

TÍTULO:

**EXPERIENCIA EN LA MODIFICACIÓN DE ASFALTOS CON DIFERENTES TIPOS DE  
POLÍMEROS**

AUTORES:

Dr. Carlos Quevedo – email: [cquevedo@grupoods.com.ar](mailto:cquevedo@grupoods.com.ar)

Ing. Mariano Sanziani – email: [msanziani@grupoods.com.ar](mailto:msanziani@grupoods.com.ar)

Ing. Jose Muzzulini – email: [jmuzzulini@grupoods.com.ar](mailto:jmuzzulini@grupoods.com.ar)

Ing. Fabián Alasia – email: [falasia@grupoods.com.ar](mailto:falasia@grupoods.com.ar)

Dirección: Laboratorio Central IECSA – Zeballos 1536, Rosario, Santa Fe, Argentina, Código Postal: S2000BQD – Teléfono: (0341) 4496454/57

## **1. RESUMEN**

---

Cincovial S.A. como Empresa concesionaria de las rutas y peajes que componen el corredor vial 5, tiene como obligación contractual con la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) operar en la construcción, mejora, reparación, conservación, ampliación, remodelación, mantenimiento y explotación.

Dentro de las obras de mejoras, distribuidas en el período de 6 años de concesión, está previsto por contrato, la colocación de 1.500.000 toneladas de mezcla asfáltica. De esta totalidad, un 30% son con asfalto convencional y el 70% restante con asfalto modificado con polímero del tipo SBS (estireno – butadieno – estireno).

El empleo de asfalto modificado con polímero constituye una exigencia contractual establecida en el pliego de especificaciones técnicas de la DNV, como organismo estatal, comitente del contrato de concesiones viales.

Como es sabido, la producción de estos polímeros, no existe a nivel nacional, por lo cual para la provisión de los mismos, en las cantidades necesarias y de la calidad requerida, se debe recurrir a proveedores extranjeros, por lo que debe realizarse un proceso de importación dificultoso y burocrático, que la actualidad impone.

A lo anteriormente expuesto, se adiciona como problema de difícil solución, la falta de capacidad instalada de las diferentes destilerías nacionales, que resultan insuficientes para satisfacer las necesidades de asfalto modificado con polímero, que el mercado requiere en la actualidad.

Atendiendo a esta situación imperante en nuestro país, hizo que Cincovial S.A. tomara la decisión de realizar una importante inversión de alrededor de u\$s 1.000.000, en la adquisición del equipamiento necesario y específico para desarrollar el proceso de modificación de asfalto, a nivel industrial, y cumplir así con las exigencias contractuales, constituyendo la decisión adoptada, un alto capital de riesgo.

Como una consecuencia de la situación explicada, es que se pretende desarrollar un informe que comprenda dos etapas u objetivos, perfectamente diferenciados, pero que hacen a la concreción de solo uno; producción de asfalto modificado con polímeros.

Una etapa de desarrollo, investigación y optimización, a nivel de laboratorio. Por lo cual se hace un racconto pormenorizado, de todo un trabajo intenso e indispensable para la concreción del objetivo propuesto.

En una segunda y última etapa del presente informe, se hace un detalle del equipamiento de producción y se describe un procedimiento de operación tentativo.

## **2. OBJETO**

---

El presente informe tiene por objeto establecer lineamientos a seguir en el proceso de modificación de asfalto con polímeros, con el fin de obtener un producto del tipo AM3 que cumpla

con los parámetros especificados en la Norma IRAM 6.596 – “*Asfaltos modificados con polímeros para uso vial (Clasificación y requisitos)*”.

Estas pautas básicas, surgen como resultado de la ejecución de una vasta cantidad de procesos de modificación de asfaltos con polímeros, que viene realizando el Laboratorio Central de IECSA en la ciudad de Rosario desde inicio del año 2.011, mediante empleo de un molino coloidal a escala laboratorio.

### **3. RESEÑA HISTÓRICA**

---

Previo al desarrollo del informe, consideramos oportuno realizar una breve reseña histórica en lo que hace al proceso de modificación de asfaltos con polímeros.

En el año 1.995 tomamos contacto por primera vez con la metodología de modificación de asfaltos con polímeros del tipo SBS, que sería también, la primera experiencia en el país en lo que hace a la aplicación de esta técnica, y el empleo del producto resultante, en el diseño y aplicación de mezclas asfálticas, no convencionales y nunca empleadas, hasta ese momento, en la ingeniería vial argentina.

Los profesionales de la Empresa Pavimental de Italia, como socios de Servicios Viales, y con experiencias en estos tipos de trabajos, recomendaron en esa oportunidad, como prioritario, analizar químicamente los asfaltos destinados a ser modificados con polímeros, para comprobar si los mismos resultaban compatibles o no, con los polímeros seleccionados.

Para tal efecto, muestras de asfalto que respondían a la denominación de 50/60 de penetración (IRAM 6.576) y suministradas por las destilerías San Lorenzo, YPF y SHELL, fueron enviadas al laboratorio que la Empresa Pavimental poseía en Italia.

En dicho laboratorio se realizaron los análisis del fraccionamiento químico mediante técnica FID-LATROSAN (marca registrada), consistente en determinación cuantitativa de los distintos componentes en columna cromatográfica.

Los asfaltos analizados respondían a las características físicas informadas en la tabla siguiente:

Tipo de Ensayo	Unidad	S. Lorenzo	YPF	SHELL
Penetración a 25°C	0,1 mm	62	53	54
Punto de Ablandamiento	°C	48	47	47
Viscosidad Dinámica a 60°C	Pa.s	200	258	184
Viscosidad Dinámica a 160°C	Pa.s	0,20	0,20	0,18

**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ASFALTOS ANALIZADOS**

Obteniéndose de estos la siguiente composición química:

Fracción	S. Lorenzo	YPF	SHELL
	% pp	% pp	% pp
Asfaltenos	14	20	19
Saturados	6	11	11
Aromáticos	65	60	60
Polares	15	9	10
Aromáticos / Asfaltenos	4,64	3,00	3,16

**TABLA 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ASFALTOS ANALIZADOS**

Como resultado de estos análisis, y atendiendo fundamentalmente a la relación Aromáticos / Asfaltenos se concluyó que el asfalto de Refinería San Lorenzo, era el que mostraba una cierta compatibilidad con el polímero, pero lejos de las condiciones ideales, por cuanto para el logro de una buena compatibilidad asfalto-polímero, era necesario que el valor de dicha relación, no fuera nunca inferior a 5.

#### **4. MODIFICACIÓN DE ASFALTOS EN LABORATORIO CENTRAL IECSA**

Con el fin de lograr entrenamiento y conocer los detalles y por menores que se presentan durante el proceso de modificación, antes de producir a escala industrial, fue muy importante el estudio en laboratorio.

No todos los asfaltos son modificables con cualquier tipo de polímero. Por esto, en la etapa de investigación y desarrollo en laboratorio, se ensayaron asfaltos de distintas procedencias con polímeros elastoméricos tipo SBS (estireno – butadieno – estireno) de distintos fabricantes y configuración estructural (radiales/lineales), para poder así, conocer todas las variantes que se pueden presentar durante el proceso de modificación.

Resumidamente, el proceso de modificación abarca dos etapas, (molienda – digestión);

- En la primer etapa, se prepara un masterbach o concentrado (1 a 1,5 litros de asfalto) con una concentración de polímeros del orden del 10%. Para la molienda del SBS se utiliza un molino coloidal a escala laboratorio, por el cual se hace recircular el concentrado durante determinado período de tiempo, hasta la molienda total del polímero. Luego se diluye el concentrado con el asfalto restante, hasta completar los 3 litros de capacidad del molino, disminuyendo así, la concentración de polímeros al orden del 4%, 5%.

