

APLICACION DE METODOS DE DETERMINACION
DE RETENCION DE CREOSOTA EN POSTES DE
EUCALIPTUS IMPREGNADOS EN AUTOCLAVE

Dr. Leopoldo Becka *

Dr. Luis A. Borlando **

Tco. Quím. Daniel Arcelús **

- * Investigación y Desarrollo de SEGBA.
- ** Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas de la Provincia de Buenos Aires (LEMIT).

1. INTRODUCCION

La durabilidad de los postes usados para el tendido de líneas aéreas de energía y telecomunicaciones es función de la calidad y cantidad de preservador que haya retenido la parte afectada por hongos e insectos durante el proceso de impregnación. Las especificaciones que se formulan están basadas en ensayos de campo, ensayos toxicológicos en laboratorio y observaciones sobre estacas impregnadas colocadas en parcelas. Según los trabajos de H.L. Stasse (1) y de R.H. Colley (2), los postes de pino del sur utilizado en EE UU, requieren una retención de por lo menos 190 Kg de creosota por metro cúbico de albura en los 1,25 cm exteriores y por lo menos 120 kg/m³ entre los 1,25 y los 5 cm. Para postes de eucaliptus, la norma australiana (3) especifica una retención promedio mínima de 190 kg de creosota por metro cúbico de albura para cada carga de postes tratados en autoclave y una retención mínima de 127 kg/m³ de albura por cada poste; la norma sudafricana (4) especifica una retención mínima de 80 kg/m³ de madera total; la norma IRAM requiere una retención promedio por carga de 100 kg/m³ de madera total. Las normas ASTM (5), AWP (6), australiana y sudafricana admiten indistintamente el control de cumplimiento de estos requerimientos por pesada de los postes en la planta, por medida de creosota usada para la impregnación o por ensayo en laboratorio sobre muestras de madera impregnada. La norma Federal TT-W-57 del Gobierno de los EE.UU.(7) sólo admite el control por ensayo de laboratorio (8). La norma base para el método de ensayo en laboratorio es la ASTM. La precisión y exactitud de este método aplicado a postes de eucaliptus han sido evaluadas en el LEMIT y los resultados de dicho estudio informados en otro trabajo (9). Debido a las características de los diferentes métodos de determinación de retención de creosota y a la variación de retenciones de los postes de cada partida es necesario comparar los resultados obtenibles por cada uno de dichos métodos y evaluar la dispersión de resultados para poder formular una norma adecuada. Además, estos resultados permitirán extraer conclusiones sobre las características de la impregnación en cuanto a distribución de retenciones en una carga en función de la especie y del proceso de impregnación.

Este estudio consiste en la determinación de los siguientes parámetros:

R_p retención en kg/m^3 de albura, determinada por pesada;

R'_p retención en kg/m^3 de madera, determinada por pesada;

$R_{t/a}$ retención en kg/m^3 en 2 cm externos de albura, determinada por ensayo según el método ASTM D1860;

S^2 , S^2_ϵ , y S^2_ψ variancia total, por método experimental, y por variación intrínseca de valores reales, respectivamente, de cada uno de los anteriores;

esp espesores de albura;

ptn penetración de creosota;

para postes de e. viminalis y e. saligna impregnadas en las empresas IMPRECO y LIMSA respectivamente.

El trabajo experimental fue realizado en el LEMIT. En el Apéndice I se discuten los métodos de estimación de retención y sus errores y en el Apéndice II se dan los detalles de la impregnación y del método de ensayo.

2. RESULTADOS

En la tabla I a) se informan los valores correspondientes a la impregnación y a los ensayos de e. saligna y en la tabla I b) los correspondientes a e. viminalis.

Sobre las probetas obtenidas de postes de e. saligna a los 10 días de la impregnación no se realizaron ensayos mediante tarugos. Los ensayos mediante tarugos de las probetas extraídas a los 30 días de la impregnación de los postes de e. saligna se realizaron tres meses después de la ejecución de los ensayos mediante astillas. En todos los demás casos, ambos ensayos se realizaron simultáneamente.

Los valores que se informan son:

R_{p-1} y R'_{p-1} retención por pesada inmediatamente después de la impregnación (LIMSA) y por pesada a las 20 h de la impregnación (IMPRECO).

R_{p-2} y R'_{p-2} retención por pesada antes de la extracción de muestra para ensayo (ver Apéndice II).

R_t y R_a retención por metro cúbico de albura ensayada con muestra tomada de tarugos y de astillas, respectivamente. Los valores tabulados bajo la columna R_a son los valores experimentales menos una constante igual a 16 % del valor medio de dichos valores (ver ref. 9), con lo cuál son directamente comparables a los valores experimentales R_t .

Los supraíndices B, C y M significan que las muestras fueron tomadas a 1,50 m de la base, 1,50 m de la cima y en la parte media del poste, respectivamente.

Los índices 1 y 2 corresponden a lo definido anteriormente, y el índice 3 a los ensayos realizados a los 8 meses (LIMSA) o a los 7 meses (IMPRECO) de realizada la impregnación (ver Apéndice II).

esp espesor de albura determinado en las muestras correspondientes al índice 3.

ptn penetración de creosota, determinada en las muestras correspondientes al índice 3.

Las características del aceite de creosota utilizado en la impregnación de ambas especies de eucaliptus son las comunes del producto utilizado en nuestro medio y se ajustan a los requisitos de la Norma IRAM 9 512 y, salvo por una leve diferencia en el peso específico de la fracción 315-355°C, se ajustan también al standard P1-65 de AWWA (tabla 2).

3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Valores de retención

Las figuras 1a, 1b y 1c, presentan los valores de R'_{p-1} , R_{p-1} y $\langle R_t/a \rangle$ versus la penetración de creosota para los dos conjuntos de postes ensayados. Del análisis de estos gráficos se deduce que:

a) Hay una correlación significativa positiva entre los

TABLA 1 a

VALORES DE RETENCION DE CREOSOTA (µg/m³)

Postes de 8 m de la empresa LIMSA, e. saligna, impregnados el 31-7-72, con retención medida en tanque de 103 kg/m³ madera total; espesor medio de albura 2,5 cm; penetración de creosota 2,4 cm.

