



Universidad Nacional de San Juan

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE “LIGANUS”, LIGANTE SINTÉTICO DE BASE POLIMÉRICA, PARA PAVIMENTACIÓN Y EL ASFALTO CONVENCIONAL

Autor: Rivas, Tomás Enrique

San Juan – Argentina

2025



PÁGINA DE APROBACIÓN

**Título del Trabajo Final: Análisis y comparación de “Liganus”, ligante sintético
de base polimérica, para pavimentación y el asfalto convencional**

Fecha: 28/11/2025

Tribunal:

Presidente: Ing. Sergio Yazzar

Vocal: Ing. Susana Mengual

Vocal: Ing. Facundo López

Docente Asesor: Ing. Raúl Rivas

Autor: Tomás Rivas

AGRADECIMIENTOS

Es mi deseo el de darles mis agradecimientos a las personas que fueron de apoyo incondicional durante el desarrollo de la carrera de Ingeniero Civil. Por su ayuda, paciencia, comprensión y el gran esfuerzo que ellos realizaron para permitirme concluir la misma.

A mis padres Carla y Raúl por inculcarme la importancia del estudio y brindarme todo lo necesario para poder enfocarme en mi carrera universitaria. Agradecerles todo el optimismo que he recibido de su parte, apoyándome en las decisiones y transmitiendo su experiencia en la vida.

A mi abuela por todas sus oraciones y pedidos a Dios por mis exámenes, momentos duros y de felicidad, los cuales no hubieron sido superados. También a mis hermanas que supieron entender diferentes situaciones y momentos.

Es importante para mí agradecer a mis dos amigos y compañeros de vida, Enzo y Santiago. Con ellos compartí la infancia, la secundaria y toda la carrera de ingeniería, sabemos el esfuerzo que hemos hecho y no hubiera sido posible llegar hasta aquí sin ellos.

Agradecer al Ing. Sergio Yazzar por abrirme las puertas del Instituto de Materiales y Suelos para realizar todos los ensayos y prácticas. También al laboratorista Silvio Sánchez por su predisposición para ayudarme en cada ensayo con su vasta experiencia.

Al CEO de Pavement Tech el Ing. Jorge Mora por permitirme utilizar su creación como tema de mi Trabajo Final, brindándome la información y materiales necesarios durante todo este tiempo.

Agradezco a los profesores de la Facultad de Ingeniería que influenciaron notablemente en mi formación como profesional con sus lecciones y experiencias para prepararme a los retos que pone la vida.

Por último, agradecer a todas aquellas personas tantos amigos, compañeros, familiares, personal no docente, entre otros, que me ayudaron en diferentes circunstancias y aportaron su granito de arena para hoy estar en esta etapa final.

Muchas Gracias.

Tomás Rivas

ÍNDICE GENERAL

<u>1. Introducción</u>	11
<u>2. Ligante Asfáltico</u>	13
2.1 Definición.....	13
2.2 Maneras de Obtención.....	13
2.3 Formas de Extracción de Pozos Petroleros.....	14
2.4 Composición Química.....	15
2.5 Características del Asfalto.....	16
2.6 Propiedades del Asfalto.....	16
2.7 Tipos de Asfalto.....	17
2.8 Usos del Asfalto en la Ingeniería Civil.....	18
<u>3. Pavimento: Definición, Funciones y Tipos</u>	20
3.1 Definición.....	20
3.2 Funciones del Pavimento.....	20
3.3 Concreto Asfáltico en Pavimentos.....	20
3.4 Tipologías de los Pavimentos.....	21
<u>4. Ligante Polimérico “Liganus”</u>	24
4.1 Definición.....	24
4.2 Creación y Origen.....	24
4.3 Comparativa y Reemplazo del Ligante Asfáltico.....	24
4.4 Composición Química.....	23
4.5 Características Probadas en Laboratorio.....	26
4.6 Ventajas y Desventajas frente a Ligante Asfáltico.....	30
4.7 Diferencias con Ligante Asfáltico.....	31
<u>5. Análisis y Evaluación de Áridos</u>	32
<u>5.1 Árido Piedra triturada</u>	32
5.1.1 Origen.....	32
5.1.2 Análisis Granulométrico.....	33
5.1.3 Ensayo de Peso Unitario.....	35
5.1.4 Ensayo de Peso Específico.....	36



5.1.5 Cálculo de Absorción.....	40
5.1.6 Cálculo de Coeficiente de Aporte.....	40
<u>5.2 Árido Canto Rodado.....</u>	40
5.2.1 Origen.....	40
5.2.2 Análisis Granulométrico.....	41
5.2.3 Ensayo de Peso Unitario.....	42
5.2.4 Ensayo de Peso Específico.....	43
5.2.5 Cálculo de Absorción.....	44
5.2.6 Cálculo de Coeficiente de Aporte.....	45
<u>5.3 Comparativa entre Áridos.....</u>	45
<u>5.4 Mezclas de los Agregados.....</u>	45
5.4.1 Correcciones.....	45
5.4.2 Método de Mínimos Cuadrados.....	47
5.4.3 Mezcla Piedra Triturada.....	48
5.4.4 Mezcla Canto Rodado.....	50
5.4.5 Conclusión.....	52
<u>6. Ensayo por el Método Marshall.....</u>	52
6.1 Objetivo y Utilización.....	52
6.2 Características y condiciones.....	52
6.3 Norma que lo rige en Argentina.....	53
6.4 Parámetros y curvas de Marshall.....	53
6.5 Características y otros Usos del Método.....	55
6.6 Instrumentos Básicos de Ensayo.....	55
6.7 Procedimiento del Material Pétreo.....	57
6.8 Preparación del Pastón con Asfalto.....	57
6.9 Procedimiento de Moldeo.....	58
6.10 Procedimiento de Rotura.....	59
<u>7. Ensayos por el Método Marshall ejecutados en el IMS.....</u>	60
<u>7.1 Primera Etapa de Ensayos: Asfalto vs. “Liganus”, con P. Triturada.....</u>	60
7.1.1 Condiciones y Objetivo de ensayo.....	60

7.1.2 Separación de muestras con Piedra Triturada.....	60
7.1.3 Mezclado y Moldeo de probetas de Asfalto.....	61
7.1.4 Compactación.....	62
7.1.5 Mezclado y Moldeo de probetas de “Liganus”.....	64
7.1.6 Compactación.....	64
7.1.7 Desmolde y toma de Medidas.....	65
7.1.8 Cálculo Peso Unitario.....	66
7.1.9 Resultados y Conclusión Peso Unitario logrados.....	66
7.1.10 Rotura de Probetas.....	67
7.1.11 Resultados y Conclusión Primera Etapa.....	69
<u>7.2 Segunda Etapa de Ensayos: “Liganus” con C. Rodado.....</u>	70
7.2.1 Condiciones y Objetivo de ensayo.....	70
7.2.2 Separación de muestras con Canto Rodado.....	70
7.2.3 Mezclado y Moldeo de probetas de “Liganus”.....	71
7.2.4 Compactación.....	71
7.2.5 Desmolde y toma de Medidas.....	71
7.2.6 Cálculo Peso Unitario	74
7.2.7 Resultados y Conclusión Peso Unitario logrados	74
7.2.8 Rotura de Probetas.....	74
7.2.9 Resultados y Conclusión Segunda Etapa.....	75
<u>7.3 Tercera Etapa de Ensayos: “Liganus” con C. Rodado y “Liganus” con P. Triturada, Mejorados.....</u>	76
7.3.1 Condiciones y Objetivo de ensayo.....	76
7.3.2 Separación de muestras con Canto Rodado y Piedra Partida.....	76
7.3.3 Mezclado y Moldeo de probetas con “Liganus”.....	77
7.3.4 Compactación.....	78
7.3.5 Desmolde y toma de Medidas.....	78
7.3.6 Cálculo Peso Unitario.....	80
7.3.7 Resultados y Conclusión Peso Unitario logrados	81
7.3.8 Rotura de Probetas.....	81



7.3.9 Resultados y Conclusión Tercera Etapa.....	82
7.3.10 Tabla Resumen de Probetas Ejecutadas.....	84
<u>8. Resumen y Conclusión Ensayo Marshall</u>	85
<u>9. Ensayo de Resistencia a Compresión</u>	88
9.1 Objetivo y Utilización.....	88
9.2 Preparación y Curado de Probeta en Obra.....	88
9.3 Preparación y Curado de Probeta en Laboratorio.....	89
9.4 Encabezado de Probetas.....	90
9.5 Ejecución de Ensayo de Rotura.....	91
<u>10. Ensayo de Resistencia a Compresión con “Liganus”</u>	92
<u>10.1 Primera Etapa de Ensayos: Probetas de “Liganus” con Moldes Metálicos Liso</u>	92
10.1.1 Probeta N°1.....	92
10.1.2 Materiales e Instrumental.....	92
10.1.3 Condiciones y Características de la Mezcla.....	92
10.1.4 Procedimiento de Mezclado y Moldeo.....	93
10.1.5 Análisis del Asentamiento.....	93
10.1.6.Intentó de desmolde.....	95
10.1.7 Conclusión.....	95
<u>10.1.8 Probeta N°2 y N°3</u>	96
10.1.9 Condiciones y Características de la Mezcla.....	96
10.1.10 Procedimiento de Mezclado y Moldeo.....	96
10.1.11 Análisis del Asentamiento.....	97
10.1.12 Intentó de desmolde.....	98
10.1.13 Conclusión.....	98
10.1.14 Remezclado de Probetas.....	98
10.1.15 Desmolde Efectivo.....	100
10.1.16 Cálculo Peso Unitario.....	102
10.1.17 Ensayo de Rotura.....	102
10.1.18 Conclusión.....	103

<u>10.2 Segunda Etapa de Ensayos: Probetas de “Liganus” con Moldes Perforados</u>	103
10.2.1 Molde Perforado 1	104
10.2.2 Condiciones y Características de la Mezcla	104
10.2.3 Procedimiento de Mezclado y Moldeo	104
10.2.4 Observación y Desmolde	106
10.2.5. Cálculo Peso Unitario	107
10.2.6 Ensayo de Rotura	107
10.2.7 Conclusión	107
10.2.8 Molde Perforado 2	107
10.2.9 Condiciones y Características de la Mezcla	108
10.2.10 Procedimiento de Mezclado y Moldeo	108
10.2.11 Observación y Desmolde	110
10.2.12 Cálculo Peso Unitario	111
10.2.13 Ensayo de Rotura	111
10.2.14 Conclusión	111
10.2.15 Tabla Resumen de Probetas Ejecutadas	111
<u>11. Resumen y Conclusión Ensayos a Compresión</u>	112
<u>12. Puesta a Prueba de “Liganus” como Riego de Imprimación</u>	114
12.1 ¿En qué consiste un riego de imprimación?	114
12.2 Objetivo de Ensayo	114
12.3 Condiciones y Características	115
12.4 Conclusión	116
<u>13. Menció n sobre Costos del Ligante Polimérico “Liganus”</u>	117
13.1 Información Obtenida	117
13.2 Aspectos que se analizan	117
13.3 Justificación	121
<u>14. Conclusión de Cierre</u>	122
<u>Bibliografía</u>	124

1. Introducción

Las vías de comunicación son de importancia fundamental para el desarrollo cultural, recreativo y principalmente económico en todas partes del mundo. Mediante ellos es posible trasladar todo tipo de mercancías, pertenencias, materias primas y productos elaborados, así como el traslado de personas. Las reparticiones viales están obligadas a tomar decisiones en cuanto a la elección de rutas a construir o mejorar, tanto en lo referente al tipo de camino como a su distribución geográfica, y a establecer prioridades de acuerdo con los fondos disponibles en los diferentes presupuestos anuales. Los caminos deben ser construidos con la finalidad de proveer beneficios a la sociedad.

Para el caso de los materiales utilizados ya sea para la construcción o reacondicionamiento de un camino, históricamente tenemos dos: el concreto asfáltico y el hormigón, en donde los porcentajes de utilización a nivel mundial son aproximadamente del 95% y 5%, respectivamente. De esto se desprende la clasificación en pavimentos flexibles y rígidos y las características constructivas para cada caso.

Frente a la gran utilización del asfalto contra el hormigón por diferentes cuestiones y ventajas, surge la pregunta de hasta cuando tenemos disponibilidad de ese producto para fines viales debido a que proviene del petróleo el cual es un recurso finito en el corto plazo. Debido a ello las reservas donde es aprovechable el asfalto están confirmadas hasta el año 2040.

Es por eso que en diferentes partes del mundo durante décadas se investiga, modifica y mejora el asfalto ya sea químicamente o con agregados de diferente origen para extender la vida útil y mejorar sus prestaciones. Pero, nadie logró con éxito la creación, investigación y desarrollo de nuevos materiales que puedan reemplazar en un futuro el concreto asfáltico.

Un producto nuevo en vías de investigación y desarrollo, es “Liganus” creado por ingenieros surgidos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan en Argentina. Ellos son el Ing. Jorge Mora, Ing. Víctor Madcur y el Ing. Roberto Vivas.

Este nuevo ligante a base de polímeros inició su desarrollo en laboratorios de San Juan, luego llegó a La Plata en Buenos Aires y por último a Texas y Hawái, en Estados Unidos. Posee una patente ya registrada y actualmente se están desarrollando Normas, las cuales lo regirán para su aplicación en la pavimentación.

El objetivo del informe es poner a prueba este nuevo ligante en diferentes condiciones, modificando variables y llegando a conclusiones prácticas reales, en función de su comportamiento. También realizar una comparativa con un cemento asfáltico y relacionarlo con el hormigón estructural.

Para ello se organizó el informe colocando primeramente un marco teórico correspondiente a cada ligante y luego se desarrollaron las tareas de laboratorio. Al comienzo se estudiaron y ensayaron los áridos que fueron utilizados en las pruebas realizadas.

Luego por medio del Ensayo del Método Marshall se estudió y comparó el asfalto con “Liganus” debido a que es un ensayo característico del mismo. Esto se dividió en 3 etapas en donde se evaluaba distintos aspectos y cada etapa se basó en la anterior para modificar variables. También se buscó determinar el comportamiento del ligante polimérico frente a modificaciones.

Además, por medio de Ensayos a Compresión característicos del hormigón se evaluó al ligante polimérico como concreto estructural, analizando su comportamiento y resultados obtenidos.

Por último, se lo puso a prueba como riego de imprimación y se realizó una mención sobre los costos. En cada parte y etapa se elaboraron conclusiones correspondientes.

Todas estas tareas fueron ejecutadas en su mayoría en el Instituto de Materiales y Suelos y también en el Laboratorio de Vías de Comunicación del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de San Juan de la UNSJ.

Cabe aclarar que este informe no tiene como fin contribuir al desarrollo o investigación del nuevo producto, sino ponerlo a prueba y compararlo con materiales utilizados mundialmente, analizando ventajas y desventajas frente a ellos. Siempre teniendo en cuenta las limitaciones de tiempo y de instrumental de los laboratorios, entre otras variables.

2. Ligante Asfáltico

El **asfalto** o **betún** es un hidrocarburo con las características, de acuerdo a los elementos químicos que lo constituyen, de un material polimérico termoplástico. Es un producto de interés para la ingeniería civil debido a que es un aglomerante o ligante muy resistente, adhesivo, impermeable y duradero.

Se puede obtener de dos maneras; en estado natural donde se encuentra sobre la superficie terrestre formando lagos y en cantidades menores en forma de surgente a temperaturas elevadas por ejemplo a orillas del Mar Muerto, esto constituye un yacimiento natural de asfalto. También se lo encuentra impregnando rocas de distintas características ya sean sedimentarias o metamórficas de origen sedimentario, a estas se las llama rocas asfálticas en las cuales el betún se aloja en las porosidades de la misma.

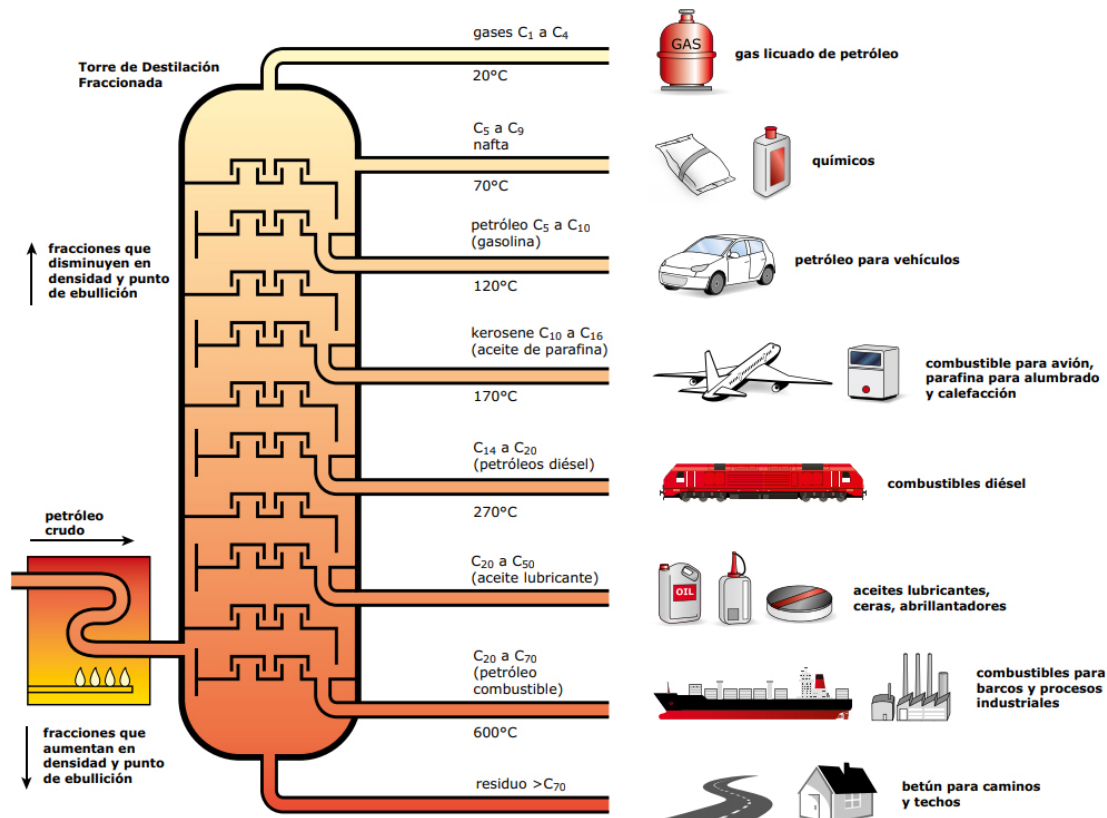


Betún en estado natural.

Otra manera es por la destilación fraccionada del petróleo que consiste en un proceso físico de separación de los distintos hidrocarburos presentes en el petróleo crudo, aprovechando que cada fracción tiene diferente punto de ebullición. De esta manera el betún se localiza como el residuo de la destilación, cuando supera los 500°C, básicamente se separa las fracciones livianas y se aprovecha que el betún no volatiliza a las temperaturas normales del proceso.

El petróleo se calienta en un horno hasta unos 350–400 °C, lo que lo transforma en una mezcla de vapores y líquidos. Esa mezcla entra en una torre de destilación, un gran cilindro vertical con bandejas o platos a distintas alturas. A medida que los vapores ascienden, se enfrían gradualmente por lo tanto las sustancias con mayor punto de ebullición se condensan primero (en la parte baja) y las de menor punto de ebullición, más arriba.

Tiene un impacto ambiental importante, por lo que las refinerías modernas incorporan sistemas de control de emisiones y tratamiento de efluentes.



Proceso de Destilación Fraccionada del Petróleo Crudo.

Por último, puede obtenerse un producto similar a partir de la destilación de la madera llamado alquitrán o betún de madera. Este producto difiere del derivado del petróleo en su estabilidad, es por eso que no es apto para pavimentación sino para impermeabilización de la madera o en la industria química.

Dicho esto, los betunes pueden clasificarse en:

Betunes Naturales: procedentes de la descomposición de organismos marinos que afloran la superficie o están en las porosidades de las rocas.

Betunes Artificiales: se obtienen como subproductos del petróleo por medio de destilación.

Las formas de extracción pueden ser de diferentes formas según la naturaleza del lugar:

Pozo Convencional: Es el petróleo que se encuentra en yacimientos porosos y permeables, el crudo está almacenado en trampas geológicas y fluye relativamente fácil hacia el pozo debido a la permeabilidad natural de la roca. Se usan métodos tradicionales y tiene como ventajas que es más barato de extraer y mayor rendimiento inicial.

Pozo No Convencional: Es el petróleo que está atrapado en formaciones de muy baja permeabilidad, donde no fluye libremente. Se necesita tecnología especial para liberarlo como el fracking (fractura hidráulica) en donde se inyecta agua, arena y aditivos a alta presión para fracturar la roca y liberar el petróleo. Como desventaja tiene su alto costo, mayor impacto ambiental debido al uso de agua, químicos y el consumo energético necesario.

Pozo Offshore: Es el petróleo ubicado en yacimientos submarinos, bajo el lecho marino. Puede ser convencional o no convencional, pero lo que lo caracteriza es la localización. Se requiere de infraestructura especial como plataformas marinas fijas, semi sumergibles o flotantes, ductos submarinos. Sus costos son altísimos y genera riesgos ambientales grandes.

Es importante aclarar que el betún se puede extraer de cualquiera de los 3 tipos de pozos, pero en los convencionales es más fácil porque el petróleo fluye naturalmente o por poca estimulación y posee gran contenido de hidrocarburos de un alto peso molecular (asfaltos o betunes). Para el caso de pozos no convencionales el petróleo atrapado en las rocas suele ser más liviano y contiene un alto contenido de volátiles por lo que naturalmente trae menos proporción de betún, es por eso que se considera que estos pozos no generan asfalto. Un ejemplo es el yacimiento petrolífero de Vaca Muerta ubicado en las provincias de Neuquén, La Pampa, Río Negro y Mendoza en Argentina que es uno de los pozos no convencionales más grande del mundo.

Composición química del Asfalto

El betún está formado por una mezcla de hidrocarburos cíclicos saturados derivados de los ciclanos (cicloparafinas), caracterizado por presentar una estructura anular con un elevado número de átomos de carbono. Su composición centesimal en peso es la siguiente:

<u>ELEMENTOS MAYORITARIOS</u>		<u>ELEMENTOS MINORITARIOS</u>	
Carbono	80-88%	Oxígeno	0-5%
Hidrógeno	9-12%	Azufre	0-3%
		Nitrógeno	0-2%

El betún no se define por una fórmula exacta (es una mezcla), pero sí por familias de compuestos:

Asfaltenos (5–25%): son moléculas muy grandes, polares y aromáticas. Le dan al betún su color negro, rigidez y resistencia.

Resinas (10–20%): son moléculas intermedias, más polares. Actúan como estabilizadores de los asfaltenos en el medio oleoso.

Maltenos (60–80%): es la fracción oleosa, menos polar. Puede ser aromáticos que aportan plasticidad o saturados (parafinas, naftenos) que aportan fluidez.

Características del Asfalto

- Es una sustancia amorfa, de color negro brillante. Permite absorber calor, acelerando el fraguado del pavimento.
- Posee un comportamiento frágil ante a temperaturas bajas, con fractura coloidal. Con el aumento de temperatura (10 a 20°C) se ablanda, poniéndose plástico entre los 30 a 40°C, y fluidificándose a temperaturas mayores, que dependen de cada tipo de betún.
- Es soluble en bisulfuro de carbono además de otras sustancias como los derivados del petróleo como nafta, querosene, etc. Pero insoluble en agua, lo que determina algunas de sus aplicaciones.
- Es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales.
- Es duradero y resistente a la acción de cargas de tránsito y a la intemperie, aunque puede deteriorarse por oxidación, agua o cambios de temperatura.
- Posee un peso específico de 1.02 gr/cm³ a 1.04 gr/cm³ (ligeramente superior a 1 gr/cm³), similar al agua.
- Su punto de ablandamiento es normalmente entre 45°C a 60°C, temperatura a la cual comienza a deformarse.

Propiedades del Asfalto

Viscoelasticidad: Se comporta como un sólido elástico a bajas temperaturas y como un líquido viscoso a altas temperaturas, lo que le permite adaptarse a diferentes condiciones climáticas.

Impermeabilidad: Actúa como barrera contra el agua, protegiendo las capas inferiores de la carretera y evitando el deterioro por humedad.

Adherencia: Tiene una excelente capacidad de adherirse a los agregados (arena, grava, piedra triturada), formando una mezcla compacta y estable. Una buena adhesión evita desprendimientos o peladuras.

Resistencia a cargas dinámicas: Soporta el tránsito vehicular constante sin deformarse fácilmente, incluso bajo cargas pesadas.

Flexibilidad: Permite absorber pequeñas deformaciones del terreno sin agrietarse, lo que prolonga la vida útil del pavimento.

Estabilidad térmica: Diseñado para resistir deformaciones por altas temperaturas en verano y fracturas por bajas temperaturas en invierno.

Seguridad: Proporciona una superficie uniforme y antideslizante.

Cohesión: Capacidad de resistir esfuerzos internos de corte; da estabilidad al pavimento.

Resistencia al envejecimiento: Capacidad de mantener sus propiedades frente a la oxidación y exposición solar. Esto se ve beneficiado por el mismo tránsito vehicular.

Estabilidad química: No se disuelve en agua ni en la mayoría de los solventes naturales, aunque sí en disolventes orgánicos (como el tolueno o tricloroetileno).

Compatibilidad con aditivos: Permite el uso de polímeros o modificadores para mejorar su desempeño.

Durabilidad: Conserva sus propiedades por años, resistiendo el tránsito y los cambios climáticos. Puede durar décadas con mantenimiento adecuado.

Tipos de Asfaltos

Cementos Asfálticos (Asfaltos Sólidos):

También llamados betunes asfálticos, son el producto directo de la destilación del petróleo. Son una mezcla de residuo duro de base asfáltica con aceites no volátiles, que le dan ductilidad y permiten variar su consistencia según la proporción de estos últimos. Según sus consistencias y usos se los designa como Afasol, Bitalco, Challaco y Briquetal. A temperatura ambiente son sólidos por lo que su utilización se hace siempre en caliente.

Asfaltos Diluidos:

Se consiguen diluyendo cemento asfáltico en solventes del mismo origen, con propiedades variables. Estos solventes o diluyentes son tipo nafta, kerosene o gasoil, dado que se obtienen en la misma altura de la columna de destilación que éstos, pero no tienen el proceso comercial.

En cuanto a la nomenclatura, el contenido de cemento asfáltico se señala con un subíndice que indica el porcentaje del mismo. Es importante mencionar que, si aumenta el contenido de Cemento Asfáltico, aumenta la viscosidad del Asfalto Diluido y, por ende disminuye su fluidez.

YPF los fabrica bajo el nombre de:

ASFALIQ

- Nafta $ER_{0 a 4}$ (endurecimiento rápido)
- Kerosene $EM_{0 a 3}$ (endurecimiento medio)
- Gasoil $EL_{0 a 3}$ (endurecimiento lento)

Asfaltos Emulsionados o Emulsiones Asfálticas:

Se llama así a la dispersión del tipo emulsión, en que la fase dispersa es el asfalto y el medio dispersante es el agua; que se hace estable mediante una fase intermedia o agentes emulsivos y estabilizantes, los cuales forman una pequeña película sobre las partículas asfálticas, modificando su tensión superficial o su carga eléctrica, lo que hace que éstas se repelan.

Como estas emulsiones son inestables tienden a cortarse o romperse, formando grumos por la agrupación de las partículas dispersas y causando la separación al medio.

