

EMPLEO DE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS EN EL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON PROPIEDADES IMPERMEABILIZANTES A PARTIR DE RESINA DE PINO

ING. SARAY NÚÑEZ GONZÁLEZ Y DRA. ARELY QUINTERO SILVERIO

Universidad de Pinar Río. Calle Martí 270 esq. a 27 de Noviembre, Pinar del Río, Cuba, saray@vrect.upr.edu.cu;
arelys@mat.upr.edu.cu

RESUMEN

En Cuba, el diseño de cada una de las construcciones incluye el sistema de impermeabilización de cubierta, y aunque este sistema refleje de manera clara y precisa la utilización de mastiques para el sellaje de juntas, se ha identificado que, por problemas de estabilidad en su producción, un porcentaje significativo de edificaciones se construyen sin sellar las juntas constructivas, situación que trae a colación el 61% de construcciones con problemas de filtración en el país.

Para solucionar el problema anterior se han fabricado varios tipos de masillas, teniendo como componentes asfalto oxidado, aguarrasina, caucho sintético y solventes orgánicos, entre otros. Se ha identificado por parte de la Dirección Nacional del Miconos que la producción de masillas no es solo insuficiente para abastecer la alta demanda existente, sino que además la ofertada presenta problemas de calidad, los que están dados por la baja ductilidad, una alta tendencia a la cristalización y la presencia de solventes orgánicos dentro de su composición, que trae como consecuencia la disminución de la durabilidad del sistema de impermeabilización que la contiene. Superar las insuficiencias anteriores a partir del uso de la resina

ABSTRACT

In Cuba, the complete design of buildings require of good an non-permeably system to cover the construction, however it have been identify some problems in the stability of the sealing or mastic used, so more than 61% of the construction had problems nowadays. In order to solve this problem, many types of mastic have been obtained from different components of oxidized-asphalt, turpentine and organic solvent, etc.

Up to now, the Ministry of Construction has produced mastic but still is not sufficient to supply the internal necessities. Moreover many of them have quality problems due to the fact of low conductivity, high glass tendency and the presence of organic solvent in its composition, which will reduce the durability of the impermeabilization system. One way to over come this situation is to use the natural pine's resins as a main component of the sealing mastic. So here we obtained three prototypes of asphalt mastic.

In this study, we have starting with a statitical analyzes of the technical parameters of the three purposed combinations of the mastic from the pines resins, and determining the best combination to be used as Impermeability Cover

de pino natural en la composición de la masilla constituyó la esencia de la obtención de tres prototipos de masillas asfálticas.

En la investigación que se propone se parte del análisis estadístico de los parámetros técnicos de tres combinaciones que tienen como materia prima fundamental la resina de pino y otros componentes de producción nacional, determinándose finalmente cuál tiene mejores propiedades para ser aplicada en los sistemas de impermeabilización de cubierta.

Se analizan cada una de las combinaciones, obteniéndose la que muestra indicadores de calidad similares a los establecidos en las normas internacionales para este tipo de producto. Se realiza la comparación con la masilla comercializada en el país y en el mercado internacional.

Palabras claves: *resina de pino, mezcla asfáltica, derivado de resina de pino, impermeabilizante, mastiques.*

Systems which are equivalent to the commercial products according to the international regulations for these products.

Key words: *resins, joint-sealing, derived pine resins product, waterproof, sealing.*

INTRODUCCIÓN

La resina de los pinos desde tiempos muy remotos ha sido utilizada en el calafateo de los barcos por sus propiedades impermeabilizantes. Plástica con aceites no secantes, se vuelve muy adherente a la mayoría de las superficies, por lo que se recomienda su utilización en la fabricación de adhesivos para papel, fórmulas de calafateo y de adhesivos especiales. En su composición contiene aceites de resina que favorecen la elasticidad de algunas mezclas, de ahí que pueda ser utilizada para la obtención de productos que requieran una elasticidad o ductilidad favorable para su aplicación [Pastor, 2002].