Nº	Esp. (cm)	ptn (cm)	R _{p-1} ¹	R _{p-2} ¹	R _{p-1}	R _{p-2}	R _{m-2} ^B	R _{m-2} ^C	R _{m-2} ^M	R _{a-2} ^B	R _{a-2} ^C	R _{a-2} ^M	R _{t-2} ^B	R _{t-2} ^C	R _{t-2} ^M	R _{a-3} ^B	R _{a-3} ^C	R _{a-3} ^M	R _{t-3} ^B	R _{t-3} ^C	R _{t-3} ^M	* <R> _{t/a}	σ %	N	ΣR	S ²	
1	3,0	2,6	135	113	248	208	155	160	191	-	-	-	191	157	196	175	12	6	1050	380							
2	2,8	2,8	145	124	245	210	96	98	93	111	92	106	83	-	-	97	10	7	679	86							
3	1,7	1,7	75	45	191	115	124	132	148	100	127	115	108	-	-	122	12	7	854	256							
4	2,2	2,0	105	68	217	141	126	157	148	146	174	132	128	-	-	144	12	7	1011	302							
5	2,8	2,6	125	103	215	177	154	162	147	-	-	-	175	-	-	159	7	4	638	144							
6	2,5	2,9	104	90	166	144	131	73	115	114	101	103	84	-	-	103	20	7	721	386							
7	2,8	2,5	92	45	202	99	58	77	85	85	84	80	81	61	90	78	15	9	701	123							
8	2,9	2,9	145	105	297	211	183	185	157	222	173	162	185	153	165	176	12	9	1585	443							
9	1,4	1,4	112	57	308	157	178	180	184	141	144	147	125	194	148	160	15	9	1441	576							
10	1,8	1,7	100	85	247	210	144	100	112	139	132	124	122	165	103	127	16	9	1141	433							
11	1,9	1,9	112	98	242	212	188	187	124	181	173	116	125	-	168	158	20	8	1262	943							
12	-	-	103	57	186	103	87	103	90	84	115	88	-	-	-	94	13	6	567	144							
13	2,7	2,5	103	63	175	107	117	124	103	117	129	116	121	-	-	118	7	7	827	66							
14	2,5	2,5	129	106	212	174	176	181	158	195	199	171	187	-	-	181	8	7	1267	202							
15	3,5	3,6	130	109	197	165	143	140	124	-	-	-	131	-	-	134	7	4	538	75							
16	3,0	2,5	108	73	226	153	109	116	85	138	108	127	155	-	-	120	20	7	838	517							
17	2,5	2,3	109	90	190	157	161	158	160	-	-	-	139	-	-	154	6	4	618	108							
18	2,4	2,2	96	73	196	149	93	102	90	-	-	-	113	-	-	99	10	4	398	107							
19	2,4	2,4	106	71	201	135	152	157	172	136	173	186	161	-	-	162	10	7	1137	266							
20	3,0	2,7	138	98	251	178	249	263	237	249	218	259	200	-	-	192	233	12	8	1867	728						
Media	2,5	2,4	114	84	220	160	141	143	136	143	143	135	131	146	152	140											
σ %	65	65	16	28	17	23	31	32	30	34	28	33	27	34	27	34	27										
N	19	19	20	20	20	20	20	20	20	15	15	15	19	5	7	20											
ΣR	47,8	45,7	2272	1673	4412	3205	2824	2855	2723	2158	2142	2032	2614	730	1062	2794											
S ²	2,8	2,6	348	548	1422	1403	1867	2095	1706	2354	1632	2040	1399	2515	1703	1416											
R _{min} /ΣR	100	56	58	65	54	75	62	41	51	62	59	59	59	41	59	56											

* Laboratorio IRAM

TABLA 1 b

VALORES DE RETENCION DE CREOSOTA (kg/m³)

Postes de 8 m de la firma IMPRECO, e. viminalis, impregnados el 12-9-72, con retención medida en tanque de 99 kg/m³ de madera total; espesor medio de albura 3,5 cm; penetración de creosota 3,1 cm

Poste n°	esp. (cm)	ptn. (cm)	R' p-1	R' p-2	R p-1	R p-2	R ^B a-2	R ^C a-2	R ^M a-2	R ^B t-2	R ^C t-2	R ^M t-2	R t-2	R t-3	$\langle R \rangle_{t/a}$	$\sigma \%$	N	ΣR	S ²
21	2,3	2,3	115	101	178	156	195	163	217	169	167	162	149	174	14	7	1222	542	
22	4,0	3,8	162	162	280	280	243	185	207	255	202	237	247	225	12	7	1576	718	
23	2,7	2,5	117	102	195	169	154	144	167	160	149	144	160	154	6	7	1078	78	
24	3,4	3,3	136	136	220	220	238	248	230	238	249	216	163	229	15	7	1602	1034	
25	-	-	110	110	203	203	209	186	143	149	148	194	-	171	16	6	1029	799	
26	3,7	2,8	135	135	271	271	265	197	222	254	213	212	271	233	13	7	1634	861	
27	2,8	2,5	137	121	246	215	193	213	225	213	202	219	203	210	5	7	1468	121	
28	4,7	3,7	165	158	242	231	225	231	220	247	211	207	155	214	14	7	1496	845	
29	3,3	3,1	146	117	192	178	197	187	191	186	200	232	170	194	10	7	1363	364	
30	3,4	3,3	142	119	244	239	236	220	193	239	235	224	199	221	8	7	1546	337	
31	4,4	3,8	152	149	267	263	229	164	197	217	185	214	263	210	15	7	1469	1024	
32	-	-	116	116	168	168	147	135	138	126	167	132	-	141	11	6	845	212	
Media	3,5	3,1	136	127	225	216	212,6	189	196	204	194	199	198	198					
$\sigma \%$	68	58	14	16	17	20	17	18	16	22	16	17	23	23	15				
N	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10	12				
ΣR	34,7	31,1	1633	1526	2706	2593	2551	2273	2350	2453	2328	2393	1980	2376					
S ²	5,7	3,2	344	430	1449	1802	1399	1192	987	2015	1018	1201	2187	954					
$\frac{R_{min}}{\langle R \rangle}$	100	66	75	81	80	75	72	69	72	70	62	71	66	71	75				

valores de R'_{p-1} y la penetración, es decir, que a mayor espesor de albura se tiene mayor retención de creosota por metro cúbico de madera total.

b) No hay correlación significativa entre R_{p-1} y penetración, ni entre $\langle R_t/a \rangle$ y penetración.

El análisis de la distribución de valores de R'_p , R_p y R_t/a dados en las tablas 1a y 1b, indica que dichas distribuciones no son normales, sino más bien de tipo rectangular, con un valor mínimo del orden del 60 % de la media.

Los valores medios de R_t/a obtenidos por cada tipo de toma de muestra no difieren significativamente entre sí. Los valores medios obtenidos para cada conjunto de postes son:

$$\begin{aligned} \bar{R}_t \text{ (LIMSA)} & \quad 140 \text{ kg/m}^3, \text{ con } \sigma = 8 \text{ kg/m}^3 \\ \bar{R}_t \text{ (IMPRECO)} & \quad 200, \text{ con } \sigma = 9 \text{ kg/m}^3 \\ \bar{R}_{p-2} \text{ (LIMSA)} & \quad 160 \text{ kg/m}^3, \text{ con } \sigma = 8 \text{ kg/m}^3 \\ \bar{R}_{p-2} \text{ (IMPRECO)} & \quad 216, \text{ con } \sigma = 12 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Los valores de \bar{R}_{p-2} son menores que las retenciones reales porque las pérdidas de agua durante el estacionamiento fueron medidas como pérdida de creosota.

3.2 Análisis de variancias

Con los valores de la precisión de las pesadas del poste, y el error que estimamos se comete en el cálculo del volumen, podemos evaluar $\sigma_\epsilon(R'_p)$ %. Los valores numéricos de estos parámetros son, usando las fórmulas 6, 6' y 6" del Apéndice I:

$$\sigma \text{ (pesada)} \% \simeq \frac{1}{30} \cdot 100 = 3,3 \quad \sigma \text{ (volumen)} \% \simeq \frac{2}{60} \cdot 100 = 3,3$$

$$\text{luego:} \quad \sigma_\epsilon(R'_p) \% = \sqrt{2 \cdot (3,3)^2 + (3,3)^2} = 6$$

El valor de $\sigma_\epsilon(R_p)$ % lo estimamos usando las fórmulas 9, 10 y 11 del Apéndice I, con lo cual:

$$\begin{aligned} \sigma \text{ (V albura)} \% & \simeq \frac{0,4}{3} \cdot 100 = 13,3 \\ \sigma_\epsilon(R_p) \% & = \sqrt{2 \cdot (3,3)^2 + (13,3)^2} = 14 \end{aligned}$$