Además de la eliminación del agua, la rotura sobreviene también por las influencias químicas que se manifiestan en las superficies de contacto, por ejemplo rocas tales como

granitos, basaltos y pórfidos absorben el álcali del jabón de la emulsión, por lo que ante la falta de estabilizante la emulsión rompe.

La rotura depende de diversos factores, fundamentalmente de:

- Tamaño de las partículas dispersas: por lo que se procura sean lo más pequeñas posibles (en este caso de 1μ a 10μ).
- Densidad entre ambos (asfalto y agua): ya que mientras más próximas sean, será más estable la emulsión (en este caso, las densidades son cercana a 1 gr/cm^3).
- Viscosidad del medio: ya que, si la viscosidad es alta, se dificulta la sedimentación.
- Tensión Superficial de ambos elementos principales: éstas deben ser parecidas para que la emulsión sea más estable.
- Características del agregado a utilizar.
- Distribución de la emulsión sobre los granos en forma de película.
- Factores atmosféricos: tales como temperatura, viento, humedad relativa ambiente, etc.

La emulsión asfáltica cumple su función de conglomerante cuando se separa el asfalto del agua (rotura): ésta se evapora y el asfalto se adhiere a la superficie de los granos del material inerte que conglomerar. Se utiliza para impermeabilizar superficies.

Usos del Asfalto en la Ingeniería Civil

Este material tiene su principal utilización en la infraestructura vial para la construcción de pavimentos, en donde adicionado a diferentes áridos (gravas, arenas y finos) forma lo que son las mezclas u hormigones asfálticos. Los mismos se utilizan en:

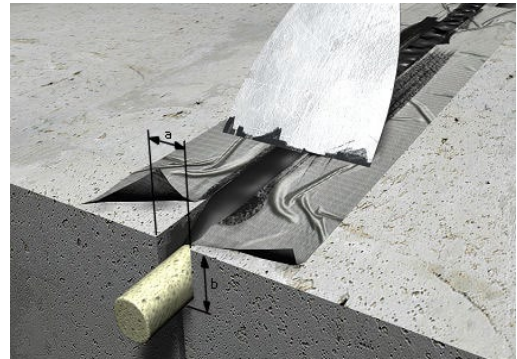
- Carreteras, autopistas y calles urbanas.
- Pistas de aeropuertos.
- Estacionamientos, ciclovías y accesos industriales.
- Sellado de juntas en pavimentos de hormigón.
- Fabricación de mezclas frías o templadas para reparaciones rápidas.



Distribución de Concreto Asfáltico en caliente.



Sellado de grietas con asfalto.



Sellado de Juntas en pavimentos rígidos.

Además, tiene otros usos debido a su capacidad de repeler el agua lo que permite utilizarse como membranas asfálticas o emulsiones, por ejemplo en:

- Impermeabilizar techos y cubiertas.
- Revestir canales, diques o presas de tierra.
- Proteger estructuras subterráneas como fundaciones o túneles de la humedad.



Membrana asfáltica para techos.



Impermeabilización de presa con emulsión.

3. Pavimento: Definición, Funciones y Tipos

Para la Dirección Nacional de Vialidad se define un pavimento como una estructura compuesta por capas de materiales seleccionados y compactados, diseñada para resistir las cargas del tránsito y distribuirlas adecuadamente al terreno natural.

Estas capas son: sub-base, base y capa de rodamiento, cuya última superficie está sometida a estándares técnicos de:

- Resistencia estructural.
- Regularidad (ausencia de deformaciones excesivas).
- Seguridad (esta superficie debe evitar riesgos como pérdida de adherencia, deslizamientos por acumulación de agua, etc.).
- Servicio al usuario como confort, facilidad de circulación, etc.

Funciones del pavimento:

- **Distribuir cargas:** El pavimento debe soportar el peso de los vehículos y distribuirlo de manera uniforme hacia las capas inferiores y el suelo natural.
- **Proporcionar superficie de rodamiento:** Debe ofrecer una superficie segura, cómoda y durable para el tránsito vehicular.
- **Proteger el suelo subyacente:** Evita que el suelo natural se degrade por acción del agua, el clima o el tráfico.

Concreto Asfáltico en Pavimentos

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de pavimentos, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la subrasante para que sean soportadas por ésta.

Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un paquete estructural:

- 1. La Función Resistente**, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
- 2. La Finalidad**, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del paquete, para que resulten seguras y confortables. A estas capas superiores se les denomina pavimento.

Las tipologías de los pavimentos de acuerdo a su comportamiento y respuesta se pueden dividir en los siguientes tipos:

a) Pavimentos Flexibles.

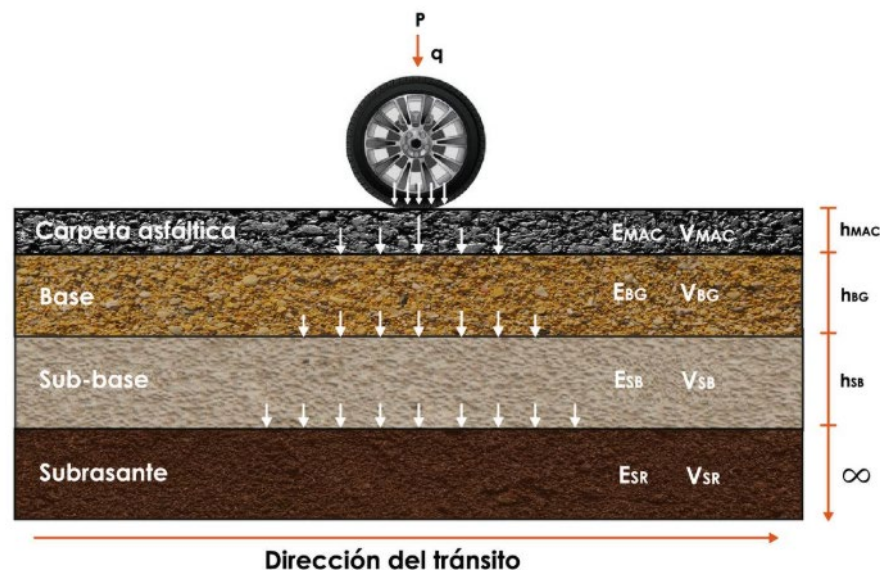
Son sistemas elásticos multicapa, las capas de mejor calidad van arriba donde las tensiones son mayores. De esta forma se van repartiendo las tensiones hacia abajo hasta obtener un nivel aceptable para ser soportadas por la subrasante.

Las capas que los constituyen son sub-base y base de material granular, y por un tratamiento superficial o por una capa de mezcla asfáltica de espesores muy delgados que pueden ir hasta los 10cm. Las capas granulares resisten fundamentalmente la acción del tráfico, la capa de rodadura sirve para impermeabilizar el firme, resistir los efectos abrasivos del tráfico y proporcionar una rodadura cómoda y segura.

La capa superior es la **capa de rodamiento**, resiste las solicitaciones del tránsito como compresión, punzonamiento, esfuerzos rasantes, eventuales esfuerzos de tracción y las acciones y efectos del clima.

Por debajo de la capa superior se coloca una **base** que puede ser de piedra partida, grava bien graduada o materiales estabilizados (con cemento, cal o asfalto). Esta capa distribuye las cargas, debe resistir y distribuir por fricción y cohesión o por cementación. Además, aísla de la acción de las heladas.

Por debajo de esta base se coloca una capa de menor calidad denominada **subbase**, que colabora con la base en la distribución de las cargas hacia la subrasante y terraplenes, es el soporte límite de las cargas del tránsito. Puede ser el mismo terreno del terraplén, pero con mayores exigencias de compactación.



Distribución de Cargas en Pavimentos Flexibles.



Pasos de construcción de Pavimento Flexible.

b) Pavimentos Semi-rígidos.

Constituido por una capa de base tratada con ligantes hidráulicos, o de concreto, la sub-base suele ser de material granular, pudiendo ser estabilizada, el pavimento está formado por una o dos capas de mezcla asfáltica (rodadura e intermedia). Se utiliza en accesos industriales, por ejemplo.

c) Pavimentos Rígidos.

Están formados por una losa de hormigón armado colocada directamente sobre la explanada, o sobre una capa de base granular o estabilizada o un hormigón pobre, la losa de hormigón actúa como capa de rodadura.

Estos pavimentos tienen suficiente fuerza de flexión para transmitir la carga de la llanta a un área más amplia en la capa inferior. El análisis se hace usando la teoría de placas en vez de la teoría de capas usada en los pavimentos flexibles, es por eso que la carga de la llanta se transmite por la capacidad de doblarse de la losa.

El espesor de la calzada es la principal variable en estudio durante la etapa de proyecto, dado que es la que en mayor medida incide en la capacidad estructural del pavimento y en el costo global del paquete.

Capa superior: Losa de hormigón

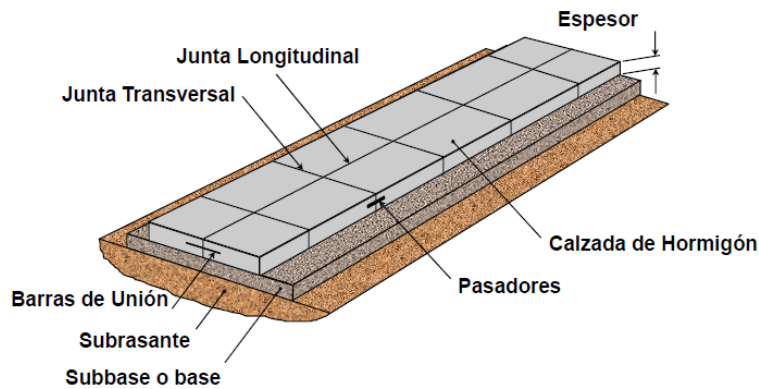
- Soporta la mayor parte de las tensiones originadas por las cargas gracias a su rigidez estructural.

- Trabaja fundamentalmente a la flexión, como una placa, debiéndose verificar las tensiones máximas de tracción soportadas.

Capa intermedia: Subbase

- Contribuye a reducir las tensiones que soporta el suelo, y también las que soporta la losa, si tiene suficiente rigidez. Provee apoyo homogéneo y reduce posible salida de finos.

Subrasante o terreno de fundación



Detalle de Pavimento de Hormigón.



Pasos de construcción de Pavimento Rígido.

4. Ligante Polimérico “LIGANUS”

Es un ligante sintético de base polimérica para pavimentos, es una alternativa sostenible y económica al asfalto tradicional utilizado en la pavimentación de carreteras y espacios urbanos. Su nombre proviene del latín y significa “Ligante”, se compone de una mezcla de polímeros y aditivos que buscan principalmente mejorar la adherencia y resistencia del pavimento.

Este nuevo producto fue creado hace 10 años por ingenieros salientes de la Facultad de Ingeniería de San Juan, ellos son el Ing. Civil Jorge Mora y el Ing. Químico Roberto Vivas. Luego de más de 80 intentos fallidos llegaron a una fórmula, en la actualidad patentada, la cual da buenos resultados pero que aún está en desarrollo y perfeccionamiento.

Comenzaron en laboratorios de la Facultad de Ingeniería de San Juan, luego pasaron a la Universidad Nacional de La Plata y por último en Texas en los Estados Unidos. En la actualidad se está trabajando en el desarrollo de normas de aplicación para la pavimentación de caminos, esto trae consigo la puesta a prueba en obra del concreto con el ligante analizando aspectos como el mezclado en planta, la colocación, la compactación y el desempeño.



Logo del Producto.

Comparativa y Reemplazo del Ligante Asfáltico

El asfalto fue descubierto de manera accidental, fue uno de los avances tecnológicos más importantes de la historia de la humanidad. En París, Francia en 1854 se pavimentó la primera avenida con betún natural.

Fue el motor económico que sacó a la humanidad del atraso y la llevó al desarrollo tecnológico, social y económico actual. Permitiendo el movimiento eficaz y veloz de miles de millones de toneladas de mercancías y personas alrededor del mundo utilizando calles, rutas, autopistas, aeropuertos, etc.

El inconveniente surge en que las reservas mundiales de petróleo en pozos convencionales probadas, están hasta el año 2040. El asfalto se obtiene de la destilación del petróleo y es rentable en cantidades comerciales solamente el obtenido de los pozos convencionales.

Estos están en retroceso debido a que los costos de las tecnologías de extracción de los pozos no convencionales como el fracking están disminuyendo. La misma es una técnica para extraer hidrocarburos líquidos y gaseosos, como petróleo y gas natural, de formaciones rocosas profundas. Se basa en inyectar agua a alta presión, junto con arena y productos químicos, para fracturar la roca y liberar los hidrocarburos atrapados. Esta técnica no puede levantar la molécula de asfalto en los pozos no convencionales, ya que está diseñado para liberar hidrocarburos livianos atrapados en rocas, no para obtener fracciones pesadas del petróleo.

La formación geológica “Vaca Muerta” en nuestro país contiene hidrocarburos líquidos y gaseoso, es un pozo de tipo no convencional que no produce asfalto. Es por eso que importamos asfalto desde hace varios años a otros países.

Los polímeros sintéticos que forman a “Liganus” se pueden obtener de cualquier pozo petrolífero, son derivados del petróleo no del asfalto por lo que no está condicionado por la fecha límite del 2040, esa es una de las primeras ventajas que se encuentran. Además, el precio del asfalto está en aumento debido a que aumenta la demanda frente a la oferta, por lo que se quiere pavimentar y lo ya construido ser reparado.

Otra diferencia en cuanto a los orígenes es que el asfalto es un subproducto del petróleo y por lo tanto tiene una naturaleza fija, en cambio los polímeros artificiales son producidos en condiciones controladas por lo que es más sencillo modificar o ajustar la calidad, el proceso de fabricación, la colocación, etc.

La ciencia avanzó en el último tiempo y permite producir polímeros en forma industrial desde las plantas y residuos vegetales, aunque los costos son superiores al método tradicional. Con el paso del tiempo se espera que sean más rentables estos costos y poder fabricar polímeros de manera sustentable, a través de plantas como la caña de azúcar, el sorgo y el bagazo del trigo, pastos como el miscanthus.

Los plásticos son también polímeros y son químicamente compatibles con el ligante por lo que se puede sustituir parte de los agregados con residuos plásticos molidos y de esa forma reducir el impacto ambiental de los residuos plásticos.

Una de las grandes ventajas de este nuevo ligante es que su proceso es en frío, desde su fabricación, transporte y colocación. No es necesario mantenerlo a determinada temperatura por medio de camiones térmicos o calefaccionados donde se utiliza combustibles fósiles como gasoil y fueloil. Esto en gran parte es lo que encarece el precio del asfalto. A lo anterior se suma la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera de tal manera que el proceso totalmente en frío de “Liganus” contribuye al medio ambiente.



Probeta de Concreto con “Liganus”

Composición química:

Este ligante sintético es una emulsión, esto quiere decir que está formado por un medio dispersante que es el agua y la fase dispersa que es el ligante puro formado por polímeros sintéticos artificiales. La proporción es un 50% de agua y 50% ligante, estos polímeros que lo forman son totalmente comerciales, no están fabricados exclusivamente para “Liganus”.

Un polímero es una macromolécula que se forma por la unión de moléculas más pequeñas, llamadas monómeros. Estos últimos comparten electrones con uniones covalentes muchos más fuertes que las uniones del asfalto que son uniones de puentes de hidrogeno. Este tipo de uniones da como resultado una mayor resistencia a la tracción entre 2,5 a 3 veces más, enfrentando una mezcla con “Liganus” a una mezcla con asfalto. Esto es fundamental para resistir las solicitaciones ejercidas en un pavimento, además trae como consecuencia una reducción de espesores de aproximadamente el 30% ante igualdad de condiciones tanto de cargas de tránsito como de calidad de materiales pétreos.

Cabe aclarar que en una mezcla los esfuerzos de tracción y de corte son resistidos por el ligante mientras que la compresión por los agregados.

Además, algo que está en desarrollo es el uso de aditivos retardadores o aceleradores de polimerización* (endurecimiento). Esto sirve para producir concreto de polímeros para grandes distancias o al pie de la obra. También se utiliza aditivos de adherencia que permiten utilizar triturado de cualquier tipo de roca.

*La polimerización es una reacción química que transforma monómeros en polímeros. Es un proceso fundamental para la producción de plásticos y otros materiales.

Características probadas en Laboratorio:

Durabilidad: en condiciones iguales en cuanto a la estructura del pavimento, base y subbase, se analiza el envejecimiento el cual tiene como variables la oxidación del ligante, los rayos UV, la temperatura y la humedad. Con “Liganus” se observó que la tasa de oxidación que es la variable más importante, es 10 veces menor que la del asfalto convencional. Por lo tanto, la durabilidad se estipula en varias décadas.

Incoloro: el concreto de base polimérica posee un color claro debido a que es transparente el ligante, en comparación con el concreto asfáltico que es negro. Con el paso del tiempo el este último pierde su color debido a la debilidad de la unión de sus átomos que es afectada por los rayos UV.



Probeta de “Liganus” (izq) y Probeta de Asfalto (der).

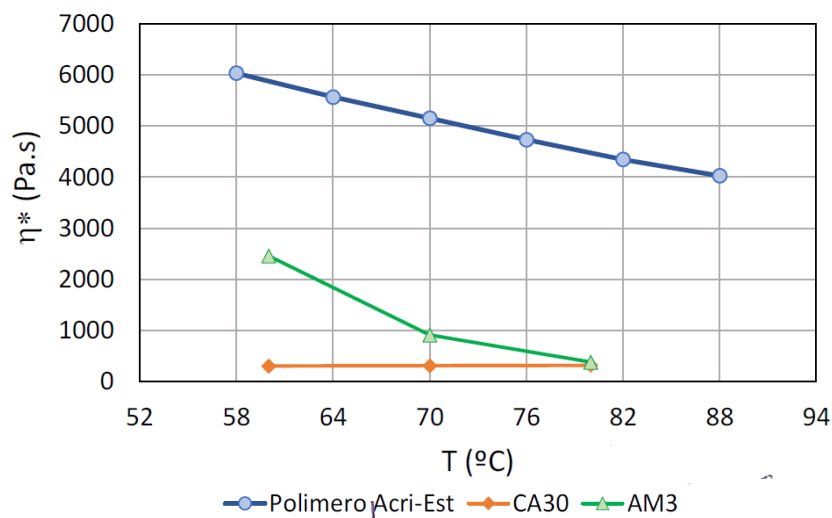
Susceptibilidad: este ligante tiene una variable física que es la constante de vitrificación que consiste en la menor temperatura a la cual un polímero tiene una respuesta elástica. Esta constante se puede modificar en fábrica y obtener polímeros elásticos a -30°C lo que permite pavimentar en zonas muy frías como por ejemplo la Antártida. Es importante decir que en caminos a partir de los 3000msnm se encuentra que son de hormigón debido a que no se puede trabajar con concreto asfáltico a temperaturas menores a 5°C .

Sostenibilidad: se utilizan plásticos reciclados reduciendo el impacto ambiental, promoviendo prácticas ecológicas, generando una infraestructura más segura y sostenible, desde pavimentos urbanos hasta caminos rurales.

Deformación: a través de ensayos de reología realizados en La Plata, que consta de dos platos uno fijo y otro móvil donde este último genera un esfuerzo de corte sobre el ligante y mide la respuesta frente a esfuerzos resistentes y de recuperación elástica o viscosa. Se determinó que el ligante polimérico por encima de los 88°C todavía sigue brindando prestaciones sin tener deformaciones permanentes excesivas cuando es utilizado en una mezcla. Además, se analizó la recuperación elástica del ligante sintético a altas temperaturas y se observó una recuperación del 98% a 76°C .

T	Modulo complejo G^*	Angulo de fase δ	$G^*/\sin\delta$	Viscosidad Compleja η^*
$^{\circ}\text{C}$	kPa	$^{\circ}$	kPa	Pa.s
58	60,3	22,0	161,0	6034,5
64	55,7	19,9	163,7	5565,3
70	51,5	19,2	157,0	5153,3
76	47,3	19,5	141,7	4734,4
82	43,5	20,5	124,2	4345,0
88	40,38	21,8	108,6	4027,5

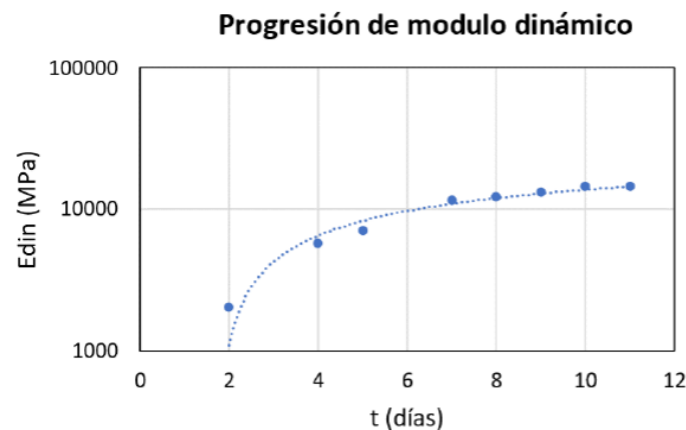
Tabla de valores obtenido en función de la temperatura de ensayo.



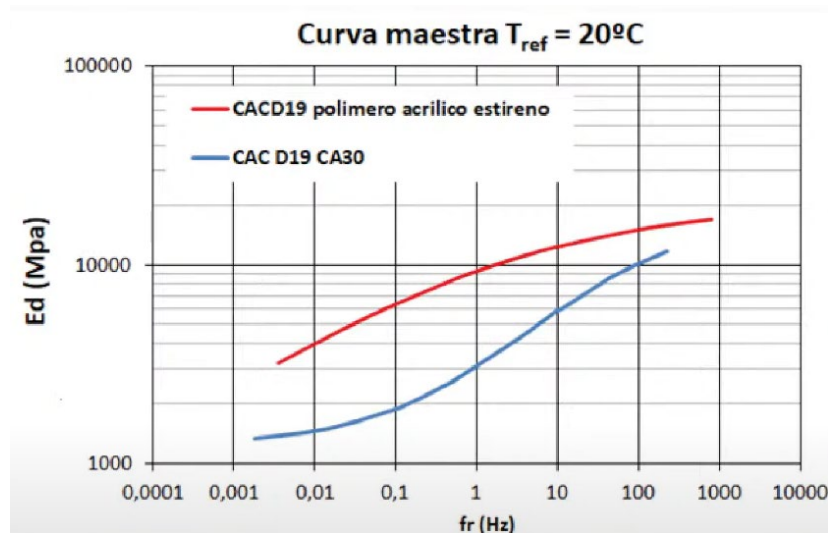
Diferencia de valores de Viscosidad para diferentes concretos.

Modulo Dinámico Resiliente: éste es un parámetro que cuantifica la capacidad de un material de pavimento de almacenar y liberar energía elástica bajo cargas cíclicas, representando la relación entre el esfuerzo y la deformación recuperable del material. Es crucial para el diseño y análisis de pavimentos flexibles, ya que evalúa cómo responderá la estructura ante el tráfico en condiciones ambientales cambiantes.

Se define como la relación entre el esfuerzo desviador aplicado repetidamente y la deformación elástica recuperable que produce. En pocas palabras indica qué tan “elástico” o recuperable es un material bajo cargas repetidas. Un mayor valor significa que el material soporta mejor las cargas y se deforma menos permanentemente. Para tener una idea el módulo que presenta una mezcla asfáltica es de unos 3000 a 4000 mpa.



Progreso del Módulo del concreto polimérico, llega a valores de 14000Mpa a los 11 días.



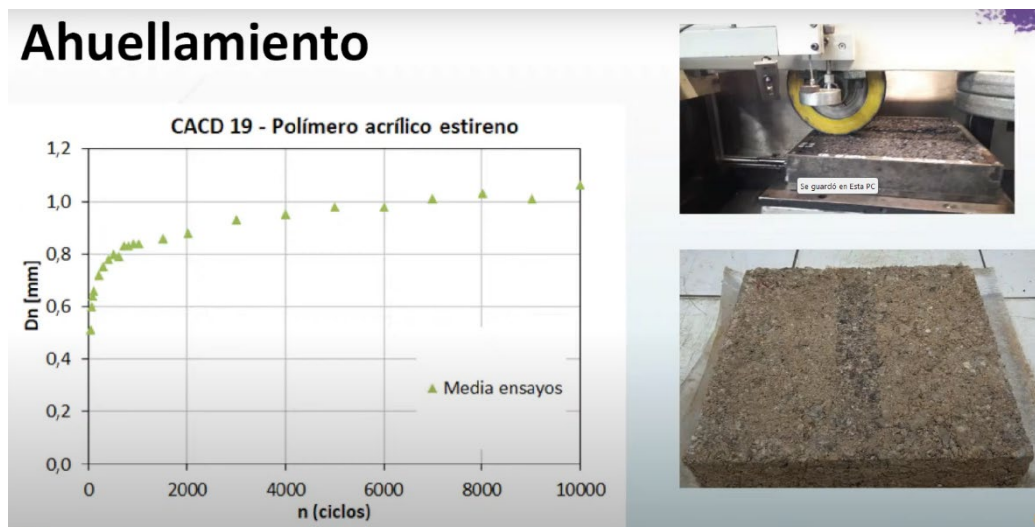
La curva azul (inferior) es una mezcla con ligante convencional (asfalto) y la roja con ligante polimérico, ambas poseen los mismos agregados. Se observa que para todas las frecuencias de cargas es mayor el módulo en la mezcla con “Liganus”, esto nos brinda una mejor prestación del material.

Ahuellamiento: por medio del ensayo de rueda cargada realizado en la UNLP que consiste en una rueda que simula el tránsito durante 10.000 ciclos a 60°C se va midiendo las deformaciones o la profundidad de la huella, lo que determina las deformaciones excesivas permanentes. La DNV limita hasta un 5% de profundidad de huella en relación al espesor del pavimento.

Se determinó un ahuellamiento de 1mm para la mezcla con ligante polimérico contra 4,71mm de un concreto asfáltico, en igualdad de condiciones. (tabla 1)

	WTS (mm/10 ³ ciclos)	PRD (%)	Dn Final (mm)
Control CA30	0,406	9,4	4,71
Control AM3	0,043	3,7	1,85
Ligante Polimérico	0,013	2,1	1,06
Limites Argentina DNV 2017 para T1	< 0,08	< 5%	

Tabla 1.



Acumulación de deformaciones permanentes, simulando vida útil del concreto.

Comportamiento frente al Agua: por medio de un ensayo de sensibilidad al agua, similar al anterior, solo que la probeta está bajo el agua a 50°C. Se analiza el daño producido por la misma, que puede ser la pérdida de adherencia o cohesión entre el ligante y los agregados, como consecuencia se generan pozos en la calzada. Acá se observa la resistencia al daño por humedad y el ahuellamiento.

Como resultado no hubo desprendimientos y el ahuellamiento fue muy bajo en promedio casi 6mm, en donde se espera que sean menores al 12,5mm. En la gráfica no se observa ningún cambio de pendiente o quiebre que demostraría desprendimiento en la mezcla. (ver imagen a continuación).