- La segunda etapa consiste en la digestión de la mezcla. Para esto se emplea un digestor provisto de paletas que mantienen el producto en agitación durante el tiempo necesario hasta lograr la expansión dispersión total del polímero en el asfalto.

#### 4.1. EJEMPLO DE PROCESO DE MODIFICACIÓN

Si bien los pasos que se siguen en el proceso de modificación son similares para todas las combinaciones de asfalto – SBS, los tiempos de digestión, temperaturas de molienda y digestión, cantidad de asfalto y porcentaje de polímeros en el concentrado, etc., varían de una mezcla a otra.

A modo de ejemplo, se describe a continuación los pasos que se siguieron en una de las últimas modificaciones que se realizaron en el Laboratorio Central de IECSA, que será en definitiva, la que se buscará reproducir en planta a nivel industrial.

##### 1. DOSIFICACIÓN

La tabla siguiente, resume la dosificación de cada uno de los componentes en la modificación;

COMPONENTES	MEZCLA (%)	MEZCLA (Gr)	CONC. (Gr)	CONC. (%)
ASFALTO	94,90	3.000,0	1.500,0	90,29
PEXARA	0,00	0,0	0,0	0,00
SBS	5,00	158,1	158,1	9,52
AZUFRE	0,10	3,2	3,2	0,19
TOTAL	100,00	3.161,2	1.661,3	100,00

**TABLA 3. DOSIFICACIÓN PARA MODIFICACIÓN DE ASFALTO CON POLÍMERO SBS**

El concentrado se hace con 1.500 gramos de asfalto 70-100 y 9,52% de polímeros, para llegar luego con la dilución hasta los 3.000 gramos de asfalto, a 5% de SBS total.

##### 2. CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO VIRGEN

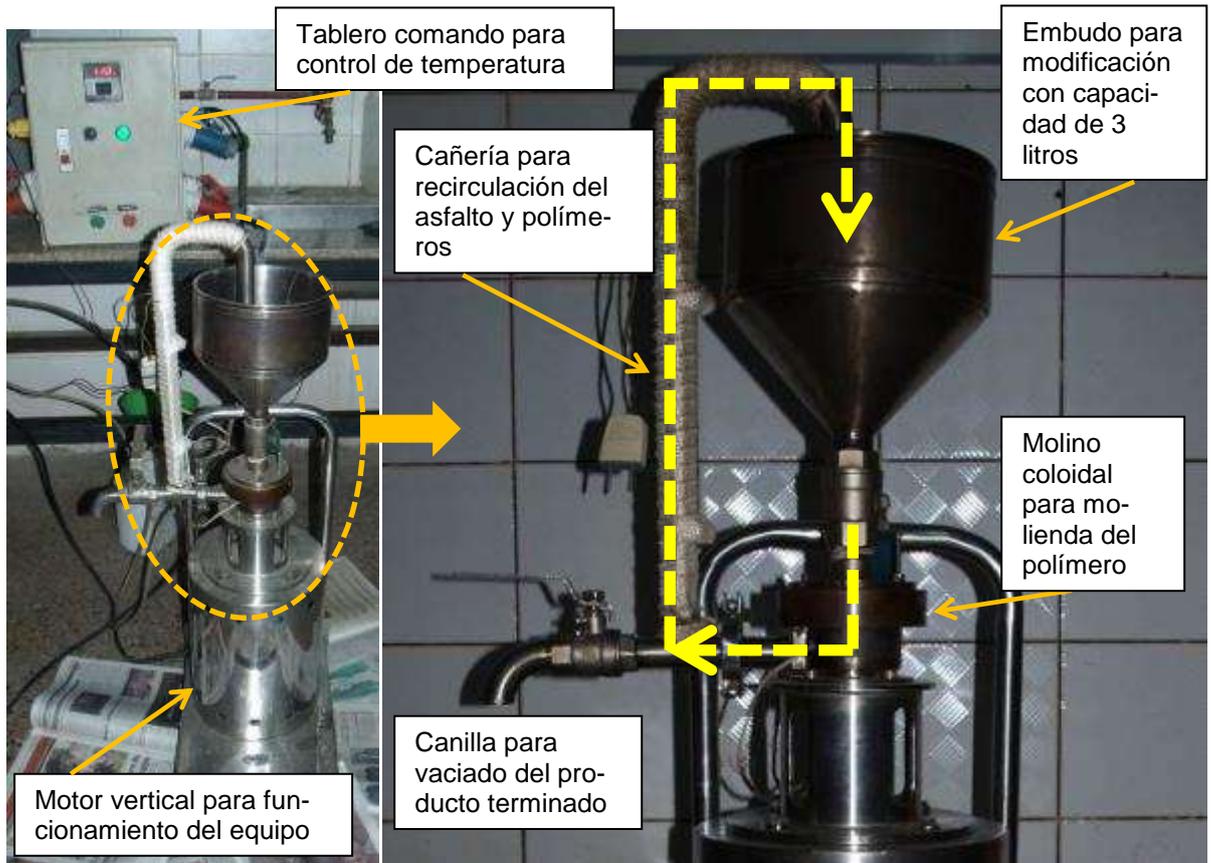
Para la modificación se utiliza un asfalto convencional de penetración **70-100 de refinería Shell**, con las siguientes características;

Tipo de Ensayo	Unidad	Valores Requeridos	Valores Medidos
Penetración a 25°C	0,1 mm	70-100	73,80
Punto de Ablandamiento	°C	-	45,70
Viscosidad Brookfield a 60°C	Cp	800-1.600	1.490

**TABLA 4. CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO VIRGEN SHELL 70-100**

##### 3. PRODUCCIÓN DEL CONCENTRADO

Para la primer etapa del proceso se emplea un molino coloidal con capacidad para 3 litros de asfalto (3.000 gramos apróx.). La siguiente foto ilustra el funcionamiento del mismo;



**FOTO 1. MOLINO COLOIDAL PARA MODIFICACIÓN DE ASFALTO**

- Se incorporan 1.500 gramos de asfalto virgen caliente en el embudo del molino y se comienza la recirculación por el mismo. Por medio del tablero de control, se setea la temperatura del molino en 180°C.



**FOTO 2. EMBUDO CON ASFALTO VIRGEN – TABLERO CONTROL TEMPERATURA**

- Al llegar la masa de material virgen recirculando a la temperatura de 150°C, se agregan 3,2 gramos de azufre, lo que representa el 0,1% en los 3 litros finales. El azufre facilita la

dispersión del polímero en el asfalto, disminuyendo así, en forma considerable, los tiempos de digestión.

- Al alcanzar los 180°C (10 minutos apróx. desde los 150°C) se adiciona en forma continua y sin pausa los 158,1 gramos (9,52% del masterbatch) de **polímero Kraton 1.192 BT lineal**. Para obtener una molienda efectiva del polímero, se cierra el rotor del molino al máximo posible.

