fuente: Página web de PETROPERU S.A.

Tomando como referencia la venta en carros cisterna; los cementos asfálticos de penetración 10/20 y 20/30 presentan un precio base de 8.26 Soles/Galón.

A partir del cuadro VI – 1 obtenemos como precio base del cemento asfáltico de penetración 40/50 un valor de 7.97 Soles/Galón.

Finalmente, a partir de los precios del cemento asfáltico de penetración 10/20, 20/30 y 40/50 se obtendrá un precio base promedio (precio de materia prima, más costo de producción, más gastos generales) de los productos que en la actualidad se usan en el mercado peruano como reemplazo al asfalto oxidado.

$$\text{Precio base promedio} = \frac{8.26 + 7.97}{2}$$

$$\text{Precio base promedio} = 8.11 \text{ Soles/Galón}$$

Debido a los costos por el proceso de oxidación y por presentar el asfalto oxidado mejores condiciones para la fabricación de impermeabilizantes y recubrimientos con respecto al cemento asfáltico de baja penetración, se le impondrá un castigo de 3% sobre el precio base promedio de este último. De acuerdo a esto el precio base del asfalto oxidado será de 8.35 Soles/Galón (863.63 US\$/TM).

6.3 CAPITAL FIJO DE INVERSIÓN.

A fin de hallar la inversión fija en límite de unidades, se realizará una puesta al día de los costos directos (activo fijo) e indirectos (intangibles) a una fecha reciente, a partir de los datos que se tiene como referencia de la implementación de una planta de oxidación de asfaltos, con fecha febrero del 2007 usando la tecnología del licenciante E-asphalt.

La puesta al día toma en consideración aspectos como la inflación, la evolución de los precios de diversos elementos que constituyen los equipos y su montaje, la mano de obra, la mejora tecnológica entre otros.

La actualización se efectuará a julio del 2012 de acuerdo a la fórmula mostrada a continuación empleando los índices de actualización (cost index) publicados en la revista Chemical Engineering (edición noviembre del 2012) que se encuentran en los cuadros VI – 3 y VI – 4.

$$I_B = I_A * \frac{\text{Index B}}{\text{Index A}}$$

Donde:

- B: Representa a julio del 2012.
- A: Representa a febrero del 2007.
- I: Inversión.
- Index: Índice de actualización.

CUADRO VI – 3. Plant Cost Index

JULY 2012	
CE Index	582.2
EQUIPMENT	708.5
HEAT EXCHANGERS & TANKS	652
PROCESS MACHINERY	664.7
PEPI, VALVEZ & FITTINGS	911.3
PROCESS INSTRUMENTS	424.3
PUMPS & COMPRESSORS	928.9
ELECTRICAL EQUIPMENT	509.7
STRUCTURAL SUPPORTS & MISC	757.8
CONSTRUCTION LABOR	324.1
BUILDINGS	525.6
ENGINEERING & SUPERVISION	328

Elaboración propia.

Fuente: Revista Chemical Engineering.

CUADRO VI – 4. Annual Index

ANNUAL INDEX	
2007	525.4

Elaboración propia.

Fuente: Revista Chemical Engineering.

El monto total de la inversión en límites de unidades será la suma de los costos directos más los costos indirectos.

6.3.1 COSTOS DIRECTOS (ACTIVO FIJO).

El transporte de los equipos que conforman la unidad de oxidación de asfalto y el horno incinerador se realizará vía fluvial, con origen en Argentina, embalado en un contenedor marítimo de 40 pies, con un peso total de 14TM.

El cuadro VI – 5 muestran los costos por equipo Ex Works con fecha febrero del 2007.

A partir de los datos del cuadro VI – 5 y los índices de actualización, hallamos la inversión en límites de unidades actualizados a julio del 2012, el cual se muestra en el cuadro VI - 6. El cálculo de la puesta al día de cada uno de los equipos se encuentra en el anexo I.

CUADRO VI – 5. Costo de equipos en febrero del 2007.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO UNITARIO US\$ 2007
1	REACTOR OXIDADOR 14M3	1	50 000
2	SEPARADOR DE FASES CONDENSABLES	1	10 000
3	HORNO INCINERADOR	1	20 000
4	TUBERÍAS Y VÁLVULAS	1	10 000
5	CAUDALÍMETRO DE AIRE Y 3 TERMÓMETROS DIGITALES	1	10 000
6	ESTRUCTURAS Y PLATAFORMAS PARA ENSAMBLAJE DE LOS ITEMS 1, 2, 3 EN UNA SUPERFICIE DE 10M2 (2*5 METROS)	1	30 000
7	COMPRESOR A TORNILLO ATLAS COPCO MODELO GA - 37 POTENCIA 50HP, 60HZ	1	30 000
8	PLANTA PILOTO (INCLUIDO CAUDALÍMETRO Y COMPRESOR DE AIRE)	1	20 000

Elaboración propia.

Fuente: Datos proporcionados por el licenciante.

CUADRO VI – 6.Costos directos (actualizados a julio del 2012).

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO UNITARIO US\$ JULIO 2012
1	REACTOR OXIDADOR 14M3	1	63 256
2	SEPARADOR DE FASES CONDENSABLES	1	12 409
3	HORNO INCINERADOR	1	25 302
4	TUBERÍAS Y VÁLVULAS	1	17 344
5	CAUDALÍMETRO DE AIRE Y 3 TERMÓMETROS DIGITALES	1	8 075
6	ESTRUCTURAS Y PLATAFORMAS PARA ENSAMBLAJE DE LOS ITEMS 1, 2, 3 EN UNA SUPERFICIE DE 10M2 (2*5 METROS)	1	43 269
7	COMPRESOR A TORNILLO ATLAS COPCO MODELO GA - 37 POTENCIA 50HP, 60HZ	1	53 039
8	PLANTA PILOTO (INCLUIDO CAUDALÍMETRO Y COMPRESOR DE AIRE)	1	25 288
VALOR TOTAL EX WORKS BUENOS AIRES			247 982
GASTOS DE DESPACHO Y PREPARACIÓN FOB			4 000
VALOR TOTAL FOB BUENOS AIRES-ARGENTINA			251 982
FLETE MARÍTIMO ARGENTINA-CALLAO (0.5 US\$/Kg CONTENEDOR DE 14 TM)			7 000
SEGUROS: 1.5% DEL VALOR FOB			3 780
VALOR TOTAL CIF CALLAO			262 762
	BOMBA DE ENGRANAJES 5HP (COMPRA REALIZADA EN PERÚ)	3	30 000
TOTAL INVERSIÓN DE COSTOS DIRECTOS US\$			352 762

Elaboración propia.