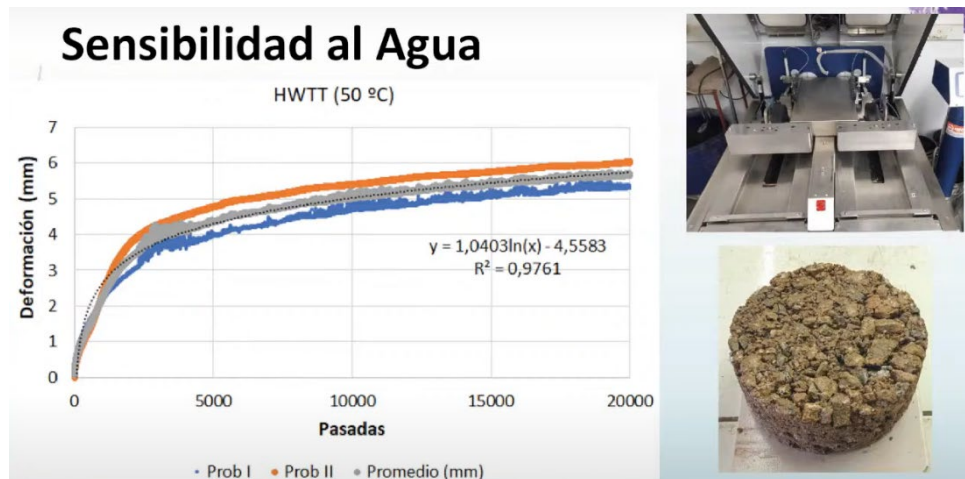


Gráfico Deformación vs. Pasadas con rueda de 45tn. Probetas sumergidas a 50°C.

Resistencia a la Fatiga: a través de un ensayo donde se aplican ciclos de carga sucesivos a una temperatura de 20°C y una frecuencia de 10Hz. Se observa la resistencia a fatiga frente a diferentes deformaciones generando una Ley de Fatiga. Los resultados fueron en general buenos frente al asfalto convencional, se sigue en estudio para mejorarla.

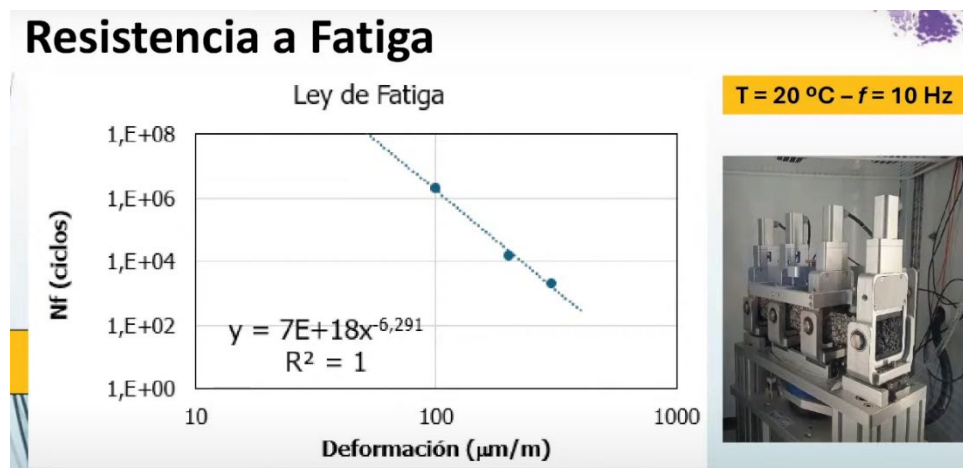


Gráfico Ciclos vs. Deformación.

Ventajas del Ligante Polimérico Sintético vs Ligante Asfáltico:

Mayor durabilidad: Su composición mejora la resistencia a las cargas dinámicas y las variaciones de temperatura, reduciendo el deterioro por fisuración o deformación. Se estipula una duración de 40 a 50 años.

Reducción de costos de mantenimiento: Al presentar menor degradación con el tiempo, los costos de conservación se reducen.

Desarrollo Sustentable: abarca la reducción de consumo de combustibles, la reducción de emisiones y la posibilidad de incrementar el reciclado. Todo esto reduce costos.

Resistencia a condiciones extremas: Es menos susceptible a daños por agua y variaciones amplias de temperaturas. Mientras que el asfalto se vuelve quebradizo por

debajo de -5 °C y se deforma por encima de 60 °C, “Liganus” mantiene su integridad desde -30 °C hasta 70 °C.

Mayor resistencia a la tracción: menores espesores y ahorro económico.

Mayor resistencia a la deformación: demostrado por medio de diferentes ensayos.

Proceso totalmente autosustentable: Fabricación de polímeros vegetales.

Hormigones de polímeros con agregados reciclados plásticos: Disminución del impacto ambiental.

Reservas ilimitadas de ligante para la construcción: lo polímeros sintéticos que se utilizan se extraen de cualquier tipo de pozo petrolero.

Desventajas del Ligante Polimérico Sintético vs Ligante Asfáltico:

Disponibilidad limitada: su uso aún no está ampliamente difundido, lo que puede generar dificultades en su adquisición y aumentar los costos logísticos.

Adaptabilidad a normativas locales: Puede requerir estudios adicionales para su validación en distintos entornos.

Necesidad de capacitación técnica: su correcta aplicación puede requiere personal capacitado y equipamiento específico, lo que implica costos adicionales en formación y adquisición de maquinaria.

Costo inicial elevado: su implementación puede implicar una inversión inicial mayor en comparación con los pavimentos tradicionales ya que en estos últimos ya se dispone de toda la logística. Aunque su mayor durabilidad podría compensar esta inversión a largo plazo.

Incertidumbre: respecto al comportamiento real en obra a lo largo del tiempo, es decir cómo se modifican las propiedades de la mezcla cuando se aproxima al fin de la vida útil.

Reticencia al cambio: por parte de las autoridades de las reparticiones estatales o algunas empresas constructoras.

Diferencias entre Ligantes

Característica	Tipo de Concreto	
	Asfáltico	Polimérico
Origen	Petróleo de pozo convencional	Petróleo de cualquier pozo/vegetales
Clasificación	Flexible	Semi-Rígido
Temp. De Aplicación	Desde 5°C hasta 60°C	Desde -10°C hasta 60°C
Rango Elástico	25°C	Desde -30°C a 70°C
Emisiones de CO2	18000kg de CO2 por año	Cero emisiones
Aplicación en zonas frías	Modificado con polímeros	Sin limitación
Inclusión de desechos plásticos	No	Hasta 300kg por tn
Inclusión de desechos de caucho	No	Hasta 300kg por tn
Módulo Resiliente Dinámico	4000Mpa	14000Mpa
Espesor Equivalente (mismas condiciones)	10cm	7cm
Estrés	1.000.000 de ciclos	No se Estresa
Durabilidad	20 años	40 años
Costo por Tonelada	1000 USD	750 USD

Ensayos y Tareas Desarrolladas en Laboratorio

A continuación, se describe las actividades realizadas tanto en el Laboratorio del Instituto de Materiales y Suelos (IMS) como en el correspondiente a Vías de Comunicación. Las tareas consisten en:

- 1- Ensayos, Análisis y Evaluación de áridos obtenidos.
- 2- Elaboración y Ensayos de probetas por el método Marshall.
- 3- Ensayos para determinar resistencia a compresión de probetas.
- 4- Puesta a prueba del ligante polimérico como Riego de Imprimación.

5. Análisis y Evaluación de Áridos

Para comenzar se decidió trabajar con dos tipos de agregados, piedra triturada o partida y canto rodado, con el objetivo de realizar con cada uno mezclas o concretos utilizando el ligante a base de polímeros. A partir de esto se evalúan y analizan los áridos por medio de ensayos de granulometría, peso específico, peso unitario, entre otros para luego determinar conclusiones de los resultados logrados. Estas mezclas formarán probetas para ensayo por el método Marshall no solo con “Liganus” sino también con el ligante asfáltico para generar una comparativa y además ejecutar probetas para ensayos de rotura por compresión.

5.1 Árido Piedra Triturada

Esta misma fue extraída de la planta trituradora de la Empresa Calidra, dedicada a la industria de la cal y ubicada en el departamento Albardón. La muestra obtenida fue de 16kg de agregado grueso con tamaño máximo nominal de 1” y unos 20kg de agregado fino, aproximadamente. Este material geológicamente es una roca sedimentaria llamada dolomía formada principalmente por el mineral dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, es obtenida a través de un proceso químico que sufre la caliza CaCO_3 (roca sedimentaria rica en calcita) en donde el calcio se reemplaza por magnesio.



Entrada Cantera Calidra RN40 norte



Agregado Grueso (izq) y Agregado Fino (der)

Estos áridos fueron llevados al Instituto de Materiales y Suelos para su estudio, primero se realizó un análisis granulométrico de cada agregado utilizando la serie de Tyler que consiste en los tamices con variación de 2 que son 3”, 1”1/2, 1”, 3/4”, 3/8”, #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200.

Siguiendo lo indicado por la Norma N°E7-65 de Ensayos de la DNV en el apartado de “Análisis Mecánico de Materiales Granulares”, para el agregado grueso se trabajó con la totalidad del material, a diferencia del fino que luego de un mezclado y cuarteo se tomaron 500gr debido a lo demoroso del tamizado, por el tamaño de la partícula. Se comenzó por los tamices de mayor tamaño 1”1/2, 1”, 3/4”, 3/8” y #4 separando el retenido en diferentes bandejas y luego realizando el pesaje en balanzas de diferentes precisiones (el fino con balanza de precisión 0.01g). De esta manera se determinó el tamaño y porcentajes que retiene cada tamiz de partículas que forman cada agregado. Luego, se juntó lo que retuvo cada tamiz para formar de vuelta el árido tal cual vino de planta sin alterar el estado de procedencia de cada uno.



Tamizado y separado por bandejas.



Pesaje de Retenido.



Tamices serie Gruesa.

Resultados:

Análisis Granulométrico Agregado Grueso

Agregado Grueso				
Tamiz (mm)	Retenido (gr)	Retenido (%)	Pasa (gr)	Pasa (%)
25,4	1250	8,1	14268,38	91,9
19,05	2780	17,9	11488,38	74,0
9,525	6690	43,1	4798,38	30,9
#4	3180	20,5	1618,38	10,4
#8	873,83	5,6	744,55	4,8
#16	282,14	1,8	462,41	3,0
#30	141,23	0,9	321,18	2,1
#50	118,08	0,8	203,1	1,3
#100	108,31	0,7	94,79	0,6
#200 via seca	273,38	-	-	-
#200 via hum.	94,79	0,6	-	-
TOTAL	15518,38			

Análisis Granulométrico Agregado Fino

Agregado Fino (500gr)		500		
Tamiz (mm)	Retenido (gr)	Retenido (%)	Pasa (gr)	Pasa (%)
#8	77,82	15,6	422,18	84,4
#16	140,04	28,0	282,1	56,4
#30	80,5	16,1	201,6	40,3
#50	48,9	9,8	152,7	30,5
#100	44,82	9,0	107,9	21,6
#200 via seca	62,84	-	-	-
#200 via hum.	46,3	9,3	0,0	0,0
TOTAL	438,38			
Pasa #200	61,62			

Cálculo de Constantes Físicas

Ensayo de Peso Unitario:

Es el peso de la unidad de volumen de un conjunto de partículas acomodadas en un recipiente mediante una compactación normalizada. También denominado peso específico aparente. El volumen incluye la parte sólida y el volumen de vacíos ocluido e intersticial entre grano y grano (volumen aparente).

Previamente a realizar el ensayo el material fue mezclado para lograr una distribución uniforme de los granos. Se inicia con el llenado de un recipiente de volumen y peso conocido (P1) en tres capas compactadas con una varilla de $\Phi 16\text{mm}$ y 60cm de largo, con punta roma (semi esférica), dándole 25 golpes por capa en caída libre, de manera que cada golpe atravesase la última capa colocada. Para finalizar se enrasa el recipiente con la misma varilla, haciéndola rodar sobre el borde del mismo.

Luego se pesó el recipiente con el agregado y se obtuvo el peso total (peso del recipiente más peso del material). Este procedimiento se realizó de la misma manera para el material grueso como para el fino. Ahora bien, el peso unitario se obtiene como el peso de la muestra dividido en el volumen aparente, en donde el peso del material es igual al peso total menos el peso del recipiente vacío.

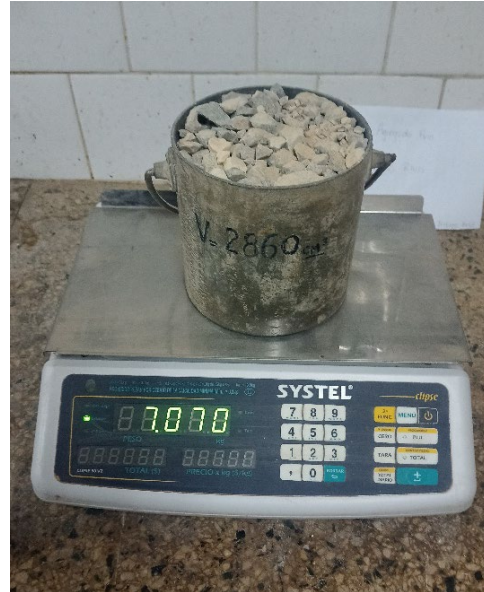
$$P_u = \frac{P}{V_a}$$



Compactado con varilla, segunda capa.



Recipiente con Arena para pesaje.



Recipiente con Grava en balanza.

Resultados:

Peso Unitario A. Grueso				
Vol. Recip.	2850	cm3		
P. Recip.	2255	gr	1,689	gr/cm3
P. Recip. + Agr.	7070	gr		

Peso Unitario A. Fino				
Vol. Recip.	2850	cm3		
P. Recip.	2255	gr	1,909	gr/cm3
P. Recip. + Agr.	7695	gr		

Ensayo de Peso Específico:

Se define como el peso de la unidad de volumen sólido de las partículas, este último hace referencia al volumen ocupado por el material sin los vacíos.

$$P_e = \frac{P}{V_s}$$

Para el caso de la grava el ensayo se realiza dejando previamente 24hs en agua unos 2500gr para lograr su saturación, luego de esto se lo deja escurrir y con un paño se procede a secar el agua superficial, llevando al agregado a la condición de saturado a superficie seca (SSS), esta condición se establece cuando los agregados no presentan superficialmente un aspecto brillante y colma las posibilidades de absorber agua.

En la condición antes expuesta se pesa la muestra, primero al aire (P_{sss}) y luego sumergido en agua (P_{ssss}). Para este último caso se utiliza un canasto donde se aloja la muestra el cual está sumergido en uno de los brazos de una balanza de dos platillos y en el otro se coloca arena para equilibrar el peso del canasto para que no influya en “ P_{ssss} ”. Paso siguiente, se coloca la muestra en el canasto y se registra el peso.

Para la determinación del volumen sólido de la muestra se hace uso del Principio de Arquímedes que dice: “Todo cuerpo sumergido en un líquido recibe un empuje de abajo hacia arriba, de igual valor al peso del volumen del líquido desalojado.”

Para obtener el volumen sólido se divide el empuje que es igual a $P_{sss} - P_{ssss}$ en la densidad del agua que es 1 gr/cm^3 . Finalmente se divide el peso seco o SSS en el volumen sólido.

$$P_{es} = \frac{P_s}{\frac{P_{sss} - P_{ssss}}{\delta_{H_2O}}}$$



Balanza con P_{ssss} .

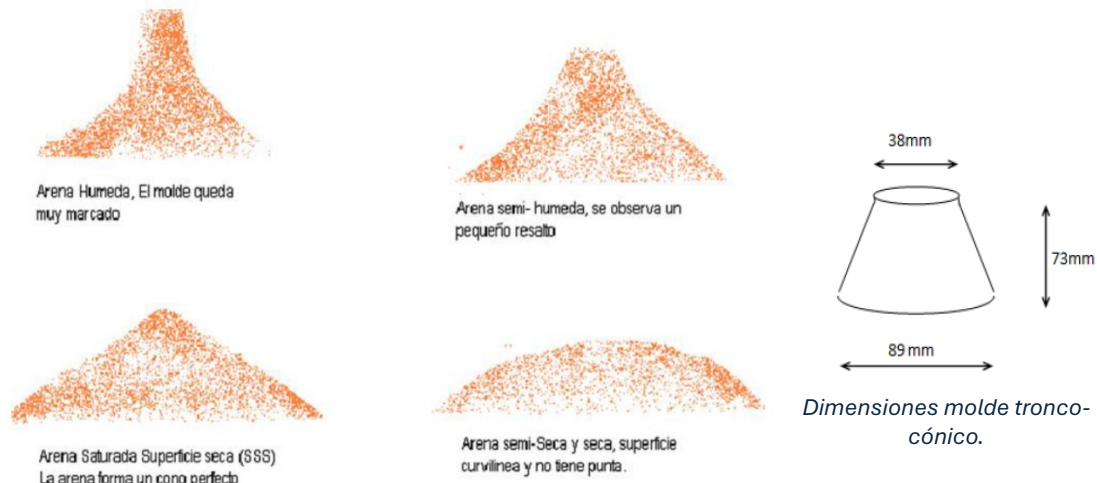


Canasto con Grava sumergida.

Resultados:

Peso Especifico A. Grueso					
P. Seco	2500	gr	2,732	gr/cm3	Pe S
P. SSS	2512	gr			
P. Sumer.	1597	gr	2,745	gr/cm3	Pe SSS
			2,769	gr/cm3	Pe Real

El agregado fino se la somete a un proceso de saturación durante 24hs y luego se la lleva a condición de saturada a superficie seca mediante el empleo de aire caliente (pistola de calor o secador de pelo). Esta condición se verifica colocando la arena en dos capas compactadas con 25 golpes con pisón, en un cono truncado de dimensiones según la norma, luego se enrasa y se desmolda. Si al retirar el molde, el tronco-cono de arena queda completamente armado, hay agua en exceso, si se desmorona completamente hay agua en defecto, por lo tanto, para que esté en condiciones debe desmoronarse el borde superior solamente.



Comprobación visual del contenido de Humedad.

Luego a través del método gravimétrico se tomaron 500gr de la muestra en condición SSS y se colocan en un matraz aforado al cual se le conoce su peso vacío P1, se le agrega agua hasta la marca de los 500cm³, se agita para saturar el material y eliminar burbujas, paso siguiente se lleva a una bomba de vacío o succión para eliminar las microburbujas todavía alojadas. Se vuelve a enrasar a los 500cm³ y se pesa el conjunto. Paso siguiente se retira el agregado del matraz y se lleva a estufa a 100°C dónde durante 24hs para determinar el peso seco.

Se determina primero el volumen de agua como:

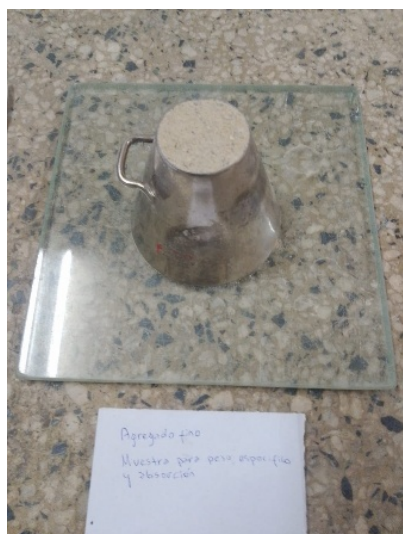
$$\text{Volumen de } H_2O = V_{H_2O} = \frac{P_{maa} - P_m - P_{sss}}{\delta_{H_2O}}$$

El volumen de la arena sería:

$$\text{Volumen de arena} = V = \text{Volúmen de matraz} - \text{Volúmen de agua} = 500 \text{ cm}^3 - V_{H_2O}$$

Finalmente:

$$P_{es} = \frac{P_s}{V}$$



Tronco-cono enrasado.



Muestra en condición SSS.



Matraz con arena, sin vacíos y enrasado.



Bomba de vacío extrayendo el aire.

Resultados:

Peso Especifico A. Fino					
P. Matraz	158,45	gr			
P. Matraz + Mue.	658,45	gr			
P. Matraz+ Ag.+ Mue.	971,47	gr			
P. SSS	500	gr	2,674	gr/cm3	Pe SSS
P. Seco	492,53	gr	2,634	gr/cm3	Pe S
Vol. Agua	313,02	cm3			
Vol. A. Fino	186,98	cm3			

Cálculo Absorción:

La absorción es la cantidad de agua que es absorbida por un material en condición de saturado a superficie seca, el cual se expresa como:

$$Abs \% = \frac{P_{sss} - P_{seco}}{P_{seco}} \cdot 100$$

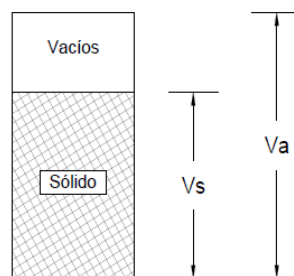
Resultados:

Absorcion del A. Grueso	0,48	%
Absorcion del A. Fino	1,52	%

Coefficiente de Aporte:

Es el cociente entre el peso unitario y el peso específico, nos indica la cantidad de volumen sólido que aporta un volumen aparente de un material granular conocido. Resulta que mientras más chico es el grano, mayor es su coeficiente el aporte.

$$Ca = Pu/Pe = Vs/Va$$



Resultados:

Coefficiente de Aporte A. Grueso	0,618
Coefficiente de Aporte A. Fino	0,724

5.2 Árido Canto Rodado

Este material fue extraído del depósito del Laboratorio de Vías de Comunicación, es proveniente del Río San Juan, como la mayoría de los cantos rodados utilizados en la construcción. El mismo tiene combinación de grava y arena, es conocido como ripio común y fueron aproximadamente 13kg.

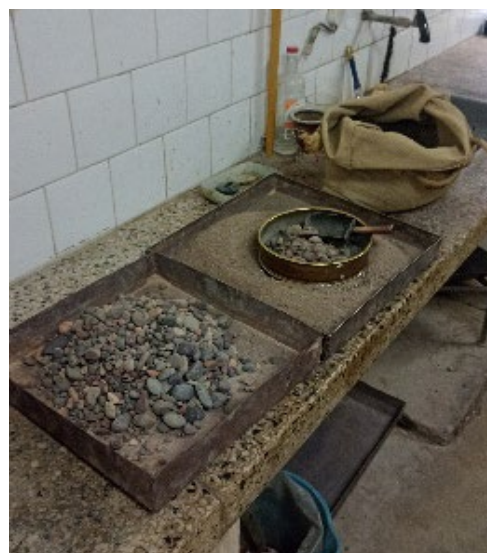
Estos áridos fueron llevados al Instituto de Materiales y Suelos para su estudio, primero utilizando el tamiz #4 se separó arena de grava y luego se realizó el análisis granulométrico

de cada parte utilizando la serie de Tyler que consiste en los tamices con variación de 2 que son 3", 1"1/2, 1", 3/4", 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200.

De la misma manera que con la piedra triturada se trabajó con la totalidad del agregado grueso y solo 500gr del agregado fino.



Pesaje completo de material.



Separación de grava y arena con tamiz #4.

Resultados:

Análisis Granulométrico Agregado Grueso

Grava				
Tamiz (mm)	Retenido (gr)	Retenido (%)	Pasa (gr)	Pasa (%)
25,4	125	0,9	13620	99,1
19,05	1200	8,7	12420	90,4
9,525	3590	26,1	8830	64,2
#4	1990	14,5	6840	49,8
Pasa #4	6840	-	-	-
TOTAL	13745			

Análisis Granulométrico Agregado Fino

Arena		500		
Tamiz (mm)	Retenido (gr)	Retenido (%)	Pasa (gr)	Pasa (%)
#8	85	17,0	415	83,0
#16	60	12,0	355,0	71,0
#30	70	14,0	285,0	57,0
#50	125	25,0	160,0	32,0
#100	95	19,0	65,0	13,0
#200 via seca	50	-	-	-
#200 via hum.	41	8,2	0,0	0,0
TOTAL	476			
Pasa #200	24			

Cálculo de Constantes Físicas

Debido a que las formas de ensayo y definiciones fueron descriptas en el árido anterior solo se colocarán resultados e imágenes complementarias a las anteriores pero correspondiente a este material.

Ensayo de Peso Unitario:

$$P_u = \frac{P}{V_a}$$



Pesaje total grava compactada.



Pesaje total arena compactada.

Resultados:

Peso Unitario A. Grueso				
Vol. Recip.	2860	cm3		
P. Recip.	2255	gr	1,698	gr/cm3
P. Recip. + Agr.	7110	gr		

Peso Unitario A. Fino				
Vol. Recip.	2860	cm3		
P. Recip.	2255	gr	1,727	gr/cm3
P. Recip. + Agr.	7195	gr		

Ensayo de Peso Específico:

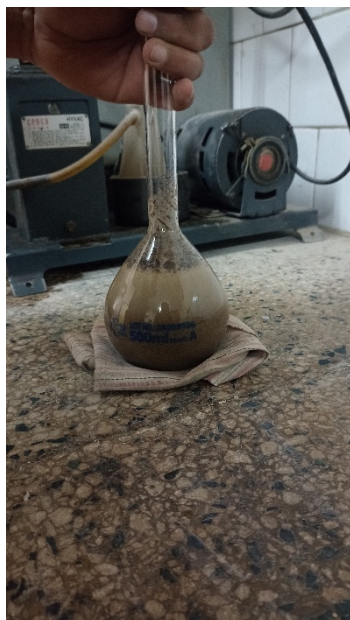
$$P_e = \frac{P}{V_s}$$



Arena y Grava en proceso de saturación.



Pesaje de Grava en condición SSS.



Extracción de aire de la muestra, se observa materia orgánica.



Ensayo de condición SSS tronco-cono, pisón, pincel y vidrio.

Resultados:

Peso Especifico A. Grueso					
P. Seco	2500	gr	2,580	gr/cm3	Pe S
P. SSS	2509	gr			
P. Sumer.	1540	gr	2,589	gr/cm3	Pe SSS
			2,604	gr/cm3	Pe Real
Peso Especifico A. Fino					
P. Matraz	158,37	gr			
P. Matraz + Mue.	658,37	gr			
P. Matraz+ Ag.+ Mue.	962,73	gr	2,556	gr/cm3	Pe SSS
P. SSS	500	gr			
P. Seco	494,3	gr	2,527	gr/cm3	Pe S
Vol. Agua	304,36	cm3			
Vol. A. Fino	195,64	cm3			

Cálculo Absorción:

$$Abs \% = \frac{P_{sss} - P_{seco}}{P_{seco}} \cdot 100$$



Arena en condición SSS para ingresar a estufa.



Arena en condición seca, retirada de estufa.

Resultados:

Absorcion del A. Grueso	0,36	%
Absorcion del A. Fino	1,15	%

Coeficiente de Aporte:

$$Ca = Pu/Pe = Vs/Va$$

Resultados:

Coeficiente de Aporte A. Grueso	0,658
Coeficiente de Aporte A. Fino	0,684

5.3 Comparativa entre Áridos

La primera diferencia entre ambos es el origen explicado anteriormente, de ahí producto de la naturaleza y de la erosión del río se obtiene el canto rodado con su forma redondeada y sin aristas. Ya de manera artificial generalmente, por medio de máquinas trituradoras se parten rocas extraídas obteniendo partículas puntiagudas con aristas vivas, esto mejora la trabazón en mezclas u hormigones favoreciendo la trabazón y por consiguiente la resistencia frente al canto rodado.

Con respecto a los pesos unitarios son prácticamente iguales en los agregados gruesos, pero en los finos hay una notable diferencia, al ser mayor el del triturado indica que posee una mayor cantidad de partículas de tamaño limos. Respecto al peso específico, es mayor en la piedra partida tanto para grava como para arena esto es debido al mejor acomodamiento de los granos lo que reduce los vacíos. Hablando de la absorción es mayor para el triturado debido a su mayor contenido de finos.

Una diferencia a la vista es el color, producto del gran contenido de caliza, el triturado posee un color blancuzco-amarillento contrario al canto rodado que está formado por mayor porcentaje de riolitas y andesitas dando una tonalidad más oscura. Además, se notó gran contenido de materia orgánica en el canto rodado a diferencia del triturado que era nula.