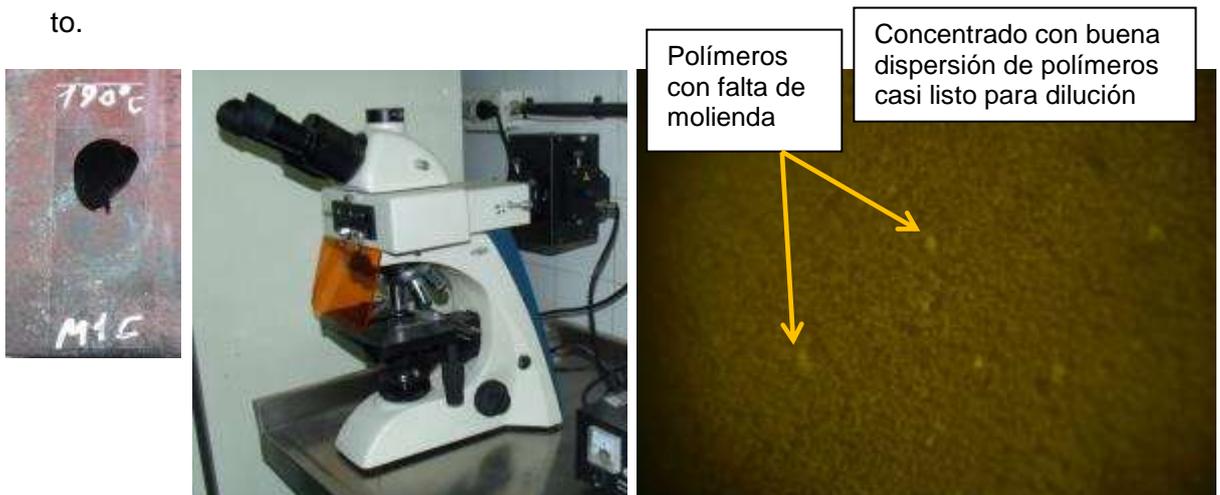
Es importante mantener la agitación dentro del embudo durante la recirculación del asfalto con polímeros por el molino, para lograr un producto homogéneo.



**FOTO 3. INCORPORACIÓN DEL POLÍMERO KRATON A 180°C CON AGITACIÓN MANUAL**

El agregado del polímero lleva 5 minutos aproximadamente. Al finalizar, se resetea la temperatura del molino a 190°C y se mantiene la recirculación y agitación a esta temperatura.

El fin del recirculado del concentrado por el molino, para luego diluir y pasar a digestión, está dado por la observación de muestras en el microscopio, tomadas durante el proceso. Al microscopio se observa el grado de molienda y dispersión del polímero en el asfalto.



**FOTO 4. MUESTRA DEL CONCENTRADO A 190°C Y OBSERVACIÓN EN MICROSCOPIO**

Otra manera de evaluar el fin del recirculado, es mediante un ensayo expeditivo denominado “de la pizza”, el cual consiste en sacar una muestra del concentrado, enfriarla en agua y estirarla manualmente observando la superficie. Una mezcla lista para la dilución, debe mostrar una superficie brillante y sin grumos (polímeros con falta de molienda).



**FOTO 5. MUESTRA DEL CONCENTRADO A 190°C PARA ENSAYO “DE LA PIZZA”**

- Al cabo de 50 minutos, desde el fin de la incorporación de los polímeros, y a una temperatura levemente superior a los 190°C, el concentrado está listo para la dilución con los 1.500 gramos de asfalto virgen 70-100 que completan los 3 litros de capacidad del molino. Así, la concentración final de polímeros en el total de la mezcla queda en 5%.

El concentrado ya diluido, se retira del molino por medio de la canilla de vaciado y se procede con la etapa de digestión.



**FOTO 6. DILUCIÓN DEL CONCENTRADO – VACIADO DEL MOLINO PARA DIGESTIÓN**

#### 4. DIGESTIÓN DE LA MEZCLA

La segunda etapa, y final del proceso de modificación de asfalto, es la digestión de la mezcla mediante la agitación con paletas dentro de un recipiente con capacidad para 3 litros. La siguiente foto muestra el funcionamiento del mismo;



**FOTO 7. DETALLE DEL DIGESTOR DE ASFALTO MODIFICADO**

- Se setea la temperatura del digestor en 190°C y se incorpora la mezcla (asfalto + polímeros), dando inicio al proceso de digestión.  
Se setea la velocidad del agitador en 200 RPM aproximadamente. Para lograr el producto final en el menor tiempo posible, la velocidad de giro de las paletas debe ser elevada, pero ésta debe regularse en todo momento, previendo que en la agitación de la mezcla, se generen burbujas de aire que oxiden el asfalto.  
Se considera como “hora cero” del proceso de digestión, al momento en el que se alcanza la temperatura de 190°C.
- Desde la “hora cero”, y regularmente durante toda la digestión (cada dos horas aprox.), se toman muestras de asfalto desde el digestor para observación en microscopio y para realizar los ensayos correspondientes.

#### **4.2. ENSAYOS REALIZADOS DURANTE LA DIGESTIÓN**

Siguiendo la Norma IRAM 6.596 – “Asfaltos modificados con polímeros para uso vial (Clasificación y requerimientos)”, se enumeran a continuación los ensayos que se realizan con las muestras que se van tomando durante la digestión;

- a) Punto de ablandamiento – ASTM D 36

- b) Penetración (25°C, 100 gr., 5 s.) – IRAM 6.576
- c) Recuperación elástica por torsión (25°C) – IRAM 6.830
- d) Viscosidad dinámica rotacional Brookfield a 4 temperaturas – IRAM 6.837
- e) Ductilidad (5°C) – IRAM 6.579

A la “hora cuatro” del proceso de digestión, los parámetros evaluados en los ensayos cumplen con los requerimientos exigidos.

En la tabla siguiente, se transcriben los resultados de los ensayos realizados durante el proceso de digestión;

ASFALTO MODIFICADO (SHELL 70-100 + KRATON 1.192 BT LINEAL) – RESULTADOS OBTENIDOS								
Hora	Viscosidad [Cp]				Pto. Abland. [°C]	Penetración [0,1 mm]	Rec. Elástica [%]	Ductilidad [cm]
	135°C	150°C	170°C	190°C				
0 HS	1.680	920	600	260	92,5	46,7		
2 HS	2.080	1.180	540	280	89,5	56,0	87,7	
4 HS	2.600	1.320	480	260	87,4	52,7		
Req.	> 2.800	> 1.300	> 500	> 180	> 65	[50-80]	> 70	> 30

**TABLA 5. RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS DURANTE LA DIGESTIÓN**

Los valores de los distintos parámetros especificados para un asfalto modificado del tipo AM3 se cumplen tanto, para las muestras tomadas a la hora dos, como para las extraídas a las cuatro horas de iniciado el proceso de digestión, coincidiendo estas últimas, con el momento en que se da por finalizado el mezclado.

En cuanto a las viscosidades determinadas y al ensayo de ductilidad, se debe decir que no existen valores especificados que deba cumplir el asfalto, para ser considerado como de tipo AM3. Sin embargo, y a través de la experiencia, se recomiendan valores que se deberían alcanzar para asegurar la obtención de un producto estable.

**Comentario:** los valores recomendados para las viscosidades a distintas temperaturas mostrados en la tabla anterior, son referidos a una modificación de asfalto con polímeros de configuración interna radial. Para una modificación con polímeros de estructura lineal, como es el caso desarrollado, los valores logrados de viscosidad son menores que los requeridos, lo cual favorece la trabajabilidad del mismo durante la producción, provocando además, menores daños en los circuitos de cañerías y bombas durante el recirculado.

Por otro lado, en el microscopio la muestra de la “hora cuatro” se observa homogénea, por lo que se da por concluido el proceso de modificación.