En base al cuadro VI – 6, la inversión total de costos directos es de US\$ 352 762 de Julio del 2012.

6.3.2 COSTOS INDIRECTOS (INTANGIBLES).

Los costos indirectos están referidos al costo de los factores que no están directamente relacionados con la instalación de la planta, pero se requieren para poder iniciar su operación. En el cuadro VI – 7 se muestran los costos indirectos que se tiene como referencia de la instalación de una planta de oxidación de asfalto, con fecha febrero del 2007 usando la tecnología del licenciante E-asphalt.

CUADRO VI – 7. Costos indirectos en febrero del 2007

ÍTEM	COSTOS INDIRECTOS	COSTO US\$ FEBRERO 2007
1	PLANIMETRÍAS	15 000
2	MANUAL DE OPERACIONES, MANUAL DE INSTRUMENTACIÓN Y LISTADO DE MATERIALES	5 000
3	SUPERVISIÓN TÉCNICA, MANUFACTURA Y CAPACITACIÓN	3 000
4	PUESTA EN MARCHA	6 000
5	CONTINGENCIAS	5 000

Elaboración propia.

Fuente: Datos proporcionados por el licenciante.

A partir de los datos del cuadro VI – 7 y los índices de actualización que se encuentran en el cuadro VI – 3, se hallan los nuevos costos indirectos a julio del 2012 mostrado en el cuadro VI – 8. El cálculo completo de la puesta al día de los costos indirectos se encuentra en el anexo II.

CUADRO VI – 8. Costos indirectos (actualizados a julio del 2012).

ÍTEM	COSTOS INDIRECTOS	COSTO US\$ JULIO 2012
1	PLANIMETRÍAS	9 364
2	MANUAL DE OPERACIONES, MANUAL DE INSTRUMENTACIÓN Y LISTADO DE MATERIALES	3 121
3	SUPERVISIÓN TÉCNICA, MANUFACTURA Y CAPACITACIÓN	1 850
4	PUESTA EN MARCHA	3 745
5	CONTINGENCIAS	3 084
TOTAL COSTOS INDIRECTOS US\$		21 164

Elaboración propia

El capital fijo de inversión está dado por la suma de los costos directos más los costos indirectos; siendo este valor de \$373 926

6.4 COSTOS DE OPERACIÓN.

Es el capital que se requiere para financiar el inicio de la operación de una planta, una vez que ésta se encuentra instalada y lista para operar en régimen normal.

El capital de trabajo está compuesto por la suma de los costos variables de operación más los costos fijos de operación.

6.4.1 COSTOS FIJOS DE OPERACIÓN.

Los costos fijos son aquellos, cuyo monto total no se modifica de acuerdo con la actividad de producción; es decir, los costos fijos varían con el tiempo más que con la productividad del proceso.

El criterio usado para determinar las contribuciones en porcentajes de los componentes de los costos fijos, está basado en referencias sobre la implementación del proceso de oxidación de asfalto en el extranjero por parte de la licenciate e-asphalt.

- Mano de obra de operación: No se incluye mano de obra por mantenimiento, el cual se encuentra en el rubro mantenimiento. En el cuadro VI – 9 se muestran los montos a pagar de acuerdo al cargo ocupado.

CUADRO VI – 9. Mano de obra.

CARGO	SUELDO US\$ /MES
JEFE DE UNIDAD	3 000
INGENIERO SENIOR	1 800
INGENIERO JUNIOR	1 200
OPERADOR	750

Elaboración propia.

Tomando como base la cantidad de trabajadores estimados en el cuadro V – 4 a fin de mantener una operación continua del proceso de oxidación de asfalto se ha calculado un monto total al año de \$208 800.

- Supervisión y mano de obra de oficina: Se ha determinado un costo anual equivalente al 15% de la mano de obra de operación. El monto es de \$ 31 320 anual.
- Mantenimiento y reparaciones: Se ha determinado un costo anual equivalente al 2% del capital fijo de inversión. El monto es de \$ 7 479 anual.
- Suministros de operación (se considera en este rubro, entre otros, el aceite lubricante y aceite de transferencia térmico): Se ha determinado un costo anual equivalente al 10% de mantenimiento y reparaciones. El monto es de \$ 748 anual.
- Cargos de laboratorio: Se ha determinado un costo anual equivalente al 10% de la mano de obra de operación. El monto es de \$ 20 880 anual.
- Patentes y derechos: Se ha determinado un costo anual equivalente al 4% del capital fijo de inversión. El monto es de \$ 14 958 anual
- Seguros: Se ha determinado un costo anual equivalente al 0.3% del capital fijo de inversión. El monto es de \$1 122 anual

- Impuestos locales: Se ha determinado un costo anual equivalente al 1% del capital fijo de inversión. El monto es de \$ 3 740 anual.
- Gastos generales, empackado y de almacén: Se ha determinado un costo anual equivalente al 30% de la suma de la mano de obra de operación más supervisión y mano de obra de oficina más mantenimiento y reparaciones. El monto es de \$ 74 280 anual.
- Valor de rescate: 10% del capital fijo excluido el terreno en el año 10. Ello será considerado en la elaboración del flujo de caja.

A partir de las contribuciones halladas de los costos fijos de operación se elabora el cuadro VI – 10

CUADRO VI – 10. Costos fijos de operación.

RUBRO	CONTRIBUCIÓN US\$ ANUAL
MANO DE OBRA DE OPERACIÓN	208 800
SUPERVISIÓN Y MANO DE OBRA DE OFICINA	31 320
MANTENIMIENTO Y REPARACIONES	7 479
SUMINISTROS DE OPERACIÓN	748
CARGOS DE LABORATORIO	20 880
PATENTES Y DERECHOS	14 958
SEGUROS	1 122
IMPUESTOS LOCALES	3 740
GASTOS GENERALES Y DE ALMACÉN	74 280
TOTAL COSTOS FIJOS DE OPERACIÓN	363 327

Elaboración propia.

6.4.2 COSTOS VARIABLES DE OPERACIÓN.

Los costos variables son aquellos que se modifican directa o proporcionalmente de acuerdo al volumen o cantidad de insumos que se empleen en la producción. El

criterio a emplear para hallar las contribuciones de los componentes de los costos variables se basan en los datos proporcionados por el licenciante; quien recomienda considerar un factor de funcionamiento de la planta de 8 640 horas al año (360 días).