Desde que se inicia la producción de resina en el país y se realizan estudios para incrementar su producción, se comienzan, por parte de la Universidad de Pinar del Río y el Instituto de Investigaciones Forestales,

investigaciones para introducir el procesamiento industrial de esta materia prima, de la que se conocen más de cincuenta productos derivados para múltiples usos y con un alto valor agregado [Betancourt, 1980].

Sin embargo, muy escasas han sido las investigaciones que se han examinado a su uso de forma natural. No existen referencias de productos del tipo masilla asfáltica obtenidos a partir de una resina natural. Se comercializan en el mercado nacional e internacional productos que tienen como base polímeros, caucho y resinas sintéticas.

En Cuba la producción de masillas no es solo insuficiente para abastecer la alta demanda existente, sino que además la ofertada presenta problemas de calidad, los que están dados por baja ductilidad, alta tendencia a la cristalización y presencia de sol-

ventes orgánicos, lo que trae como consecuencia la disminución de la durabilidad del sistema de impermeabilización que la contiene [Martínez, 2005].

Para dar solución a la problemática planteada, y partiendo del uso de las técnicas de la estadística descriptiva e inferencial, se logra obtener, mediante el análisis estadístico de los parámetros técnicos de tres combinaciones que tienen como materia prima fundamental la resina de pino y otros componentes de producción nacional, la mezcla asfáltica con mejores propiedades para ser aplicada en los sistemas de impermeabilización de cubierta. Se logran además realizar comparaciones respecto a los parámetros de calidad de las mezclas comercializadas internacionalmente, constituyendo estos los objetivos fundamentales de la investigación que se propone [Webster, 1996].

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron las técnicas de la estadística descriptiva para estudiar la posible similitud existente entre la media y la mediana, el comportamiento del grado de variabilidad en las muestras obtenidas, la existencia de distribuciones simétricas y mesocúrticas, es decir, la posible aceptación de la hipótesis de un comportamiento normal de los datos. Este comportamiento se corroboró a partir de una prueba de bondad de ajuste Kolmodorov Smirnov. Una vez comprobada la normalidad se aplicaron las técnicas de la estadística infe-

rencial, específicamente las pruebas de significación para la igualdad de medias, el análisis de varianza para un factor con varios niveles, el chequeo de los supuestos del análisis de varianza, tales como el de homogeneidad de varianzas, todos ellos con un nivel de significación del 5% que se revertió en un nivel de confiabilidad del 95% en las decisiones tomadas. Posteriormente se aplicaron las pruebas de Tuckey o Duncan con el fin de analizar cuán diferentes resultaban las medias de los parámetros técnicos para cada una de las muestras estudiadas [Dixon-Massey, 1974].

DESARROLLO

Conociendo la importancia de la realización de un buen análisis exploratorio de datos, con vistas a examinarlos previamente a la aplicación de cualquier técnica estadística y garantizar que los resultados a los que se arriben sean lo suficientemente confiables, se procedió al estudio minucioso de los diferentes parámetros técnicos medidos en los tres tipos de mezclas o combinaciones de masillas preparadas a partir de porcentos variables de resina de pino, asfalto industrial de penetración 50/70, talco industrial y fibra de asbesto, los cuales son mostrados en la *Tabla 1*.

A continuación es posible observar gráficamente el comportamiento mostrado por algunos de estos parámetros a través de los diagramas de cajas de las *Figs. 1 y 2*.

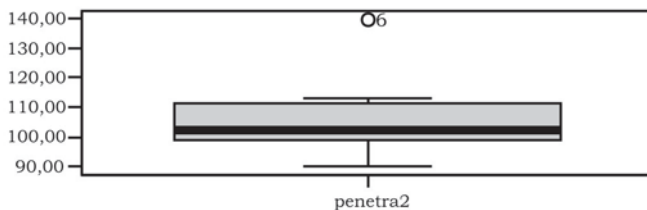


Fig. 1. Diagrama de caja para la penetración de la mezcla 2.