La siguiente secuencia de fotos tomadas en el microscopio, muestran la evolución de la modificación durante todo el proceso, es decir desde el inicio del concentrado hasta el fin de la digestión;

ETAPA BIFÁSICA: MEZCLA ASFALTO/POLÍMEROS HETEROGÉNEA

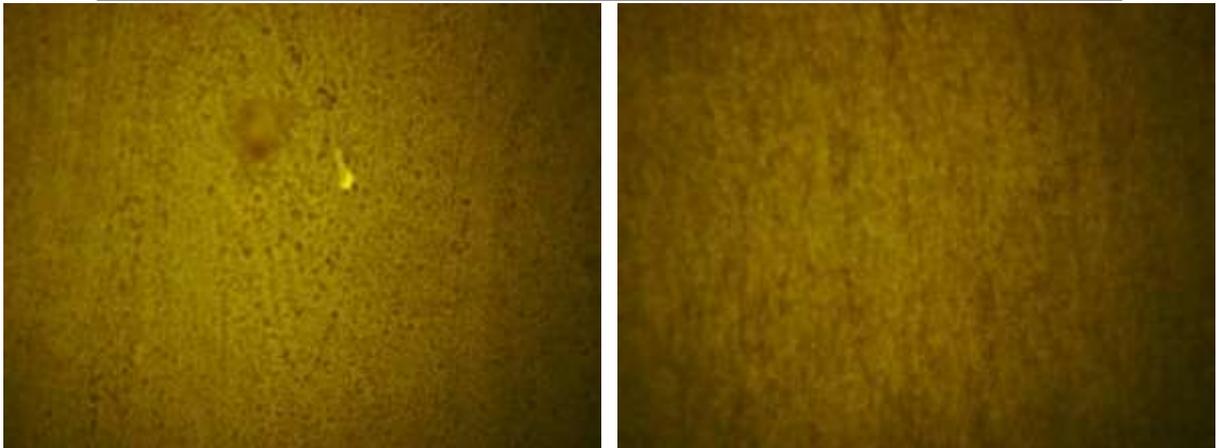


FOTO 8. CONCENTRADO A 190°C (IZQUIERDA: 10 MINUTOS – DERECHA: 30 MINUTOS)

ETAPA MONOFÁSICA: MEZCLA ASFALTO/POLÍMEROS HOMOGÉNEA

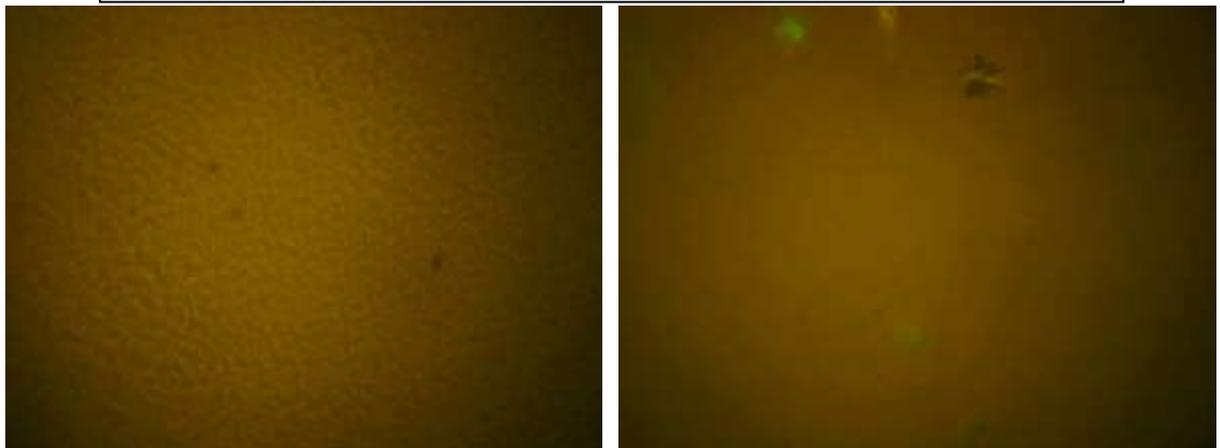


FOTO 9. DIGESTIÓN A 190°C (IZQUIERDA: "HORA CERO" – DERECHA: "HORA DOS")



FOTO 10. DIGESTIÓN A 190°C "HORA CUATRO"

En la foto 9 de la muestra extraída a la "hora dos" (derecha), ya se observa homogeneidad en el producto. Podría haberse dado por concluido el proceso de digestión en ese momento,

ya que además de lo observado en el microscopio, los ensayos realizados a esa hora cumplen con los requerimientos exigidos.

Se decide continuar con la digestión al menos hasta la “hora cuatro”, para subir los valores de viscosidad hasta los recomendados por experiencia.

### 4.3. OTROS ENSAYOS

Otros requerimientos establecidos en la Norma IRAM 6.596 corresponden a los siguientes ensayos a realizar sobre el producto final;

- a) Luego de someterlos al ensayo de estabilidad al almacenamiento – IRAM 6.840
  - i. Diferencia del punto de ablandamiento – ASTM D 36
  - ii. Diferencia de penetración – IRAM 6.576
- b) Requisitos para el residuo de película delgada – ASTM D 2.872
  - i. Variación de masa (5 hs., 163°C) – IRAM 6.582
  - ii. Penetración residual (25°C, 100 gr., 5 s.) – IRAM 6.576
  - iii. Variación del punto de ablandamiento – ASTM D 36

Los resultados se vuelcan en las tablas con el siguiente formato;

ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO					
Punto Ablandamiento [°C]			Penetración [0,1 mm]		
Superior	Inferior	Diferencia	Superior	Inferior	Diferencia
Requerimiento		< 5	Requerimiento		< 10

**TABLA 6. ENSAYOS LUEGO DE ALMACENAMIENTO**

El ensayo de estabilidad al almacenamiento demanda 5 días, lo cual hace muy difícil su aplicación en producción a nivel industrial.

RESIDUO DE PELÍCULA DELGADA			
Estado	Var. Masa [%]	Penet. Residual [%]	Var. Pto. Abl. [°C]
AM3			
RTFOT			
Dif.			
Req.	< 1%	> 65%	[-5 a 10]°C

**TABLA 7. ENSAYOS DE PELÍCULA DELGADA**

## 5. EQUIPAMIENTO DE LABORATORIO

Para la ejecución de los ensayos en laboratorio, IECSA se equipó con instrumental automático de alta calidad y precisión.

Los ensayos para medición de la viscosidad, penetración y punto de ablandamiento, son fácilmente influenciados por el ojo y la experiencia del operador. Por eso, para estos ensayos, los equipos automáticos eliminan cualquier posibilidad de subjetividad.

Las fotos que siguen, muestran el equipamiento con el que cuenta el Laboratorio Central de IECSA en Rosario para el estudio de asfaltos modificados con polímeros;



FOTO 11. VISCOSÍMETRO DINÁMICO ROTACIONAL BROOKFIELD



FOTO 12. EQUIPOS AUTOMÁTICOS PARA PENETRACIÓN Y PUNTO DE ABLANDAMIENTO



**FOTO 13. MICROSCOPIO DE ALTA GAMA – EQUIPO PARA RECUPERACIÓN TORSIONAL**



**FOTO 14. PILETA PARA ENSAYO DE DUCTILIDAD**



**FOTO 15. HORNO DE ENVEJECIMIENTO PARA ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA**

## 6. RESUMEN DEL ESTUDIO REALIZADO EN LABORATORIO

Hasta acá, el desarrollo del informe se basó puntualmente en la modificación de un asfalto 70-100 de Shell con polímeros Kraton 1.192 BT lineal. Es ésta, la última modificación estudiada en laboratorio, y la que se buscará implementar en planta a nivel industrial.

En este punto, se resume lo más destacable de todo lo que ha pasado en laboratorio a partir de la modificación de distintos asfaltos con distintos polímeros.

### 6.1. ASFALTOS

Los asfaltos ensayados fueron de las siguientes destilerías;

- OIL 70-100
- YPF 70-100
- YPF CA10
- Shell 70-100
- Petroquímica (Petrobras) 70-100

Muestras de estos asfaltos fueron enviadas para su análisis químico al LEMIT (laboratorio de la ciudad de La Plata). El fin era comprobar la aptitud de los mismos para su modificación a un AM3.