Los valores estimados de $\sigma(R_p) \%$ para los postes estudiados se dan en las tablas 1a) y 1b) en las casillas correspondientes a la fila $\sigma \%$ y a las columnas R_{p-1} y R'_{p-1} , respectivamente, siendo:

$$\sigma(R'_p) \% = 16 \quad \text{y} \quad \sigma(R_p) \% = 17 \quad \text{para los postes de LIMSA}$$

$$\sigma(R'_p) \% = 14 \quad \text{y} \quad \sigma(R_p) \% = 17 \quad \text{para los postes de IMPRECO}$$

En base a los valores estimados de $\sigma_\epsilon(R_p) \%$ y $\sigma_\epsilon(R'_p) \%$, se calcula $\sigma_\psi(R_p) \%$, $\sigma_\psi(R'_p) \%$, usando las fórmulas 6 y 9, siendo entonces:

$$\sigma_\psi(R'_p) \% = \sqrt{16^2 - 6^2} = 15 \quad \text{y} \quad \sigma_\psi(R_p) \% = \sqrt{17^2 - 14^2} = 9$$

para los postes de LIMSA

$$\sigma_\psi(R'_p) \% = \sqrt{14^2 - 6^2} = 13 \quad \text{y} \quad \sigma_\psi(R_p) \% = \sqrt{17^2 - 14^2} = 9$$

para los postes de IMPRECO

Agrupando ambos conjuntos, ya que sus variaciones son casi iguales, tendremos:

$$\sigma_\psi(R'_p) \% = 14$$

$$\sigma_\psi(R_p) \% = 9$$

$$\sigma(R'_p) \% = 15$$

$$\sigma(R_p) \% = 17$$

Los valores de desviación normal de los ensayos para cada poste son estimadores de la suma del error experimental del método de ensayo y de la variación de retenciones en diferentes zonas del mismo poste, es decir que los valores tabulados bajo las columnas $\sigma \%$ de las tablas 1a) y 1b) son estimadores de $\sigma_\epsilon(R_{t/a}) \%$.

Se verificó la homogeneidad de estas variancias aplicando el test de Bartlett (10). Hecha esta verificación se calcularon los valores de $S^2_\epsilon(R_{t/a})$ y de $\sigma_\epsilon(R_{t/a}) \%$, independientemente para los postes de LIMSA e IMPRECO. Los valores obtenidos son:

$$S^2_\epsilon(R_{t/a}) = 350 \quad \sigma_\epsilon(R_{t/a}) \% = 13$$

para 116 grados de libertad (LIMSA), y

TABLA 2
ANALISIS DEL ACEITE DE CREOSOTA UTILIZADO EN LA
IMPREGNACION DE LOS POSTES

	e. saligna	e. viminalis
Contenido de agua (% en peso).....	0,15	0,35
Peso específico relativo a 38. C/ 15 C.....	1,066	1,060
Materia insoluble en benceno.....	vestigios	vestigios
Curva de destilación (% en peso):		
hasta 210 C.....	1,6	1,0
hasta 235 C.....	8,0	7,2
hasta 270 C.....	25,9	25,2
hasta 355 C.....	72,9	70,5
Residuo de la destilación.....	26,3	29,1
Residuo de coque (% en peso).....	0,30	-
Acidos de alquitrán en la fracción 210 C-355 C (cm ³ /100 g).....	6,6	7,1
Peso específico de la fracción 235 C-315 C a 38 C/15 C.....	1,044	1,045
Peso específico de la fracción 315 C-355 C a 38 C/15 C.....	1,088	1,087

Nota: La muestra fue extraída del autoclave durante la impregnación. Los ensayos se realizaron según la norma IRAM 9512 con excepción del peso específico de las fracciones que se determinó según A.W.P.A., Al-71.

$S^2_{\epsilon}(R_{t/a}) = 580 \quad \sigma_{\epsilon}(R_{t/a}) \% = 12$
 para 70 grados de libertad (IMPREC0).

Dada la casi igualdad de los valores $\sigma_{\epsilon}(R_{t/a})$ % de los dos conjuntos, se agruparon ambos, y de esta manera se obtuvo que:

$$11 \% < \sigma_{\epsilon}(R_{t/a}) \% < 14 \% \quad \text{con } 99 \% \text{ de probabilidad}$$

Los valores tabulados en las filas "S²" y " σ %" son estimadores de la suma de las variancias por error experimental y por variación de retención, es decir de $S^2(R_{t/a})$ y $\sigma(R_{t/a})$ %, para las determinaciones por ensayo. También en este caso se verificó la homogeneidad de variancias para las distintas formas de toma de muestra y se estimaron valores de $S^2_{\psi}(R_{t/a})$ y $\sigma_{\psi}(R_{t/a})$ % para cada conjunto de postes, con el siguiente resultado:

$$S^2_{\psi}(R_{t/a}) = 1400 \quad \sigma_{\psi}(R_{t/a}) \% = 29 \quad \text{para } 19 \text{ grados de libertad (LIMSA)}$$

$$S^2_{\psi}(R_{t/a}) = 810 \quad \sigma_{\psi}(R_{t/a}) \% = 14 \quad \text{para } 11 \text{ grados de libertad (IMPREC0)}$$

El mayor valor de la variancia de los postes de LIMSA se puede atribuir a la variación adicional introducida en las retenciones por la desigual exudación, de magnitud importante, que han sufrido dichos postes inmediatamente después de impregnados. Esta suposición está avalada por el incremento importante en los valores de las variancias de las R_p y R'_p entre determinaciones hechas inmediatamente después de la impregnación y las hechas después de la exudación más manifiesta. Según se observa en la tabla 1a), $\sigma(R'_{p-1}) = 16$ % y $\sigma(R'_{p-2}) = 28$ %; $\sigma(R_{p-1}) = 17$ % y $\sigma(R_{p-2}) = 23$ %.

De manera que los valores de $S^2_{\psi}(R_{t/a})$ para una impregnación más adecuada, como la que se realizó en IMPREC0, estarían mejor representados por los resultados para estos últimos postes, es decir:

$$\sigma_{\psi}(R_{t/a}) = 14 \% \quad \text{para } 11 \text{ grados de libertad}$$

será un valor más realista para este parámetro. Dado que la distribución de retenciones no responde a la distribución "normal", no podemos dar un intervalo de confianza verdade-

ro para $S^2_{\psi}(R_{t/a})$ en base al valor obtenido en este estudio. Una estimación de $\sigma(R_{t/a})$ % estaría dada por:

$$\begin{aligned}\sigma(R_{t/a}) \% &= \sqrt{\sigma_t(R_{t/a}) \%^2 + \sigma_{\psi}(R_{t/a})^2 \%} = \\ &= \sqrt{(12,5)^2 + (14)^2} = 18 \%\end{aligned}$$

3.3 Valores y espesor de albura y penetración

Para los postes de la especie viminalis y saligna creosotados se han obtenido los valores siguientes:

	E. viminalis	E. saligna
Espesor medio de albura.....	3,5 cm, con $\sigma = 68$ %	2,5 cm, con $\sigma = 65$ %
Penetración media...	3,1 cm, con $\sigma = 58$ %	2,4 cm, con $\sigma = 65$ %
Espesor mínimo/espesor medio.....	0,66	0,56
Penetración mínima/penetración media..	0,75	0,58
Penetración media/espesor medio.....	~ 0,90	~ 0,95
(Vol.albura/Vol.madera total),promedio	0,59 con $\sigma = 55$ %	0,52 con $\sigma = 55$ %

Dados los altos valores de dispersión de espesores de albura, no se puede tener un valor confiable del espesor medio de una carga a partir de una muestra pequeña.

Además, dada esta variación, es dable esperar que la dispersión de valores de retención por metro cúbico de madera total sea mayor que la dispersión de valores de retención por metro cúbico de albura, tal como se ha verificado en este estudio.