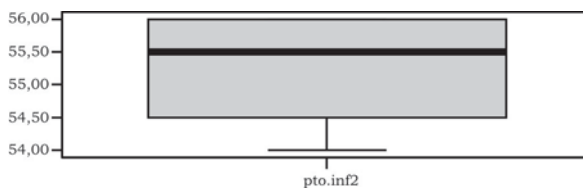


Fig. 2. Diagrama de caja para el punto de inflamación de la mezcla 2.

TABLA 1
Muestras analizadas

No.	Porciento en cada una de las muestras			
	Resina	Asfalto	Talco industrial	Fibra de asbesto
1	40-45	40-45	5-10	5-10
2	48-50	32-34	8-10	4-6
3	46-48	30-32	10-12	6-8

TABLA 2
Estadística descriptiva de la penetración, ductilidad y punto de inflamación para los tres tipos de mezclas

<i>Estadísticos descriptivos</i>	<i>N</i>	<i>Min.</i>	<i>Máx.</i>	<i>Media</i>	<i>Desv. típica</i>	<i>Asimetría</i>	<i>Error asimetría</i>	<i>Curtosis</i>	<i>Error curtosis</i>
Penetración 1	5	185	247	204,80	25,89	1,45	0,91	1,59	2,00
Penetración 2	8	90	140	107,00	15,15	1,64	0,75	3,45	1,48
Penetración 3	8	70	118	100,38	14,45	-1,23	0,75	2,91	1,48
Ductilidad 1	5	28	31	29,80	1,10	-1,29	0,91	2,92	2,00
Ductilidad 2	5	10	19	13,00	3,67	1,36	0,91	2,00	2,00
Ductilidad 3	5	23	25	24,00	0,71	0,00	0,91	2,00	2,00
Pto. de inf. 1	5	52	54	52,60	0,89	1,26	0,91	0,31	2,00
Pto. de inf. 2	4	54	56	55,25	0,96	-0,85	1,01	-1,29	2,62
Pto. de inf. 3	4	57	59	58,00	0,82	0,00	1,01	1,50	2,62

Como se observa en la *Tabla 2* y en las *Figs. 1* y *2*, las distribuciones de la penetración en las mezclas 1 y 2 presentan cierta asimetría positiva, ocurriendo lo mismo con la ductilidad en la mezcla 2 y el punto de inflamación en la mezcla 1. Se visualiza además una asimetría negativa en la penetración de la mezcla 3, la ductilidad de la 1 y el punto de inflamación de la mezcla 2. Para el caso de todos los parámetros en todas las mezclas, exceptuando el punto de inflamación de la mezcla 1, cuya distribución es mesocúrtica y el punto de inflamación de la mezcla 2, que

es platicúrtica, el resto de las distribuciones de los parámetros técnicos presentan un comportamiento leptocúrtico. Debido a que no todos los estadísticos se asemejan a los valores de los parámetros de la distribución normal, este análisis descriptivo fue calzado con una prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov, reflejado en las *Tablas 3, 4* y *5*, pudiéndose afirmar con el 95% de confiabilidad que las distribuciones de los parámetros técnicos pueden ser consideradas normales para ese tamaño de muestra y ese nivel de significación ($\alpha = 5\%$).

TABLA 3
Prueba de Kolmogorov-Smirnov de una muestra para la penetración

		<i>Penet. 1</i>	<i>Penet. 2</i>	<i>Penet. 3</i>
N		5	8	8
Parámetros normales (a, b)	Media	204,8000	107,0000	100,3750
	Desviación típica	25,88822	15,14690	14,45127
Diferencias más extremas	Absoluta	0,276	0,221	0,310
	Positiva	0,276	0,221	0,178
	Negativa	-0,222	-0,151	-0,310
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,617	0,625	0,876
Sig. asintót. (bilateral)		<i>0,842</i>	<i>0,829</i>	<i>0,427</i>

a: La distribución de contraste es la normal.

b: Se han calculado a partir de los datos.