- Agua de enfriamiento: El costo del tratamiento del agua empleada para el proceso en la Refinería Conchán es de 6.00 Soles/m³. Si se requiere 3 m³/hora, el costo anual es de S/. 155 520. Considerando el cambio a moneda extranjera el costo anual equivalente es de \$ 60 280.
- Energía eléctrica: El costo de la energía eléctrica suministrada a la Refinería Conchán es de 0.1446 soles/KW – hora. Si se requiere 58.84 KW, el total anual sería de 508 377.6 KW – hora. A partir de estos datos obtenemos un costo anual de S/. 73 512. Considerando el cambio a moneda extranjera el costo anual equivalente es de \$ 28 493.
- Energía calorífica: A partir del 2011, la refinería Conchán cuenta con suministro constante de gas natural por parte de la empresa Cálidda, Gas Natural del Perú. Por ser un combustible más limpio y económico que el residual; el gas natural será usado continuamente en el horno de incinerador de gases no condensables y en los demás equipos que lo requieran en la planta de oxidación de asfaltos.

El costo del gas natural vendido a la refinería Conchán es de 2.5US\$/MMBTU. Siendo el consumo de 0.178 MMBTU/hora, el costo anual de gas natural presenta un valor de \$ 3 845.

En el cuadro VI - 11 se resumen los montos que componen los costos variables de operación.

CUADRO VI – 11. Costos variables de operación.

RUBRO	CONTRIBUCIÓN ANUAL US\$
AGUA DE ENFRIAMIENTO	60 280
ENERGÍA ELÉCTRICA	28 493
ENERGÍA CALORÍFICA	3 845
TOTAL COSTOS VARIABLES DE OPERACIÓN	92 618

Elaboración propia.

6.5 GASTOS GENERALES.

Los gastos generales que incurre el proceso de oxidación de asfalto se dividen en los siguientes:

- Gastos administrativos: 15% de los costos de producción (costos de materia prima, más costos fijos de operación, más costos variables de operación).
- Gastos de distribución y ventas: 10% del ingreso por ventas.

6.6 EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN

De acuerdo a las bases mostradas en el cuadro VI – 12, se realiza el flujo de caja económico y flujo de caja financiero; los cuales se encuentran detallados en el anexo III. De ellos se muestran el flujo de caja proyectado de la evaluación económica (cuadro VI - 13) y el flujo de caja proyectado de la evaluación financiera (cuadro VI - 14) a fin de poder realizar un análisis comparativo.

CUADRO VI – 12. Bases de cálculo.

CAPITAL FIJO EXCLUIDO TERRENO	0.374 MMUS\$
VALOR DEL TERRENO (10 M2)	0.01 MMUS\$
VALOR DE RESCATE (AÑO 10)	10% DEL CAPITAL FIJO EXCLUIDO TERRENO
INVERSIÓN EN CAPITAL DE TRABAJO	
CAJA MÍNIMA	5 DÍAS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN
MATERIA PRIMA	15 DÍAS DE USO
PRODUCTO TERMINADO	20 DÍAS DE VENTAS
CUENTAS POR PAGAR	30 DÍAS DE COMPRAS
CUENTAS POR COBRAR	15 DÍAS DE VENTAS
PAGOS ADELANTADOS	25 DÍAS DEL 10% DE COSTOS FIJOS
COSTO DE MATERIA PRIMA	0.61333 MUS\$/TM
COSTOS VARIABLES DE OPERACIÓN	0.00106 MUS\$/TM
COSTOS FIJOS DE OPERACIÓN	363.327 MUS\$/Año
GASTOS ADMINISTRATIVOS	15% DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN*
GASTOS DE VENTAS	10% DE INGRESO POR VENTAS
BALANCE DE MATERIA PRIMA	0.95 TM DE PRODUCTO/TM DE MATERIA PRIMA
FINANCIAMIENTO	50% DE LA INVERSIÓN EN CAPITAL FIJO
TASA DE INTERÉS	15 % ANUAL
PLAZO	5 AÑOS SIN PERIODO DE GRACIA
IMPUESTO A LA RENTA	30%
DÍAS POR AÑO	365
FACTOR DE SERVICIO	99%

*COSTOS DE PRODUCCIÓN : MATERIA PRIMA + COSTO FIJO + COSTO VARIABLE

Elaboración propia.

CUADRO VI – 13.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO-EVALUACIÓN ECONÓMICA (MMUS\$ DEL AÑO 0)

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSIÓN												
Capital fijo	MMUS\$/Año	0.3839										-0.0474
Capital de trabajo	MMUS\$/Año		2.668	.209	.209	.209	.209	.209	.209	.209	.209	-4.337
TOTAL INVERSIÓN	MMUS\$/Año	0.3839	2.6683	0.2085	-4.384							
Utilidad neta	MMUS\$/Año		0.842	0.934	1.025	1.117	1.208	1.3	1.391	1.482	1.574	1.665
Depreciación	MMUS\$/Año		0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
Flujo neto de fondos	MMUS\$/Año	-0.384	-1.792	0.759	0.85	0.942	1.033	1.125	1.216	1.308	1.399	6.083

Elaboración propia.

CUADRO VI - 14

FLUJO DE CAJA PROYECTADO-EVALUACIÓN FINANCIERA (MMUS\$ DEL AÑO 0)

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSIÓN												
Capital fijo propio	MMUS\$/Año	0.192										-0.0474
Amortización	MMUS\$/Año		0.0276	0.0309	0.0345	0.0385	0.043					
Capital de trabajo	MMUS\$/Año		2.6683	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	-4.3366
TOTAL INVERSIÓN	MMUS\$/Año	0.192	2.696	0.2394	0.243	0.247	0.2515	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	-4.384
Utilidad neta	MMUS\$/Año		0.823	0.918	1.013	1.108	1.204	1.3	1.391	1.482	1.574	1.665
Depreciación	MMUS\$/Año		0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
Flujo neto de fondos	MMUS\$/Año	-0.192	-1.84	0.712	0.803	0.895	0.986	1.125	1.216	1.308	1.399	6.083

Elaboración propia.

6.6.1 INDICADORES DE RENTABILIDAD.

Son aquellos indicadores financieros que se utilizan para medir la efectividad de la administración de la empresa para controlar los costos y gastos, a fin de poder convertir las ventas en utilidad.

Como regla general se tiene que una inversión será más rentable cuando genere más dinero de lo que cuesta y más de lo que rinde la actividad corriente. A partir de los cuadros VI – 13 y VI – 14 se obtienen los indicadores de rentabilidad económica y financiera respectivamente, los cuales se comparan en el cuadro VI – 15.

CUADRO VI – 15. Indicadores de rentabilidad.

	EVALUACIÓN ECONÓMICA	EVALUACIÓN FINANCIERA
VAN al 15% y año 0	3.056 MMUS\$	3.548 MMUS\$
Tasa Interna de Retorno	42%	44%
Periodo de recupero	4.53 Años	4.44 Años
Relación B/C al 15%	1.0132	1.0153
IVP al 15%	1.44	1.73

Elaboración propia.