En la provincia de San Juan abunda el canto rodado y marca una notable diferencia económica, bastante menor, con la piedra partida es por eso que se utiliza en la mayoría de los hormigones y mezclas asfálticas.

5.4 Mezcla de los Agregados

Con la etapa anterior terminada y obtenido los áridos analizados con sus características, pasamos a definir las condiciones y formas de moldeo de probetas. Para empezar, se diseñó la mezcla de agregado fino y grueso en base a los límites de la Dirección Nacional de Vialidad para concretos asfálticos en caliente con un tamaño máximo nominal de 19mm (CAC D-19), esto fue así debido a recomendaciones del creador de “Liganus” y antecedentes de investigación.

Correcciones en el Material Pétreo

Como primer paso se tuvo que corregir los áridos eliminando partículas de 1” o mayores y lavando bajo tamiz #200 toda la muestra para eliminar los limos y arcillas que son perjudiciales tanto para mezclas asfálticas como para hormigones. Esto fue realizado tanto para el triturado como para el canto rodado.

La primera corrección fue rápida utilizando el tamiz de 1", el cual retuvo pocas partículas, para ambos agregados. La corrección de limos y arcillas fue más laboriosa y se explica a continuación.

Para el caso de los agregados finos por una cuestión de practicidad y rapidez se los pasó por un tamiz #50 y todo "el pasa" fue colocado en un balde, luego se incorporó agua y con una cuchara se generó un leve mezclado para permitir la saturación y flotación de partículas livianas (pasa #200) que corresponden a limos y arcillas. De esta forma en el rebalse del balde se eliminaron las mismas y el material quedó lavado. El sobrante fue llevado a estufa a 110°C.

Para lo que fue el contenido de finos en el agregado grueso de la piedra triturada (para la grava del canto rodado no hubo porque era ripio común y se partió con tamiz #4) se procedió con su retenido en tamiz #200 vía seca a tratarlo vía húmeda, utilizando una bandeja especial y una manguera se lavaba el material sobre el tamiz #200. Luego cuando se llegó a la claridad del agua se corta el lavado y el material se lleva a estufa.



Arena canto rodado en tamiz #100 y #200.



Arena piedra triturada en tamiz #100 y #200.



Balde con finos del triturado sumergidos, volcando en tamiz #200.



Bandeja de lavado con retenido #200 de grava de triturado.

Resultados:

Roca Triturada

Agregado Grueso Corregido				
Tamiz (mm)	Retenido (gr)	Retenido (%)	Pasa (gr)	Pasa (%)
25,4	0	0,0	14541,76	100,0
19,05	2780	19,1	11761,76	80,9
9,525	6690	46,0	5071,76	34,9
#4	3180	21,9	1891,76	13,0
#8	873,83	6,0	1017,93	7,0
#16	282,14	1,9	735,79	5,1
#30	141,23	1,0	594,56	4,1
#50	118,08	0,8	476,48	3,3
#100	108,31	0,7	368,17	2,5
#200 vía seca	273,38	-	-	-
#200 vía hum.	94,79	0,7	-	-
TOTAL	14541,76			

Canto Rodado

Grava Corregida				
Tamiz (mm)	Retenido (gr)	Retenido (%)	Pasa (gr)	Pasa (%)
25,4	0	0,0	13620	100,0
19,05	1200	8,8	12420	91,2
9,525	3590	26,4	8830	64,8
#4	1990	14,6	6840	50,2
Pasa #4	6840	-	-	-
TOTAL	13620			

Mezcla de Materiales a partir del Método de Mínimos Cuadrados

Con este método se logra combinar grava y arena generando una curva mezcla lo más cercana a una curva patrón u objetivo, haciendo que la diferencia entre los “pasa” de cada tamiz sean las menores posibles.

Programando este método en una planilla de Excel se arma una tabla con los “pasa” de cada agregado, se define una mezcla patrón y se calcula la mezcla final como la suma del agregado grueso por una constante más el agregado fino por una constante. La suma de esas constantes debe dar igual a la unidad, esto se realiza por cada tamiz. Lo siguiente es calcular la diferencia entre la mezcla final y la mezcla patrón en cada tamiz, esas diferencias son elevadas al cuadrado y sumadas. El paso final es con la función “Solver” del programa, hacer que esa sumatoria de diferencias al cuadrado sea lo menor posible modificando una de las constantes de los agregados ya que la restante se obtiene por diferencia con la unidad. De esta manera se logran las constantes o porcentajes de grava y arena que generan una curva lo más cercana a la curva objetivo.

Para determinar una curva objetivo se tuvieron en cuenta los antes nombrados límites granulométricos de la Dirección Nacional de Vialidad para un CAC-D19, estos se promediaron y logró un límite intermedio entre el límite superior y límite el inferior. Luego juntando esta mezcla patrón con las curvas de la arena y la grava se utilizó el método mencionado.

Límites Granulométricos DNV

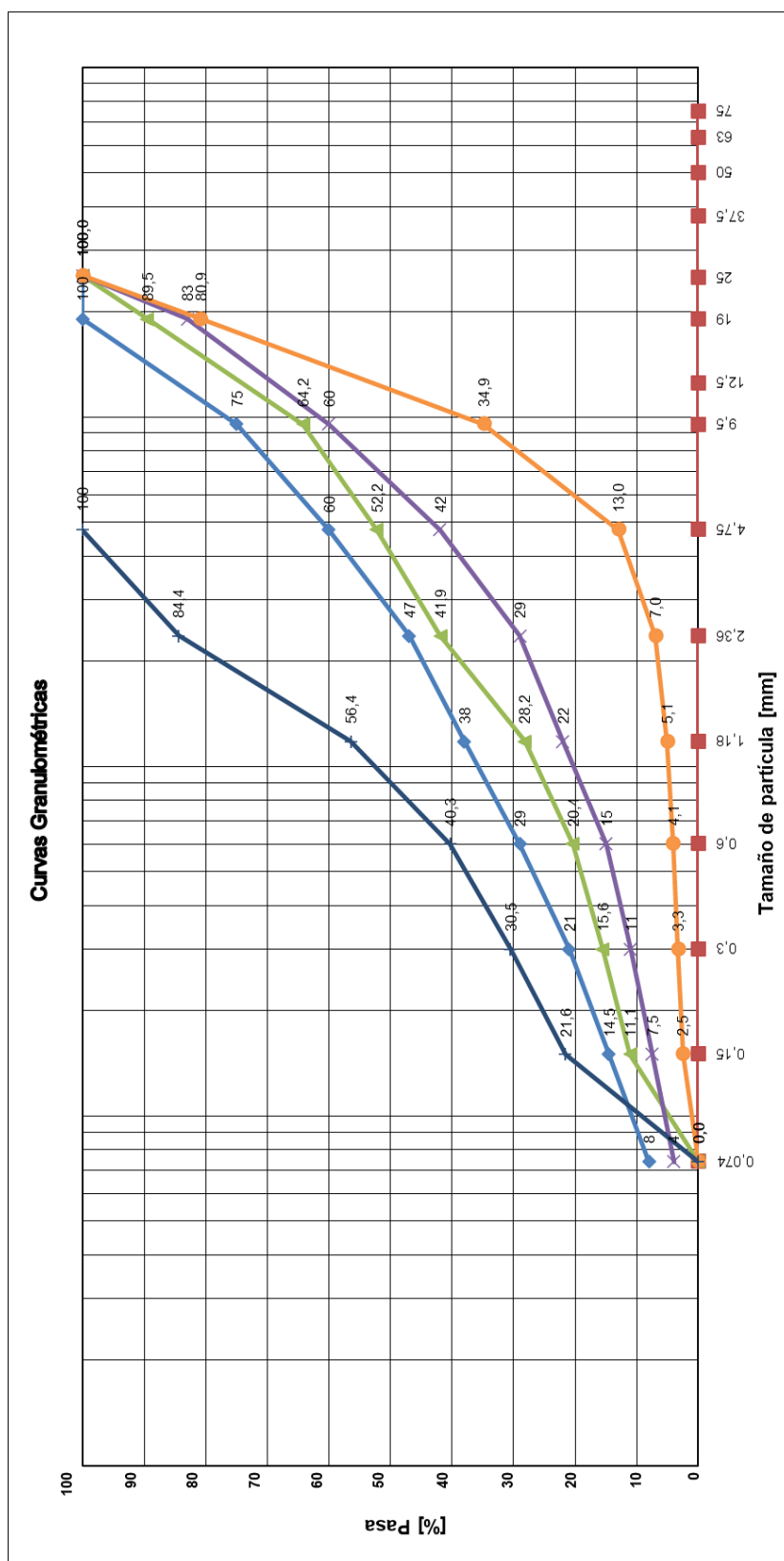
CAC D-19 DNV 2017		
Tamiz (mm)	Max	Min
25,4	100	100
19,05	100	83
9,525	75	60
4,75	60	42
2,36	47	29
1,18	38	22
0,6	29	15
0,3	21	11
0,15	14,5	7,5
0,074	8	4

Método aplicado a la Roca Triturada

Tamiz	% Pasa Agr. Grueso (A)	% Pasa Agr. Fino (B)	% Pasa Objetivo	Diferencia	Dif^2	Mezcla
25,4	100,0	100	100	0,0	0,0	100,0
19,05	80,9	100	91,5	2,0	4,0	89,5
9,525	34,9	100	67,5	3,3	10,7	64,2
4,75	13,0	100	51	-1,2	1,5	52,2
2,36	7,0	84,4	38	-3,9	15,3	41,9
1,18	5,1	56,4	30	1,8	3,2	28,2
0,6	4,1	40,3	22	1,6	2,5	20,4
0,3	3,3	30,5	16	0,4	0,2	15,6
0,15	2,5	21,6	11	-0,1	0,0	11,1
0,074	0,0	0,0	6	6,0	36,0	0,0
				SUM	8,6	

Porcentajes obtenidos:

G	0,549
A	0,451



Referencias:

Verde: Curva Mezcla Lograda

Azul: Curva Límite Superior

Morado: Curva Límite Inferior

Negro: Curva Agregado Grueso

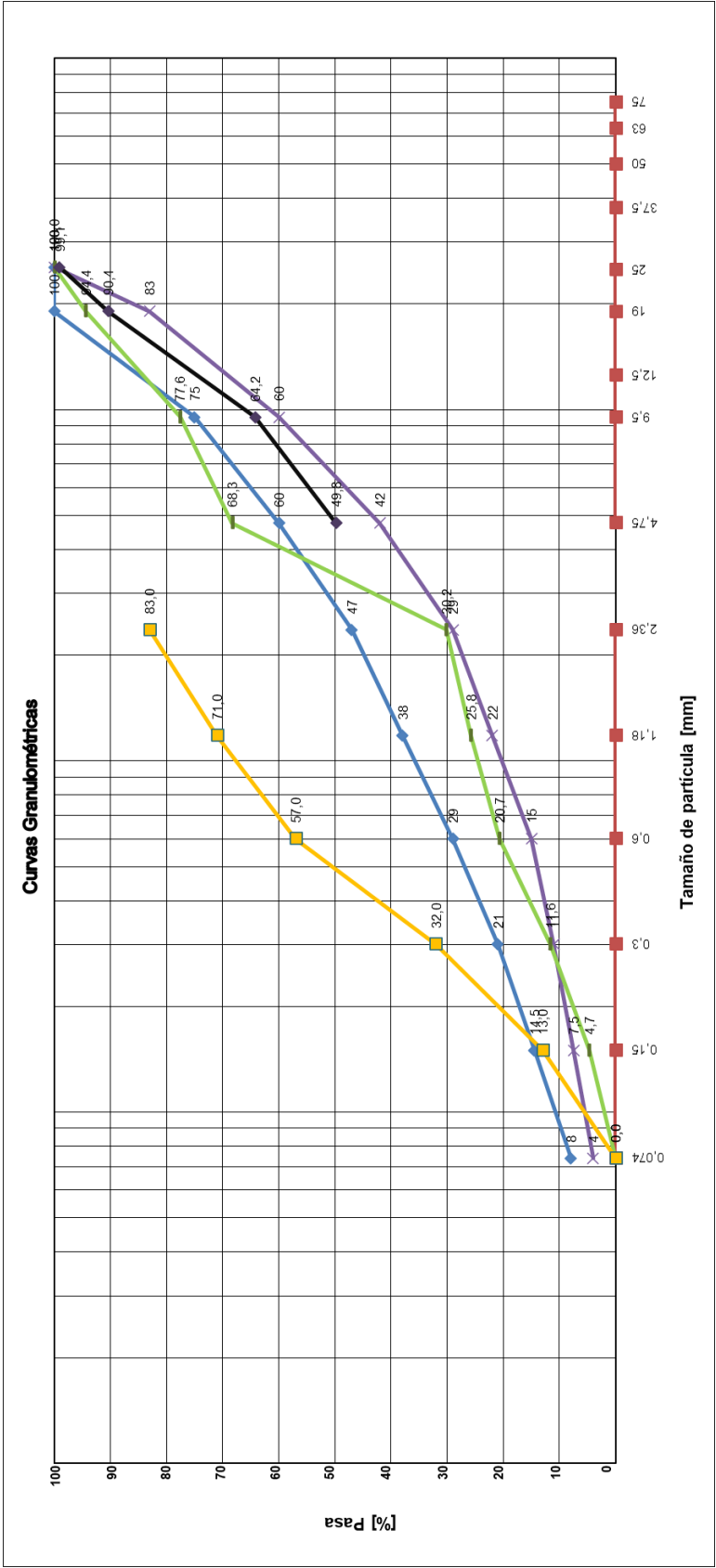
Naranja: Curva Agregado Fino

Método aplicado al Canto Rodado

Tamiz	% Pasa Agr. Grueso (A)	% Pasa Agr. Fino (B)	% Pasa Objetivo	Diferencia	Dif^2	Mezcla
25,4	100,0	100	100,0	0,0	0,0	100,0
19,05	91,2	100	91,5	-2,9	8,4	94,4
9,525	64,8	100	67,5	-10,1	102,3	77,6
4,75	50,2	100	51,0	-17,3	299,7	68,3
2,36	0,0	83,0	38,0	7,8	61,4	30,2
1,18	0,0	71,0	30,0	4,2	17,6	25,8
0,6	0,0	57,0	22,0	1,3	1,6	20,7
0,3	0,0	32,0	16,0	4,4	19,1	11,6
0,15	0,0	13,0	11,0	6,3	39,4	4,7
0,074	0,0	0	6,0	6,0	36,0	0,0
				SUM	24,2	

Porcentajes obtenidos:

G	0,637
A	0,363



Referencias:

Verde: Curva Mezcla Lograda

Azul: Curva Límite Superior

Morado: Curva Límite Inferior

Rojo: Curva Arena

Negro: Curva Grava

Conclusión respecto a Mezclas Logradas:

Se puede observar en el gráfico del primer árido que se logró una combinación de grava y arena excelente cumpliendo con los límites de la DNV en todos los tamaños de partículas, esto quiere decir que combinando para un determinado peso de material el 54,9% corresponderá a grava y el 45,1% a la arena en relación al agregado conseguido.

Con respecto al segundo árido se consiguió una combinación bastante buena y aceptable, en un determinado tamaño de partículas no se encuentra dentro del límite superior, pero está muy cerca. Esto es debido a que el material elegido, en su estado original posee mucha cantidad de finos o arena lo que dificultó que entre en curva en su totalidad. Como resultado quedó para un determinado peso de material el 63,7% corresponderá a grava y el 36,3% a la arena.

A partir de estos cálculos se determinaron las curvas mezclas para cada árido, lo que permite combinar a cada uno de tal forma que se genere una mezcla apta para poder moldear probetas tanto con ligante polimérico como con ligante asfáltico.

6. Ensayo por el Método Marshall

El siguiente ensayo es característico de las mezclas asfálticas en caliente en donde permite determinar y estudiar diferentes parámetros entre ellos estabilidad, fluencia, densidad, vacíos en mezcla y vacíos en áridos. El objetivo es determinar el contenido óptimo de asfalto para un determinado tipo de mezcla asfáltica.

Si bien es aplicable únicamente a mezclas preparadas en caliente utilizando cemento asfáltico como ligante, Liganus es un material nuevo y no posee ensayos ni normativas exclusivos para ello. De esta manera se adopta ensayos de otros materiales para evaluarlo teniendo en cuenta ciertos recaudos.

La metodología y condiciones de ensayo surgen de las normas de la Dirección Nacional de Vialidad correspondiente a VN-E9-86.

Con respecto a los agregados pétreos o material inerte que forma la mezcla, la norma aclara que no debe superar su tamaño máximo los 25mm, los áridos trabajados cumplen con esta condición.

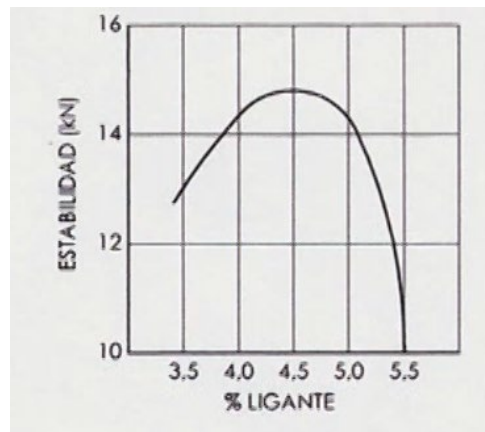
La Estabilidad Marshall es la carga máxima en kg que soporta una probeta de 6,35cm de altura y 10,16cm de diámetro, cuando se lo ensaya a una temperatura dada, cargándola en sentido diametral a una velocidad de 5,08 cm/min.

La Fluencia Marshall es la deformación total expresada en mm que experimenta la probeta desde el comienzo de la aplicación de carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla.

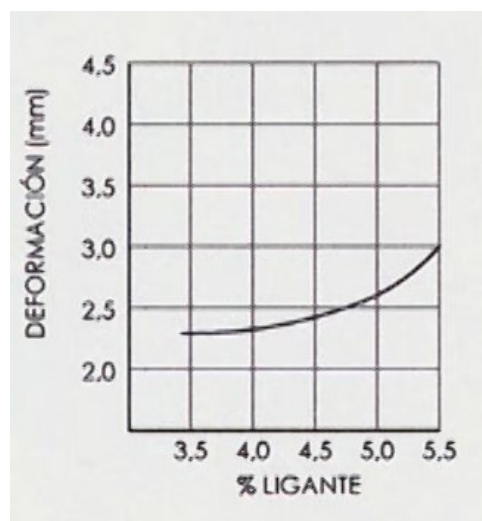
Los métodos para determinar el peso específico y unitario de los agregados pétreos como así los demás parámetros de las probetas de mezclas asfálticas compactadas están descriptos en las Normas con el detalle necesario. Para nuestro fin solo se determinó el peso unitario de cada probeta ejecutada a fin de realizar una comparativa.

Curvas Marshall:

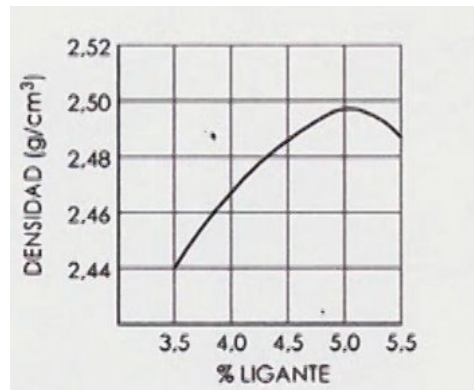
Estabilidad (kn) vs. % Ligante: La curva tiene forma de campana, con un valor máximo en un punto intermedio. Esto demuestra que a poco asfalto la estabilidad es baja porque no hay suficiente cohesión y que a mucho asfalto también es baja la estabilidad porque la mezcla es demasiado plástica y disminuye el rozamiento. Por lo tanto, el máximo muestra dónde la mezcla resiste mejor las cargas.



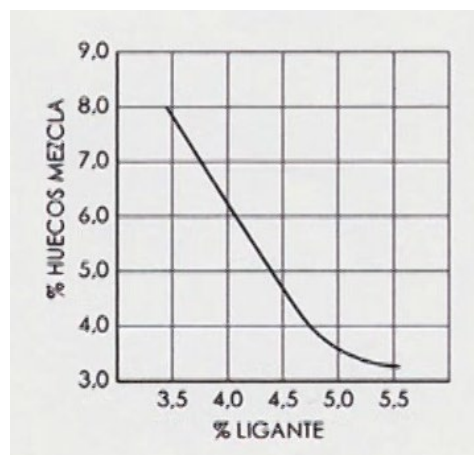
Deformación (mm) vs. % Ligante: La curva tiende a ser ascendente porque al aumentar el asfalto la mezcla se vuelve más dúctil. El ligante es el componente deformable del concreto.



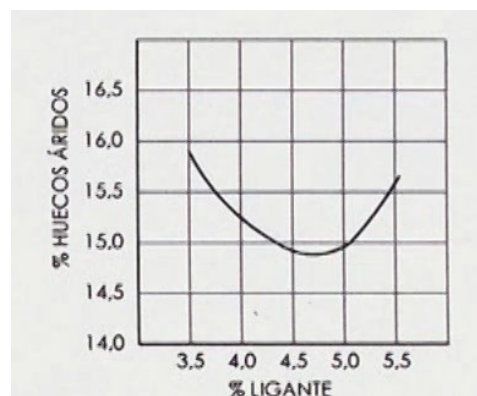
Densidad (gr/cm³) vs. % Ligante: La curva suele tener forma de campana, alcanzando un máximo en un cierto % de ligante, ese punto indica el contenido de asfalto donde la mezcla logra su máxima densidad (mejor compactación y menor aire atrapado). Luego comienza a decaer porque la cantidad de ligante desplaza al agregado en un mismo volumen el cual tiene un peso específico mayor.



% Huecos en Mezcla vs. % Ligante: Representa el % de vacíos de aire dentro de la mezcla. A medida que aumenta el contenido de asfalto los vacíos disminuyen, el ligante rellena los huecos. La curva es descendente.



% Huecos en Áridos vs. % Ligante: Es una curva con un mínimo, en donde los huecos en áridos es la suma de los huecos en mezcla mas los huecos ocupados por el ligante. Es la suma de una curva descendente y otra ascendente.



Características y otros Usos del Método

Cuando se utilice el método Marshall para la determinación del contenido óptimo de ligante para una mezcla de áridos de una composición y granulometría determinadas, se prepararán series de probetas con contenidos crecientes de ligante, realizando tantas series como sean necesarias para que, al menos, se tengan dos contenidos de ligante por encima y otros dos por debajo del óptimo.

Con los valores medios de la estabilidad, deformación, densidad relativa y diferentes contenidos de vacíos, se dibujarán para cada porcentaje de ligante los gráficos anteriores.

Se considera que el porcentaje óptimo de asfalto no debe surgir, solamente, de un simple promedio aritmético de valores óptimos, o de un valor individual de una determinada curva, sino de una evaluación racional del conjunto de curvas que representan las características volumétricas y mecánicas de la mezcla versus el porcentaje de cemento asfáltico.

También es de aplicación este ensayo para el control de bases o carpetas de mezclas en caliente con cemento asfáltico recién construidas o después de larga exposición al tránsito.

Para realizar este estudio se extraerán probetas del pavimento de concreto asfáltico terminado con la maquina extractora de probetas de 101,6 mm de diámetro y del espesor del pavimento.

Deberá ponerse especial cuidado de que las probetas obtenidas tengan sus caras laterales bien lisas y uniformes para lo cual deberá cuidarse que la máquina esté en perfectas condiciones de funcionamiento y que la extracción se realice a temperaturas ambiente lo más bajas posibles.

Obtenidas las probetas se ensayarán de igual forma que probetas de laboratorio estableciéndose los valores de estabilidad y fluencia Marshall del pavimento en estudio. También en este caso se deberá determinar previamente el peso unitario de probeta de mezcla asfáltica compactada.

Instrumentos Básicos de Ensayo:

Moldes de compactación: cilíndricos de acero o bronce, de 101,6 mm de diámetro interno y 76,2 mm de altura, provistos de base y collar de prolongación adaptable a ambos extremos del molde.

Pisón de compactación manual: de acero que consiste esencialmente en una zapata circular de 33,4 mm de diámetro, en la que golpea un pisón de 4,540 kg que se desliza por una guía que limita su carrera a 457mm.

Pedestal de compactación: Se usa para apoyo del molde durante el proceso de compactación, está constituido por un poste de madera dura de 20 cm. x 20 cm. de altura firmemente anclado mediante cuatro hierros ángulos a una base de hormigón apoyada sobre suelo firme o sobre un bloque de hormigón. El extremo libre del poste lleva una plancha de acero asegurada con tornillos a la cabeza del poste a la que se adapta el dispositivo que sujeta el molde de las características y de las dimensiones indicadas.

Bandejas: de chapa galvanizada, de fondo plano de 300 mm x 300 mm x 80 mm para calentamiento de los agregados.

Recipiente 1: de cobre o chapa galvanizada de aproximadamente 800 cm³ de capacidad, de bordes altos con pico vertedero, para calentar el cemento asfáltico.

Recipiente 2: de cobre o hierro enlozado de fondo semiesférico de aproximadamente 24 cm. de diámetro y de 4 ó 5 litros de capacidad para mezclar los agregados con el cemento asfáltico.

Baño de agua caliente: Equipado con sistema de calentamiento termostáticamente controlado, que permita mantener el agua colocada a una temperatura de 60° C. $\pm$ 0,5° C. durante 24 horas. Este baño tendrá su correspondiente tapa.

Extractor de probetas: para retirarlas del molde de compactación.

Estufa: equipada con sistema de calentamiento termostáticamente controlado, que permita regular temperaturas entre 35° C. y 250° C. $\pm$ 2° C. para calentar y secar los agregados pétreos y los moldes de compactación.

Plancha de calentamiento: (tipo hot plate) equipada con sistema de calentamiento termostáticamente controlado, que permita regular temperaturas entre 35° C. y 250° C. $\pm$ 2° C. Debe alcanzar la temperatura máxima en 60 minutos. Para mantener la temperatura en la mezcla de los áridos con el cemento asfáltico.

Mordaza: de acero para la aplicación de las cargas durante el ensayo de las características y dimensiones indicadas.

Comparador extensométrico: con dial dividido en 1/100 de pulgada, o en 1/100 de centímetro para medir fluencia, carrera total 25mm.

Termómetro 1: con escala hasta 200° C. y sensibilidad de 1° C. para medir temperaturas de la mezcla asfáltica.

Termómetro 2: Con escala de 57 a 65° C. y sensibilidad al 0,1°C. para medir temperaturas en el baño de agua caliente.

Prensa de ensayo: de accionamiento eléctrico o manual que permita aplicar cargas de hasta 3000kg con velocidad de avance constante e igual a 50,8 mm/minuto. Provista de aro dinamométrico de 3.000kg de capacidad con comparador extensométrico, con dial dividido en 0,1mm.

Elementos varios: de uso corriente, espátulas metálicas, cucharón de albañil, cuchara de almacenero, guantes de amianto, guantes de goma, pinzas, tiza, grasa para marcar probetas, calibre, etc.

Procedimiento del Material Pétreo

Se obtendrán representativas de los agregados a utilizar en la elaboración de la mezcla. Por lo tanto, el o los agregados gruesos que intervienen en la mezcla de áridos no tendrán partículas de tamaño mayor de 25mm.

Se efectuarán para cada uno de los agregados que intervienen en la mezcla los ensayos de granulometría correspondiente por vía seca y vía húmeda determinando además el peso específico del agregado seco de cada agregado y el peso específico aparente del relleno mineral.

Los agregados a utilizar en la preparación de la mezcla, incluido el relleno mineral si fuera necesario, se secarán separadamente en estufa a una temperatura comprendida entre 105° - 110° C. hasta constancia de peso, necesitando tres horas como mínimo si el material no es poroso y 12hs como mínimo si el material es poroso.