TABLA 4
Prueba de Kolmogorov-Smirnov de una muestra para la ductilidad

		<i>Ductilid. 1</i>	<i>Ductilid. 2</i>	<i>Ductilid. 3</i>
N		5	5	5
Parámetros normales (a, b)	Media	29,8000	13,0000	24,0000
	Desviación típica	1,09545	3,67423	0,70711
Diferencias más extremas	Absoluta	0,372	0,300	0,300
	Positiva	0,228	0,300	0,300
	Negativa	-0,372	-0,207	-0,300
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,833	0,671	0,671
Sig. asintót. (bilateral)		<i>0,492</i>	<i>0,759</i>	<i>0,759</i>

a: La distribución de contraste es la normal.

b: Se han calculado a partir de los datos.

TABLA 5
Prueba de Kolmogorov-Smirnov de una muestra para el punto de inflamación

		<i>Pto. inf. 1</i>	<i>Pto. inf. 2</i>	<i>Pto. inf. 3</i>
N		5	4	4
Parámetros normales (a, b)	Media	52,6000	55,2500	58,0000
	Desviación típica	0,89443	0,95743	0,81650
Diferencias más extremas	Absoluta	0,349	0,283	0,250
	Positiva	0,349	0,217	0,250
	Negativa	-0,251	-0,283	-0,250
Z de Kolmogorov-Smirnov		0,780	0,567	0,500
Sig. asintót. (bilateral)		0,577	0,905	0,964

a: La distribución de contraste es la normal.

b: Se han calculado a partir de los datos.

Análisis de varianza de un factor

Una vez probada la hipótesis de normalidad, se procedió a analizar si los tipos de mezclas de masillas ejercían una influencia significativa en el comportamiento de los parámetros técnicos bajo estudio. Para ello se aplicó la técnica de la estadística inferencial análisis de varianza para un factor. Se chequeó además el supuesto de homogeneidad de varianzas, que

contrasta la hipótesis nula de que la varianza del error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos, según el contraste de Levene para un nivel de significación del 5%, sin cuyo cumplimiento, junto al de la normalidad de las variables respuesta (los parámetros técnicos), no sería exitosa la aplicación de la técnica paramétrica y las decisiones que de ella se derivarían.

TABLA 6
Pruebas de los efectos intersujetos variable dependiente: penetración

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados tipo III</i>	<i>gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Significación</i>
Modelo corregido	39123,135a	2	19561,567	61,250	0,000
Intersección	377529,401	1	377529,401	1182,104	0,000
Código de penet.	39123,135	2	19561,567	61,250	0,000
Error	5748,675	18	319,371		
Total	387657,000	21			
Total corregida	44871,810	20			

α R cuadrado = 0,872 R cuadrado corregida = 0,858

En todos los casos se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, todo lo cual permitió proceder con la aplicación del análisis de varianza.

Los resultados de la aplicación de esta prueba permitieron demostrar que existen diferencias significativas entre las penetraciones para los tres tipos de mezclas, y que el modelo ajustado explica el 85,8% de la variabilidad total.

Una vez determinado que existen diferencias entre las medias, las pruebas de rango *post hoc* y las comparaciones múltiples por parejas permitieron determinar qué medias diferían entre sí. Como se contrastó un número pequeño de parejas de medias, la prueba de la diferencia significativa de Bonferroni fue la utilizada por ser más potente para estos casos (sistema de ayuda del SPSS 12.0S).

TABLA 7
Comparaciones múltiples variable dependiente: penetración Bonferroni

(I) Código de penet.	(J) Código de penet.	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
I	II	97,80*	10,188	0,000	70,91	124,69
	III	104,43*	10,188	0,000	77,54	131,31
II	I	-97,80*	10,188	0,000	-124,69	-70,91
	III	6,63	8,935	1,000	-16,96	30,21
III	I	-104,43*	10,188	0,000	-131,31	-77,54
	II	-6,63	8,935	1,000	-30,21	16,96

Basado en las medias observadas.

*La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

En el análisis de la *Tabla 7* se infiere que la penetración de la mezcla 1 difiere significativamente de la penetración de las mezclas 2 y 3, no existiendo diferencias significativas entre estas dos últimas. Tal resultado se corresponde con los

porcientos de asfalto que intervienen en la combinación 1, siendo el mayor porcentaje en los tres casos, por lo que la mezcla tiende a ser más fluida y aumenta consecuentemente el valor de la penetración.