4. CONCLUSIONES

4.1 No hay diferencias significativas entre las retenciones medias de diferentes zonas del poste comprendi-

das entre 1,5 m de la base y 1,5 m de la cima.

4.2 No hay diferencia significativa entre las retenciones medias obtenidas por ensayos realizados con intervalos de hasta siete meses entre sí.

4.3 Las retenciones obtenidas por ensayo de muestras de tarugos de 15 mm de diámetro y 2 cm de largo extraídos con mecha y por muestras de astillas tomadas de los 2 cm exteriores de albura, tienen igual variancia.

4.4 La desviación normal relativa de los valores de retención obtenidos por ensayo de un mismo poste, está comprendida entre 11 % y 14 %, con 99 % de probabilidad.

4.5 Los valores estimados de las desviaciones normales relativas de las retenciones reales, son:

para retenciones por m^3 de madera total, $\sigma_{\psi}(R'_p) \% = 14$, para 30 grados de libertad;

para retenciones por m^3 de albura, $\sigma_{\psi}(R_p) \% = 9$, para 30 grados de libertad;

para retenciones por m^3 de albura en los 2 cm exteriores, $\sigma_{\psi}(R_{t/a}) \% = 14$, para 11 grados de libertad.

4.6 Los valores estimados de desviaciones normales relativas de los valores de retención obtenidos experimentalmente son:

por pesada: $\sigma(R'_p) \% = 15$; $\sigma(R_p) \% = 17$, para 30 grados de libertad;

por ensayo: $\sigma(R_{t/a}) \% = \sigma(R) \% = 18$, para 11 grados de libertad.

4.7 Los valores de retención obtenidos por medida de tanque son menores que los obtenidos por pesada cuando no hay exudación excesiva.

$\bar{R}' = 103 \text{ kg}/m^3$; $\bar{R}'_{p-1} = 114$, para la carga impregnada en LIMSA; y

$\bar{R}' = 99 \text{ kg}/m^3$; $\bar{R}'_{p-1} = 136$, para la carga impregnada en IMPRECO.

4.8 El proceso de impregnación seguido en LIMSA produce una exudación excesiva de los postes, que lleva a una

reducción de $\sim 30 \text{ kg/m}^3$ en la retención, con lo cual la retención media para los postes, una vez cesada la exudación importante inicial, da:

$$\bar{R}_{p-2}^i = 84 \text{ kg/m}^3 \text{ de madera total; y}$$

$$\bar{R}_{p-2}' = 160 \text{ kg/m}^3 \text{ de albura.}$$

4.9 Las retenciones medias determinadas por ensayo de tarugos de los 2 cm externos de albura, son menores que las retenciones por m^3 de albura determinadas por pesada.

$$\bar{R}_{p-2} = 160 \text{ kg/m}^3; \bar{R}_t = 140 \text{ kg/m}^3; \bar{R}_t/\bar{R}_p = 0,88 \text{ para LIM-}$$

SA, y

$$\bar{R}_{p-2} = 216 \text{ kg/m}^3; \bar{R}_t = 200 \text{ kg/m}^3; \bar{R}_t/\bar{R}_p = 0,92 \text{ para IM-}$$

PRECO.

4.10 La penetración llega, en promedio, a un 90 % del espesor de la albura.

4.11 La carga de postes impregnados en IMPRECO cumple cualquiera de las normas de retención de creosota en eucaliptus que se mencionan en la introducción. La carga impregnada en LIMSA las cumpliría si no hubiese habido tan alto grado de exudación de creosota después de la impregnación.

4.12 La relación volumen albura/volumen total de los postes de la especie *e. viminalis* estudiados es $\sim 15 \%$ mayor que la de los postes de *e. saligna*. Por lo tanto, los postes de *e. viminalis* deberán tener valores de retención por madera total un 15 % mayores que los de *e. saligna*, para tener igual retención por metro cúbico de albura.

4.13 Las conclusiones antes mencionadas son coherentes y pueden servir de base para formular una norma de control de calidad de retención de creosota en postes de eucaliptus (9).

REFERENCIAS

1. Stasse, H. L.- Proc. AWPA, 62 (1966), 265-285.
2. Colley, R. H.- Proc. AWPA, 66 (1970), 1-20.

3. Norma SAA 364.
4. Norma SABS 753.
5. Norma ASTM 1760.
6. Norma AWWA, C4.
7. Federal Specification TT-W-571.
8. Norma ASTM D-1860.
9. Borlando, L. A. y Becka, L.- LEMIT-ANALES, 3-1973, 191/209,
(Serie II, N° 247).
10. Bartlett, M. S.- p.161 de Estadística Aplicada, B. Os-
tle. Limusa-Wiley, Ed., Mexico, 1965.

NOTA.- Este trabajo fué realizado por convenio entre Investigación y Desarrollo de SEGBA y el LEMIT. Los autores agradecen a los técnicos del LEMIT J. Di Gerónimo y M. L. Barraza su valiosa colaboración. Asimismo agradecen a la Industrial Maderera S. A. (LIMSA) de San Isidro, y a IMPRECO S.A. de Junín, la donación de postes y demás facilidades brindadas.