De acuerdo al Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), podemos distinguir la mejor rentabilidad del proyecto a partir de la evaluación financiera, ya que ambos indicadores son superiores con respecto a la evaluación económica. El VAN financiero nos indica un monto del proyecto actualizado al año cero de 3.548 MMUS\$ y con un TIR de 44%; un valor muy por encima de la tasa de descuento de 15% anual asumido para el proyecto.

El periodo de recuperación es inferior desde el punto de vista de la evaluación financiera, ello nos indica un menor tiempo en la recuperación de la suma de la inversión más la ganancia establecida, de acuerdo a una tasa de descuento de 15% anual. El tiempo de recuperación financiero de 4.44 años es un valor que se encuentra dentro del promedio para plantas similares en el extranjero con tiempos de vida del proyecto de 10 años.

La relación beneficio/costo y el Índice del Valor Presente (IVP), ambos evaluados a una tasa de descuento de 15% anual, indican también una mayor rentabilidad medido desde el punto de vista financiero, ya que el primero nos indica que ingresa una mayor cantidad de dinero neto por cada unidad monetaria de egreso neto y el segundo indica cuanta rentabilidad (medida en dinero) genera el proyecto por cada unidad monetaria invertida en él.

Finalmente se puede observar en todos los indicadores de rentabilidad una palanca financiera, es decir un incremento de la rentabilidad desde el punto de vista financiero; lo que demuestra que la mejor opción para realizar el proyecto es a través de un financiamiento del capital fijo excluido el terreno.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- A nivel mundial, las expectativas de encontrar grandes reservas de crudo liviano son cada vez más escasas y las ya existentes tienden a disminuir en volumen debido a la maduración de los pozos de los cuales son extraídos. Ello conlleva a que en la actualidad el mayor porcentaje de reservas son de crudo pesado y extra pesado. Debido a este escenario es necesario la implementación de tecnología que reemplace al crudo ligero por crudo pesado en la elaboración de productos que mejoren la calidad de vida de la población.
- La tecnología de oxidación de asfalto para la producción de asfalto de alto índice de penetración y el empleo de polímeros para modificar el asfalto, son dos alternativas empleadas actualmente a nivel internacional, para obtener la nueva generación de asfaltos para construcción de carreteras denominados asfaltos modificados. La ventaja competitiva que presenta el asfalto de alto índice de penetración es que solo requiere como materia prima crudo pesado. A desmedro de la tecnología de modificación de asfalto con polímeros, el cual requiere adicionalmente al crudo pesado, la importación de los polímeros usados como materia prima, debido a que el Perú no es productor de ellos.
- A nivel mundial solo se emplea asfalto oxidado como protección anticorrosivo de tanques y otras estructuras así como para impermeabilizar techos de viviendas. En el Perú, debido a la carencia de producción de asfalto oxidado, la demanda viene siendo cubierta por el cemento asfáltico de baja penetración; el cual presenta deficiencias en su comportamiento y durabilidad, haciendo menos competitivo a la industria peruana, y disminuyendo la calidad de vida de la población que lo emplea en la construcción de sus viviendas. En ese sentido, se requiere la implementación de una unidad de oxidación de asfalto en el Perú que cubra esta demanda en el mercado nacional.
- El estudio de mercado realizado para la proyección de ventas, tanto del asfalto de alto índice de penetración como para el asfalto oxidado; se hizo

considerando que no existirá un incremento en el porcentaje de participación de mercado con el transcurrir de los años que dure el proyecto. Ello se justifica a fin de realizar una proyección conservadora de los indicadores de rentabilidad y obtener de esta manera los valores mínimos posibles de estos últimos. En base a esto, se esperan valores de índices de rentabilidad similares o superiores a los presentados en el capítulo de evaluación económica.

- La elaboración de asfalto convencional de baja penetración para usarlo como impermeabilizante requiere extraer la mayor cantidad posible de gasóleo pesado de vacío al residual de vacío. Para ello es necesario operar la columna de destilación de vacío en condiciones severas. Lo que conlleva a una mayor exigencia de los equipos y un mayor riesgo potencial en la operación de los mismos. Esto se puede evitar produciendo asfalto oxidados para el mismo fin a partir de la planta de oxidación de asfaltos, debido a que la carga necesaria para dicho proceso requiere un asfalto convencional de penetración entre 73 a 150, el cual es obtenido de la unidad de destilación de vacío mediante condiciones de operación moderadas; lo que significa una menor exigencia de los equipos y una operación más segura para el personal que labora en dicha unidad.
- Tanto para obtener asfalto de alto índice de penetración como asfalto oxidado; se requiere cambiar principalmente las propiedades de penetración y punto de ablandamiento. Dichos cambios son mayores cuando se varía las condiciones de operación del proceso de oxidación de asfalto desde valores bajos. Cuando las condiciones de operación se encuentra en altos valores, un incremento de ellos causa poco efecto sobre el cambio de las propiedades deseadas. Debido a esto el proceso de oxidación de asfalto es operado a condiciones de presión, temperatura y flujo de aire moderados. Lo que conlleva finalmente a una mayor seguridad para la unidad de oxidación de asfalto y los trabajadores que operen en ella.
- La ubicación de la unidad de oxidación de asfalto en la refinería Conchán, propiedad de la empresa PETROPERU S.A., le da la ventaja competitiva de

encontrarse en un lugar estratégico para la venta de productos derivados del proceso de oxidación; tanto para la construcción de carreteras como para la venta de asfalto oxidado de uso industrial. Debido principalmente a la capacidad técnica que presenta dicha refinería para producción de refinados pesados; así como su cercanía a la ciudad de Lima, el cual concentra el mayor volumen de venta de productos asfálticos a nivel nacional, con una participación del mercado cercana al 90% a finales del 2011.