Una vez secos los agregados, se separarán mediante tamizado cada uno de ellos en distintas fracciones granulométricas delimitadas por pares de tamices, elegidos según más convenga.

De acuerdo a las proporciones con que cada agregado intervenga en la mezcla final, se determinarán las cantidades necesarias de las fracciones de cada agregado pétreo y del relleno mineral, si fuera necesario para la ejecución de la probeta.

La probeta tendrá una vez compactada 101,6mm de diámetro y 63,5mm de altura con una tolerancia en la altura de ± 3 mm. La cantidad de mezcla asfáltica necesaria para obtener estas dimensiones varía entre 1000 y 1300 gr. de acuerdo con los pesos específicos de los agregados pétreos y la granulometría de los mismos.

Preparación del Pastón con el Ligante Asfáltico

Se pesan las cantidades necesarias de las fracciones de cada agregado y del relleno mineral si fuera necesario para la ejecución de una probeta, se coloca en una bandeja o recipiente adecuado y se calientan en estufa hasta que la mezcla de ambos alcance una temperatura comprendida entre los límites establecidos para el asfalto, según indica el apartado siguiente, incrementados en 15° C, manteniéndose como mínimo en (2) horas a esta temperatura.

Se llena hasta algo más de la mitad con el cemento asfáltico a utilizar el recipiente citado anteriormente y se calienta durante 30 o 40 minutos en estufa a una temperatura tal que la viscosidad Saybolt – Furol caiga dentro de los rangos.

Si no se conoce la viscosidad del C.A., a utilizar y hasta tanto se disponga de mayor información sobre las temperaturas de equiviscosidad de los asfaltos de uso corriente en el país, en función de su rango de penetración, origen y método de obtención, pueden adoptarse ciertos límites de temperatura para el calentamiento del asfalto.

Se retira de la estufa la bandeja conteniendo los agregados y el relleno mineral y se vuelca rápidamente el contenido en el recipiente de fondo semiesférico calentado previamente a

la misma temperatura del agregado. Se mezcla íntimamente durante 1 minuto con un cucharín de albañil de tamaño adecuado, tratando de conseguir completa uniformidad y finalmente se forma un hoyo en el centro de la mezcla de áridos para recibir el cemento asfáltico.

Se vierte la cantidad calculada de cemento asfáltico, a la temperatura que resulte de acuerdo con lo indicado según penetración (130° - 160°), en el hoyo formado a ese efecto con el total de agregados, dentro del recipiente semiesférico.

Se mezcla el contenido de C.A y agregados con el cucharón, lo más rápidamente posible y con la necesaria intensidad como para obtener una mezcla íntima y uniforme en un tiempo no mayor de dos minutos. Al terminar esta operación la temperatura de la mezcla debe estar comprendida entre ciertos límites establecidos para el C.A. ($\pm 20^{\circ}$). Dichos valores han sido fijados provisoriamente, en base a la temperatura de calentamiento del asfalto, hasta que se disponga de la información suficiente para establecer el intervalo de temperatura que corresponde al rango óptimo de viscosidad del asfalto, para producir la densidad final bajo tránsito, en las condiciones de ensayo.

Estos nuevos límites determinan la temperatura mínima para iniciar la compactación de la mezcla; en consecuencia, se comprobará si la temperatura de la mezcla está efectivamente dentro de esos límites antes de proceder con toda rapidez al moldeo de la probeta.

Si la temperatura de la mezcla resultara inferior al límite mínimo establecido, deberá desecharse la mezcla y prepararse un nuevo pastón. En ningún caso se admite el recalentamiento durante o después del mezclado. Si la temperatura de la mezcla fuera superior al máximo, se removerá cuidadosamente la misma hasta obtener que la temperatura caiga dentro de los límites establecidos.

El cemento asfáltico que se utilice en la preparación de la mezcla no será mantenido a la temperatura de mezclado durante un tiempo superior a dos horas, debiendo proceder a su reemplazo si así sucediera.

Procedimiento de Moldeo

Antes de proceder al moldeo de la probeta se prepara el molde de compactación y el pisón de compactación limpiando con nafta o kerosene el molde y la zapata del pisón y calentándolos luego en estufa a una temperatura comprendida entre 100° y 150° C durante 30 minutos.

Se retira de la estufa y se arma el molde colocándole la base y el collar de extensión y se introduce un disco de papel de filtro u otro papel absorbente hasta el fondo del molde.

Se coloca rápidamente con la cuchara de almacenero el total de la mezcla en el interior del molde, se acomoda aplicando 15 golpes con una espátula caliente distribuidos alrededor del perímetro de la probeta y 10 golpes en su interior, y se nivela la superficie del material.

Se coloca el molde sobre el pedestal de compactación y se lo sujeta con el aro de ajuste. Se apoya sobre la mezcla la zapata del pisón de compactación y se aplican 50 o 75 golpes

según esté especificado, a caída libre, cuidando que el vástago del pisón se mantenga bien vertical.

Se retira el molde del dispositivo de ajuste y se invierte la posición de la base y del collar de extensión.

Se ajusta nuevamente el molde sobre el pedestal de compactación se aplica el mismo número de golpes, a la capa inferior de la probeta en la forma ya indicada.

Terminada la compactación de la probeta se retira el molde del pedestal y sin la base y el collar de extensión se coloca el molde en un recipiente con agua fría durante 3 ó 4 minutos. Se retira luego el agua, se le coloca nuevamente el collar de extensión y con el extractor se retira la probeta del molde.

Extraída la probeta del molde se identifica designándola con letras o números escritos en cada cara con la tiza grasa. Hecho esto se coloca sobre una superficie lisa y bien ventilada.

Debe moldearse un mínimo de tres probetas por cada % de C. A. repitiendo exactamente las operaciones indicadas anteriormente.

Procedimiento de Rotura

Las probetas se ensayarán recién el día siguiente como mínimo de efectuada su elaboración

Se determina la altura de cada probeta por medición directa mediante un calibre de 0,1mm de aproximación con el que se miden las alturas correspondientes a los extremos de dos diámetros perpendiculares entre si. El promedio aritmético de las cuatro lecturas da la altura de la probeta.

Se pesan las probetas y se determina a continuación el peso unitario de probetas de mezclas asfálticas compactadas siguiendo el método establecido en la Norma.

Se sumergen las probetas en el baño de agua caliente a la temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, manteniéndolas sumergidas sobre un período de tiempo comprendido entre 30 y 40 minutos.

Las probetas se ensayan aplicando las cargas en sentido diametral por medio de un dispositivo compuesto de dos mordazas semicirculares cuyas dimensiones están especificadas.

Comprobando que las superficies interiores de los arcos de las mordazas tienen la forma correcta y están perfectamente limpias y las varillas guías bien lubricadas se retira del baño termostático la probeta a ensayar, cuidando de no deteriorarla con golpes o excesiva presión de los dedos, y se coloca sobre la mordaza inferior centrándola exactamente, insertando luego en las varillas guías la mordaza superior. Se lleva, el conjunto a la prensa de ensayo y se acciona suavemente la manivela o el motor hasta notar que el compactador extensométrico de carga comienza a moverse. Se ajusta entonces el comparador extensométrico de deformaciones llevando se lectura a 0.

Inmediatamente se hace funcionar el motor de la prensa o se acciona la manivela si es manual, cuidando que la velocidad de aplicación de las cargas se mantenga constante a razón de 50,8 mm/minuto hasta el instante en que el comparador extensométrico de carga se detiene o invierte su marcha. Se lee en ese momento el máximo alcanzado. Este valor expresado en kilogramos es la carga de rotura de la probeta ensayada, que servirá para calcular el valor de la estabilidad. En el mismo instante que la probeta alcanza la máxima carga debe leerse en el dial indicador del comparador extensométrico de deformaciones, la deformación total sufrida por la probeta. Este valor expresado en mm determina la fluencia de la probeta.

Desde el momento en que se extrae la probeta del baño de agua caliente hasta el fin del ensayo, no debe transcurrir un período de tiempo superior a los 30 segundos.

Si se utiliza una prensa con aro dinamométrico para el registro de cargas, debe calibrarse el aro determinándose el factor correspondiente.

7. Ensayos por el Método Marshall ejecutados en el IMS

Anteriormente explicado en detalle en que consiste y como es el procedimiento de ensayo, se lo utilizó en diferentes condiciones modificando variables y materiales con el fin de determinar características y conclusiones de comportamiento.

Este proceso está detallado en la Norma en condiciones ideales, se elige explicarlo como fue ejecutado realmente en el laboratorio del Instituto de Materiales y Suelos siempre cumpliendo con lo estipulado en la normativa.

7.1 Primera Etapa de Ensayos: Asfalto vs. “Liganus”, con P. Triturada

El objetivo fue comparar el ligante polimérico con el asfáltico en igualdad de condiciones tanto de áridos como en porcentaje de ligante. Se realizó el moldeo y luego la rotura comparando estabilidad, fluencia y peso unitario.

Para esta primera batería de probetas se optó realizarlas con las siguientes condiciones:

Fueron seis probetas tres con ligante asfáltico y las restantes con ligante polimérico “Liganus”. Además, se utilizó como árido la piedra partida conseguida y ya corregida para ambas probetas. Con respecto al porcentaje de ligante fue de 4,8%, este valor fue tomado inicialmente y obtenido de ensayos realizados a ligante polimérico en la Universidad Nacional de La Plata.

La primera tarea fue la separación en platos metálicos de los agregados según los porcentajes de la mezcla calculada, para la piedra triturada fueron de 54,9% de grava y de 45,1% de arena. Como peso para cada probeta se tomó 1200gr en donde se contabiliza árido y ligante, se restan los 4,8% de los 1200gr y el restante se distribuye en la grava y la arena.

Ensayo Marshall		
Muestra	1200	gr
% Ligante	4,8	%
	57,6	gr
Muestra sin Ligante	1142,4	gr
Agreg. Grueso	54,9	%
	627,2	gr
Agreg. Fino	45,1	%
	515,2	gr



Pesaje de Grava y Arena para una probeta.



Muestras iguales listas para 6 probetas, pesadas y rotuladas.

Lo anterior, sumado a dejar en estufa el ligante asfáltico 24hs fueron las tareas previas al día del moldeo.

Al día siguiente una hora previa al mezclado y moldeo se introducen en estufa cada plato con su muestra pesada y todo el instrumental de manipuleo del asfalto como cucharas, espátulas, recipientes, moldes, collarín, etc. Esto tiene como objetivo que a la hora del mezclado se pierda la menor temperatura posible. Cabe aclarar que la estufa se encuentra a 160°C por lo que el manipuleo se realiza con precaución y elementos de seguridad como guantes especiales y antiparras.

En el mismo sector donde está alojada la estufa (por un tema de pérdida de temperatura) se instala la balanza con su protección por la alta temperatura y un trípode con una placa metálica sumado a un mechero en la parte inferior que mantiene caliente a esta última, acá se realiza el mezclado una vez incorporado los gramos de asfalto.

Al lado del trípode debe realizarse el llenado del molde con la colocación de papeles de filtro, su correspondiente acomodamiento y luego es llevado al pedestal de compactación.

Como se puede observar es un procedimiento que tiene que ser rápido para mantener el calor, debido a que el enfriamiento del asfalto logra que pierda sus propiedades y comience a endurecerse.

El proceso comienza sacando un plato metálico de estufa, el asfalto y el recipiente semiesférico. Con esto se va a la balanza se vuelcan los agregados y se coloca el asfalto hasta lograr los 1200gr acordados. Luego se va a la placa metálica con el mechero donde se procede al mezclado junto con cuchara y espátula (que estuvieron en estufa) después de lograr una mezcla homogénea en aproximadamente 1 minuto se vuelca en un molde sacado de estufa junto con el collarín y la base. El material se incorpora de a capas y es acomodado con la espátula, los papeles de filtro van encima y por debajo.

El paso siguiente al mezclado y moldeo es realizar la compactación, en el Instituto se cuenta con una máquina que automatiza la caída y el golpe de la pesa a través de una cadena y un motor, se coloca el molde se asegura y se cuentan los golpes. Luego de 75 impactos se saca el molde se invierte, se vuelve a colocar la base y el collarín y se golpea nuevamente con 75 golpes la otra cara. Pasado esto se retira el molde y coloca en agua unos minutos para su posterior desmolde, así con las 3 probetas programadas.



Balanza con placa de protección



Trípode con placa metálica, garrafa con mechero y espátula con cuchara



Vertido de asfalto en recipiente con agregados, se hace llegar el pesaje a los 1200grs.



Recipiente semiesférico con grava, arena y asfalto listo para mezclado.



Mezclado de concreto listo para moldeo.



Pedestal de compactación con molde posicionado.



Enfriado de probetas en agua para desmolde.



Marco rígido con gato hidráulico en proceso de desmolde.

Luego de realizar las probetas de ligante asfáltico, se ejecutó el desmolde en las instalaciones del IMS por medio de un marco rígido y gato hidráulico, se ejercía presión de manera gradual lo que extruía la probeta del molde. Paso siguiente se lavaron los elementos para ser utilizados con el ligante polimérico. La diferencia principal entre ambos procesos es que no se necesita altas temperaturas, “Liganus” se trabaja a temperatura ambiente por lo tanto el proceso es más rápido y con menos preparativos.

Elaboración de probetas con “Liganus”

Para comenzar se volcó en el semiesférico el agregado y tarado en la balanza se incorporó el ligante especificado junto con una dosis de agua correspondiente a la mitad de la absorción de los áridos, luego se procede al mezclado con la cuchara durante 1 minuto. Pasado esto se incorpora en el molde se acomoda y distribuye colocando papeles de filtro, se lleva al pedestal de compactación y se procede de la misma manera que con el asfalto.

La incorporación de agua a la mezcla es para que los áridos en estado seco no quiten agua a la emulsión, perjudicando el correcto mezclado y trabajabilidad de la mezcla. Una vez finalizado todo el proceso a diferencia del ligante asfáltico no es posible desmoldar en el momento ya que no influye la temperatura en el endurecimiento sino el secado de la muestra al aire, eliminando el contenido de agua. Es por ello que se esperó 24hs para hacerlo.



Ligante polimérico en estado puro.



Incorporación de ligante a los agregados.



Mezclado finalizado y llenado de molde con collarín.



Pedestal con molde y pesa.



Probetas de asfalto desmoldadas y probetas de “Liganus” recién terminadas con su molde.



Probetas desmoldadas a las 24hs.

Se observa a simple vista la diferencia de color, el asfalto con su color característico negro o marrón oscuro y las del ligante polimérico con un color amarillo o marrón claro producto del árido. Este último es incoloro, es por eso que adapta el color de los demás componentes de la mezcla ya sea de los agregados o de algún aditivo que posea.

Luego del desmolde se procedió a la medición de cada probeta por medio de un calibre en donde se toman 2 o más medidas del diámetro y de la altura para promediarlas y así obtener el volumen. Se lleva a balanza para obtener su peso y de esta manera calcular el peso unitario.



Probetas con Ligante Asfáltico				4,8%							
1)	Peso=	1196,72	gr	2)	Peso=	1200,31	gr	2)	Peso=	1197,31	gr
	Alto=	6,16	cm		Alto=	6,19	cm		Alto=	6,16	cm
	Diam.=	10,14	cm		Diam.=	10,12	cm		Diam.=	10,15	cm
	Volumen=	497,4	cm3		Volumen=	497,9	cm3		Volumen=	498,4	cm3
	P.U=	2,406	gr/cm3		P.U=	2,411	gr/cm3		P.U=	2,402	gr/cm3
					P.U prom	2,406	gr/cm3				

Probetas con Ligante Polimérico				4,8%							
1)	Peso=	1173,52	gr	2)	Peso=	1173,97	gr	2)	Peso=	1171,21	gr
	Alto=	6,17	cm		Alto=	6,12	cm		Alto=	6,05	cm
	Diam.=	10,14	cm		Diam.=	10,17	cm		Diam.=	10,15	cm
	Volumen=	498,3	cm3		Volumen=	497,1	cm3		Volumen=	489,5	cm3
	P.U=	2,355	gr/cm3		P.U=	2,361	gr/cm3		P.U=	2,393	gr/cm3
					P.U prom	2,370	gr/cm3				

Analizando los resultados logrados, si se observan las alturas de las probetas, para el caso del ligante polimérico son menores en promedio que las de asfalto, se podría concluir que se compactaron en mayor medida y por lo tanto su peso unitario es mayor. Esto no es así porque “Liganus” es una emulsión que está compuesta por un 50% agua y un 50% de químicos, la eliminación del agua antes nombrada más la agregada a los áridos disminuye el peso de la probeta entonces si bien las alturas son menores el peso disminuye en mayor proporción, lo que da como resultado, un peso unitario menor al asfalto. Este último no contiene agua y solidifica por disminución de temperatura es por ello que los pesos de esas probetas rozan los 1200gr originales.

De igual forma los valores de densidad obtenidos para cada ligante son muy cercanos y podrían igualarse o invertirse modificando variables en cada material. Cabe aclarar que el 4,8% de ligante asfáltico no es el óptimo para ese concreto.

Rotura de Probetas

A los 7 días de realizadas las probetas se llevaron a la rotura para determinar la estabilidad y la fluencia, se utilizó la máquina Universal (CIFIC) del Instituto de Materiales y Suelos.

Para realizar esta parte del ensayo según norma las probetas deben estar sometidas a 60°C en agua durante 30 a 40 minutos, al mismo tiempo los elementos de sujeción deben estar en estufa a igual temperatura para no perder el clima de ensayo.

Se colocaron las seis probetas en una olla metálica con agua a 60°C y fue llevada a estufa la cual estaba a la misma temperatura, durante 40 minutos. Los elementos de sujeción como mordazas también estaban alojadas en la misma. Pasado el tiempo se llevó todo lo necesario a la máquina para proceder a la rotura, la idea es realizar todo en el menor tiempo posible para que las últimas probetas no hayan perdido demasiada temperatura.

Se utilizó un flexímetro para medir la fluencia o deformación, el aparato estaba ubicado en las mordazas las cuales se les colocó un papel para que la probeta no se pegara a la misma durante el ensayo.

Se ubica la probeta en las mordazas y esta última en la máquina, primero se comenzó por las probetas de ligante polimérico. La máquina trabaja por rangos o intervalos de carga, al momento del ensayo estaba entre los 500 a 1500kg suficiente para probetas de asfalto. El problema estuvo en que llegó a los 1500kg, pero la probeta de “Liganus” no rompía, por lo que el laboratorista tuvo que modificar el intervalo hasta los 2500kg interrumpiendo el primer ensayo. Volviendo a la aplicación de la carga se produjo la rotura correspondiente, de esta manera se siguieron con las 2 probetas restantes. Luego para las de asfalto se disminuyó el rango para tener más precisión y se determinó la rotura de las probetas de asfalto.

Con respecto a la fluencia no hubo inconvenientes y para cada probeta se anotaba la rotura y las vueltas del flexímetro ya que representaba 1mm cada una.

Máquina Universal CIFIC: posee características muy similares a la máquina Universal Amsler.

- Capacidad de 5 toneladas.
- Escalas intermedias de 0.5, 1 y 2.5 toneladas.
- Consta solamente de 2 cabezales.
- Productor de esfuerzos mecánicos.
- No posee registrador de diagrama de esfuerzo – deformación.



Probetas y elementos de sujeción en estufa.



Máquina Universal en pleno ensayo.



Probeta polimérica lista para ensayo.



Probeta de asfalto lista para ensayo.

El índice Marshall puede indicar si una mezcla es rígida y quebradiza (valor alto), plástica o débil (valor bajo) o una mezcla intermedia entre las nombradas. La DNV limita entre 2,5 a 4,5kn/mm este índice para mezclas asfálticas. Analizado con el ligante polimérico arroja un valor de 6,9kn/mm sobrepasando los límites si bien son específicos para otro tipo de material, da como resultado una mezcla quebradiza. Estos valores deberían adaptarse a nuevos materiales como así normas y ensayos que permitan el mejor aprovechamiento, utilización y control del material.

7.2 Segunda Etapa de Ensayos: “Liganus” con C. Rodado.

Para el diseño de las nuevas probetas se utilizó el agregado canto rodado, el mismo ya analizado y diseñado su mezcla acorde a la Norma de la Dirección Nacional de Vialidad.

El objetivo para esta etapa es comparar el comportamiento de “Liganus” frente a otro tipo de árido respetando el porcentaje de ligante utilizado con la piedra partida además de las formas de moldeo y ejecución del ensayo sin necesaria aclaración.

Ambos agregados son distintos en varios aspectos como el origen, la geología y la forma entre otros, mencionados al principio de este informe. La única condición para este ensayo es que sus mezclas cumplan con los límites granulométricos de la DNV.

Recordando de los ensayos de la etapa anterior el contenido de ligante fue de 4,8% y el contenido de agua estuvo por debajo de la absorción. Esto mismo fue repetido para estas probetas.

Lo primero fue la separación en platos metálicos de los agregados según los porcentajes de la mezcla calculada, para el canto rodado fueron de 63,7% de grava y de 36,3% de arena. Como peso para cada probeta se tomó 1200gr en donde se contabiliza árido y ligante, se restan los 4,8% de los 1200gr y el restante se distribuye en la grava y la arena.

Ensayo Marshall		
Muestra	1200	gr
% Ligante	4,8	%
	57,6	gr
Muestra sin Ligante	1142,4	gr
Agreg. Grueso	63,7	%
	727,7	gr
Agreg. Fino	36,3	%
	414,7	gr



Muestras en proporciones de arena y grava según mezcla, peso 1200gr.



Moldes, collarín, base, pincel, cucharas y recipiente semiesférico.

El procedimiento es igual a la piedra partida explicado anteriormente, se colocan los 1200gr de áridos en el recipiente semiesférico. Luego llevado a la balanza se incorpora el ligante y con un rociador el agua, se mezcla durante un minuto.

Pasado esto se incorpora en el molde se acomoda y distribuye colocando papeles de filtro, se lleva al pedestal de compactación y se procede de la misma manera que con las probetas de piedra triturada.

En el momento de la compactación se sentía que el golpe de la pesa era más fuerte que en los ensayos anteriores, se dedujo que es resultado de un árido con mayor contenido de grava que de arena. Además, el agregado está formada por clastos de mayor tamaño que los del triturado, esto puede observarse en las curvas mezcla de cada material.

De las 3 probetas moldeadas solo dos no tuvieron inconvenientes en la compactación y la restante al invertirla para trabajar sobre la otra cara se desgranó, quedando material adherido al papel de filtro. Al ver esto se colocó un nuevo papel y se compactó la cara correspondiente, al terminar el proceso se notaba que la probeta no se ejecutó de manera correcta, pero se dejó en su molde para el secado.

Se observó una exudación de agua+ligante por partes, en la cara interna del molde algo no visto en las probetas anteriores. Se concluyó que pudo haber sido por falta de mezclado lo cual no permitió una correcta distribución del agua más el ligante en todo el árido, esto, sumado a que el canto rodado posee más porcentaje de partículas de grava que de arena a diferencia del triturado ocasionando un mal acomodamiento de las partículas y dificultando el compactado.

Al cabo de 24hs las probetas fueron desmoldadas esta vez a diferencia de la anterior se utilizó un marco extractor perteneciente al Laboratorio de Vías de Comunicación, el mismo se utiliza ubicando el molde en su posición exacta y por medio de una prensa dando vueltas una manivela va extrayendo la probeta del molde. Cuando se desmoldó la que falló en el compactado, se desmoronó como se preveía.



Incorporación de agua mediante rociador.



Mezclado de áridos, ligante y agua.



Colocado de muestra en molde junto con papel de filtro y collarín.



Falla de probeta, capa no adherida y despegada junto con papel de filtro.



Estado de la probeta compactada luego del fallo.



Probetas moldeadas, se observa en la del medio la marca de exceso de agua en el interior del molde.



Desmolde de probeta con extractor.



Probetas desmoldadas.



Probetas de canto, color mas oscuro.

Se observa en comparación a los ensayos anteriores la diferencia en el color de las probetas para este caso un color más oscuro debido al árido utilizado. El contenido de caliza en el triturado daba una tonalidad más amarillenta, en el canto rodado la presencia de minerales oscuros y la transparencia del ligante dan una tonalidad diferente.

La probeta 3 la cual falló en su compactación se desmoronó ni bien se ejerció presión con el extractor. Como se detalló, los áridos apartados para esa probeta tenían en la grava mayor cantidad de partículas grandes cercanas a $\frac{1}{2}$ " más que a #4 lo que complicó el compactado. Además, el mezclado no favoreció a una distribución homogénea de todos los componentes, como experiencia para probetas posteriores se aplicará el agua antes del ligante, mezclando y humectando los áridos previamente.

Luego del desmolde se tomaron las medidas de diámetro y alto además del peso de las dos probetas logradas para determinación de su peso unitario.

Resultados:

Probetas con Ligante Polimérico			4,8%								
1)	Peso=	1190	gr	2)	Peso=	1194,3	gr	2)	Peso=	-	gr
	Alto=	6,47	cm		Alto=	6,47	cm		Alto=	-	cm
	Diam.=	10,17	cm		Diam.=	10,08	cm		Diam.=	-	cm
	Volumen=	525,6	cm ³		Volumen=	516,3	cm ³		Volumen=	-	cm ³
	P.U=	2,264	gr/cm ³		P.U=	2,313	gr/cm ³		P.U=	-	gr/cm ³
					P.U prom	2,289	gr/cm ³				

Conclusión sobre Pesos Unitarios logrados:

Se determinó que el peso unitario de las muestras de ligante polimérico y canto rodado son menores que las densidades de las muestras de piedra partida. Si analizamos en detalle las alturas de cada tipo de probeta, las de canto rodado son mayores de forma considerable (6,47cm vs 6,12cm), esto demuestra la menor compacidad y trabazón del canto rodado frente al triturado debido a la forma y características de cada uno.

Además, la menor cantidad de finos en la mezcla en comparación a la roca partida perjudica al llenado de poros por lo tanto menos compacidad y un menor peso unitario 2,29 gr/cm³ vs. 2,37 gr/cm³.

Rotura de Probetas:

A los 7 días de ejecutadas las probetas se llevaron a la Máquina Universal (CIFIC) para su rotura, repitiendo el proceso anterior se colocaron las dos muestras en una olla con agua a 60°C y fue llevada a estufa durante 35min a la misma temperatura.

Cumplido el tiempo se retiró la olla con las probetas y las mordazas de la estufa, se llevaron a la máquina. Se armó el molde con las mordazas, los papeles, el flexímetro y la primera probeta. Se ensayaron ambas probetas midiendo su estabilidad y fluencia. No hubo inconvenientes durante el ensayo.



Esto no quiere decir que el árido canto rodado es malo para utilizarse con el ligante polimérico, sino que debe adaptarse la composición de la mezcla al agregado elegido. En donde varía el porcentaje de ligante, la cantidad de agua y la combinación entre arena y grava. Luego de un análisis y estudio se debe lograr que la mezcla o concreto resultante de la mayor resistencia.

Con respecto a la deformación, en promedio se mantuvo levemente por debajo pero manteniendo los 3mm, demostrando una gran fluencia a una carga relativamente baja. Esta plasticidad es producto de un exceso de ligante en comparación con la cantidad de agua para el agregado utilizado.

Lo anterior viene de la mano con el valor del índice Marshall obtenido de 2,37kn/mm demostrando una mezcla débil y plástica que para una probeta de asfalto no sería aceptada.