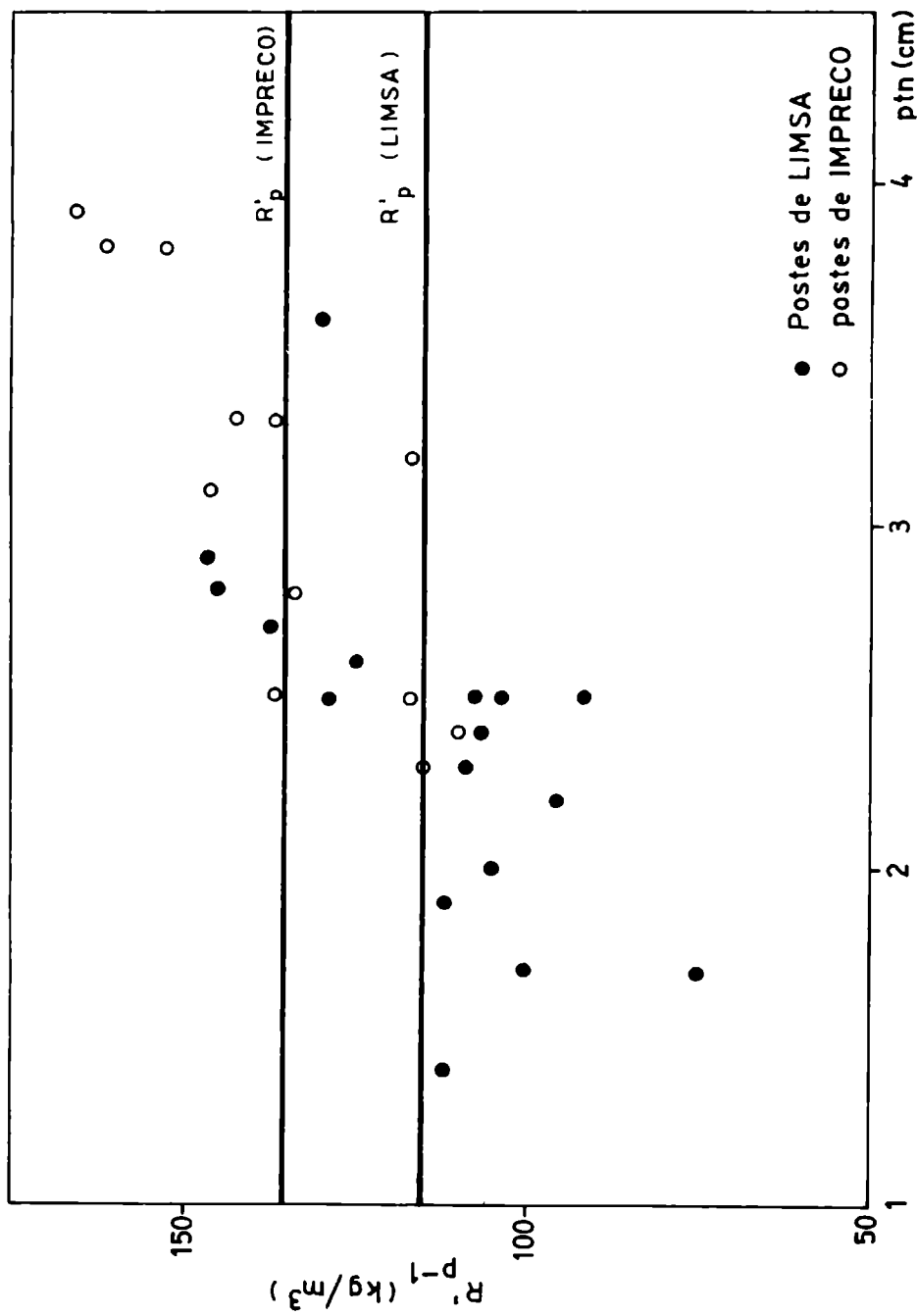


Fig. 1a.- Retención por metro cúbico de madera total v. penetración de creosota

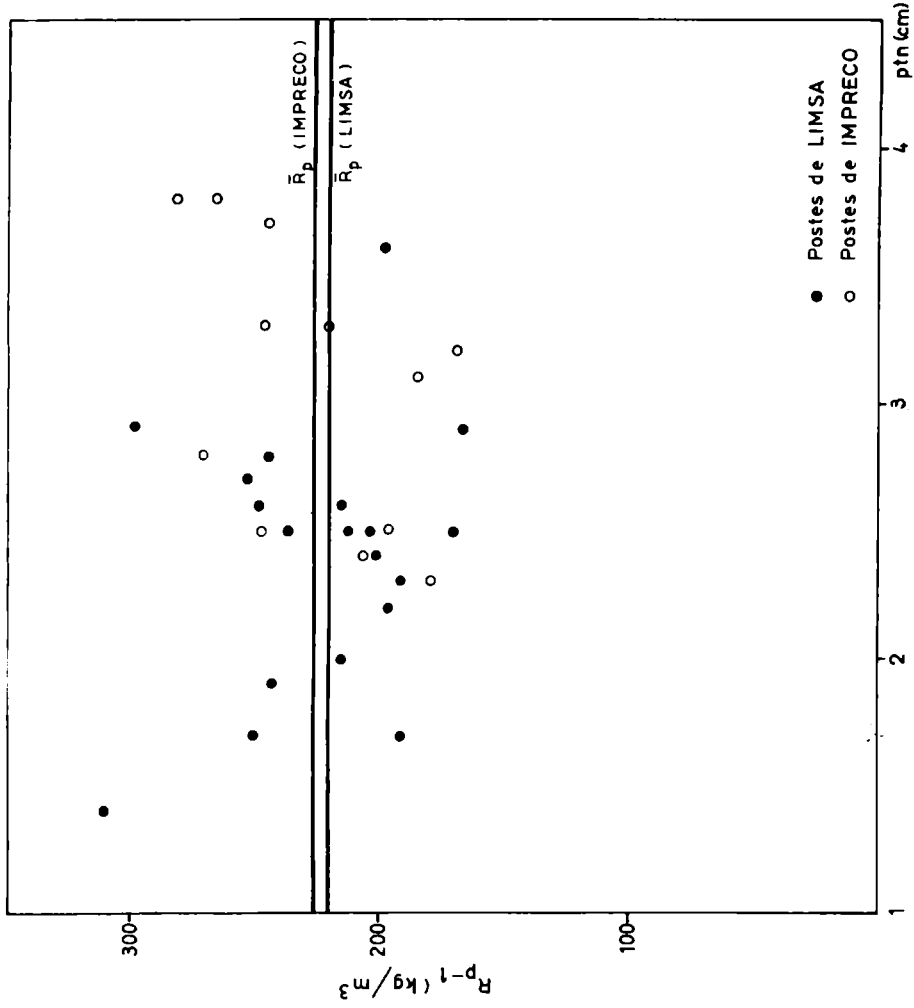


Fig. 1b.- Retención por metro cúbico de albura v. penetración de creosota

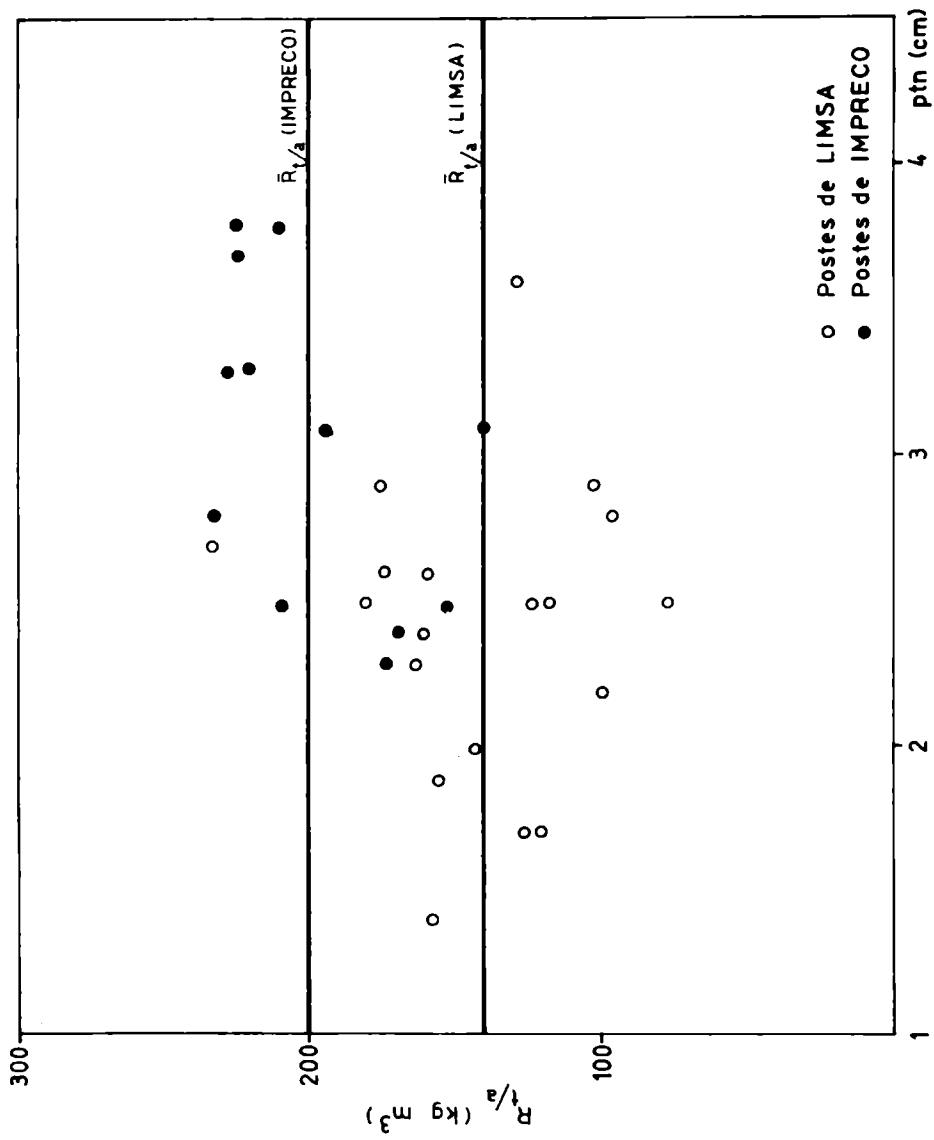


Fig. 1c.- Retención en 2 cm externos de albura v. penetración de creosota

APENDICE I

I.1 Métodos de estimación de retención

El control de retención se puede realizar de las siguientes maneras:

I.1.1 Por pesada de los postes

Se miden los perímetros de cima y base, la longitud, el peso y el contenido de agua de los postes que entran al autoclave. Terminado el proceso de impregnación y una vez que los postes dejan de exudar creosota en cantidades apreciables, se pesan y se determina su humedad.