En dicho laboratorio se realizó el fraccionamiento por el método SARA, consistente en la determinación cuantitativa de los distintos componentes en columna cromatográfica (Norma ASTM D4.124).

Se obtuvieron los siguientes resultados;

PARTES	ASFALTO VIRGEN						
	PETRO.	OIL	YPF	SHELL	YPF CA10 + 0% Pexara	YPF CA10 + 2% Pexara	YPF CA10 + 4% Pexara
Saturados (%)	14,5	17,6	17,3	22,2	22,6	23,2	22,5
Resinas (%)	46,4	46,1	48,5	52,1	51,3	50,3	50,9
Aromáticos (%)	32,7	29,6	25,7	18,6	19,4	20,1	19,7
Asfaltenos (%)	6,4	6,7	8,5	7,1	6,7	6,4	6,9
<b>I.C.</b>	<b>0,26</b>	<b>0,32</b>	<b>0,35</b>	<b>0,41</b>	<b>0,41</b>	<b>0,42</b>	<b>0,42</b>

**TABLA 8. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ASFALTOS ANALIZADOS**

Con los resultados obtenidos en el fraccionamiento del asfalto, se calcula el índice de “Inestabilidad Coloidal” por medio de la siguiente fórmula;

$$IC = \frac{\text{Saturados} + \text{Asfaltenos}}{\text{Aromáticos} + \text{Resinas}}$$

Si bien no hay nada especificado sobre este índice, por experiencia de nuestros asesores, debería ser inferior a 0,6 para considerar al asfalto apto para ser modificado a un AM3.

Basándonos en los resultados obtenidos para el índice de *"Inestabilidad Coloidal"*, deberíamos haber concluido que todos los asfaltos disponibles eran compatibles para modificación. Sin embargo, algunos mostraron incompatibilidad con toda clase de polímero al ser ensayados en el molino.

En la tabla se muestra también, los resultados obtenidos en el fraccionamiento de un asfalto al que se le agregó, en distintos porcentajes, un aceite extendedor (Pexara) (leer explicación de su utilización, luego en *"fenómeno de gelificación"*). Los resultados del índice de *"Inestabilidad Coloidal"* no muestran variación entre los distintos porcentajes de Pexara incorporado al asfalto virgen, sin embargo en el molino, es notable la diferencia en el proceso de modificación.

**Comentario:** si bien la caracterización del asfalto virgen y el análisis químico de estos es importante para el proceso de modificación, no puede preverse, a partir de ellos, ningún resultado hasta que se ensaya la modificación en el molino coloidal.

## 6.2. POLÍMEROS SBS

Los polímeros están constituidos por monómeros que al unirse pueden hacerlo dando una estructura lineal o radial, lo que influye en sus propiedades.

Los lineales se forman cuando el monómero que lo origina tiene 2 puntos de unión, de modo que la polimerización ocurre en una sola dirección, pero en ambos sentidos.

Estos son fáciles de trabajar en el proceso de modificación de asfaltos, dado que la unión de los monómeros está dada por interacciones débiles, lo que facilita la dispersión del mismo en el asfalto.

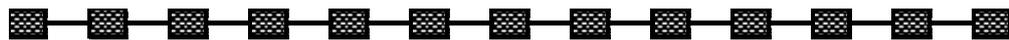


FIGURA 1. POLÍMERO – ESTRUCTURA INTERNA LINEAL

Los polímeros radiales, se forman debido a que, a diferencia del lineal, estos tienen 3 o más puntos de unión, de tal forma que la polimerización ocurre en forma tridimensional, en las 3 direcciones del espacio.

Estos son rígidos, y romper su estructura interna para lograr la dispersión en el asfalto demanda mayor energía y tiempo en comparación con los polímeros lineales.

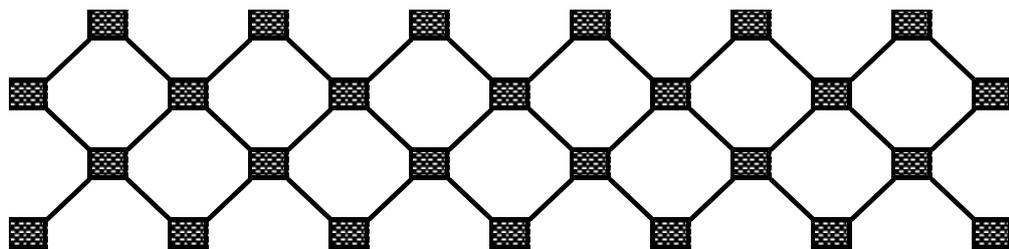


FIGURA 2. POLÍMERO – ESTRUCTURA INTERNA RADIAL

Los polímeros SBS utilizados en laboratorio para la modificación fueron los que siguen;

- Dynasol (México) – configuración radial
- Globalprene (China) – configuración radial
- Sinopec (China) – configuración lineal
- Taipol (Taiwan) – configuración radial y lineal
- Kraton (Brasil) – configuración radial y lineal

### **6.3. MODIFICACIÓN DE ASFALTOS CON POLÍMEROS RADIALES**

Actualmente, en la producción a nivel industrial, los asfaltos modificados tipo AM3 son fabricados con polímeros radiales. Por esto, gran parte de la etapa de investigación en el laboratorio se desarrolló probando la modificación de asfaltos con esta clase de polímeros.

El proceso de modificación es similar al descrito a lo largo presente informe. Sin embargo hay cambios en las temperaturas de molienda y tiempos de digestión. Además, por las propiedades del polímero radial, es necesario tener mayores recaudos en algunos puntos del proceso.

Se describe a continuación, los puntos más importantes del proceso de modificación con polímeros radiales, a nivel general, sin entrar en los detalles de cada modificación realizada en laboratorio;

- Incorporación en el molino de la cantidad de asfalto virgen dosificada para el concentrado y seteo de la temperatura a 180°C.
- Al alcanzar los 160°C se agrega la cantidad dosificada de azufre.
- Al llegar a los 180°C se comienza el agregado del polímero radial de manera continua y sin pausa hasta la totalidad dosificada. Al finalizar se resetea la temperatura del molino en intervalos de 10°C hasta los 220°C. A continuación, algunos comentarios y recomendaciones
  - Como se mencionó anteriormente, dadas las características físicas de los polímeros radiales, (redes de monómeros que se entrelazan tridimensionalmente formando polímeros resistentes y rígidos), su molienda necesita temperaturas más altas que para un polímero lineal.
  - Es importante el control de la temperatura máxima de molienda. La fricción que se genera por los polímeros circulando por los dientes del molino, puede hacer que la temperatura del molino aumente más de lo seteado. Esto puede quemar el polímero y oxidar el asfalto.
  - Durante la molienda del concentrado, hay que estar atentos al material recirculante, dado que puede presentarse el fenómeno de gelificación (ver luego “*fenómeno de gelificación*”), y para contrarrestar el mismo, puede llegar a ser necesaria la dilución del concentrado antes de tiempo.

- Cuando el concentrado está listo, se diluye con el resto de asfalto virgen, se baja la temperatura a 200°C y se pasa a digestión. El digestor también se setea a 200°C y se mantiene en agitación hasta lograr la dispersión total del polímero en el asfalto. Esto demanda en promedio 8 horas de agitación.

#### **6.4. FENÓMENO DE GELIFICACIÓN**

La gelificación del asfalto con polímeros se da durante el recirculado del concentrado cuando hay incompatibilidad entre ellos.

Cuando se da este fenómeno, comienza a observarse dificultad en la circulación, achicándose el caudal saliente por el caño del molino al embudo y mostrándose como un gel muy viscoso.

Para romper con esta incompatibilidad, se diluye el concentrado con asfalto virgen y se continúa el recirculado por el molino.