TABLA 8
Pruebas de los efectos intersujetos variable dependiente: ductilidad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados tipo III</i>	<i>gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Significación</i>
Modelo corregido	728,133a	2	364,067	71,855	0,000
Intersección	7437,067	1	7437,067	1467,842	0,000
Código de duct.	728,133	2	364,067	71,855	0,000
Error	60,800	12	5,067		
Total	8226,000	15			
Total corregida	788,933	14			

α : R cuadrado = 0,923

R cuadrado corregida = 0,910.

En este caso (Tabla 8) también el análisis de varianza resultó signifi-

cativo. El modelo ajustado explicó el 91% de la variabilidad total.

TABLA 9
Comparaciones múltiples variable dependiente: ductilidad Bonferroni

<i>(I) Código de duct.</i>	<i>(J) Código de duct.</i>	<i>Diferencia entre medias (I-J)</i>	<i>Error típ.</i>	<i>Significación</i>	<i>Intervalo de confianza al 95%.</i>	
					<i>Límite inferior</i>	<i>Límite superior</i>
1	2	16,80*	1,424	0,000	12,84	20,76
	3	5,80*	1,424	0,005	1,84	9,76
2	1	-16,80*	1,424	0,000	-20,76	-12,84
	3	-11,00*	1,424	0,000	-14,96	-7,04
3	1	-5,80*	1,424	0,005	-9,76	-1,84
	2	11,00*	1,424	0,000	7,04	14,96

Basado en las medias observadas.

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

En cuanto a la ductilidad, pudo afirmarse que las medias de las tres muestras

resultaron diferentes dos a dos para un nivel de significación del 5%.

TABLA 10
Pruebas de los efectos intersujetos variable dependiente: punto de inflamación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados tipo III</i>	<i>gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Significación</i>
Modelo corregido	64,973a	2	32,487	40,864	0,000
Intersección	39294,604	1	39294,604	49427,174	0,000
Código del pto. de inf.	64,973	2	32,487	40,864	0,000
Error	7,950	10	0,795		
Total	39508,000	13			
Total corregida	72,923	12			

α : R cuadrado = 0,891

R cuadrado corregida = 0,869.

TABLA 11
Comparaciones múltiples variable dependiente: punto de inflamación Bonferroni

<i>(I) Código del pto. de inf.</i>	<i>(J) Código del pto. de inf.</i>	<i>Diferencia entre medias (I-J)</i>	<i>Error típ.</i>	<i>Significación</i>	<i>Intervalo de confianza al 95%</i>	
					<i>Límite inferior</i>	<i>Límite superior</i>
A	B	-2,65*	0,598	0,004	-4,37	-0,93
	C	-5,40*	0,598	0,000	-7,12	-3,68
B	A	2,65*	0,598	0,004	0,93	4,37
	C	-2,75*	0,630	0,004	-4,56	-0,94
C	A	5,40*	0,598	0,000	3,68	7,12
	B	2,75*	0,630	0,004	0,94	4,56

Basado en las medias observadas.

*La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

El modelo ajustado para el análisis de la variabilidad del punto de inflamación explicó el 86,9% de la variabilidad total, siendo significativa la influencia del factor tipo de mezcla en el comportamiento de este paráme-

tro técnico (Tabla 10). La aplicación del test de Bonferroni, de comparaciones múltiples, arrojó diferencias significativas entre todos los pares de medias comparados dos a dos para un nivel de significación del 5% (Tabla 11).

Como se pudo constatar, los resultados de los estudios estadísticos realizados a los parámetros técnicos obtenidos de las tres mezclas corroboran la selección técnica de la masilla 2 como la mejor.