La retención de cada poste, expresada en kg/m^3 de madera total, se obtiene de la siguiente relación:

$$R'_p = \frac{P_q - P_i + W_i - W_q}{L \cdot \Pi \cdot \overline{PM}^2 / 4} \quad (1)$$

donde:

P_q, P_i pesos del poste al finalizar y al comenzar las impregnaciones, respectivamente;

W_q, W_i pesos de agua en el poste al finalizar y al comenzar la impregnación, respectivamente;

L longitud del poste; y

\overline{PM} (perímetro base + perímetro cima) / 2

La retención promedio (\overline{R}'_p) se puede estimar determinando los parámetros antes mencionados sobre una muestra de los postes de la carga.

Para estimar la retención en albura (R_p) se mide el espesor medio de albura en la base y en la cima, y se calcula la relación:

$$C = \frac{\text{Volumen madera total}}{\text{Volumen albura}} = \frac{V_T}{V_A} \quad (2)$$

y se obtiene:

$$R_p = R'_p \cdot C \quad (3)$$

Dadas las dificultades prácticas en la determinación del

contenido de agua, es habitual estimar la retención por pesada sin considerar la variación de peso de agua durante la impregnación. Si la humedad inicial del poste no excede los valores fijados por norma, la diferencia será despreciable.

I.1.2 Por tanque de medición del autoclave

Se determina el volumen de la carga según lo descrito en I.1.1 y se estima la cantidad de creosota absorbida por dicha carga en base a lo indicado en un tanque medidor adosado al autoclave. Para ello se mide el nivel de creosota cuando el autoclave se llenó de creosota, antes de aplicar presión, y el nivel de creosota una vez finalizada la aplicación de la presión. De esta manera se obtiene la retención promedio por metro cúbico de madera total de la carga (\bar{R}'). Para estimar la retención promedio por metro cúbico de albura (\bar{R}), se estima la relación promedio \bar{C} , determinando espesores de albura, perímetros y longitudes de una muestra de los postes de la carga, y se calcula:

$$\bar{R} = \bar{R}' \cdot \bar{C} \quad (4)$$

I.1.3 Por ensayo en laboratorio

Se extraen muestras de albura de los postes y se determina la cantidad de creosota retenida, utilizando el método ASTM (9). Los valores obtenidos dan una estimación de la retención en la zona de albura muestreada del poste (R_t o R_a , para muestra constituida por tarugos o por astillas tomadas de torta, respectivamente) (9). Para estimar la retención por volumen de madera total, se estima C con los valores medidos de espesor de albura y perímetro del poste, en la zona ensayada, y se calcula:

$$R'_{t/a} = R_{t/a} / C \quad (5)$$

I.2 Errores de los métodos de determinación de retención

I.2.1 Error del método de determinación de retención por pesada

El valor R'_p estimado estará afectado por los errores en la pesada, en la determinación de volumen y en la determinación de contenido de agua del poste. Si en la estimación de R'_p no se toma en cuenta la variación en contenido de a-

gua durante la impregnación, se tendrá la siguiente expresión para la desviación normal relativa de una serie de medidas de R'_p sobre el mismo poste:

$$\sigma_{\epsilon}(R'_p) \% = \sqrt{2 (\sigma_p \%)^2 + (\sigma_{VT} \%)^2} \quad (6)$$

donde:

$$\sigma_p \% = \sigma \text{ pesada/peso creosota} \cdot 100 \quad (6')$$

$$\sigma_{VT} \% = \sigma \text{ perímetro / perímetro} \cdot 100 \quad (6'')$$

La variancia de \bar{R}'_p (valor medio de R'_p para los postes de una carga), será:

$$S^2(\bar{R}'_p) = \left[S^2_{\epsilon}(R'_p) + S^2_{\psi}(R'_p) \right] / n \quad (7)$$

donde:

n = número de postes de la muestra tomada para estimar \bar{R}'_p

$S^2_{\psi}(R'_p)$ = variancia de las retenciones reales de los postes de la carga.

Un estimador de $S^2(\bar{R}'_p)$ será el valor de la expresión:

$$\left[\sum_{i=1}^n (R'_p(i) - \bar{R}'_p)^2 \right] / n (n - 1) \quad (8)$$

Este último estimador es el que se puede calcular fácilmente determinando los valores de R'_p de los postes de una carga típica. La variancia de \bar{R}_p será análogamente:

$$S^2(\bar{R}_p) = \left[S^2_{\epsilon}(R_p) + S^2_{\psi}(R_p) \right] / n \quad (9)$$

$$\sigma_{\epsilon}(R_p) \% = \sqrt{2 (\sigma_p \%)^2 + (\sigma_{VA} \%)^2} \quad (10)$$

$$\sigma_{VA} (\%) \approx \left[\sigma \text{ espesor albura / espesor albura} \right] \cdot 0,8 \cdot 100 \quad (11)$$

$S^2_{\psi}(R_p)$ = variancia entre retenciones por metro cúbico de albura de postes de una carga típica

Un estimador de $S^2(\bar{R}_p)$ será el valor dado por la ecuación siguiente:

$$\left[\sum_{i=1}^n (R_p(i) - \bar{R}_p)^2 \right] \cdot n(n-1) \quad (12)$$

también obtenible determinando valores de R_p de los postes de una carga típica.

1.2.2 Error del método de determinación de retención por tanque de medición

Por este método se puede estimar \bar{R} y \bar{R}' pero no valores individuales. Por la aplicación típica del método esta estimación está afectada por los siguientes errores:

- absorción de creosota por los postes durante el llenado del autoclave, cantidad que no es registrada;
- escurrimiento de creosota cuando se hace el vacío final en el autoclave, cantidad que tampoco es registrada;
- exudación de creosota inmediatamente después de la salida del autoclave.

1.2.5 Error del método de determinación por ensayos de laboratorio

Para mediciones realizadas sobre el mismo poste, tomando todo el espesor de albura, la retención por metro cúbico de albura será:

$$R_{\ell, T} = R_{t, T} \cdot n_t \cdot f_e$$

$$\text{o} \quad R_{\ell, T} = R_{a, T} \cdot n_a \cdot f_e \quad (13)$$

con:

$$S_{\epsilon}^2 (R_{t/a, T}) = S_m^2 + S_{v, T}^2 \quad (14)$$

$$S_{\epsilon}^2 (R_{\ell, T}) = S_{\epsilon}^2 (R_{t/a, T}) \cdot n_{t/a} \cdot f_e \quad (15)$$

$$S^2 (R_{\ell, T}) = S_{\epsilon}^2 (R_{\ell, T}) + S_{\psi}^2 (R_p) \quad (16)$$

donde:

$R_{\ell, T}$ = retención por metro cúbico de albura determinada para toda la albura;

$R_{t, T}$ y $R_{a, T}$ = retenciones por metro cúbico obtenidas en el ensayo con muestras consistentes de tarugos o de as-

tillas, respectivamente, del total de espesor de albura;

n_t y n_a = factores de normalización que relacionan la retención obtenida por el método de ensayo con la retención real;

f_e = factor que da la pérdida de retención por envejecimiento;

$S_{v,T}^2$ = variancia de retenciones obtenidas tomando muestras del espesor total de albura de distintas partes del mismo poste;

S_m^2 = variancia del método para determinaciones sobre muestras iguales (precisión).