7.3 Tercera Etapa de Ensayos: “Liganus” con C. Rodado y “Liganus” con P. Triturada, Mejorados.

Para esta tercera y última etapa se definieron las condiciones de ensayo de acuerdo a lo obtenido en las etapas anteriores. En base a esos valores se modificaron variables para lograr mejores resultados con el ligante polimérico en ambos tipos de áridos.

La idea es tomar los resultados de los ensayos de “Liganus” con piedra partida y con canto rodado, cambiando en cada caso el porcentaje de ligante y el contenido de agua para analizar cómo afectan esas modificaciones a la estabilidad, a la fluencia y al peso unitario antes determinados.

Para el caso de la **piedra partida** se pasó el contenido de ligante de 4,8% a 4% disminuyéndolo notablemente y con respecto al contenido de agua se agregó la cantidad correspondiente a la absorción de cada parte (de grava y arena) de manera exacta. Para recordar, antes el agua fue la mitad de la absorción.

Para el **canto rodado** basado en los ensayos y resultados anteriores se disminuyó el ligante de 4,8% a 4,5% y el contenido de agua fue el valor de la absorción total del agregado, incorporado de manera precisa.

El objetivo para este caso es en primer lugar ejecutar con éxito las 3 probetas sin tener inconvenientes en el compactado y segundo elevar los valores de estabilidad que fueron bajos, primeramente. En resumen, es mejorar las variables para lograr una mejor mezcla con el árido nombrado.

Además, a diferencia de las etapas anteriores primero se mezcló el árido con el agua y ya con los agregados humectados de manera homogénea, se incorporó el ligante. Anteriormente se mezclaba todo al mismo tiempo, lo que no generaba una mezcla uniforme y empeoraba la trabajabilidad.

Para empezar, se separaron en platos metálicos los agregados según los porcentajes de la mezcla calculada, para el canto rodado fueron de 63,7% de grava y de 36,3% de arena. Para la piedra partida fueron 54,9% de grueso y 45,1% de fino. Como peso para cada

probeta se tomó 1200gr en donde se registra árido y ligante, se restan para un caso 4,8% y para otro 4% de los 1200gr y el restante se distribuye en la grava y la arena.

Ensayo Marshall C. Rodado			Ensayo Marshall P. Triturada		
Muestra	1200	gr	Muestra	1200	gr
% Ligante	4,5	%	% Ligante	4	%
	54	gr		48	gr
Muestra sin Ligante	1146	gr	Muestra sin Ligante	1152	gr
Agreg. Grueso	63,7	%	Agreg. Grueso	54,9	%
	730,0	gr		632,4	gr
Agreg. Fino	36,3	%	Agreg. Fino	45,1	%
	416,0	gr		519,6	gr



Muestras separadas de ambos agregados.

El procedimiento de mezclado y moldeo es prácticamente igual que el de las etapas anteriores solo con pequeñas diferencias, se agregó el agua de absorción previamente al ligante. De esta manera se humecta por completo el agregado y no consume agua de la emulsión mejorando la trabajabilidad y favoreciendo el compactado.

El agua de absorción fue determinada de acuerdo al peso de cada parte y según los cálculos de las constantes físicas para cada árido detallados al principio de este informe. La misma fue incorporada con una jeringa para tener una precisión suficiente.

Gramos de agua correspondientes a los 1200gr de muestra para ensayo:

Canto Rodado		
Abs. Grava	2,63	gr
Abs. Arena	4,78	gr
Total	7,41	gr

Piedra Triturada		
Abs. Grava	3,04	gr
Abs. Arena	7,90	gr
Total	10,93	gr

Luego de la correcta humectación se sumó el ligante polimérico en la dosis correspondiente a través de una balanza, se produjo el mezclado durante 1 minuto y luego el llenado de los moldes con su acomodamiento.

Se comenzó con las muestras de canto rodado y al momento de compactar se notó una mejoría en su estado, aunque el molde quedó levemente exudado. La textura y la dureza de la probeta al finalizar los golpes fue la esperada. Así se procedió con la primera y la segunda muestra, pero a la tercera se le decidió no incorporar agua, sino solamente ligante en el porcentaje definido, con los áridos en estado seco. Se pudo notar la disminución de la trabajabilidad como era de esperar, pero la incertidumbre estaba en como afectaba a la estabilidad, deformación y densidad.

Para realizar las probetas con el triturado teníamos el inconveniente de la falta de moldes, el Instituto de Materiales y Suelos solo posee 3 que fueron utilizados con el canto rodado y no podían desmoldarse en el momento como con el asfalto, sino a la espera de 24hs. Es por ello que se utilizaron moldes del Laboratorio Vial el cual solo eran 2 con sus respectivos collarines. De manera fortuita para poder moldear todas las probetas el mismo día nos vimos obligados a desmoldar una de las recientemente realizadas, se eligió la probeta sin incorporación de agua ya que iba a requerir menor tiempo de fraguado y se observaba bastante seca. Se desmoldó sin problemas y ya teníamos los tres moldes necesarios para usar con el otro agregado.

Paso siguiente se moldearon las probetas de la misma forma que las anteriores se mezcló, moldeó y compactó todo sin inconvenientes.

Al cabo de las 24hs se desmoldaron las cinco probetas restantes por medio del extractor del Laboratorio de Vías de Comunicación, ninguna extracción falló o presentó desprendimientos. Se tomaron las correspondientes medidas de su diámetro y alto sumado al peso para el cálculo de la densidad de cada una.



Árido humectado con agua de absorción.



Mezcla con ligante ya incorporado.



Incorporación de ligante, muestra sin agua.



Mezcla con ligante y sin agua. Menos brillante que la anterior.



Probeta 1, marca de exudación en el molde.



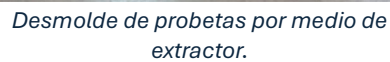
Probetas ejecutadas con canto rodado, se observa sequedad de la 3 y el despegue del papel.



Desmolde a los minutos, sin problemas.



Muestras de triturado humectadas

[illegible]



Muestras previas a ensayo, se puede observar la diferencia de color. Superiores triturado e inferiores canto rodado.

Probetas con Ligante Polimérico			4,5%								
1)	Peso=	1195,9	gr	2)	Peso=	1199,4	gr	2)	Peso=	1185,7	gr
	Alto=	6,31	cm		Alto=	6,3	cm		Alto=	6,59	cm
	Diam.=	10,15	cm		Diam.=	10,13	cm		Diam.=	10,15	cm
	Volumen=	510,6	cm3		Volumen=	507,7	cm3		Volumen=	533,2	cm3
	P.U=	2,342	gr/cm3		P.U=	2,362	gr/cm3		P.U=	2,224	gr/cm3
			P.U prom 2,352								
	Rotura=	2000	kg		Rotura=	1500	kg		Rotura=	1150	kg
	Fluencia=	3,35	mm		Fluencia=	3,2	mm		Fluencia=	3,8	mm
		Promedio	Rotura=	1750,0	kg						
			Fluencia=	3,28	mm						

Rotura=	17,2	KN	Relacion E/F=	5,24	KN/mm
Fluencia=	3,28	mm			

Rotura=	11,3	KN	Relacion E/F=	2,97	KN/mm
Fluencia=	3,80	mm			

Tabla Resumen de Probetas Ejecutadas en Laboratorio

Probetas para Ensayo por el Método Marshall											
Etapa	N°	Tipo de Ligante	Tipo de Árido	% Ligante	Contenido de Agua	Falló	Desmolde	Peso Unitario (gr/cm3)	Rotura (días)	Estabilidad (kg)	Fluencia (mm)
1°	1	Asfalto	Piedra Triturada	4,8	-	No	Inmediato	2,406	7	1300	3,4
	2	Asfalto	Piedra Triturada	4,8	-	No	Inmediato	2,411	7	1350	3,65
	3	Asfalto	Piedra Triturada	4,8	-	No	Inmediato	2,402	7	1450	3,2
	4	Liganus	Piedra Triturada	4,8	Media Absorción	No	24hs	2,355	7	2300	3,6
	5	Liganus	Piedra Triturada	4,8	Media Absorción	No	24hs	2,361	7	2400	3,8
	6	Liganus	Piedra Triturada	4,8	Media Absorción	No	24hs	2,393	7	2550	2,9
2°	7	Liganus	Canto Rodado	4,8	Media Absorción	No	24hs	2,264	7	625	3,2
	8	Liganus	Canto Rodado	4,8	Media Absorción	No	24hs	2,313	7	825	2,8
	9	Liganus	Canto Rodado	4,8	Media Absorción	Si	24hs	-	-	-	-
3°	10	Liganus	Canto Rodado	4,5	Absorción	No	24hs	2,342	7	2000	3,35
	11	Liganus	Canto Rodado	4,5	Absorción	No	24hs	2,362	7	1500	3,2
	12	Liganus	Canto Rodado	4,5	Cero	No	Inmediato	2,224	7	1150	3,8
	13	Liganus	Piedra Triturada	4,0	Absorción	No	24hs	2,408	7	2810	3,75
	14	Liganus	Piedra Triturada	4,0	Absorción	No	24hs	2,405	7	3200	3,85
	15	Liganus	Piedra Triturada	4,0	Absorción	No	24hs	2,445	7	3450	4,2

8. Resumen y Conclusión Ensayos Marshall

En este Trabajo Final “Análisis y Comparación de “Liganus”, ligante sintético de base polimérica, para pavimentación y el Asfalto”, al tratar un nuevo producto, abre un gran panorama para la investigación, modificando distintas variables y ejecutando diferentes ensayos. En esta comparativa con el asfalto y entre el mismo producto solo se limitó a un tipo de ensayo característico y a variables básicas dentro de las capacidades de los laboratorios, del autor y de los tiempos limitados para realizarlo.

En base a las tres etapas de ensayos realizadas que en su totalidad se moldearon y ejecutaron 15 probetas para analizar por el método Marshall se llegó a conclusiones y definiciones varias, comparando y modificando diferentes aspectos entre asfalto y “Liganus” y entre el mismo ligante formado por polímeros.

De las 15 probetas, 3 fueron con ligante asfáltico y 12 con ligante polimérico, en donde se modificó el tipo de árido, la cantidad de agua, la proporción de ligante y la forma de mezclado, en diferentes aspectos de acuerdo a cada ensayo.

Comentando sobre el concreto asfáltico el que posee en promedio valores de rotura entre los 800 a los 1500kg y de fluencia entre los 3 a 4mm logrando el porcentaje óptimo de ligante, se observa de manera sencilla que es superado ampliamente por una mezcla en donde su ligante es en base a polímeros.

De acuerdo a las últimas probetas realizadas con roca triturada que fue el árido elegido para combinar con el asfalto se logró superar en un 170% la capacidad a la rotura y en un 25% a la deformación o fluencia. Es un dato no menor, que se utilizó menor cantidad de ligante, dejando planteada la duda si la reducción aún puede ser mayor.

Este nuevo material en comparativa técnica supera al ligante asfáltico cómodamente de acuerdo a los ensayos realizados, además puede sumarse la facilidad en cuanto a su manipuleo sin necesidad de altas temperaturas.

Una ventaja determinada a favor del asfalto es la velocidad de endurecimiento por disminución de temperatura lo que permite en laboratorio el desmolde instantáneo de probetas y en obra la liberación inmediata al tránsito, algo más tardío en la polimerización de la emulsión.

Ya en comparativa con las variables modificadas a las probetas de “Liganus”, se llegó a distintas deducciones de su comportamiento y cuales benefician o favorecen a cumplir con mejores características técnicas.

En primer lugar, el ligante polimérico se comportó mejor con el uso de piedra triturada en comparación con el canto rodado, esto es consecuencia de la forma angulosa, el contenido de finos, la absorción de agua y la geología de la misma. Todo esto favorece a una mejor trabazón entre granos lo que implica un mejor compactado y resistencia.

La comparación anterior fue en igualdad de condiciones utilizando una mezcla de agregados dentro de los límites de vialidad, el contenido de agua por debajo de la absorción

de cada uno y el mismo porcentaje de ligante correspondiente a 4,8%, dato obtenido de estudios hechos a “Liganus” en la Universidad Nacional de La Plata.

La ventaja no solo estuvo en la mejor compactación, por ende peso unitario, sino también en los valores de rotura y deformación en todos los ensayos realizados. Si bien, por una cuestión económica y de abundancia es más utilizable el canto rodado en la Provincia de San Juan, éste combinado con la emulsión sigue superando al concreto asfáltico en menor proporción que el triturado.

Siguiendo con los ensayos se decidió enfocarse en cada mezcla con polímeros y áridos con la idea de mejorar los resultados obtenidos, anteriormente. Para la roca partida se disminuyó el ligante a 4% y para contrarrestar ese faltante se aumentó el agua al nivel de absorción correspondiente. Los resultados sorprendieron porque mejoró notablemente el peso unitario, estabilidad y fluencia como fue demostrado antes.

Al parecer la disminución del ligante aumentó la resistencia, pero realmente no fue así, lo que sucedió fue que, a menor contenido de ligante, la polimerización o lo que sería el endurecimiento en el betún, es más rápida por lo tanto se llega a valores más altos de resistencia en el mismo tiempo. Cabe aclarar, que todas las probetas realizadas fueron ensayadas a los 7 días.

Puede suponerse que analizando a un tiempo superior por ejemplo 28 días una probeta de mayor contenido de “Liganus” tendría una resistencia mayor que una de menor proporción.

Con respecto al canto rodado y “Liganus” luego de las primeras probetas realizadas de las cuales una falló y las restantes dieron valores bajos de estabilidad, inclusive inferiores a los números promedio del concreto asfáltico, se logró revertir esa situación con modificaciones en el aumento del agua y la disminución del ligante.

Por un lado, se concluye lo anteriormente dicho en cuanto al aumento de resistencia con menor contenido de “Liganus” pero además como la disminución del ligante no fue importante se deduce que existe una combinación óptima entre contenido de agua y emulsión la cual arroja valores superiores. Esta combinación debe lograrse de acuerdo al tipo de árido que se utilice y a las diferentes condiciones por ejemplo tiempos de endurecimiento necesarios, temperatura y humedad del ambiente, entre otras.

Una prueba más de lo deducido es lo logrado con la probeta sin contenido de agua, pero con la misma cantidad de ligante (4,5%) la cual arrojó una resistencia superior a las probetas con agua y 4,8%, pero inferior a sus compañeras que tenían contenido de agua y el mismo porcentaje de ligante polimérico.

Un dato provisto por el creador de la emulsión es que el contenido de agua del “Liganus” y la velocidad de polimerización son variables que fija el fabricante y las puede modificar según el destino de la obra y el lugar de emplazamiento.

Además, si el contenido de agua es excesivo la probeta en su etapa de compactado eliminaría el agua excedente arrastrando con ella el ligante lo que disminuiría el contenido del mismo y por lo tanto la resistencia final.



Para concluir este nuevo producto en base a polímeros supera ampliamente al ligante asfáltico a partir de los ensayos ejecutados en los laboratorios mencionados. Desde el punto de vista de la resistencia y de la deformación, dando valores muy superiores sometiendo las probetas a las mismas cargas.

Una ventaja muy importante es el transporte, manipuleo y colado a temperatura ambiente del ligante polimérico frente al asfalto el cual necesita temperaturas muy elevadas. Mas allá de la ventaja de no necesitar protección especial o herramientas y maquinas preparadas, la mayor diferencia se hace desde el punto de vista económico al no necesitar el permanente consumo de combustibles para conservar el calor en todo momento, además beneficia al medio ambiente reduciendo la generación de dióxido de carbono.

Como inconveniente para “Liganus” o ventaja para el asfalto son los tiempos de endurecimiento, en una obra vial son primordiales, principalmente para la liberación del tránsito. Para el ligante asfáltico en cuestión de minutos esto se logra, en cambio es todavía material de estudio la aplicación del ligante polimérico y su proceso de secado fuera de un laboratorio.

Esta problemática puede enfrentarse desde el lado de la química y los componentes de la emulsión, lo cual está en desarrollo. Además, se debe analizar el compactado, polimerizado y endurecimiento del ligante en obra, ya sea en una pavimentación nueva, repavimentación o en un bacheo.

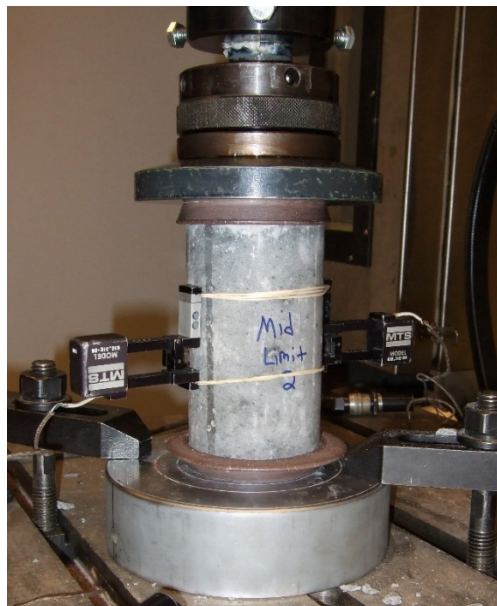
Este nuevo ligante tiene aspectos suficientes para reemplazar al asfalto, pero todavía está en investigación y mejora para salir realmente competir. Esto lograría un gran avance en la ciencia de los materiales y en el cuidado del medio ambiente, hoy en día tan importante.

9. Ensayo de Resistencia a Compresión

Este ensayo es característico de los hormigones o concretos de ligante cementicio, se utiliza como verificación de la resistencia mecánica del material colocado en obra.

Es un control de conformidad que se basa en la realización de ensayos normalizados que miden las propiedades del hormigón especificadas en los documentos del proyecto. Dichos ensayos se deben realizar a partir de muestras extraídas de la planta elaboradora y/o a pie de obra bajo la responsabilidad del director de obra.

Para verificar la resistencia del hormigón colocado se deben realizar ensayos de resistencia de rotura a la compresión utilizando probetas cilíndricas normales de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, las que deben ser moldeadas y curadas de acuerdo con lo establecido en las normas IRAM 1534 o 1524. Las probetas deben ser ensayadas a compresión hasta la rotura, de acuerdo con lo establecido por la norma IRAM 1546.



Probeta de hormigón durante ensayo a la rotura.

IRAM 1524 - Preparación y Curado de Probetas en Obra.

Moldeo:

Sus dimensiones son: 30cm de altura y $\varnothing$ 15cm; se obtienen utilizando un molde metálico cilíndrico de dos partes sujetas por tornillos y una base también metálica ajustada mediante tornillos al cilindro, el interior del molde se unta con aceite para facilitar el desmolde; se llena 1/3 del molde con Hº y con varilla $\varnothing$ =16mm y punta roma se compacta con 25 golpes, se rellena hasta 2/3 compactando con varilla sin penetrar la capa inferior, se coloca la tercera capa repitiendo la operación de compactado y se enrasa con la varilla (Se debe determinar con anticipación el número de probetas a ensayar para conocer cuántos moldes

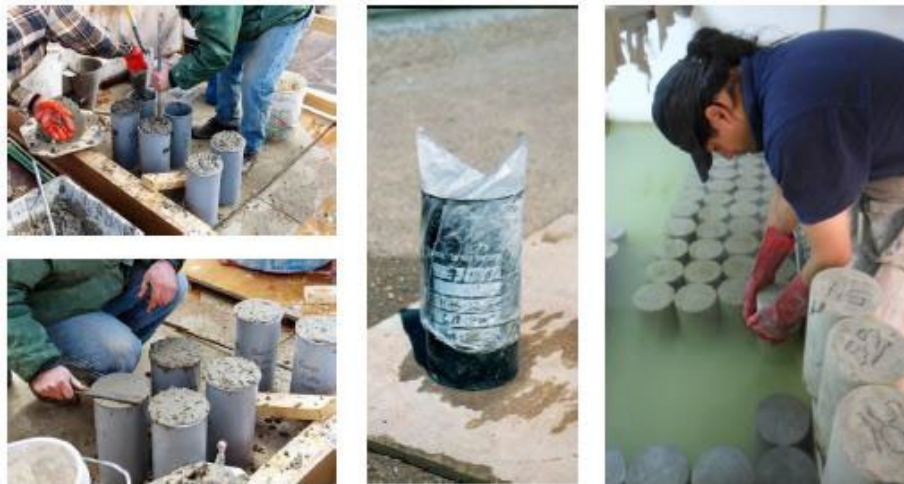
se utilizarán puesto que estos se ocupan durante 24hs y así prevenir la falta de moldes en momentos críticos de la obra).

Las probetas se mantienen en sus moldes durante un periodo mínimo de 24hs. En ese lapso no deberán sufrir vibraciones, sacudidas, ni golpes, se protegerá la cara superior con arpillera húmeda, lamina de polietileno o tapa mecánica y se mantendrá en ambiente protegido de inclemencias climáticas (calor, frio, lluvia, viento).

Curado:

Luego de desmoldar, las probetas, deben mantenerse en un medio ambiente con no menos del 95% de humedad relativa y a una temperatura de 21°C, con una tolerancia en más o menos de 3°C hasta el momento del ensayo de compresión. Si en obra no se dispone de cámara que permita mantener estas condiciones, entonces las probetas se llevan a curado en tachos con agua y una pequeña cantidad de cal para que el agua no absorba la cal que produce el cemento durante el fragüe, se debe tener especial cuidado de no colocar los tachos para el curado en lugares con temperaturas bajas para evitar el congelamiento del agua.

Estas probetas se rotulan en el momento de elaboración, esta etiqueta incluye la fecha de elaboración para determinar la edad de la probeta al momento de ensayar, el tipo de ensayo y la carga de rotura y a veces se coloca a que pieza estructural corresponde ese hormigón.



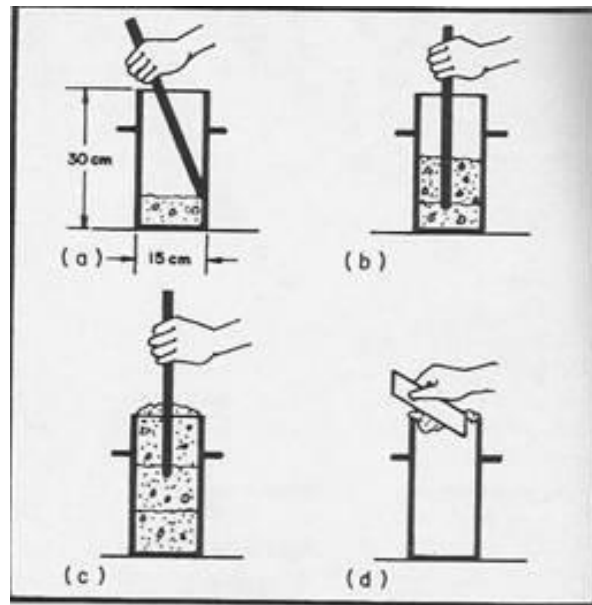
Llenado, desmoldeo y curado en obra de probetas.

IRAM 1534 - Preparación y Curado de Probetas en Laboratorio.

Moldeo:

El moldeo se efectúa colocando y compactando el hormigón en forma similar a la empleada para el ensayo de asentamiento que se realiza con el tronco de cono de Abrams.

Este procedimiento es válido solo para hormigones de 3cm o más de asentamiento; para mezclas más secas la compactación deberá efectuarse por vibración, ya sea mediante vibrador de inmersión (diámetro máximo del elemento vibrante: 25mm para probetas de 15 x 30).



Procedimiento de llenado de molde.

Curado:

Una vez transcurridas las primeras 24hs, se procede a desmoldar e inmediatamente se acondiciona la probeta para su mantenimiento hasta el momento de ensayo. Durante este periodo (7, 14 o 28 días) la probeta debe mantenerse en un medio ambiente con no menos del 95% de humedad relativa y a una temperatura de 21°C, con una tolerancia en más o menos de 1° C.

IRAM 1546- Ensayo de Resistencia a la Rotura por Compresión.

Por lo general se realiza el ensayo en probetas de forma cilíndrica de esbeltez igual a 2 (altura de la probeta/diámetro de la base). Esta esbeltez evita que las perturbaciones producidas por la fricción que se produce entre las superficies de contacto entre la probeta y la prensa afecten al tercio central de la probeta, pudiéndose considerar esta zona de la probeta sometida sólo a compresión sin confinamiento lateral. De esta manera se refleja correctamente la sollicitación uniaxial que se desea determinar.

Encabezado:

Previo al ensayo de compresión, deben prepararse las superficies de las bases del cilindro de manera que resulten paralelas entre sí y al mismo tiempo planas y lisas con las tolerancias de norma. Esto se consigue en forma muy sencilla, efectuando el procedimiento denominado encabezado.

Encabezado con placas elastómero: (IRAM 1709)

Para este método se necesita un par de retenes o discos de metal resistente a usos repetidos y un par de placas de elastómero, empleando casi exclusivamente neopreno para cada tamaño de probeta a ensayar. Cada una de las dos placas de neopreno de un espesor

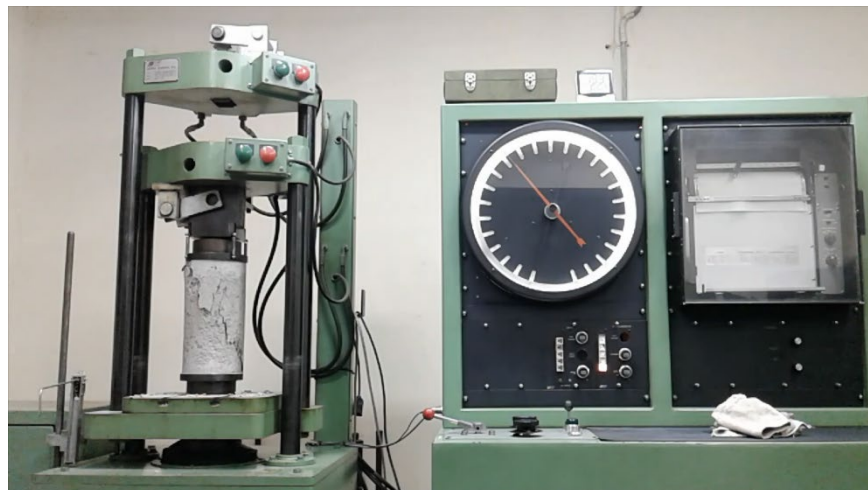
de ½” y de diámetro un poco menor al retén metálico se colocan dentro de los dos retenes o discos, ubicando la probeta entre las placas de neopreno, operación que demanda unos pocos segundos.



Encabezado de probeta.

Ejecución de ensayo de rotura por compresión:

Se utilizan prensas con capacidad de 100 a 150 toneladas. La velocidad de aplicación de la carga sobre la probeta tiene influencia importante en el resultado del ensayo; en efecto las cargas excesivamente rápidas, al no dar tiempo a la deformación de todas las partículas de la probeta, dan como consecuencia una carga de rotura artificialmente elevada; en cambio la carga excesivamente lenta provoca el efecto contrario. El ritmo de la velocidad debe mantenerse entre 250 y 600 kg por segundo para probetas de 15 cm de diámetro, a partir del 50 % de la carga de rotura.



Rotura finalizada de probeta de hormigón.

10. Ensayo de Resistencia a Compresión con “Liganus”

Como se detalló anteriormente este ensayo es característico del hormigón por lo que se toma con ciertas condiciones y recaudos para ponerlo a prueba con el ligante polimérico. El objetivo es comparar el comportamiento de la mezcla, moldeo, fraguado, desmolde y rotura de “Liganus” frente a lo ya conocido y estudiado que es el concreto de cemento.

Así como los ensayos por el Método Marshall permitieron la comparativa con asfalto o betún, el cual es el material más común en la pavimentación de caminos, se toma el ensayo a compresión para determinar similitudes y diferencias de la emulsión polimérica, con el hormigón que permite la pavimentación a menor escala.