En algunos casos, conociendo de antemano la incompatibilidad entre el asfalto y el polímero, se decide la incorporación, al proceso de modificación, de un aceite extendedor, el cual tiene por objeto incrementar la cantidad de compuestos aromáticos en el asfalto virgen, que se suponen son insuficientes.

El aceite empleado responde a la denominación de Pexara, y es producido por la refinería YPF. La cantidad a incorporar es del orden del 2% y debe ser tenida en cuenta en la dosificación.

Otra manera de contrarrestar este fenómeno, es bajando en la dosificación la concentración de polímeros en el concentrado, aumentando la cantidad de asfalto virgen para la producción del masterbatch.

<p><b>Comentario:</b> en la modificación de asfaltos con polímeros lineales, este fenómeno nunca se manifestó en laboratorio, y tiene que ver con la mayor facilidad, por su configuración interna de monómeros, que tienen estos polímeros para la molienda y dispersión.</p>
--

#### **6.5. RESUMEN COMPARATIVO MODIFICACIÓN CON RADIALES VS. LINEALES**

Hasta no hace mucho tiempo, con los polímeros lineales disponibles en mercado, no era posible lograr un AM3 que cumpliera con los requerimientos exigidos.

Sin embargo, con el desarrollo y avance de la tecnología, hoy comienzan a aparecer polímeros lineales con los cuales se logra un asfalto modificado tipo AM3 que cumple con todas las exigencias, como el caso desarrollado en el informe.

Las ventajas de modificar con polímeros lineales son muchas respecto a la modificación con radiales.

En el siguiente cuadro, se comparan los puntos más importantes en la modificación de asfaltos con polímeros radiales y lineales;

ÍTEM DEL PROCESO DE MODIFICACIÓN	TIPO DE POLÍMERO	
	RADIALES	LINEALES
(%) de polímeros en la mezcla final	4,0%	4,5% - 5,0%
Temperatura de molienda	220°C	190°C
Riesgo de gelificación	Alto	Bajo - Nulo
Tiempo de molienda	50 minutos	50 minutos
Temperatura de digestión	220°C	190°C
Tiempo de digestión	8 a 10 hs	4 a 5 hs

**TABLA 9. CUADRO COMPARATIVO POLÍMEROS RADIALES VS. LINEALES**

Si bien, lograr un asfalto modificado del tipo AM3 con polímeros lineales demanda mayor cantidad que si se emplearan polímeros radiales, las ventajas de utilizar éstos en el proceso son muchas;

- Se disminuye la temperatura de molienda y digestión, bajando los riesgos de oxidación del asfalto o de quemar el polímero. Además, el insumo de energía para lograr estas temperaturas, es menor que para el caso de polímeros radiales.
- Por la estructura interna del polímero lineal, son muy pocas las chances de que se dé el fenómeno de gelificación por una posible incompatibilidad entre asfalto y polímeros.
- Los tiempos de molienda para cualquier tipo de polímero son similares (40 a 50 minutos), sin embargo, con los polímeros lineales se logra bajar casi a la mitad el tiempo de digestión.

## **7. PLANILLAS DE RESULTADOS**

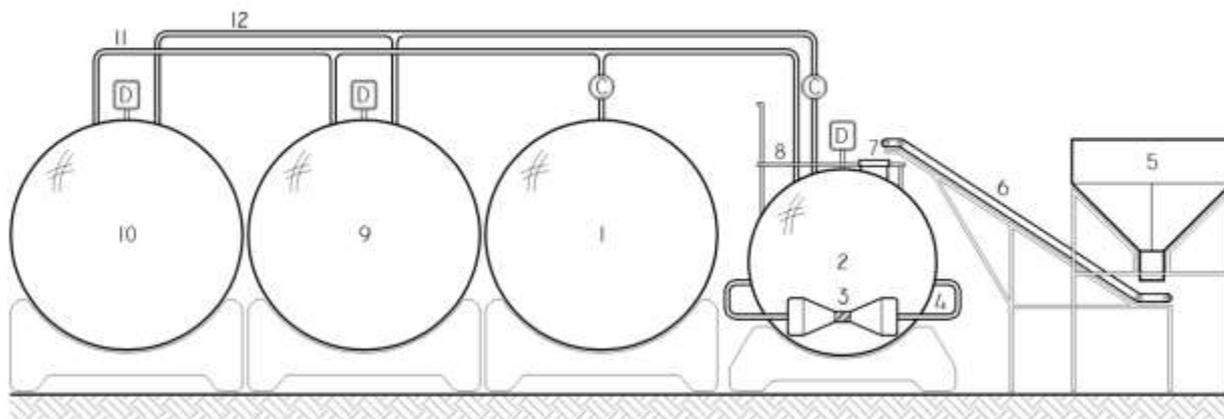
En el ANEXO al informe, se adjuntan las planillas con los resultados logrados en las modificaciones de asfaltos más destacables que hicieron en el laboratorio de IECSA.

Cada ensayo, se complementa con un registro fotográfico de muestras del proceso observado en el microscopio.

## **8. PRODUCCIÓN EN PLANTA A NIVEL INDUSTRIAL**

En esta última parte del informe, se hace un detalle del equipamiento de producción industrial instalado en el obrador de Cincovial en la localidad de Baradero, y se describe un procedimiento de operación tentativo, el cual seguramente, se irá ajustando tras cada proceso de modificación.

La siguiente figura, es un esquema con el detalle de la instalación de la planta en el obrador de Cincovial en Baradero;