- A partir del capítulo de evaluación económica, se desprende que el capital fijo de inversión, excluido el terreno, asciende a un monto de US\$ 373 926, el cual es relativamente pequeño comparado con otras inversiones en procesos de refinación de crudo pesado. Debido al reducido monto se considera factible conseguir el financiamiento sin la necesidad de recurrir a la banca internacional. De esta manera, el tiempo transcurrido entre la búsqueda de un ente inversor y la aprobación de la estructura de pago del préstamo adquirido se reduciría considerablemente, haciendo posible el inicio de la construcción de los equipos y las operaciones en un corto plazo.
- El producto de mayor volumen de venta proyectado a partir del proceso de oxidación de asfalto, es el asfalto de alto índice de penetración. Ello se debe principalmente a la visión que presenta el estado peruano de seguir la tendencia internacional de reemplazar progresivamente el uso de asfalto convencional en la pavimentación de carreteras, por la nueva generación de asfaltos modificados. Ello haría que el consumo nacional en este rubro se centre en el asfalto de alto índice de penetración y desplace al asfalto modificado con polímeros debido al precio neto de venta del asfalto de alto índice de penetración, el cual presenta un incremento de 4.8% con respecto al asfalto convencional. Una cantidad inferior al incremento de venta del asfalto modificado con polímero, el cual fluctúa entre un 15 a 25% por encima del precio neto del asfalto convencional.
- Al realizar un análisis comparativo entre la evaluación económica y la evaluación financiera, para instalar e iniciar la operación de una planta de

oxidación de asfalto; se puede apreciar el apalancamiento financiero, lo cual demuestra un incremento de las utilidades netas si se recurre al financiamiento privado para ejecutar el proyecto.

7.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario implementar una norma técnica peruana que reglamente las especificaciones técnicas a cumplir del asfalto de alto índice de penetración y para el caso del asfalto oxidado realizar una revisión de las antiguas especificaciones técnicas existentes en el Perú. Para ambos casos es recomendable tener en consideración las normas internacionales publicadas referente a estos productos como las ASTM y las AASHTO, ambas acreditadas internacionalmente.
- Antes de usar un asfalto convencional como carga de alimentación con propiedades diferentes a lo usualmente empleado, o en caso se requiera un asfalto oxidado o asfalto de alto índice de penetración con características particulares; es recomendable reproducir el proceso previamente en la planta piloto. Ello daría como resultado la obtención de las condiciones de operación apropiadas a fin de realizar un proceso a escala industrial más eficiente.
- El uso del incinerador de los gases no condensables, producto del proceso de oxidación de asfalto, debe ser constante. Ello debido al compromiso que tiene la empresa PETROPERU S.A. de cuidar el medio ambiente y evitar la expulsión a la atmósfera de compuestos contaminantes como el CO, H₂S y SO₂. Los cuales, de acuerdo a la normatividad medioambiental peruana vigente presentan límites máximos permisibles.

BIBLIOGRAFÍA

- ABC Administradora Bolivariana De Carreteras (2010). *Manual De Ensayos De Suelos Y Materiales Asfaltos*. (Vol. 4). Bolivia: [s.n].
- Bacchetta, G. C. (2003) Obtención De Asfaltos Oxidados Para La Fabricación De Membranas Asfálticas A Partir De Crudos Mexicanos. Experiencias De Laboratorio. En el 3° Congreso del asfalto. México.
- Bacchetta, G. C. (2006) Manufactura Asfaltos Multigrados-Experiencias Laboratorio Australianas. En la 5° Jornada Internacional Del Asfalto. Mexico.
- Bacchetta, G. C. (2002) Avances Tecnológicos en la Manufactura de Equipamiento Argentino en la Fabricación de Emulsiones Asfálticas, Ligantes Modificados y Oxidados. En la 32° Reunión del Asfalto. Argentina.
- Bisso Fernandez, R.E. (1998). *Los Asfaltos Y Sus Aplicaciones Información Técnica Y Usos Típicos*. Lima 27 – Perú: Edit. Petróleos Del Perú PETROPERU S.A.
- Castells, X. E. (2005) *Tratamiento Y Valorización Energética De Residuos*. España: Edit Díaz de Santos.
- Cerutti, A. A. (2002). *La Refinación Del Petróleo*. (1a ed., Tomo I). Argentina: Edit. IAPG.
- Cerutti, A. A. (2002). *La Refinación Del Petróleo*. (1a ed., Tomo III). Argentina: Edit. IAPG.
- EP PETROECUADOR (2011). Plan Maestro Petroecuador 2009 – 2015. Ecuador: publicación EP PETROECUADOR.
- Instituto Del Asfalto. (1973). *Manual Del Asfalto*. Bilbao, España: Edit. Urmo.
- Lluch Urpi, J. (2008). *Tecnología y Margen de Refino del Petróleo*. España: Edit. Díaz de Santos.

- Marshall R. J., Lozowski D., Ondrey G., Jenkins S. (2012). Practical Tips For Dust Control [Economic Indicators November] Chemical Engineering. Vol. 119 (11).
- Ministerio de Energía y Minas (2009). Anuario Estadístico de Hidrocarburos 2009. Perú: Publicación Ministerio de Energía y Minas.
- Ministerio de Energía y Minas (2010). Anuario Estadístico de Hidrocarburos 2010. Perú: Publicación Ministerio de Energía y Minas.
- Ministerio de Energía y Minas (2011). Anuario Estadístico de Hidrocarburos 2011. Perú: Publicación Ministerio de Energía y Minas.
- Ministerio del Ambiente (2011). Compendio de la Legislación Ambiental Peruana (1ra ed., Vol. V). Lima 27 – Perú: Edit. Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental del Ministerio del Ambiente.
- Rodríguez Talavera, R., Castaño Meneses, V. M., Martínez Madrid, M. (2001). Emulsiones Asfálticas. Instituto Mexicano Del Transporte. México: Documento técnico N° 23: 21-26.
- Sánchez Q. J. M. (2008). Calidad De Asfaltos PETROPERU. En la 35° Reunión del Asfalto. Lima, Perú.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT. Instituto Mexicano del Transporte (2004). Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezclas Asfáltica. México: Publicación Técnica N° 246.
- Stan Jones, D. S. J., Pujadó P. R.(2006). *Handbook of Petroleum Processing*. The Netherlands: Edit. Springer.
- Washington State Department of Transportation (2012). *Materials Manual*, (12va Ed.). EEUU: [s.n].
- Wauquier, J.P. (2004). *El Refino Del Petróleo*. España: Edit. Diaz De Santos.

CONSULTAS A PÁGINAS WEB

- E-asfalto (2003). *Asfaltos Alto Índice*. Recuperado el 23 de noviembre del 2012, de <http://www.e-asfalto.com/go/?altoindice/altoind.htm>.
- E-asfalto (2005). *Especificaciones Técnicas*. Recuperado el 22 de noviembre del 2012, de <http://www.e-asfalto.com/go/?espectecnicas/esptecnica.htm>.
- PETROPERU (2007). *Cementos Asfálticos*. Recuperado el 23 de noviembre del 2012, de http://asfaltos.petroperu.com.pe/asfaltos_especificaciones.html.
- PETROPERU (2007). *Asfaltos líquidos*. Recuperado el 23 de noviembre del 2012, de http://asfaltos.petroperu.com.pe/asfaltos_especificaciones.html.
- Repsol (2000). *Asfaltos Líquidos*. Recuperado el 23 de noviembre del 2012, de http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/productos/aliquidos/default.aspx.
- Repsol (2000). *Cementos Asfálticos*. Recuperado el 23 de noviembre del 2012, de http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/productos/casfalticos/default.aspx.
- Repsol (2000). *Control De Calidad*. Recuperado el 24 de noviembre del 2012, de http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/control_calidad/
- Repsol (2000). *Emulsiones Asfálticas*. Recuperado el 23 de noviembre del 2012, de http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/productos/easfalticas/Default.aspx.
- REPSOL (s.f). *Fisicoquímica del asfalto*. Recuperado el 20 de noviembre del 2012, de http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/fisicoquimica/estructura/

ANEXOS

ANEXO I : Puesta al día de los costos directos.