Dicho esto, por medio de los laboratorios del Instituto de Materiales y Suelos y del Área Vial, se realizaron probetas en distintas condiciones a medida que se experimentaba y obtenían resultados. Luego, a determinada edad de las probetas, fueron sometidas a la rotura por compresión y con esto se concretaron las conclusiones de cada caso.

10.1 Primera Etapa de Ensayos: Probetas de “Liganus” con Moldes Metálicos Lisos

Para comenzar se optó por la utilización de moldes metálicos de 10cm de diámetro por 20cm de altura, lo cual da como resultado una esbeltez de 2 que es lo indicado por la norma.

Estos moldes pertenecientes al laboratorio del IMS constan de 2 mitades unidas por dos tornillos y una base que se fija a las mismas de igual manera, todo esto permite el desmolde de la probeta. Se eligieron esos moldes por una cuestión de disponibilidad del material a usar, tanto el árido como el ligante polimérico. Cabe aclarar que un molde de 15cm por 30cm necesita más de 3 veces el volumen de los utilizados.

El agregado elegido fue el canto rodado debido a que es el usado en los hormigones en la Provincia de San Juan a diferencia de la piedra partida de poco uso y más relacionado a pavimentos flexibles.

Con respecto a la dosis de ligante se utilizó el porcentaje adoptado por la Universidad Nacional de La Plata en sus pruebas, de igual forma que con los ensayos por el Método Marshall lo que corresponde a 4,8% respecto al peso de los materiales a usar en la mezcla.

Definido lo anterior se procedió a la separación del árido según la curva mezcla calculada y diseñada al comienzo de este informe, esto corresponde a 63,7% de grava y a 36,3% de arena.

Se calculó la cantidad de 3000gr necesarios para cada molde en donde se distribuyó entre grava, arena y ligante polimérico. Además, se incorporó agua a los agregados en total unos 42gr correspondiente al doble de la absorción de los mismos.

Este aumento de agua respecto a ensayos anteriores (ensayos Marshall) va por encima de la absorción con la intención de asimilar en cuanto a consistencia y asentamiento la mezcla con “Liganus” a un hormigón convencional.

Ensayo a Compresion C. Rodado		
Muestra	3000	gr
% Ligante	4,8	%
	144	gr
Muestra sin Ligante	2856	gr
Agreg. Grueso	63,7	%
	1819,3	gr
Agreg. Fino	36,3	%
	1036,7	gr
Agua Incorp.	42,03	gr
Absorción	18,5	gr

Se colocaron los pesos anteriores de grava y arena en una bandeja metálica junto con una parte del agua elegida para lograr el humectado de los áridos previo a incorporar el ligante. Se mezcló de manera homogénea y ya teniendo apartada la cantidad de emulsión, fue agregándose gradualmente junto con el resto del agua mientras se revolvía.

El mezclado se realizó con una cuchara de albañil con la intención de distribuir todo el ligante en la mezcla. Finalizado esto se llenó un molde con 3 capas y cada una con 25 golpes con varilla de 16mm de diámetro punta roma, tal cual especifica la norma.

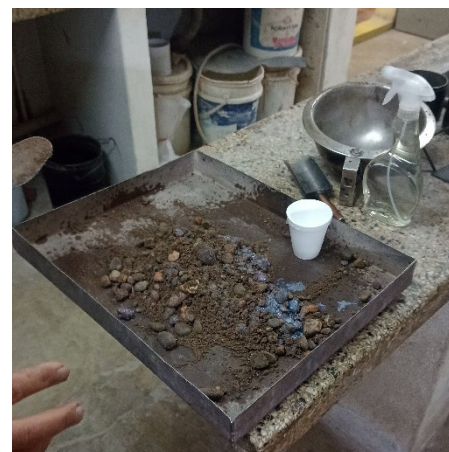
Para obtener una medida aproximada del asentamiento logrado se desmoldó la probeta en el mismo instante y se midió la consistencia. Se aclara que es una aproximación debido a que para la determinación exacta se utiliza el llamado Cono de Abrams, este ensayo consta de un molde tronco-cónico del mismo volumen que una probeta de 15cm de diámetro y 30cm de alto. Como no existe un tronco-cono del volumen de los moldes utilizados se usaron estos mismos.

Luego se volvió a moldear la probeta ya de manera definitiva y se dejó para su fraguado a temperatura ambiente sobre la mesada del laboratorio (no se llevó a la cámara de curado), cabe aclarar que el molde estaba bañado interiormente con aceite para facilitar el desmoldeo y no quede pegado el material.

Solo se realizó una sola probeta para analizar la mezcla lograda y su posterior fraguado, así concluir y modificar lo necesario para ejecutar nuevas muestras.



Canto Rodado para Probetas sometidas a Compresión. Arena y Grava.



Áridos humectados en bandeja metálica.



Mezcla lista para incorporar al molde.



Llenado y compactado por capas.



Medición de asentamiento, falla por corte.



Molde con aceite previo a moldeo definitivo.



Probeta moldeada, se observa transpiración por la base.

Analizando todo el procedimiento anterior y comparando con el hormigón hay una clara diferencia en la fluidez a favor de este último. La mezcla con “Liganus” es comparable con un concreto de baja relación agua/cemento (muy seco) el cual está en el límite inferior de asentamiento. En la imagen se observa que al desmoldar hubo una falla por corte desmoronándose en diagonal demostrando poca fluidez.

A la hora de moldear no hubo diferencias, pero a los minutos del llenado apareció en la base del molde transpiración de agua+emulsión, fue poca cantidad que luego secó. La duda estaba en si era exceso de agua o si el remezclado luego de medir el asentamiento no fue suficiente.

A las 24hs. se intentó desmoldar, a simple vista y tocando la probeta en la parte superior parecía endurecida, pero al aflojar los tornillos y mover la base se notaba falta de secado en el interior por lo que no pudo hacerse y se pospuso 24hs más. Al día siguiente se realizó el desmoldeo para constatar el estado y al quitar el molde la probeta se desmoronó por completo, el material estaba prácticamente sin endurecer.

Se observó que solo secó el material en contacto con el aire que era la parte superior, la misma estaba endurecida por completo formando una especie de “tapa” de aproximadamente 1,5cm de espesor. Esto generó un sellado de la probeta que no permitía la polimerización de la emulsión, es decir la eliminación del agua ya sea por la “tapa” nombrada y por el hermetismo del molde metálico, que no permitieron el contacto con el aire para que se produzca la evaporación del agua.

Este material sin polimerizar o sin proceso de secado se dejó distribuido en la misma bandeja hasta el otro día. A las 24hs se encontró totalmente seco, endurecido y adherido a la misma lo que necesitó de golpes para despegarlo.

Esto confirma que para su secado o mejor dicho el proceso de polimerización para endurecer se necesita expulsar el agua en contacto con el ambiente por medio de la evaporación.



Molde con tuercas aflojadas y base rotada.



Resultado del desmolde, deslizamiento de cilindro.



Se observa la “tapa” endurecida, el resto del material sin fragüe y en la base la exudación agua+ligante seca.



Bandeja en posición vertical, demuestra material adherido.

Segunda y Tercera Probeta: Moldes Metálicos Lisos

Durante las 48hs de espera para el secado de la primera probeta, se ejecutaron 2 más utilizando los mismos moldes metálicos. Como condiciones se adoptó el mismo árido canto rodado y la misma cantidad de ligante 4,8%. La diferencia estuvo en la dosis de agua incorporada, ésta fue mayor a la probeta anterior. La idea es lograr un asentamiento más parecido al hormigón que facilite su colado.

De esta manera se tomó como muestra total entre agregados y ligante 3100gr para cada una y la dosis de agua fue el triple de la absorción.

Ensayo a Compresion C. Rodado		
Muestra	3100	gr
% Ligante	4,8	%
	148,8	gr
Muestra sin Ligante	2951,2	gr
Agreg. Grueso	63,7	%
	1879,9	gr
Agreg. Fino	36,3	%
	1071,3	gr
Agua	57,55	gr
Absorción	19,1	gr

Para comenzar se colocaron en una bandeja metálica la cantidad de áridos para ambas probetas según las proporciones de la curva mezcla. Se separó en un vaso de vidrio el peso del ligante total y con los agregados humectados se incorporó gradualmente mientras se mezclaba con la cuchara de albañil.

Una vez homogeneizada la mezcla se llenó uno de los moldes según norma, en 3 capas de 25 golpes cada una para luego desmoldar y medir el asentamiento aproximado. Se obtuvo un valor de 10cm marcando una mejoría respecto a la primera probeta esto debido al aumento del agua. Sacando una relación en función de la altura del molde (20cm), el asentamiento medido corresponde a una mezcla “muy plástica”. Se aclara que la clasificación de la mezcla según la altura medida luego del desmolde es proporcional a una altura de molde de 30cm, es por eso el motivo de la relación.

Con esto medido se llenaron ambos moldes de la forma explicada y se dejó sobre mesada para su secado, se pudo notar que no hubo exudación del material a pesar de la mayor cantidad de agua demostrando el correcto mezclado.



Áridos humectados.



Pesado del ligante total.



Ligante incorporado a la mezcla.



Compactado de tercera capa.



Medición de asentamiento. 10cm.



De izquierda a derecha, orden de moldeo.

Pasado 5 días desde el momento de preparación de la segunda y tercera probeta se procedió al desmolde, cabe aclarar que dicha actividad en la primera muestra se hizo a las 48hs. Si bien la incorporación de agua fue mayor que el último caso; el tiempo para el desmolde fue más del doble y como resultado la probeta se desmoronó igual forma, se observó que se estaba formando una segunda tapa en la base del molde.

Esto se atribuye al motivo anterior, el sellado de la probeta debido al molde hermético y a la tapa de material endurecido formada en la parte superior. Esta evita la entrada de aire y eliminación de agua, es decir, la polimerización de la emulsión.

Ante la repetición de resultados a pesar de las modificaciones realizadas, se decidió remoldear utilizando el mismo material que no había secado por lo que se desmoldó la probeta restante, se apartaron las tapas endurecidas y se preparó el material para volver a moldear.

Como hubo cierta pérdida de agua+ligante ya sea en las tapas formadas o con la exudación al comienzo se incorporó a cada muestra un porcentaje de ligante polimérico correspondiente al 1,5% del peso original del material, no se adicionó agua. Además, se agregó áridos en remplazó del material perdido en las nombradas tapas, las cuales se las pesó y en base a eso se sumó más canto rodado en los porcentajes según mezcla.

Lo anterior tiene como objetivo disminuir la cantidad de agua, pero aumentar la dosis de ligante logrando que la muestra quede más concentrada que las anteriores sumado a la mejora en la fluidez y humedad perdidas debido a los días de espera. Analizando luego el efecto en el mezclado, moldeo y tiempo de secado.

Con respecto al asentamiento medido fue menor al obtenido en el primer mezclado que fue de 10cm, luego de la adición de solamente ligante y el remezclado se logró 6cm. Esto demuestra que la fluidez de la mezcla varía principalmente con la incorporación de agua.



Estado de probeta antes de desmolde.



Estado de material y formación de tapas.



Pesaje de tapa superior.



Remoldeo con adición de ligante.



Medición de asentamiento. 6cm.



Las dos probetas remoldeadas con más ligante.

Una vez finalizado el remezclado de las dos probetas a los 5 días del moldeo fallido se midió el asentamiento y luego se moldearon según norma para dejar reposar en la mesada del laboratorio.

Al cabo de 48hs se produjo el desmolde de una probeta, se aflojaron los tornillos y movió la base. Se notaba humedad, pero se decidió quitarlo de igual forma, la misma se mantuvo de pie unos minutos y luego se desmoronó.

Si bien se mejoró respecto a los intentos anteriores no se llegó al endurecimiento necesario, esto demostró que a menor fluidez o más seco el material se acelera el proceso. Concluido lo anterior es difícil complementar un buen asentamiento con un secado y desmolde de máximo 48hs.

Con respecto a la probeta restante de igual condiciones de moldeo que la desmoldada se optó por dejarla más días para analizar el avance del endurecimiento ya que de quitar el molde el resultado sería el mismo.



Separación de la formada tapa respecto de la probeta.



Desmolde y resultado. Material sin secado.

Pasados 9 días del momento de remezclado se desmoldó la probeta faltante, a la misma previamente se le aflojaron los tornillos lo que permitía una leve abertura en la que ingresaba aire para acelerar el proceso.

Al retirar la parte cilíndrica del molde no hubo inconvenientes, pero se observaba vestigios o gotas emulsión en la probeta, se la dejó sobre mesada para el secado total al aire.

También al haber aflojado el molde para la entrada de aire y poder desmoldar ocasionó una deformación y ladeo en la misma, se disminuyó su altura de manera parcial y ensanchó el diámetro en el tercio medio. Esto debido a su peso propio y al estado “semi fresco” del material.

Luego se procedió al pesaje y toma de medidas para determinar el peso unitario, también así el grado de deformación. Debido a esto último se tomaron varias medidas para promediarlas y tener un volumen lo más exacto posible.

A los 28 días de ejecutada la probeta o 20 días desde el quitado del molde se llevó a rotura en la máquina Universal Amsler del Laboratorio del Instituto de Materiales. El objetivo fue determinar la carga de rotura para calcular la tensión, dividiendo la fuerza en el área y así asimilar a que tipo de hormigón corresponde.

Máquina Universal Amsler: Es una máquina fundamental en un laboratorio de ensayos mecánicos, ya que permite realizar las 4 sollicitaciones fundamentales, generalmente sólo con cargas estáticas. Cambiando la ubicación de la probeta y los elementos de sujeción o apoyo, pueden hacerse ensayos de tracción, compresión, corte, flexión, torsión, dureza, doblado, etc.

Características:

- Es una máquina con control de deformación.
- Posee tres cabezales, 2 de los cuales son fijos, y el tercero, que es del medio, es móvil y se mueve hacia arriba.
- El productor de esfuerzos es hidráulico.
- El aparato de aproximación es eléctrico.
- Posee un dinamómetro a péndulo, 3 escalas con un péndulo de masa apropiada para cada una de ellas
- Consta de un registrador de diagramas esfuerzo – deformación.
- Su capacidad máxima es de 50 toneladas.



Probeta “Liganus” desmoldada (der), se observa ladeo en la parte superior.



Transpiración y vestigios de humedad.



Pesaje de probeta.



A 24hs de desmolde ya no poseía brillo de humedad y pudo manipularse para medir.



Máquina Universal Amsler.



Probeta llegada a la rotura.

Resultados:

Probeta Liganus					
Peso=	3220	gr			
Alto=	19,6	cm	Rotura=	5010	kg
Diam.=	10,2	cm	Tension=	61,31	kg/cm2
Volumen=	1601,6	cm3		6,01	Mpa
P.U=	2,011	gr/cm3			

Conclusión Probeta Molde Metálico Liso:

En las condiciones antes relatadas se determinó un peso unitario para la probeta levemente superior a 2gr/cm³, se puede observar la altura y el diámetro promedio producto de la deformación sufrida por el fraguado.

El valor obtenido en comparación con el hormigón es más bajo de manera notable ya que éste tiene un valor de 2,4gr/cm³. Mas allá de las diferencias en la composición del ligante, la cantidad de agua en el concreto colabora a eliminar la porosidad por lo tanto aumenta la constante física. Esa proporción de agua para utilizarla con el ligante polimérico es más compleja, ya que este último está en estado líquido y el secado o la llamada polimerización es diferente.

Es importante destacar, con respecto al peso unitario en probetas Marshall (“liganus”) con canto rodado también da por debajo ya que éstas en promedio dan 2,3gr/cm³. Si bien el árido y el porcentaje de ligante es el mismo, la energía de compactación es muy diferente por lo tanto la comparación es superficial.

Analizando los valores de rotura, llegó a más de 5000kg en la Máquina Universal Amsler generando una tensión aproximada de 6Mpa esto se asimila a resistencias características de hormigones pobres.

Luego de la etapa descripta de mezclado, moldeo, secado y rotura de las diferentes probetas y la variabilidad de sus condiciones, se concluye que el mayor inconveniente o diferencia con el hormigón son los tiempos de endurecimiento ya que necesita de la eliminación del agua por evaporación, algo que con un molde hermético es casi imposible.

Mas allá de la forma de polimerizar o secar por medio de la evaporación, es importante determinar una proporción de agua justa la cual no perjudique el secado y que genere un asentamiento aceptable, además de no afectar negativamente la resistencia.

10.2 Segunda Etapa de Ensayos: Probetas de “Liganus” con Moldes Perforados

Como consecuencia de la etapa anterior, que el principal problema fue la demora en el secado de probetas ejecutadas con el ligante polimérico, se decidió crear moldes con cierta densidad de perforaciones la cual facilite y agilice la eliminación o evaporación del agua, es decir la polimerización.

Es por eso que se construyeron dos moldes a partir de caños de material PVC utilizados para instalaciones de cloaca de 100 mm de diámetro, a los cuales se realizaron distintas cantidades de agujeros. Fueron cortados con las mismas dimensiones y forma de los moldes metálicos, de largo 20cm y el diámetro 10cm. Al mismo tiempo se cortaron longitudinalmente para generar dos mitades que permitan el desmolde.

El primer molde construido posee un total de 25 agujeros de un diámetro de 8mm los cuales estaban distribuidos equitativamente en toda la altura del cilindro. Esto genera una superficie de perforaciones de 12,57cm². Además, como sistema de sujeción o ajuste se utilizaron tres aros metálicos con tornillos regulables que permiten ajustar y sostener ambas mitades mientras el molde es llenado.

Para el segundo molde el área conjunta de las perforaciones es mayor en un 60% llegando a 20,36cm², la cual está formada por agujeros más pequeños de 4mm de diámetro y en total llegan a una cantidad de 162 distribuidos en toda el área lateral del molde. El sistema de sujeción es diferente al anterior debido a que se utilizan pequeñas ménsulas con tornillos y tuercas.

Como base para ambos moldes fabricados se utiliza una placa metálica con pequeñas perforaciones, todo esto desde la fabricación de los moldes a los sistemas de sujeción fueron ideados en el Laboratorio de Vías de Comunicación.

Como objetivo es lograr acelerar los tiempos de secado para poder desmoldar en el menor tiempo posible, luego dejar secar la probeta al aire y ensayarla para determinar la tensión característica.

Ensayo con “Liganus”: Molde Perforado 1

Como primer paso se separó las proporciones de agregados según la curva mezcla diseñada para canto rodado, se trabajó sobre 3500gr de los cuales tiene incluido el ligante y los áridos.

De esos 3500gr se tomó 4,8% para “Liganus” y de los restantes se separó 63,7% de grava y 36,3% de arena. Además, se decidió que el agua a incorporar sea superior a la de los ensayos con moldes metálicos, siendo tres veces y media la absorción de los agregados.

Ensayo a Compresion C. Rodado		
Muestra	3500	gr
% Ligante	4,8	%
	168	gr
Muestra sin Ligante	3332	gr
Agreg. Grueso	63,7	%
	2122,5	gr
Agreg. Fino	36,3	%
	1209,5	gr
Agua	75,00	gr
Absorción	21,6	gr

Si bien la cantidad de agua empeora el tiempo de secado como se concluyó, al tener el molde con perforaciones se probó aumentando el agua para así ganar también fluidez.

Se colocó el árido sobre una bandeja metálica y mezclando la arena y grava se incluía el agua gradualmente. Una vez humectados los áridos se incorporó el ligante para lograr la mezcla final, se amasó durante 2 minutos.

Luego se preparó el molde armándolo y colocándole las sujeciones, se apoyó sobre la base metálica. Antes del llenado se introdujeron papeles de filtro en el interior para evitar que escapara el material más fino pero que dejara entrar el aire y saliera el agua, además colabora para la absorción de la humedad.

Estando todo en condiciones se procedió al llenado, en tres capas con 25 golpes cada una con la varilla normalizada. Finalizada la tercera capa se enrasó y dejó sobre mesada para su secado.



Molde perforado 1 con sujeciones.



Mezclado de material, con incorporación gradual de ligante.



Llenado de molde, primera capa. Se observa papel de filtro.



Probeta moldeada.



A los 3 días retiro de sujeciones.



Girado de probeta, material fresco. Se observa base perforada.

A los 3 días de ejecutada la probeta la parte superior estaba endurecida como sucedía con los casos anteriores, lo que se hizo fue girarla y deslizarle la base para su retiro. De esta forma se observó que el material estaba semi fresco por lo que no pudo desmoldarse.

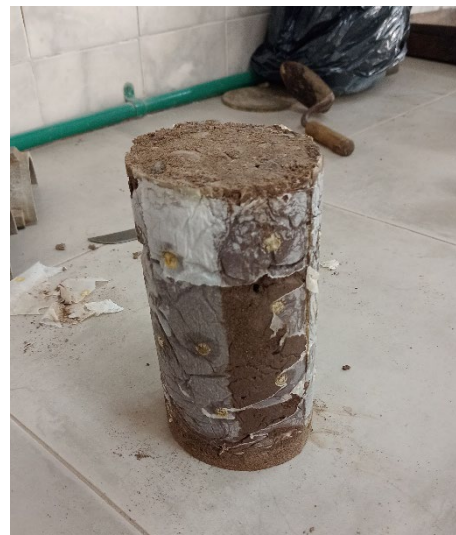
Llegado los 6 días de ejecutada la probeta se decidió quitar el molde, el material correspondiente a la parte baja de la probeta estaba endurecido. Utilizando un cuchillo se despegaron ambas mitades con sumo cuidado, no hubo inconvenientes y la probeta no mostraba vestigios de humedad.

El papel de filtro ayudó a facilitar el desmolde además de acelerar el secado, lo siguiente fue tomar medidas y pesar la probeta para el cálculo del peso unitario.

Pasado 14 días del armado de la probeta se llevó al laboratorio del Instituto de Materiales y Suelos para ensayarla en la máquina Universal Amsler.



Retiro de una mitad del molde.



Desmolde completo, probeta sin brillo de humedad.



Máquina Universal Amster.



Rotura de probeta.

Resultados:

Probeta Liganus		(molde perforado 1)		Sup. Huecos=	12,57
Peso=	3515	gr			
Alto=	20,065	cm	Rotura=	2120	kg
Diam.=	10,29	cm	Tension=	25,49	kg/cm2
Volumen=	1668,6	cm3		2,50	Mpa
P.U=	2,107	gr/cm3			

Conclusión Probeta Molde Perforado 1:

Para comenzar en relación al peso unitario se marca un notable aumento respecto a la probeta anterior con el molde metálico, se llegó a 2,11gr/cm3 contra los 2gr/cm3. Esto se debe al aumento en la cantidad de agua en casi el doble entre una probeta y otra, se puede ver la disminución en la porosidad debido a que el contenido de finos tuvo un mejor acomodamiento.

Por lo tanto el aumento del agua mejoró el peso unitario, la trabazón de las partículas y lógicamente la trabajabilidad. Además, el perforado del molde favoreció a una polimerización más rápida ya que permitía la entrada de aire y su secado.

Si bien el contenido de agua fue mayor que antes por lo que se preveía un mayor tiempo para desmoldar la probeta, esto no fue así debido a las perforaciones realizadas. Se pasó de nueve a seis días siendo que era más contenido de agua para evaporar.

Todavía el tiempo requerido para quitar el molde es alto en comparación con el hormigón, pero es un avance saber las formas para reducirlos.

Con respecto a la rotura, esta probeta con el molde perforado 1 se ensayó a los 14 días lo que es la mitad de tiempo de la del molde metálico. Como resultado se llegó a 2120kg lo que da una tensión de 2,5Mpa, es un valor bajo en comparación de resistencias del hormigón.

Tanto el árido como el porcentaje de ligante era el mismo que la probeta anterior las diferencias estuvieron en el contenido de agua y el tiempo para realizar el ensayo. Esto arrojó una tensión por debajo de la mitad, se pasó de 6Mpa a los 2,5Mpa.

Como deducción rápida puede deberse al contenido de agua o al tiempo en que se ensayó siendo que todavía estaba adquiriendo resistencia. En las condiciones de la próxima probeta analizaremos esto.

Ensayo con “Liganus”: Molde Perforado 2

Para recordar este molde en cuanto a superficie total de perforaciones es un 60% mayor que el molde perforado 1. Se utilizó la misma base perforada metálica pero la diferencia que hubo fue que no se utilizó papel de filtro debido a que los agujeros eran más pequeños. Pero para evitar el pegado de la mezcla en el molde se untó con aceite en el interior.

Como características de este molde se utilizó como se venía haciendo el mismo agregado y cantidad de ligante, la porción agua se decidió disminuirla solo al doble de la absorción tal cual fue en la primera probeta fallida. Esta cantidad es obviamente menor al ensayo anterior y también por debajo de la probeta con molde metálico.

El objetivo es mejorar los tiempos de desmolde, analizar a que densidad se llega con la reducción de agua y que valor de rotura arroja a los 7 días de ejecutada.

Como siempre para empezar se separó las proporciones de agregados según la curva mezcla diseñada para canto rodado, se trabajó sobre 3500gr de los cuales tiene incluido el ligante y los áridos.

De esos 3500gr se tomó 4,8% para “Liganus” y de los restantes se separó 63,7% de grava y 36,3% de arena.

Ensayo a Compresion C. Rodado		
Muestra	3500	gr
% Ligante	4,8	%
	168	gr
Muestra sin Ligante	3332	gr
Agreg. Grueso	63,7	%
	2122,5	gr
Agreg. Fino	36,3	%
	1209,5	gr
Agua	44,70	gr
Absorción	21,6	gr

Se colocó el árido sobre una bandeja metálica y mezclando la arena y grava se incluía el agua gradualmente. Una vez humectados los áridos se incorporó el ligante para lograr la mezcla final, se amasó durante 2 minutos.

Luego se preparó el molde armándolo y ajustándole las tuercas de las sujeciones, se apoyó sobre la base metálica. Antes del llenado se untó con aceite en el interior para evitar que el material se quede pegado al molde.

Estando todo en condiciones se procedió al llenado, en tres capas con 25 golpes cada una con la varilla normalizada. Finalizada la tercera capa se enrasó y dejó sobre mesada para su secado.

A las 24hs del moldeo se observó el estado de la misma y se repitió el proceso de la probeta anterior del molde perforado 1. La parte superior del enrasado estaba endurecida por lo tanto se giró y la parte inferior en contacto con la placa metálica todavía estaba secando. Se la dejó así para la eliminación de agua total.



Molde perforado 2.



Canto Rodado, mezcla en seco de grava y arena.



Humectación de áridos.



Incorporación de “Liganus”



Llenado de molde y enrasado.



A 24hs de moldeo, giro y semi fraguado.

A las 48hs del moldeo se observó la parte inferior totalmente endurecida por lo que se aflojó gradualmente los tornillos de sujeción. Se notaba levemente el material adherido al molde y con un poco de humedad, de igual forma se procedió al desmolde con sumo cuidado.

Utilizando un cuchillo se logró despegar la primera mitad y luego la siguiente, un poco de la mezcla quedó adherido al molde demostrando que no fue suficiente el aceite colocado. A pesar de esto se pudo desmoldar y no presentó mayores inconvenientes.

Como tarea fija se tomaron las medidas y peso de la probeta para el cálculo de la densidad, además como se aclaró al principio se llevó a la rotura a los 7 días en el Instituto de Materiales y Suelos utilizando la máquina Universal Amsler.



Abertura de molde.



Desmolde completo, poco material adherido a mitades.



Máquina Universal Amsler.



Probeta en ejecución de ensayo.