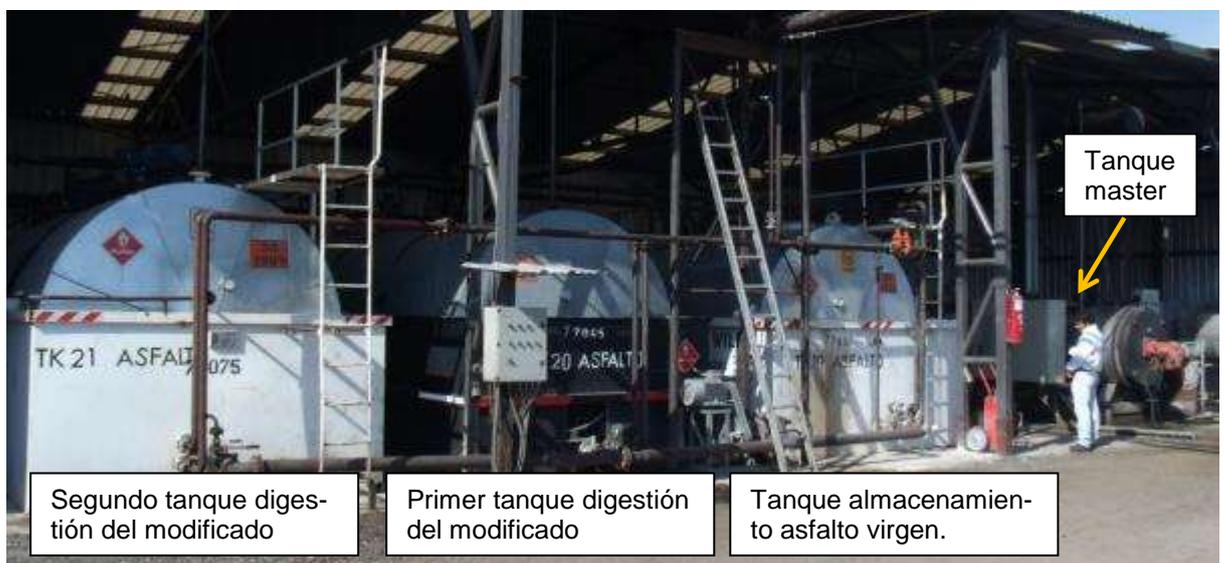
**FIGURA 3. ESQUEMA DE LA PLANTA MODIFICADORA DE ASFALTO (BARADERO)**

**Referencias:**

1. **Tanque de almacenamiento** de asfalto virgen. Capacidad aprox.: 50 tn.
2. **Tanque master** para preparación del concentrado. Está equipado con 3 dispersores (D) para la agitación permanente de la mezcla asfalto / polímeros dentro del tanque durante la modificación. Además, dispone de una caldera exclusiva para mantener las temperaturas que demanda el proceso. Capacidad aprox.: 30 tn.
3. Dos **molinos coloidales**, uno de 1500 rpm y otro de 3000 rpm, dispuestos en serie en el circuito de circulación, de manera tal que la mezcla pase primero por el molino de bajas revoluciones y seguidamente por el de altas revoluciones antes de volver al tanque.
4. **Cañería para recirculación** del asfalto con polímeros entre el tanque master y los molinos.
5. **Tolva para acopio** de polímeros. Capacidad aprox.: 1.100 kg.
6. Sistema de **cañería y tornillo sin fin** interno para traslado del polímero desde la tolva al tanque master. Dispone de una báscula para pesar la cantidad de polímeros dosificada.
7. **Boca de inspección** del tanque master. Se utiliza para la incorporación del azufre, polímero y para tomar muestras para laboratorio (ensayos / microscopio).
8. **Plataforma metálica para tránsito** del personal involucrado en el proceso de modificación.
9. Primer **tanque para digestión** del concentrado diluido con el resto del asfalto virgen dosificado. Está equipado con 4 dispersores (D) para la agitación permanente del asfalto modificado dentro del tanque. Capacidad aprox.: 50 tn.
10. Segundo **tanque para digestión** del concentrado diluido con el resto del asfalto virgen dosificado. Está equipado con 3 dispersores (D) para la agitación permanente del asfalto modificado dentro del tanque. Capacidad aprox.: 50 tn. Ambos tanques de digestión, comparten una caldera que mantiene las temperaturas necesarias que demanda el proceso de dispersión.

11. Circuito de **Cañerías** para movimiento de asfalto virgen desde el tanque de almacenamiento hacia los otros tanques. Un caudalímetro (C) instalado a la salida del tanque de almacenamiento, permite medir las cantidades transportadas.
12. Circuito de **Cañerías** para movimiento de asfalto modificado o virgen desde el tanque master hacia los tanques de digestión. Un caudalímetro (C) instalado a la salida del tanque master, mide las cantidades transportadas. De ser necesario, el sistema de cañerías y bombas permite mover asfalto modificado desde los tanques de digestión al tanque master para recirculación por los molinos.

Las siguientes fotos, muestran detalles de la instalación de la planta modificadora en el obrador de Cincoval en Baradero;



**FOTO 16. INSTALACION DE LA PLANTA MODIFICADORA DE ASFALTO (BARADERO)**



**FOTO 17. INSTALACION DE LA PLANTA MODIFICADORA DE ASFALTO (BARADERO)**

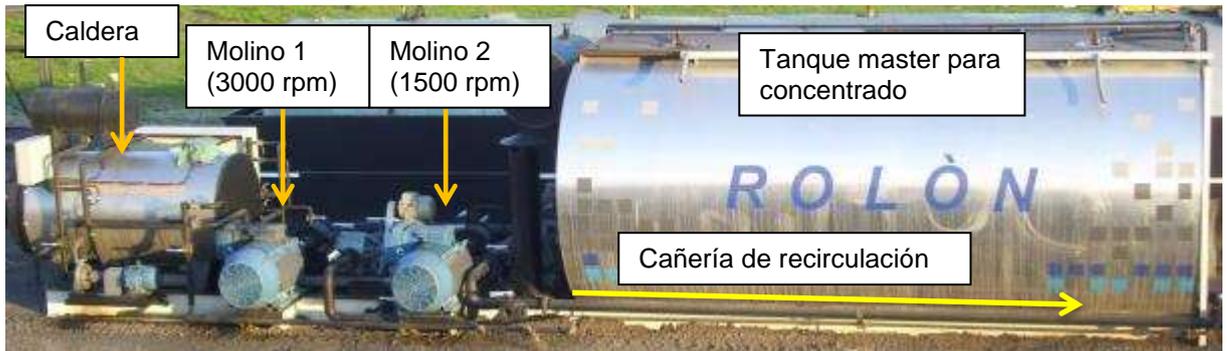


FOTO 18. DETALLES DEL TANQUE MASTER PARA ELABORACIÓN DEL CONCENTRADO

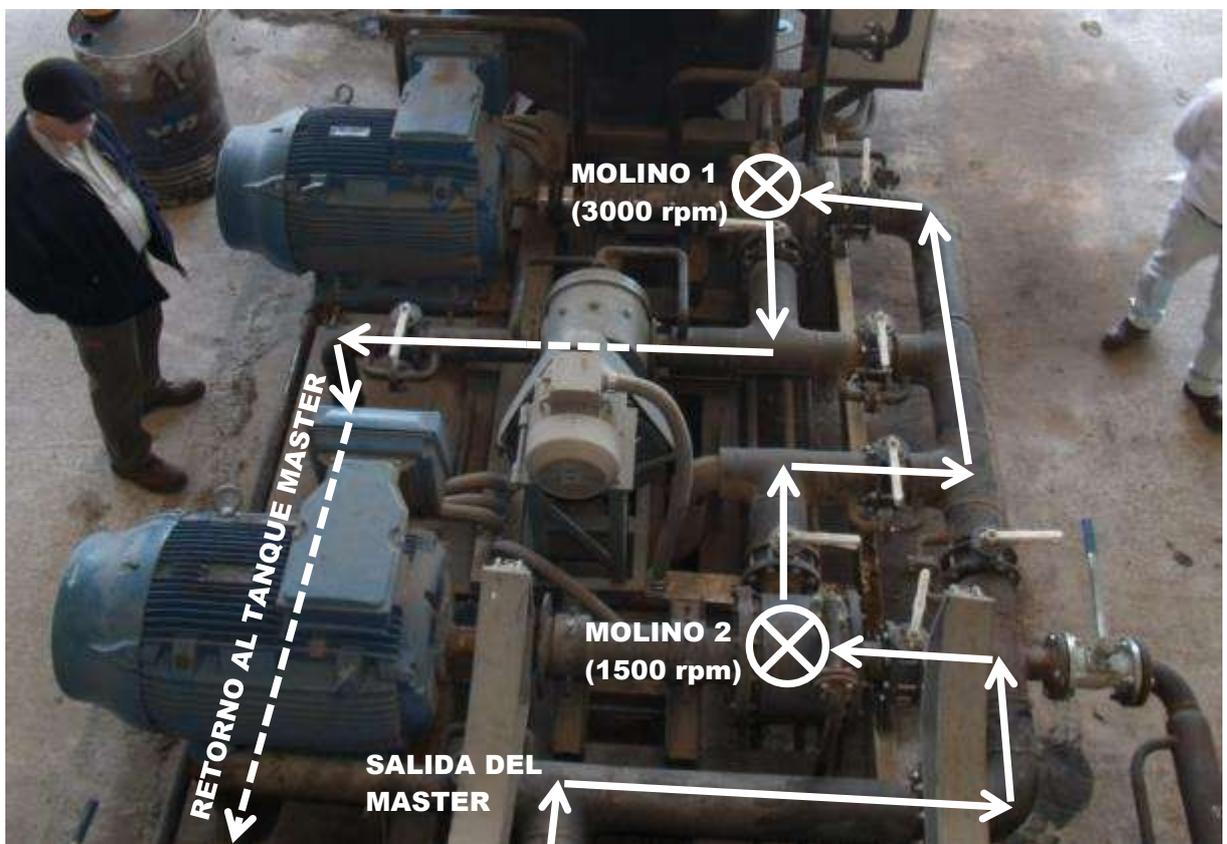


FOTO 19. CIRCUITO DE RECIRCULACIÓN DE ASFALTO POR CAÑERÍAS Y MOLINOS

Por medio de la apertura y cierre de las válvulas instaladas en las cañerías, se permite la recirculación del concentrado por cualquiera de los dos molinos o por los dos al mismo tiempo. La foto muestra el circuito de recirculación del asfalto utilizando los dos molinos en serie.