ANEXO II : Puesta el día de los costos indirectos.

ANEXO III : Flujo de caja económico y financiero del proyecto.

GLOSARIO

NOMENCLATURA

ANEXO I

Cálculo para la puesta al día de los equipos la planta de oxidación de asfalto de febrero del 2007 a julio del 2012

- Inversión a Julio del 2012 para el reactor oxidador:
I_A: \$ 50.000
Index A: 525.4
Index B: 664.7
Calculando I_B: \$63 256
- Inversión a Julio del 2012 para el separador de fases condensables:
I_A: \$10 000
Index A: 525.4
Index B: 652.0
Calculando I_B: \$12 409.
- Inversión a Julio del 2012 para el horno incinerador:
I_A: \$ 20 000.
Index A: 525.4
Index B: 664.7
Calculando I_B: \$25 302.
- Inversión a Julio del 2012 para las tuberías y válvulas:
I_A: \$ 10 000
Index A: 525.4
Index B: 911.3
Calculando I_B: \$17 344
- Inversión a Julio del 2012 para un caudalímetro de aire y 3 termómetros digitales:
I_A: \$10 000
Index A: 525.4
Index B: 424.3
Calculando I_B: \$8 075

- Inversión a Julio del 2012 para las estructuras y plataformas:

I_A: \$30 000

Index A: 525.4

Index B: 757.8

Calculando I_B: \$43 269

- Inversión a Julio del 2012 para el compresor a tornillo:

I_A: \$30 000

Index A: 525.4

Index B: 928.9

Calculando I_B: \$53 039

- Inversión a Julio del 2012 para la planta piloto:

I_A: \$20 000

Index A: 525.4

Index B: 664.7

Calculando I_B: \$ 25 288

ANEXO II

Cálculo de la puesta al día de los costos indirectos de febrero del 2007 a julio del 2012.

- Inversión a Julio del 2012 para planimetrías:

I_A: \$ 15 000

Index A: 525.4

Index B: 328.0

Calculando I_B: \$ 9 364

- Inversión a Julio del 2012 para manual de operaciones, manual de instrumentación y listado de materiales.

I_A: \$ 5 000

Index A: 525.4

Index B: 328.0

Calculando I_B: \$ 3 121

- Inversión a Julio del 2012 de supervisión técnica, manufactura y capacitación:

I_A: \$ 3 000

Index A: 525.4

Index B: 324.1

Calculando I_B: \$ 1 850

- Inversión a Julio del 2012 de puesta en marcha

I_A: \$ 6 000

Index A: 525.4

Index B: 328.0

Calculando I_B: \$ 3 745

- Inversión a Julio del 2012 de contingencias

I_A: \$ 5 000

Index A: 525.4

Index B: 324.1

Calculando I_B : \$ 3084

ANEXO III

Flujo de caja económico y financiero de la producción de asfalto de alto índice de penetración y asfalto oxidado a partir de una planta de oxidación de asfalto.

VENTAS

ASFALTO DE ALTO ÍNDICE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VENTAS (MTM/AÑO)	45.816	49.434	53.052	56.670	60.287	63.905	67.523	71.141	74.759	78.377
PRECIOS (MUS\$/TM)	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864

ASFALTO OXIDADO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VENTAS (MTM/AÑO)	3.436	3.708	3.979	4.250	4.522	4.793	5.064	5.336	5.607	5.878
PRECIOS (MUS\$/TM)	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864

VENTA TOTAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VENTAS (MTM/AÑO)	49.252	53.141	57.031	60.920	64.809	68.698	72.587	76.477	80.366	84.255
PRECIOS (MUS\$/TM)	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864

Elaboración propia

INGRESO POR VENTAS US\$ DEL AÑO 0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VENTAS (MTM/Año)	49.2522	53.1414	57.03061	60.91981	64.80902	68.69822	72.58743	76.47663	80.36584	84.25504
PRECIO (MUS\$/TM)	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864
INGRESOS										
MMUS\$/Año	42.536	45.895	49.253	52.612	55.971	59.33	62.689	66.048	69.406	72.765
MUS\$/DC	116.536	125.738	134.941	144.143	153.345	162.548	171.75	180.952	190.154	199.357
MUS\$/DO	118.155	127.485	136.815	146.145	155.475	164.805	174.135	183.465	192.795	202.126

Elaboración propia

COSTOS DE PRODUCCIÓN US\$ DEL AÑO 0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MATERIA PRIMA										
MTM/Año	51.844	55.938	60.032	64.126	68.22	72.314	76.408	80.502	84.596	88.69
MUS\$/TM	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613
MMUS\$/Año	31.798	34.309	36.82	39.33	41.841	44.352	46.863	49.374	51.885	54.396
MUS\$/DC	87.117	93.996	100.876	107.755	114.634	121.513	128.392	135.272	142.151	149.03
MUS\$/DO	88.327	95.302	102.277	109.251	116.226	123.201	130.176	137.15	144.125	151.1
COSTOS VARIABLES										
MTM/Año	49.2522	53.1414	57.03061	60.91981	64.80902	68.69822	72.58743	76.47663	80.36584	84.25504
MUS\$/TM	0.00106	0.00106	0.00106	0.00106	0.00106	0.00106	0.00106	0.00106	0.00106	0.00106
MMUS\$/Año	0.0522	0.0563	0.0605	0.0646	0.0687	0.0728	0.0769	0.0811	0.0852	0.0893
MUS\$/DC	0.143	0.154	0.166	0.177	0.188	0.2	0.211	0.222	0.233	0.245
MUS\$/DO	0.145	0.156	0.168	0.179	0.191	0.202	0.214	0.225	0.237	0.248
COSTOS FIJOS										
MMUS\$/Año	0.363	0.363	0.363	0.363	0.363	0.363	0.363	0.363	0.363	0.363
MUS\$/DC	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995
MUS\$/DO	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009
COSTOS DE PRODUCCIÓN										
MMUS\$/Año	32.213	34.728	37.243	39.758	42.273	44.788	47.303	49.819	52.334	54.849
MUS\$/DC	88.256	95.146	102.037	108.927	115.818	122.708	129.599	136.489	143.38	150.27
MUS\$/DO	89.481	96.468	103.454	110.44	117.426	124.412	131.399	138.385	145.371	152.357
MUS\$/TM	0.654	0.654	0.653	0.653	0.652	0.652	0.652	0.651	0.651	0.651

Elaboración propia.