Resultados:

Probeta Liganus			(molde perforado 2)	Sup. Huecos=	20,36
Peso=	3131,6	gr			
Alto=	19,72	cm	Rotura=	1690	kg
Diam.=	10,03	cm	Tension=	21,39	kg/cm2
Volumen=	1558,1	cm3		2,10	Mpa
P.U=	2,010	gr/cm3			

Conclusión Probeta Molde Perforado 2:

Para empezar se logró un peso unitario o densidad superior a 2gr/cm3 prácticamente igual al valor obtenido en la probeta del molde metálico. En comparación a la probeta del molde perforado 1 da una densidad inferior, esto demuestra que la cantidad de agua colabora en el acomodamiento de las partículas en especial de las más finas.

Lo anterior puede verse a simple en la porosidad de las probetas del molde metálico y del perforado 2, en comparativa con el perforado 1. Es demasiado evidente y queda demostrado en el peso de cada probeta.

Con respecto al tiempo de fraguado se logró desmoldar a las 48hs disminuyendo considerablemente los tiempos en un principio de 9 días y luego de 6 días. Este periodo es más similar al de un hormigón convencional.

Lo anterior fue logrado gracias a la densidad de huecos en el molde lo que permite la entrada de aire y la evaporación del agua, recordar que para que endurezca el material pasa por un proceso de polimerización en donde el agua incorporada como la que contiene la emulsión, es expulsada.

En el ensayo en la máquina universal se obtuvo la rotura a los casi 1700kg lo que da una tensión de 2Mpa. Un valor muy bajo en comparación a los hormigones pobres cabe aclarar que la probeta fue sometida a ensayo a los 7 días de ejecutada. Esto fue para analizar el proceso de endurecimiento a lo largo del tiempo.

Tabla Resumen de Probetas Ejecutadas en Laboratorio

Probetas para Ensayo a Compresión										
Etap	N°	Tipo de Ligante	Tipo de Árido	% Ligante	Contenido de Agua	Falló	Desmolde (días)	Peso Unitario (gr/cm3)	Rotura (días)	Resistencia (Mpa)
1°	1	Liganus	Canto Rodado	4,8	Doble Absorción	Si	2	-	-	-
	2	Liganus	Canto Rodado	4,8	Triple Absorción	Si	5	-	-	-
	3	Liganus	Canto Rodado	4,8	Triple Absorción	Si	5	-	-	-
	4	Liganus	Canto Rodado	≈5,5	Absorción	Si	2	-	-	-
	5	Liganus	Canto Rodado	≈5,5	Absorción	No	9	2,011	28	6,01
2°	6	Liganus	Canto Rodado	4,8	3,5 veces Absorción	No	6	2,107	14	2,5
	7	Liganus	Canto Rodado	4,8	Doble Absorción	No	2	2,01	7	2,1

11. Resumen y Conclusión Ensayos a Compresión

Esta etapa del informe corresponde a poner a prueba el ligante polimérico con un ensayo típico del hormigón para generar una comparativa y al mismo tiempo modificar variables con la idea de mejorar su prestabilidad.

Como todo producto nuevo su comportamiento es impredecible, de esta forma a medida que se ensaya se va modificando y corrigiendo variables. También se utiliza ensayos anteriores de otros laboratorios que pueden aportar información para agilizar el objetivo de la investigación.

Para la puesta a prueba que se llevó a cabo no había información concisa sobre una comparación con el hormigón debido a que los ensayos en distintos laboratorios fueron enfocados al asfalto y al producto como reemplazo del mismo.

Como primera problemática se encontró que el producto no secaba o mejor dicho no polimerizaba en tiempos aceptables, se requería de al menos 10 días para el quitado del molde. Mientras que el hormigón a las 24hs ya es posible, además en obra los tiempos de esa magnitud no son económicamente bien vistos.

Quedó demostrado en las primeras probetas lo relatado, modificando primeramente el contenido de agua y luego el porcentaje de ligante no se generaba grandes modificaciones en los plazos. Cabe aclarar que eran moldes metálicos lisos sin perforaciones que se utilizan para probetas de hormigón.

Recién a los 9 días pudo quitarse el molde nombrado anteriormente, pero trajo consigo deformación y ladeo en la probeta, lo ideal hubiera sido uno o dos días más. Esto ya fue un avance para saber los primeros tiempos y condiciones.

Este producto muestra que su polimerización o endurecimiento es en contacto con el aire y de esa forma por evaporación se elimina el agua quedando en la mezcla solo el polímero distribuido en los áridos, lo que endurece gradualmente.

Es una clara diferencia con el fraguado del cemento en donde se produce por reacciones químicas ocasionadas por el contacto del cemento con el agua donde el ligante se hidrata. Puede variar con las temperaturas, pero no necesita de contacto con el aire, inclusive un hormigón puede fraguar y endurecer bajo el agua.

Es por eso que se pensó en crear moldes con perforaciones para permitir la entrada de aire y la salida de agua. De tal forma como se comentó antes por medio de caños de PVC se construyeron dos moldes con diferencias en el área total de agujeros.

Con el primer molde se redujo el tiempo a 6 días y ya con el segundo que tenía más porosidad pasó a 2 días. Es complejo pensar en obra ver encofrados perforados ya que tendrían que ser especiales y diferentes a los usualmente utilizados. Además, los grandes volúmenes demorarían tiempos importantes retrasando la obra, es por eso que hay que afrontar la problemática desde el punto de vista químico, encontrando algún aditivo que agilice los tiempos sin perder resistencia como el factor más importante.

Hablando sobre las cantidades de agua incorporada en cada caso se concluye que a mayor cantidad se gana fluidez y aumenta la densidad debido a un mejor acomodamiento del material fino en la mezcla. Obviamente afecta al tiempo de fraguado prolongándolo, además otra desventaja es que este aumento de agua debe estar limitado porque si es excesivo el material se satura y exuda el agua arrastrando el ligante lo que afecta a la resistencia final.

Con respecto a los valores de tensión obtenidos en los tres ensayos, arrojaron números que se asemejan a hormigones pobres de baja cantidad de cemento. Cabe aclarar que las roturas se realizaron en diferentes tiempos desde ejecutada la probeta, para la primera del molde metálico fue a los 28 días, la segunda con el molde perforado 1 fue a los 14 días y la última con el molde perforado 2 a los 7 días.

La diferencia en esos periodos para cada caso es para analizar la resistencia adquirida a lo largo del endurecimiento y del tiempo. Se recuerda que en las tres probetas el porcentaje de ligante y el árido fue el mismo, solo se modificó el volumen de agua y el molde en relación a la velocidad de secado.

Analizando los valores obtenidos y en los tiempos que ocurrieron se ve que en los primeros 14 días desde el moldeo la ganancia de resistencia es más lenta que en los 14 días posteriores. Esto es debido al periodo de polimerización en que se elimina el agua y pasado esto sigue endureciendo hasta un tiempo que no conocemos.

Queda como futura profundización del tema realizar con el molde perforado más efectivo, probetas con distintas dosis de ligante y ensayarlas a un tiempo fijado por ejemplo a los 28 días. Ese periodo es cuando el hormigón se aproxima al 100% de su resistencia final, lo que hace mejor una comparativa entre ambos productos.

Una conclusión, también determinada en los ensayos por el método Marshall es que a menor contenido de ligante se llega más rápido al valor de resistencia final, pero este valor definitivo es menor si es más pequeña la cantidad de emulsión utilizada.

Es importante resaltar que se trabajó con una emulsión base aprobada, provista por los creadores de “Liganus”. Ellos tienen avanzados estudios sobre diferentes problemáticas en laboratorios de La Plata y Texas logrando soluciones con la modificación de la fórmula o con aditivos que están en desarrollo generando diferentes prototipos a la espera de ser puestos a prueba.

Para terminar, el ligante polimérico es un producto interesante y con una prestabilidad todavía en vías de desarrollarse, lo que genera trabajos de investigación y puestas a prueba. Si bien está lejos de reemplazar un hormigón convencional, con ciertas modificaciones tanto química como prácticas puede lograrse grandes resultados.

12. Puesta a Prueba de “Liganus” como Riego de Imprimación

El riego de imprimación consiste en la aplicación de un material asfáltico, sobre la base estabilizada, con el objeto de que penetre, impermeabilice y favorezca la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica, el material que se utiliza normalmente es una emulsión, ya sea de rompimiento lento o especial para impregnación o bien un asfalto rebajado.

Previamente al riego, la base debe estar correctamente compactada y con la humedad necesaria. Esto responde a las exigencias establecidas en el pliego.

Después de aplicar el material imprimador en una sección, se la mantendrá cuidadosamente cerrada al tránsito durante un plazo, cuya extensión determinará la supervisión en cada caso, para que el material seque convenientemente.

El objetivo de esta prueba es evaluar el ligante artificial como riego previo a la capa de rodamiento de concreto polimérico, tanto en estado puro como rebajado con agua al 50%. Luego de secado del material, evaluar su dureza y penetración en el suelo.

La penetración no debe ser inferior a 6mm según la Dirección Nacional de Vialidad.



Camión regador aplicando emulsión en media calzada.



Riego de Imprimación con asfalto en media calzada.

La puesta a prueba se llevó a cabo en el Laboratorio Vial donde utilizando una bandeja metálica se colocó material granular (canto rodado) compactado con humedad cercana a la óptima con el fin de simular una capa de base en obra.

Luego de esto se marcaron dos sectores de 20cmx20cm en donde a cada uno se le iba a colocar el riego polimérico puro y rebajado. Se tuvo en cuenta un valor de riego promedio de 1,5 lts/m², lo que correspondía para el área enmarcada unos 60ml de emulsión y para el segundo caso 30ml de ligante mezclado con 30ml de agua. El riego se distribuyó con una cuchara sobre cada área generando una capa lo más uniforme posible.



Material pétreo antes de humectado y compactado.



Compactado y humectado finalizado.



Colocación de emulsión pura.



Colocación de emulsión rebajada.

A los 5 días de ejecutada la prueba se observó totalmente seco el riego y la capa base, al tacto se notaba dureza por parte del ligante. Utilizando un pisón de 2,5kg y dejándolo caer 30cm (pisón de Proctor T99) se aplicó golpes para generar la fisuración y luego la rotura.

De esta manera se determinó mayor resistencia por parte de la emulsión en estado puro que la diluida. Además, analizando la penetración superó el límite de la DNV en cada caso, arrojando un valor de 1cm para el ligante puro y 1,5cm para el rebajado.



Muestra a los 5 días.



Corte para observar penetración.



Caída de pisón para generar fisuración y rotura.



Medición de penetración en cada caso.

Esta prueba si bien fue lo más cercano a obra, es todavía alejado elaborar conclusiones concretas sobre el comportamiento real del producto. Analizando lo obtenido, se concluye que son buenos resultados, pueden modificarse diferentes variables, por ejemplo, el contenido de agua o el agregado de aditivos especiales para mejorar la prestación, entre otras.

13. Mención sobre Costos del Ligante Polimérico **“Liganus”**

Cuando se descubre algo nuevo ya sea un objeto, un material, una herramienta, entre otras cosas, lo primero que se pregunta la mayoría es ¿Cuánto sale? o ¿Es más barato? Son preguntas lógicas lo cual hace que el descubrimiento tenga futuro o quede solo en el hallazgo.

Con respecto a “Liganus” es complejo definir y comparar de forma directa con el asfalto haciendo un análisis de costos porque el producto prácticamente todavía no sale del laboratorio. Se estima que en el muy corto plazo teniendo las normativas en curso aprobadas se haga una pavimentación de prueba, en medios estales, definiendo un costo final por metro cuadrado.

La información brindada por los creadores, al día de hoy el ligante es levemente más económico que el asfalto. Con el paso del tiempo esta brecha aumentaría debido al desarrollo del ligante sintético y al encarecimiento del asfalto debido a su demanda de permanente crecimiento.

Los ingenieros llegan a esta conclusión basándose en dos aspectos:

Costo por “kg” o “tn” de cada ligante: en Argentina el precio promedio del asfalto para concretos en caliente es de 1000 USD la tonelada, este valor es incrementado en un 20 a 30% de acuerdo a los gastos en traslados y mantenimiento en planta hasta su uso. Con respecto al ligante artificial según el mercado de empresas de China el precio por tonelada es de 750 USD en promedio.

La diferencia está en la logística del asfalto en cuanto a su mantención con temperaturas elevadas (160°C), esto genera un gasto adicional de combustibles a lo largo de todo el trayecto hasta la planta. Luego de la planta a la obra para su colocación y disposición final.

En los últimos años el precio del asfalto aumentó gradualmente y el de los polímeros disminuyó, cuando se descubrió “Liganus” hace 10 años el costo de la tonelada de polímeros era de 3000 USD frente a los 700 USD en promedio del asfalto. Esta tendencia generaría el aumento de la brecha en la actualidad debido a diferentes factores.

Reducción de Espesores: como resultado de ensayos realizados en la Universidad Nacional de La Plata respecto al Módulo Resiliente Dinámico del concreto polimérico, se permite diseñar y calcular por medio del Método de la AASHTO “Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte” un pavimento flexible en igualdad de condiciones, enfrentando el Módulo Resiliente del asfalto con el de “Liganus”.

A través de este método semiempírico basado en hipótesis teóricas y parcialmente en la experiencia, por medio de distintos datos necesarios permite calcular el espesor de la capa de rodamiento de un pavimento flexible. Si calculamos por separado un pavimento con concreto asfáltico y otro con concreto polimérico, en donde la información necesaria es la misma en ambos casos, diferenciando solo el módulo Dinámico, se obtiene una reducción de espesor del 30% a favor de “Liganus”.

Demostración utilizando Método AASHTO 93:

Datos:

- Número de ESALS o W18 = 8×10^6 pasadas de un eje de 18.000 lbs
- Serviciabilidad Inicial = 4,3
- Serviciabilidad Inicial = 2,3
- Confiabilidad = 60%
- Desviación Estándar = 0,55
- Módulo Resiliente Subrasante = 10kpsi
- CBR base granular = 77%
- CBR subbase granular = 42%
- Coeficiente de Drenaje $m_2 = m_3$; drenaje bueno y 5% de saturación
- Módulo Resiliente Dinámico **Asfalto** = 5000mpa
- Módulo Resiliente Dinámico **“Liganus”** = 14000mpa

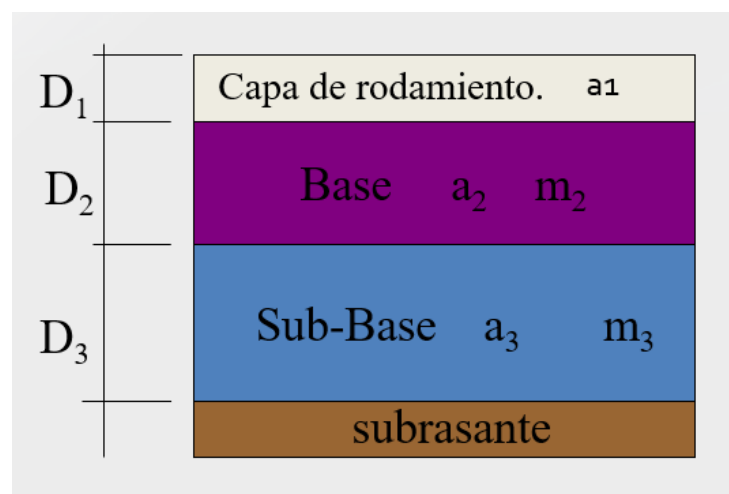
De los ábacos, en función de los datos se extrajo:

- $a_2 = 0,131$
- $a_3 = 0,122$
- $m_1 = m_2 = 1,15$
- Número Estructural = SN = 9,6cm
- Para asfalto: $a_1 = 0,53$
- Para “Liganus” $a_1 = 0,76$

Se aclara que se obtuvo el coeficiente “a1” del ligante artificial por medio de una extensión del ábaco, debido a que el módulo correspondiente excede los límites.

Se adopta un espesor de subbase de $D_3 = 25\text{cm}$ y de base $D_2 = 15\text{cm}$ para ambos paquetes.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$



Reemplazando los valores y despejando D1 se obtiene:

Para el Asfalto:

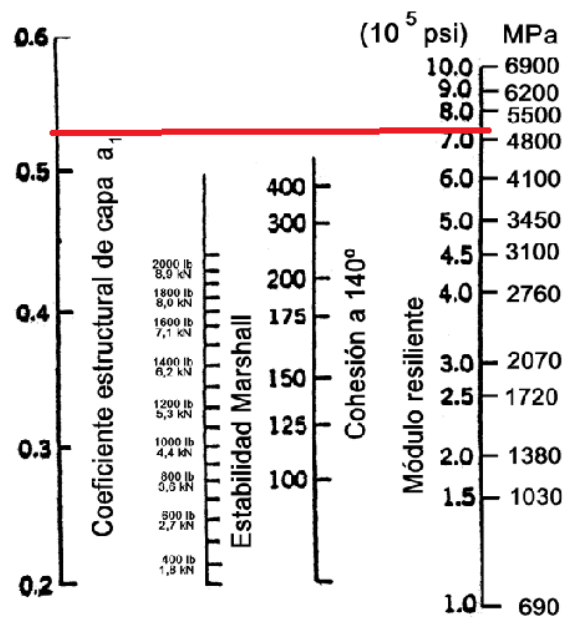
$$D1 = 7,22\text{cm}$$

Para "Liganus":

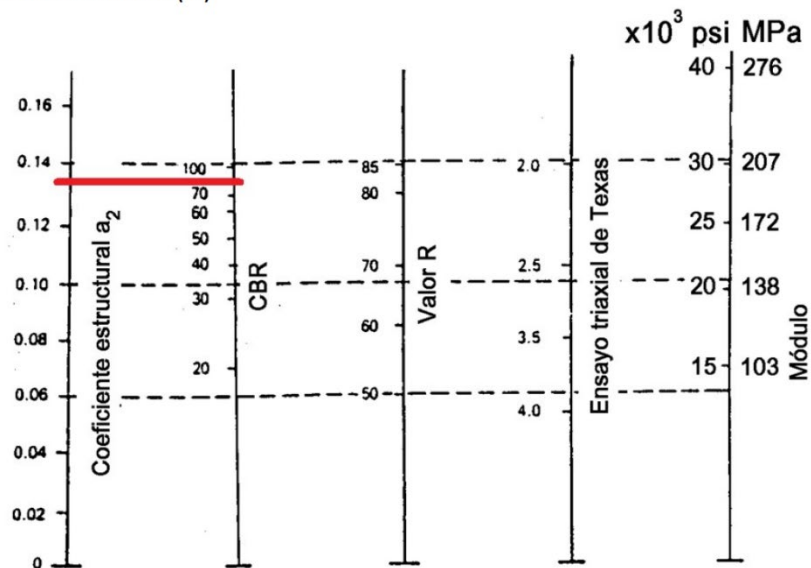
$$D1 = 5,04\text{cm}$$

Ábacos correspondientes:

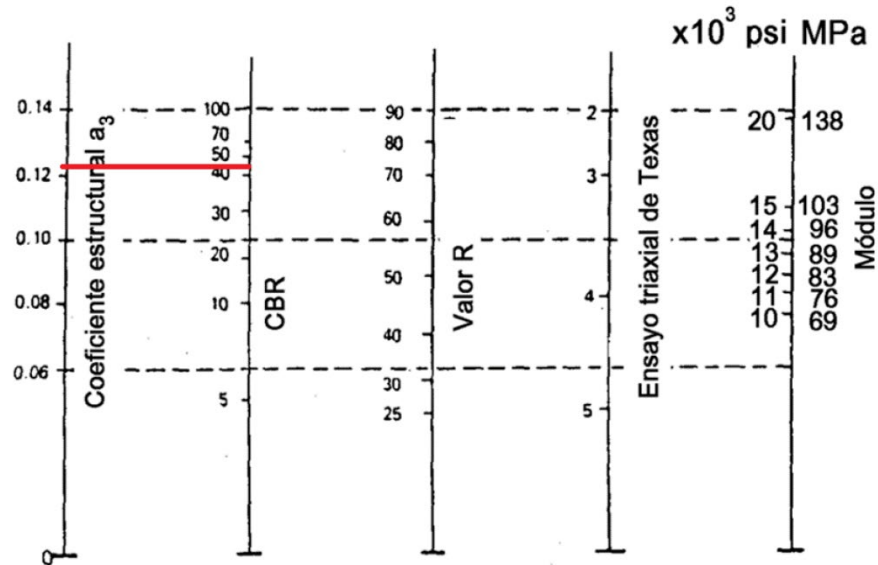
Coefficiente estructural (a_1)



- Coeficiente estructural (a_2)



- Coeficiente estructural (a_3)



- Coeficiente de drenaje ($m_2=m_3$)

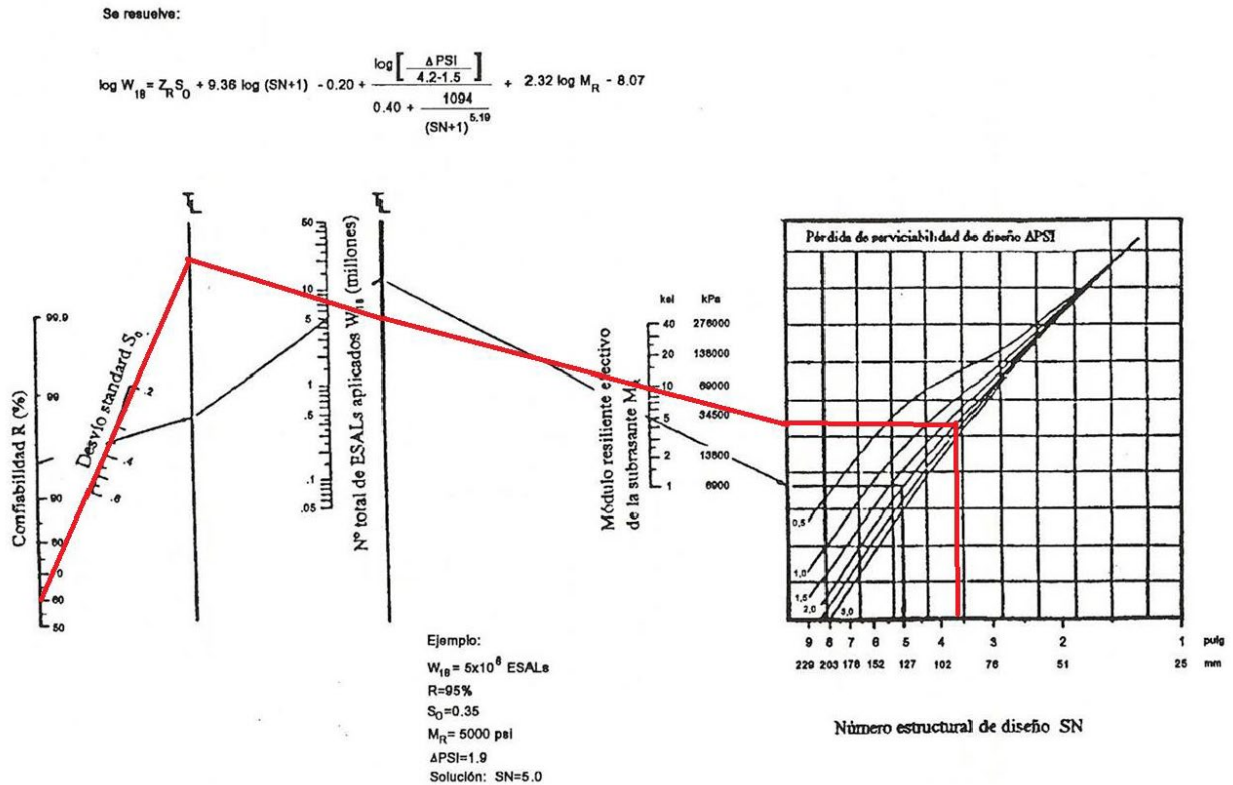
Tabla 7.1 Tiempos de drenaje recomendados por AASHTO

Calidad del drenaje	50% de saturación en	85% de saturación en
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2-5 horas
Regular	1 semana	5-10 horas
Pobre	1 mes	Más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Tabla 7.2 Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1-5%	5-25%	> 25%
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
Bueno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00
Regular	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Muy pobre	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

Número estructural "SN"



Se concluye que en igualdad de condiciones el espesor de la capa de rodamiento de un concreto con el ligante sintético es un 30% menor que para un concreto asfáltico.

Para el cálculo se tomó un módulo resiliente dinámico para el asfalto superior al promedio, estos valores están en un rango de 3000 a 5000Mpa, además para el módulo del ligante artificial se redondeó hacia abajo tomando 14000Mpa siendo que en los ensayos llegó a valores de 14800Mpa.

También ante los límites del ábaco y su extensión para obtener el valor de "a1" se optó por un valor seguro por debajo del correspondiente.

14. Conclusión de Cierre

Como cierre de este informe y en base a las conclusiones parciales y finales logradas en los diferentes ensayos y condiciones ejecutadas, se concluye que “Liganus” es un producto nuevo en vías de desarrollo con un gran futuro como reemplazo del asfalto.

Debido a pruebas y resultados analizados supera en la mayoría de los aspectos técnicos al asfalto, cabe aclarar que es una comparación injusta debido a que el ligante polimérico lleva casi 10 años de desarrollo contra 150 años del asfalto.

Esto quiere decir que es posible aún superarse así mismo, debido a que es un ligante artificial por lo tanto es posible modificaciones desde la química para mejorar diferentes características y adaptarse de acuerdo a las necesidades.

En cuanto a costos en base al análisis realizado es más económico “Liganus” en un 25%, brecha la cual con el paso del tiempo se ampliará porque aumenta el precio del asfalto y porque los costos del ligante polimérico disminuirán por la fabricación en masa.

Con respecto a la utilización como hormigón estructural, el desarrollo es menor en esta rama y todavía no puede hablarse de reemplazo, aunque según estudios de sus prestaciones favorece a una mayor resistencia a la tracción lo que generaría una disminución en la armadura.

En resumen, es un producto prometedor en un futuro favoreciendo el medio ambiente, lográndose un desarrollo que domine el mercado. Además, es importante destacar el origen sanjuanino del mismo lo cual abre las puertas al país y al mundo.

Esto viene de la mano con la adaptación de maquinarias y operarios en el manipuleo del concreto como así el armado de normas que rijan su aplicación y control.

Para finalizar quiero agradecer al Instituto de Materiales y Suelos y al Laboratorio de Vías de Comunicación por permitirme utilizar sus instalaciones para la realización de ensayos y el consecuente informe para concluir mi carrera de grado.



Laboratorio IMS, sector de Asfaltos.



Laboratorio de Vías de Comunicación.



Totalidad de Probetas realizadas. Todas ya ensayadas.



Bibliografía:

Apuntes Cátedra “Estudio y Ensayo de Materiales”

Apuntes Cátedra “Vías de Comunicación II”

Manual del Asfalto – Instituto del Asfalto, Bilbao España 1973

Pliego De Especificaciones Técnicas Generales - DNV

Ingeniería de Carreteras - Tomo 1 – Autor: C. Kraemer, J.M. Pardillo, S. Rocci, M.G.Romana, V Editorial Mc Graw Hill – España- Año: 2004

Ingeniería de Carreteras Tomo 2- Autor: C. Kraemer, J.M. Pardillo; S. Rocci, M.G. Romana, Editorial: Mc Graw Hill – España – Año: 2005

Normas IRAM 1524-1534-1546

Reciclado de Pavimentos en Frio, Empleando emulsiones cationicas. Autor: Gustavo Rivera E. Editorial: Alfaomega. Año: 1997

“Vías de Comunicación” Carlos Crespo Villalaz 3° Edición Ed. LIMUSA México 1995

<https://liganus.com/> sitio web “Liganus”

Conferencia “Liganus” en Rectorado UNSJ 15-12-24

FIN