Dado que es más simple normalizar el método de ensayo sobre la base de muestras tomadas sobre un espesor fijo de albura (por ejemplo en el caso de las especies e. saligna y e. viminialis del país se podría tomar un espesor de 2 cm desde la parte externa), nos referiremos a los valores de retención y a sus variancias cuando se hace la determinación sobre espesores fijos. En este caso las expresiones serán:

$$R_l = R_t \cdot n_t \cdot f_e$$

$$o \quad R_l = R_a \cdot n_a \cdot f_e \quad (17)$$

con:

$$S_{\epsilon}^2(R_{t/a}) = S_m^2 + S_v^2 \quad (18)$$

$$S_{\epsilon}^2(R_l) = S_{\epsilon}^2(R_{t/a}) \cdot n_{t/a} \cdot f_e \quad (19)$$

$$y \quad S^2(R_l) = S_{\epsilon}^2(R_l) + S_{\psi}^2(R_{t/a}) \quad (20)$$

donde:

R_l = retención por metro cúbico de albura en el espesor fijo ensayado;

S_v^2 = variancia de retenciones obtenidas en el mismo poste tomando muestras de espesor fijo;

$S_{\psi}^2(R_{t/a})$ = variancia de retenciones reales entre zonas del mismo espesor de albura de los distintos postes de la carga.

La variancia del valor medio de $R_{t/a}$ para un poste será:

$$S_{\epsilon}^2(R_{t/a}) = (S_m^2 + S_v^2) / n \quad (21)$$

La variancia del valor medio de $R_{t/a}$ para una carga será:

$$S^2(\bar{R}_{t/a}) = \left[S_{\epsilon}^2(R_{t/a}) + S_{\psi}^2(R_{t/a}) \right] / n \quad (22)$$

donde n es el número de muestras del poste tomadas para calcular el valor medio.

El valor estimado para la retención por metro cúbico de madera total obtenida por ensayo es:

$$R'_{\ell} = R_{\ell}/C, \text{ con } S^2(R'_{\ell}) = \left[(S^2(R_{\ell}) / (R_{\ell})^2 + (S^2/C^2)) \right] R'_{\ell} \quad (23)$$

$$\bar{R}'_{\ell} = (\bar{R}_{\ell}/C) \text{ con } S^2(\bar{R}'_{\ell}) = S^2(R'_{\ell}) / n \quad (24)$$

Un estimador de $S_{\epsilon}^2(R_{t/a})$ será el valor:

$$\left[\sum_{j=1}^m (R_{t/a}(j) - \langle R_{t/a} \rangle)^2 \right] / m-1 \quad (25)$$

donde los valores de $R_{t/a}(j)$ corresponden a "m" ensayos realizados sobre el mismo poste y $\langle R_{t/a} \rangle$ es el valor medio obtenido para ese poste. Un estimador de $S_{\psi}^2(R_{t/a})$ será el valor de:

$$\left[\sum_{i=1}^n (\langle R_{t/a}(i) \rangle - \langle \bar{R}_{t/a} \rangle)^2 \right] / n-1 \quad (26)$$

donde los valores de $\langle R_{t/a}(i) \rangle$ corresponden a las medias para cada poste de los n postes de la carga.

Los valores de $n_{t/a}$ y S_m^2 se obtienen en los ensayos de calibración del método (9).

1.3 Comparación de valores de retención y desviaciones normales

Si los postes no tienen una exudación excesiva al salir del autoclave, serán mayores los valores de retención por pesada que los obtenidos por tanque medidor, es decir:

$$\bar{R}'_p > \bar{R}' \quad \text{y} \quad \bar{R}_p > \bar{R}$$

Para muestras extraídas sobre el espesor completo de la albura se debería verificar:

$$\bar{R}_{\ell, T} = \bar{R}_p$$

Los valores obtenidos por ensayo con muestra que no tenga el espesor completo de la albura serán mayores que los obtenidos sobre toda la albura, ya que la concentración media de creosota en la parte exterior será mayor que la media para toda la albura, es decir:

$$R_{t/a} > R_{t/a, T} \quad y \quad R_{\ell} > R_p$$

Respecto a las desviaciones normales, es dable esperar que $S_{v, T}^2 > S_v^2$ y que $S_{\psi}^2(R_{t/a}) > S_{\psi}^2(R_p)$.

Si hay una variación importante de valores de espesores de albura entre postes, es dable esperar que la variancia relativa de valores reales de R'_p por carga será mayor que la de valores reales de R_p ya que en ese caso debería ser más constante la retención por metro cúbico de albura que la retención por madera total, es decir:

$$S_{\psi}^2(R_p)/(R_p)^2 < S_{\psi}^2(R'_p)/(R'_p)^2$$

Por el contrario, el error experimental de la determinación de R'_p será menor que el correspondiente a R_p ya que el error de determinación de volumen de albura es mayor que el error de determinación de volumen de madera total, es decir:

$$S_{\epsilon}^2(R_p) > S_{\epsilon}^2(R'_p)$$

No se puede establecer a priori una relación entre $S(R_p)$ y $S(R'_p)$.

Respecto de las desviaciones de los $R_{t/a}$ determinados por ensayo, es evidente que:

$$S(R'_{t/a})/R'_{t/a} > S(R_{t/a})/R_{t/a}$$

ya que en la variancia de $R'_{t/a}$ va incluido el error de estimación de C.

Por lo tanto, para las determinaciones por ensayo será más adecuado informar los valores de "R" por su menor dispersión, mientras que para las determinaciones por pesada se deberán dar los valores de R_p y R'_p .

11.1 Impregnación de postes de e. saligna con aceite de creosota

Para este estudio se seleccionaron 20 postes de 8 metros de longitud, que por sus excelentes características tecnológicas representan el material de mejor calidad disponible en la playa de almacenamiento de la planta de preservación (LIMSA).

Según datos declarados por el impregnador se trata de postes de e. saligna procedentes de Entre Ríos (Concordia) y Misiones. Previo al tratamiento se identificaron los postes con placas de hierro galvanizado con el correspondiente número grabado en relieve y clavado sobre los mismos.

Luego se determinó: perímetro en la base, perímetro en la punta, longitud y espesor de albura en la base y en la punta (todas estas medidas al 0,5 cm) y peso inicial (al 0,25 kg).

De inmediato se introdujeron dentro del autoclave para ser creosotados junto con otros 62 postes de eucaliptus de la misma longitud. Los datos suministrados por la fábrica referentes a la operación de impregnación y a la retención lograda son los siguientes:

Período de carga de creosota: 25 minutos.

Período de presión: 40 minutos a 250 libras de presión y 85°C de temperatura.

Período de descarga de creosota: 20 minutos.

Período de vacío final: 30 minutos a 450 mm de mercurio.

Tiempo total empleado: 2 horas.

Volumen de la carga: 13,5 m³.

Consumo de creosota: 1 390 kg.

Retención por medida en planta: 103 kg/m³.