INVERSIÓN EN CAPITAL DE TRABAJO US\$ DEL AÑO 0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ACTIVO CIRCULANTE										
MMUS\$/Año	5.282	5.697	6.112	6.527	6.941	7.356	7.771	8.186	8.601	9.016
Caja mínima 5 días										
MUS\$/DC	88.256	95.146	102.037	108.927	115.818	122.708	129.599	136.489	143.38	150.27
MMUS\$/Año	0.4413	0.4757	0.5102	0.5446	0.5791	0.6135	0.648	0.6824	0.7169	0.7514
Materia prima 15 días										
MTM/DO	0.144	0.1554	0.1668	0.1781	0.1895	0.2009	0.2122	0.2236	0.235	0.2464
MTM/Año	2.16	2.331	2.501	2.672	2.843	3.013	3.184	3.354	3.525	3.695
MUS\$/TM	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613
MMUS\$/Año	1.325	1.430	1.534	1.639	1.743	1.848	1.953	2.057	2.162	2.266
Producto terminado 20 días										
MTM/DC	0.135	0.146	0.156	0.167	0.178	0.188	0.199	0.21	0.22	0.231
MTM/Año	2.699	2.912	3.125	3.338	3.551	3.764	3.977	4.191	4.404	4.617
MUS\$/TM	0.654	0.654	0.653	0.653	0.652	0.652	0.652	0.651	0.651	0.651
MMUS\$/Año	1.765	1.903	2.041	2.179	2.316	2.454	2.592	2.73	2.868	3.005

Cuentas por cobrar 15 días											
MUS\$/DC	116.536	125.738	134.941	144.143	153.345	162.548	171.75	180.952	190.154	199.357	
MMUS\$/Año	1.748	1.886	2.024	2.162	2.3	2.438	2.576	2.714	2.852	2.99	
Pagos adelantados 25 días											
MUS\$/DC	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
MMUS\$/Año	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	
PASIVO CIRCULANTE											
MMUS\$/Año	2.614	2.82	3.026	3.233	3.439	3.645	3.852	4.058	4.265	4.471	
Cuentas por pagar 30 días											
MUS\$/DC	87.117	93.996	100.876	107.755	114.634	121.513	128.392	135.272	142.151	149.03	
MMUS\$/Año	2.614	2.82	3.026	3.233	3.439	3.645	3.852	4.058	4.265	4.471	
CAPITAL DE TRABAJO(MMUS\$/Año)											
Inversión Circulante	2.668	2.877	3.085	3.294	3.502	3.711	3.92	4.128	4.337	4.545	
Inversión Incremental	2.668	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	-4.337	

Elaboración propia.

ESTADO DE GANANCIAS Y PÉRDIDAS-EVALUACIÓN ECONÓMICA (MMUS\$ del año 0)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	MMUS\$/Año	42.536	45.895	49.253	52.612	55.971	59.33	62.689	66.048	69.406	72.765
Gastos de producción	MMUS\$/Año	32.213	34.728	37.243	39.758	42.273	44.788	47.303	49.819	52.334	54.849
	MTM/Año	49.2522	53.1414	57.03061	60.91981	64.80902	68.69822	72.58743	76.47663	80.36584	84.25504
	MUS\$/TM	0.654	0.654	0.653	0.653	0.652	0.652	0.652	0.651	0.651	0.651
Gastos Administrativos	MMUS\$/Año	4.832	5.209	5.587	5.964	6.341	6.718	7.096	7.473	7.85	8.227
Gastos de Ventas	MMUS\$/Año	4.254	4.589	4.925	5.261	5.597	5.933	6.269	6.605	6.941	7.277
UTILIDAD DE OPERACIÓN	MMUS\$/Año	1.237	1.368	1.498	1.629	1.759	1.89	2.021	2.151	2.282	2.413
Depreciación	MMUS\$/Año	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
RENTA NETA	MMUS\$/Año	1.203	1.334	1.465	1.595	1.726	1.856	1.987	2.118	2.248	2.379
Impuesto a la renta (30%)	MMUS\$/Año	0.361	0.4	0.439	0.479	0.518	0.557	0.596	0.635	0.675	0.714
UTILIDAD NETA	MMUS\$/Año	0.842	0.934	1.025	1.117	1.208	1.3	1.391	1.482	1.574	1.665

Elaboración propia.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO-EVALUACIÓN ECONÓMICA (MMUS\$ DEL AÑO 0)

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSIÓN												
Capital fijo	MMUS\$/Año	0.3839										-0.0474
Capital de trabajo	MMUS\$/Año		2.668	.209	.209	.209	.209	.209	.209	.209	.209	-4.337
TOTAL INVERSIÓN	MMUS\$/Año	0.3839	2.6683	0.2085	-4.384							
Utilidad neta	MMUS\$/Año		0.842	0.934	1.025	1.117	1.208	1.3	1.391	1.482	1.574	1.665
Depreciación	MMUS\$/Año		0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
Flujo neto de fondos	MMUS\$/Año	-0.384	-1.792	0.759	0.85	0.942	1.033	1.125	1.216	1.308	1.399	6.083

VAN al 15% y año 0	3.056 MMUS\$
Tasa Interna de Retorno	42%
Periodo de recupero	4.53 Años
Relación B/C al 15%	1.0132
IVP al 15%	1.44

Elaboración propia.

		SERVICIO DE DEUDA					
		0	1	2	3	4	5
MONEDA CORRIENTE							
Deuda	MMUS\$/Año	0.192	0.1635	0.1308	0.0931	0.0498	0.
Amortización	MMUS\$/Año		0.0285	0.0327	0.0377	0.0433	0.0498
Interés	MMUS\$/Año		0.0288	0.0245	0.0196	0.014	0.0075
SERVICIO DE LA DEUDA	MMUS\$/Año		0.0573	0.0573	0.0573	0.0573	0.0573
MONEDA CONSTANTE DE 0							
Amortización	MMUS\$/Año		0.0276	0.0309	0.0345	0.0385	0.043
Interés	MMUS\$/Año		0.028	0.0231	0.0179	0.0124	0.0064
GANANCIA POR INFLACIÓN							
Anual	MMUS\$/Año		0.0008	0.0019	0.0032	0.0048	0.0068
Acumulado	MMUS\$/Año		0.0008	0.0027	0.0059	0.0107	0.0176

Elaboración propia.