### 8.1. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DE PLANTA (TENTATIVO)

A partir de la experiencia de laboratorio, y de las recomendaciones realizadas por nuestro experimentado asesor, armamos el siguiente procedimiento tentativo para la operación de la planta, considerando que en principio, se modificará un asfalto convencional de penetración 70-100 de refinera Shell con polímeros Kraton 1.192 BT lineal.

1. Dosificación: teniendo en cuenta la capacidad del tanque master, y la de los tanques para digestión, se propone la siguiente dosificación para la modificación de asfalto con polímeros.

COMPONENTES	MEZCLA (%)	MEZCLA (Kg)	CONC. (Kg)	CONC. (%)
ASFALTO	95,40	45.000,0	22.000,0	91,02
PEXARA	0,00	0,0	0,0	0,00
SBS	4,50	2.122,6	2.122,6	8,78
AZUFRE	0,10	47,2	47,2	0,20
TOTAL	100,00	47.169,8	24.169,8	100,00

**TABLA 10. DOSIFICACIÓN PARA MODIFICACIÓN DE ASFALTO EN PLANTA**

2. Trasvasar 22.000 kg de asfalto virgen desde el tanque de almacenamiento al tanque master.

Si bien la capacidad del tanque master es de 30 tn, debe dosificarse un concentrado menor, dejando un margen del tanque libre por si es necesario diluir el masterbach con asfalto virgen por aparición del fenómeno de gelificación.

3. Comenzar la recirculación por los molinos y setear, por medio del tablero de control de la planta, la temperatura en 180°C.
4. Al alcanzar los 160°C, se agregan 47,2 kg de azufre por la boca de inspección superior del tanque master.
5. Al alcanzar los 180°C, se comienza a agregar los 2.122,6 kg de polímeros por la boca de inspección superior del tanque master, desde la tolva de acopio y por medio del sistema de cañería y tornillo sin fin transportador.
6. Durante la recirculación de la mezcla por los molinos, mantener la temperatura en 180°C.

Si aumentara la temperatura por el alto grado de fricción que se genera al pasar los polímeros por los dientes de los molinos, apagar la caldera y controlar la hasta volver a los 180°C.

7. Tomar muestras del concentrado desde la boca de inspección superior del tanque master. Mirar al microscopio y hacer el ensayo “de la pizza” para evaluar la evolución.

Si el concentrado de casi 9% de polímeros, presentara signos de gelificación, incorporar al tanque, la cantidad necesaria de asfalto virgen desde el tanque de almacenamiento para bajar la concentración y poder continuar con la molienda.

8. Mientras continúa el proceso de recirculación del concentrado por los molinos, trasvasar 20.000 kg de asfalto virgen desde el tanque de almacenamiento a uno de los tanques de digestión, y elevar la temperatura del mismo a 190°C.

9. Cuando el concentrado esté listo, según lo observado en el microscopio y en el ensayo “de la pizza”, pasar el mismo al tanque de digestión donde está el asfalto virgen esperando para dilución a 190°C.
10. Trasvasar los 3.000 kg de asfalto virgen restantes que completan los 45.000 kg dosificados, desde el tanque de almacenamiento al tanque master, y hacer recircular por el mismo, durante un determinado tiempo y a la temperatura de 180°C – 190°C, pasando por los molinos y todas las cañerías involucradas en el proceso de molienda, con el fin de purgar todo el sistema y asegurar que no quede nada de asfalto modificado en el circuito.  
  
Luego de la limpieza del tanque master y circuito de molienda, trasvasar los 3.000 kg de asfalto al tanque destinado a digestión, completando así los 45.000 kg dosificados.  
  
Las paletas de agitación dentro de los tanques de digestión, deben ser cubiertas en su totalidad por el asfalto modificado, para no generar borbotones de la mezcla durante el proceso de dispersión.
11. Durante la digestión, mantener la temperatura del asfalto modificado en 190°C y tomar muestras del mismo en intervalos de tiempo periódico (cada 2 hs aprox.), para ensayar en laboratorio siguiendo la Norma IRAM 6.596, y para observación en microscopio de la evolución del proceso.

**Comentario:** los tiempos que demanda cada etapa del proceso, deberían ser parecidos a los obtenidos en laboratorio, sin embargo, los mismos se irán ajustando luego de una primera experiencia de producción en planta.

## **9. CONCLUSIONES**

Como conclusión del presente informe, se resumen brevemente los puntos más importantes a tener presentes para la modificación de asfaltos con polímeros en laboratorio;

- Previo al proceso de modificación, es necesario realizar la caracterización del asfalto virgen, aún cuando el mismo sea procedente siempre de la misma destilería.
- El porcentaje de polímeros en la dosificación del masterbatch o concentrado, debe ser del orden del 10%.
- Al alcanzar el asfalto virgen la temperatura de 160°C, se agrega la cantidad de azufre dosificada.
- La incorporación del polímero debe hacerse cuando el asfalto alcanza en el molino la temperatura de 180°C.
- Al finalizar la incorporación del SBS, se eleva la temperatura del concentrado a 190°C (polímeros lineales) o a 220°C (polímeros radiales). Para este último, debe tenerse especial cuidado con no superar la temperatura seteadada, ya que se corre el riesgo de oxidación y/o quemado del polímero.

- Durante todo el proceso de molienda, debe mantenerse la agitación de la mezcla en el embudo para lograr que todo el polímero circule por los dientes del molino.
- Si ocurriese el fenómeno de gelificación por incompatibilidad del asfalto con el polímero, debe tenerse a temperatura una cantidad suficiente de asfalto virgen para la dilución anticipada.
- Para determinar el momento de finalización de molienda, se realiza el ensayo denominado “*de la pizza*”, buscando una superficie brillante y sin grumos. Esto también, se corrobora durante el proceso, observando muestras en el microscopio.
- El tiempo promedio de molienda es de 40, 50 minutos. Luego se diluye el concentrado con el resto de asfalto virgen y se pasa la mezcla al digestor, a la temperatura de 190°C (polímeros lineales) o 220°C (polímeros radiales). Es importante que la temperatura de digestión se mantenga durante todo el proceso.
- La velocidad de agitación en el digestor, debe ser suficiente para lograr la dispersión del polímero en el corto plazo pero sin que se generen burbujas en la mezcla que oxiden el asfalto.
- Durante todo el tiempo de digestión, en períodos regulares (2 horas aprox.), se toman muestras para los ensayos de viscosidad, punto de ablandamiento, penetración, recuperación elástica torsional y ductilidad. Además, se observa la evolución de la modificación en el microscopio.
- Cuando los resultados de los ensayos cumplen con los requerimientos para un AM3 exigidos por la Norma IRAM 6.596, y además en el microscopio se observa una imagen homogénea, se da por concluido el proceso de modificación de asfalto.
- Siempre, previo a toda modificación de asfalto que se haga en planta a nivel industrial, deberá hacerse la misma prueba en laboratorio, siguiendo todos los pasos y recomendaciones desarrolladas en el informe.