Antes del llenado con creosota no se aplica vacío ni aire a presión, de modo que la madera es impregnada mediante el proceso Lowry. Los postes ya impregnados fueron pesados inmediatamente después de ser extraídos del autoclave con el objeto de conocer su "retención inmediata", (R'_{p-1} y R_{p-1}). Con respecto a este valor debe tenerse en cuenta:

a) que los postes despiden abundante creosota líquida debido a la expansión del aire comprimido en el interior de la madera;

b) que durante el manipuleo de los mismos también se elimina la creosota estancada en sus rajaduras, grietas y nudos;

c) que debido a la temperatura elevada que tiene el poste puede suponerse que hay ligeras pérdidas de creosota por evaporación y pérdidas mayores por evaporación del agua que contiene la madera;

d) que no se pudo determinar la humedad de los postes antes de la impregnación por ser muy heterogénea su distribución en cada poste.

Los postes fueron luego estibados a plena intemperie en la playa de la fábrica durante el tiempo de duración del estudio.

Extracción de muestras. Transcurridos 10 días desde la impregnación se volvieron a pesar los postes número 1, 5, 15, 17 y 18, e inmediatamente se cortaron para extraer muestras para ensayos de laboratorio. Luego de 30 días se pesaron y cortaron los postes 2, 6, 10, 11 y 14; a los 60 días los postes 3, 4, 13, 16 y 19; y a los 90 días los postes 7, 8, 9, 12 y 20.

De cada poste se cortaron tres tortas de aproximadamente 30 cm de altura, que se identificaron de la siguiente manera:

- B extraída a 1,50 m del extremo de la base
- M extraída del medio
- C extraída a 1,50 m del extremo de la punta

Después de 8 meses se extrajo de todos los postes (con excepción del número 12) una nueva torta para ser ensayada, cortándola de los trozos de aproximadamente 2 m de largo que se encontraban identificados con la placa metálica colocada antes de la impregnación.

En este caso debe tenerse en cuenta que no fué posible conocer si la torta extraída se encuentra en la vecindad de las tortas B, M o C ensayadas anteriormente. En todos los casos las tortas se colocaron en bolsas de polietileno que

se cerraron hasta el momento del ensayo.

La impregnación se realizó el 31 de julio de 1972. Los ensayos de cada grupo de postes se realizaron en los días siguientes al de extracción de las tortas.

II.2 Impregnación de e. viminalis con aceite de creosota

Se trabajó con 12 postes de e. viminalis procedentes de la provincia de Buenos Aires, de 8 m de longitud, que fueron seleccionados, medidos y pesados de acuerdo con las mismas consideraciones ya expuestas. La impregnación se realizó en IMPRECO, S.A.I.C.

En este caso se controló también la humedad de los postes inmediatamente antes del tratamiento, midiéndola con un xilohigrómetro Siemens a 1,50 m de la base, en el medio y a 1,50 m del extremo de punta. De inmediato se impregnaron en autoclave junto con otros 90 postes de eucaliptus, con aceite de creosota, cuyas características se informan.

Antes del llenado con creosota aplican vacío, de modo que la madera es impregnada mediante un sistema tipo Bethell. Los postes impregnados fueron pesados 20 horas después de haber sido extraídos del autoclave, para conocer su "retención a las 20 horas" (R'_{p-1} y R_{p-1}). En esta oportunidad se observó que los postes se encontraban a temperatura ambiente y no despedían aceite de creosota, y que la humedad era igual a la que tenían antes de ser impregnados.

Extracción de muestras. Inmediatamente después de pesados se sacaron muestras de los postes número 24, 25, 26 y 32. Todos los postes quedaron estibados en la playa a plena intemperie durante todo el tiempo que duró el estudio.

De la misma manera ya descripta para el caso de los postes de e. saligna, se extrajeron muestras a los 30 días (números 22, 27, 28 y 31); a los 60 días (21, 23, 29 y 30) y a los 7 meses (todos los postes menos los números 25 y 32).

Las experiencias se realizaron entre el 12 de setiembre de 1972 y el 9 de abril de 1973.

II.3 Ensayos para determinar el contenido de creosota y agua

Se realizaron dos tipos de ensayos:

a) Ensayo mediante astillas

De cada torta se cortó un disco de 15 a 18 mm y otro vecino a éste, de 4 a 6 cm de altura (previamente se cortó una rodaja externa de 2 a 3 cm de espesor que fué descartada). En el primero se marcó con un gramil la corona externa de albura de 2,0 cm de espesor ($\pm 0,5$ mm) y utilizando un formón se cortaron tres sectores de esa corona situados a 120° (aproximadamente 60 g de albura). Con la misma herramienta se hicieron astillas de 2,0 a 3,5 mm de lado, se mezclaron bien las provenientes de los tres sectores y del conjunto se retiró una muestra que se pesó al 0,001 g y se colocó en el extractor.

Para la determinación del contenido de aceite de creosota y agua en la madera se utilizó el procedimiento ASTM-D-1860, con la siguiente modificación: en lugar del cestillo de malla metálica, se usó un sifón de vidrio de 34 mm de diámetro interno y 110 mm de altura, para colocar las astillas. Como solvente se utilizó tolueno rectificado y 18 a 24 g de madera en cada ensayo. El regimen de destilación se reguló para lograr un reflujo superior a una gota por segundo en el condensador. De esta manera el sifón se descarga cada 3 o 4 minutos. El período de extracción fué de 4 horas y el período de secado a $125 \pm 3^{\circ}\text{C}$ también de 4 horas. La serie de probetas provenientes de los postes cortados a los 10 días (e. saligna) se extrajo durante 3 horas y su período de secado fué de otras 3 horas.

La operación de corte de la albura impregnada se realizó sobre madera enchapada con laminado plástico y evitando en lo posible todo manoseo con vistas a evitar, o al menos disminuir al mínimo, las pérdidas de preservador.

El mismo disco de madera se usó para medir penetración, haciendo cortes muy delgados con el formón y cada vez a mayor profundidad hasta encontrar madera no impregnada.

El disco de 4 a 6 cm de altura se usó para determinar el peso específico, por el método de inmersión en agua (ASTM-D-2395; B-III) con balanza al 0,01 g y probetas de albura creosotada de 100 a 200 g de peso. La superficie de las probetas no fué tratada con parafina por considerárselo innecesario.

b) Ensayo mediante tarugos

De cada torta y de la zona vecina a la que se extrajo el disco para el ensayo mediante astillas, se extrajeron cinco tarugos de 3 a 3,5 cm de largo, ubicados aproximadamente a 72° uno del otro, sobre la periferia de la misma. Para ello se utilizó un sacabocados de 15 mm de diámetro interior, accionado mediante una agujereadora eléctrica de banco.

Se midió luego el diámetro de 20 tarugos (2 medidas a 180°) para determinar el valor del diámetro standard (15,20 mm) que se usó para calcular el volumen.

Teniendo en cuenta las precauciones ya mencionadas, se cortó cada tarugo con un formón, de modo que fuera ensayada la albura hasta una profundidad de 2,0 cm. La penetración no fué determinada, y para calcular la relación albura-madera se usó el valor hallado en el ensayo mediante astillas. Se midió también en cada caso la longitud del conjunto de 5 tarugos provenientes de cada torta, a los efectos de conocer su volumen y calcular su peso específico. Se subdividieron en pequeños cilindros de 3 a 5 mm de albura (4 o 5 por tarugo) que se pesaron al 0,001 g y colocaron en el sifón del extractor (16 a 18 g de madera). El regimen de destilación, tiempo de extracción y tiempo de secado en estufa fueron los mismos del ensayo anterior.