ESTADO DE GANANCIAS Y PÉRDIDAS-EVALUACIÓN FINANCIERA (MMUS\$ DEL AÑO 0)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	MMUS\$/Año	42.536	45.895	49.253	52.612	55.971	59.33	62.689	66.048	69.406	72.765
Gastos de producción	MMUS\$/Año	32.213	34.728	37.243	39.758	42.273	44.788	47.303	49.819	52.334	54.849
Gastos Adminsitrativos	MMUS\$/Año	4.832	5.209	5.587	5.964	6.341	6.718	7.096	7.473	7.85	8.227
Gastos de ventas	MMUS\$/Año	4.254	4.589	4.925	5.261	5.597	5.933	6.269	6.605	6.941	7.277
UTILIDAD DE OPERACIÓN	MMUS\$/Año	1.237	1.368	1.498	1.629	1.759	1.89	2.021	2.151	2.282	2.413
Depreciación	MMUS\$/Año	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
Interés	MMUS\$/Año	0.028	0.0231	0.0179	0.0124	0.0064					
RENTA NETA	MMUS\$/Año	1.1752	1.3107	1.4466	1.5828	1.7194	1.8565	1.9872	2.1178	2.2485	2.3791
Impuesto a la renta (30%)	MMUS\$/Año	0.353	0.393	0.434	0.475	0.516	0.557	0.596	0.635	0.675	0.714
UTILIDAD NETA	MMUS\$/Año	0.823	0.918	1.013	1.108	1.204	1.3	1.391	1.482	1.574	1.665

Elaboración propia

FLUJO DE CAJA PROYECTADO-EVALUACIÓN FINANCIERA (MMUS\$ DEL AÑO 0)

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSIÓN												
Capital fijo propio	MMUS\$/Año	0.192										-0.0474
Amortización	MMUS\$/Año		0.0276	0.0309	0.0345	0.0385	0.043					
Capital de trabajo	MMUS\$/Año		2.6683	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	-4.3366
TOTAL INVERSIÓN	MMUS\$/Año	0.192	2.696	0.2394	0.243	0.247	0.2515	0.2085	0.2085	0.2085	0.2085	-4.384
Utilidad neta	MMUS\$/Año		0.823	0.918	1.013	1.108	1.204	1.3	1.391	1.482	1.574	1.665
Depreciación	MMUS\$/Año		0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
Flujo neto de fondos	MMUS\$/Año	-0.192	-1.84	0.712	0.803	0.895	0.986	1.125	1.216	1.308	1.399	6.083

VAN al 15% y año 0 3.548 MMUS\$

Tasa Interna de Retorno 44%

Periodo de recuperó 4.44 Años

Relación B/C al 15% 1.0153

IVP al 15% 1.73

Elaboración propia.

GLOSARIO

AISI 304: La aleación AISI 304 es un acero inoxidable de uso general con una estructura cúbica de caras centradas.

Barril: Medida estándar para los combustibles. Un barril equivale a 42 galones US.

Briqueta: Conglomerado de asfalto en forma de ladrillo que se utiliza para realizar ensayos.

Capacidad nominal: Es la capacidad para la que están diseñados los equipos.

Exhaustor: Equipo que actúa como un condensador

ExWorks (EXW): El incoterm EXW significa que el vendedor cumple su obligación de entrega cuando pone la mercancía en su establecimiento (fábrica, almacén, etc.) a disposición del comprador. El comprador asume el grueso de los gastos con esta modalidad.

Floculación: Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en un fluido, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

Flujo de caja: Es un documento o informe financiero que muestra los flujos de ingresos y egresos de efectivo que mantendrá una empresa durante un periodo de tiempo determinado.

Gas natural: Es una mezcla de hidrocarburos gaseosos de bajo peso molecular, presentes en forma natural en estructuras subterráneas. Es usado como fuente de energía calorífica o materia prima para la elaboración de productos petroquímicos.

Gravedad API: Es la escala utilizada por el Instituto Americano del Petróleo para expresar la gravedad específica de los tipos de petróleo.

Hidrocarburo: Son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. La estructura molecular consiste en un armazón de átomos de carbono a los que se unen los átomos de hidrógeno.

Factor Kuop: Factor de caracterización de tipo químico, que permite estimar la composición química del petróleo y fracciones a partir de su densidad y temperatura de ebullición.

Licenciante: Se refiere a la empresa que ha realizado la investigación, el desarrollo y la puesta a punto de la técnica industrial para la obtención del producto que es objeto del proyecto.

Miscible: Es la condición en la que dos o más fluidos puede mezclarse en todas las proporciones y formar una sola fase homogénea.

Oxidador: Es el reactor del proceso de oxidación de asfalto, dentro del cual ocurren las reacciones de oxidación, debido a la mezcla del asfalto con un flujo de aire a una temperatura determinada.

Peptizante: Es un compuesto que mejora la dispersión de una sustancia en forma coloidal.

Polímeros: Son sustancias de alto peso molecular, formadas por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros. Tienen una gran aplicación en distintos campos de la industria, entre ellos como mejorador del comportamiento del asfalto.

Refinación de petróleo: Son los procesos físicos y/o químicos que se encargan de la transformación del petróleo en productos derivados comercializables.

Refinería: Es una plataforma industrial cuyo objetivo es la refinación del petróleo.

Reología: Es una disciplina científica que se dedica al estudio de la deformación y flujo de la materia o, más precisamente, de los fluidos.

Sello de Viton: Es un tipo de junta que se utiliza entre las uniones de equipos metálicos.

Termoplástico: Se dice así a todo material hidrocarburo que, a temperaturas relativamente altas, se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en su estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente.

NOMENCLATURA

B/C:	Relación beneficio/costo.
BPD:	Barriles por día.
C.A:	Cemento asfáltico.
BTU:	British Thermal Unit.
DC:	Día calendario.
DO:	Día operativo.
HP:	Horse power.
IVP:	Índice del Valor Presente.
MBPD:	Miles de barriles por día.
MUS\$:	Miles de dólares Americanos.
MMUS\$:	Millones de dólares Americanos.
PBI:	Producto Bruto Interno.
PEN:	Penetración.
PSIG:	Presión manométrica.
RPM:	Revoluciones por minuto.
R&B:	Ring and Ball.
SCF:	Standard Cubic Feed.
TIR:	Tasa Interna de Retorno.
TM:	Tonelada métrica.
Tpa:	Toneladas por año.
VAN:	Valor Actual Neto.