El resultado se corresponde con lo expresado por los especialistas del Ministerio de la Construcción y de la Empresa de Impermeabilizantes El Cano, a partir de mostrar la idoneidad de la combinación seleccionada por cuanto presenta indicadores de calidad semejantes a los mostrados en la Norma Cubana para Mastiques Asfálticos [Soto, 1999], y en algunos casos aventaja los comercializados

en el mercado nacional, siendo superior en indicadores como la ductilidad, el punto de inflamación y la no tendencia al agrietamiento, o lo que es lo mismo, comportamiento a la intemperie.

Todo lo expresado fue asimismo corroborado estadísticamente. Para ello se aplicó la prueba T para una muestra, la cual contrasta si la media de una variable difiere de una constante especificada.

A continuación la prueba de hipótesis para la comparación de los parámetros técnicos de la muestra seleccionada con valores de los parámetros de productos comercializables:

TABLA 12
Prueba de hipótesis para la penetración de la muestra 2 contra un valor comercializable

Valor de prueba = 110						
	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>Sig.</i> (bilateral)	<i>Diferencia de medias</i>	<i>Intervalo de confianza para la diferencia al 95%</i>	
					<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
Penet. 2	-0,560	7	0,593	-3,00000	-15,6631	9,6631

TABLA 13
Prueba de hipótesis para el punto de inflamación de la muestra 2 contra un valor comercializable

Valor de prueba = 41						
	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>Sig.</i> (bilateral)	<i>Diferencia de medias</i>	<i>Intervalo de confianza para la diferencia del 95%</i>	
					<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
Pto. de inf. 2	29,767	3	0,000	14,25000	12,7265	15,7735

El resultado del análisis de las *Tablas 12 y 13* arrojó que la penetración de esta mezcla no es significativamente diferente a la del valor del producto comercializable, mientras su punto de inflamación sí difiere respecto a los colocados en el mercado, siendo superior, cuestión esta que dicta a favor del producto que se obtuvo.

CONCLUSIONES

- El análisis exploratorio de datos mostró el comportamiento normal de los parámetros penetración, ductilidad y punto de inflamación en los tres tipos de mezclas asfálticas.
- El análisis de varianza para un factor permitió demostrar que existen diferencias significativas entre las penetraciones para los tres tipos de mezclas. A través de la prueba de Bonferroni se constató que la penetración de la mezcla 1 difiere significativamente de la penetración de las mezclas 2 y 3, no existiendo diferencias entre estas dos últimas. En cuanto a la ductilidad y el punto de inflamación, pudo afirmarse que las medias de las tres muestras resultaron diferentes dos a dos para un nivel de significación del 5%.
- De los análisis estadísticos realizados se infiere que la mezcla 2 es la que posee las mejores propiedades para ser aplicada en los siste-

mas de impermeabilización de cubierta.

- En la prueba de hipótesis con respecto a los valores de los parámetros de los productos en el mercado se determinó que la penetración de la mezcla seleccionada no es significativamente diferente a la del valor del producto comercial, mientras que su punto de inflamación sí difiere respecto al de los colocados en el mercado, siendo superior, cuestión esta que dicta a favor de la calidad del producto analizado.

BIBLIOGRAFÍA

- BETANCOURT FIGUERAS, Y. P.: «Investigaciones fundamentales para la determinación de la tecnología de resinación en *Pinus caribaea* var. *caribaea*», tesis en opción del grado científico, Alemania, 1980.
- DIXON-MASSEY: *Introducción al análisis estadístico*, Edición Revolucionaria, Instituto del Libro, La Habana, 1974.
- MARTÍNEZ, A.: Consulta personal. Dirección de Ciencia y Técnica, Micons, La Habana.
- NC. 400-2005: «Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Características de los másticos bituminosos», 1.ª ed., Oficina Nacional de Normalización, La Habana, 2005.
- PASTOR BUSTAMANTE, J. P.: «Determinación de la calidad de la resina de *Pinus* y sus componentes» revista *Ciencia Forestales de Chapingo*, no. 2, 2002.
- SOTO, M.; S. SUÁREZ: «Impermeabilizantes», *Desarrollo de tecnologías*, Gecons, La Habana, 1999.
- WEBSTER, A. L.: *Estadística aplicada a la empresa y a la economía*, Irwin, 2.ª ed., Madrid, 1996.