



**COMPORTAMIENTO DE LA SOLUCIÓN TÉCNICA DURMIENTE DE
MADERA NATIVA Y FIJACIÓN KZ EN EL CORREDOR
CHIMBARONGO - CHILLÁN**

CONCEPCIÓN, FEBRERO 2004

INDICE

	Página
1. RESUMEN EJECUTIVO	2
2. ANTECEDENTES GENERALES	3
3. OBJETIVOS	4
3.1 General	4
3.2 Específicos	4
4. METODOLOGÍA	5
4.1 Zonas de muestreo	5
4.2 Intensidad de muestreo y tamaño de la muestra	5
4.3 Inspecciones y evaluaciones	6
4.3.1 Durmientes y tirafondos	6
4.4 Estándar de seguridad de la vía	6
4.4.1 Cantidad de durmientes en buen estado por collera	6
4.4.2 Cantidad máxima de durmientes en mal estado dispuestos en forma consecutiva	7
4.5 Estado de funcionamiento de la componente elástica de la fijación KZ (sujeción de riel)	7
4.6 Costo de mantenimiento anual	7
5. RESULTADOS	7
5.1 Zonas de muestreo y velocidad de operación	7
5.2 Tipos de durmientes	8
5.3 Estado de los durmientes	8
5.4 Estándar de seguridad de la vía	9
5.5 Funcionamiento de la componente elástica de la fijación KZ (sujeción de riel)	10
5.6 Efecto combinado durmientes en buen estado y sujeción de riel apretada	11
5.7 Costo de mantenimiento anual de la vía	12
5.8 Variables que impiden mayores velocidades en el tramo Chimbarongo - Chillán	14
6. DISCUSION SOBRE LOS PROCESOS UTILIZADOS PARA LA FABRICACIÓN DE DURMIENTES Y COMPARACIÓN ENTRE DURMIENTES DE MADERA Y HORMIGON	14
7. CONCLUSIONES	16
8. BIBLIOGRAFIA	17

PRÓLOGO

Este estudio fue ejecutado por los profesionales del Instituto Forestal, señor Oscar Inostroza, en su calidad de investigador principal, y los señores Gonzalo Hernández y Ricardo Oyarzún.

El desarrollo del estudio fue posible gracias al apoyo de profesionales en retiro y activos de la Empresa de Ferrocarriles del Estado (EFE) y Empresa de Transporte Ferroviario S.A. (FERRONOR).

Los profesionales externos al INFOR que participaron en el estudio se detallan a continuación:

Profesional	Cargo	Institución
Alicia Lewellyn	Unidad de Modernización	Empresa de Ferrocarriles del Estado
Arnoldo Bravo	Unidad de Modernización	Empresa de Ferrocarriles del Estado
Alan Cifuentes	Jefe de Servicio Mantenimiento	Empresa de Ferrocarriles del Estado
Carlos Estay	Unidad de Modernización	Empresa de Ferrocarriles del Estado
Eduardo Núñez	Inspector de Vías (R)	Ex funcionario EFE
Hugo Moroso	Jefe Departamento Vías	FERRONOR
Ramiro Reyes	Gerente de Infraestructura	Empresa de Ferrocarriles del Estado
Raúl Urtubia	Servicio Mantenimiento Santiago	Empresa de Ferrocarriles del Estado
Jorge Aravena	Inspector de Vías	Empresa de Ferrocarriles del Estado

1. RESUMEN EJECUTIVO

La Empresa de Ferrocarriles del Estado, EFE, invirtió entre los años 1998 y 2002 cerca de US\$ 32 millones en la reconstrucción de casi 280 kilómetros de vías con durmientes de hormigón armado, en desmedro de los durmientes de madera, limitando uno de los pocos usos comerciales que tiene el recurso forestal nativo de Chile.

En el cumplimiento de la misión del Instituto de Investigación Forestal de Chile, INFOR, que consigna el contribuir al desarrollo económico, social y ambiental del país mediante el aporte de conocimientos científicos y tecnológicos sobre el uso sostenible de los recursos y ecosistemas forestales, en el año 2003 desarrolló dos estudios que avalan la aptitud de un grupo de maderas nativas de Chile para la confección de durmientes.

El primer trabajo, denominado “Estudio comparativo de los durmientes de madera utilizados en las redes ferroviarias de los Estados Unidos y Chile”, tuvo por objetivo verificar si los durmientes de maderas nativas chilenas responden a las solicitudes de un sistema altamente exigente en condiciones de tráfico, como lo es el sistema ferroviario de los EEUU. La conclusión de este estudio señala que todas las maderas nativas especificadas en la norma EFE V32-99, en cuanto a sus propiedades mecánicas, califican en la norma norteamericana AREMA. En general, la clasificación visual de las maderas nativas de Chile es más exigente que las indicaciones que aparecen en la norma norteamericana.

Un segundo trabajo, denominado “Inspección visual de durmientes de madera en servicio: Metro Regional de Valparaíso (MERVAL) y Línea Central Sur (LCS)”, revisó una población de 34.240 durmientes en el corredor MERVAL y 3.055 durmientes en el corredor Línea Central Sur, concluyendo que las fallas atribuibles a la madera son mínimas, con un 0,5% y 0,2% de durmientes defectuosos en los corredores MERVAL y LCS, respectivamente.

En este tercer estudio, ejecutado entre los meses de octubre 2003 y enero 2004, denominado “Comportamiento de la solución técnica durmiente de madera nativa y fijación KZ en el corredor Chimbarongo-Chillán”, se evaluó la funcionalidad y rendimiento mecánico de 454.667 durmientes de maderas nativas chilenas instalados entre los años 1965 y 2002, además de determinar el gasto de mantenimiento incurrido en el período.

Se verificó que la vía sólo ha sido sometida a prácticas de mantenimiento esporádicas, reportándole a EFE un gasto medio anual de US\$ 650 por kilómetro de vía. Además, se comprobó que en el corredor de interés el 98% de los durmientes impregnados cumple con los requisitos de la norma de seguridad de la vía EFE-NSF-11.001, referida a la integridad física, valor que disminuye a un 70% en el caso de los durmientes no impregnados.

Para los estándares y tráficos proyectados, el uso del durmiente de madera nativa chilena impregnado ofrece importantes ventajas económicas y técnicas respecto del durmiente de hormigón. Entre otras ventajas, la madera presenta una alta resistencia al tráfico mixto (carga y pasajeros) incluso con bajos niveles de mantenimiento. Desde el punto de vista económico, los trabajos realizados en los tramos Alameda-Chimbarongo y Chimbarongo-Chillán tuvieron dos orientaciones distintas que favorecen el análisis. En el primer caso la vía se hizo nueva, se removieron todos los durmientes, se mejoró la base, se puso balasto nuevo y se instalaron los durmientes de hormigón. En el tramo Chimbarongo – Chillán, sólo se removieron los durmientes en mal estado y se reemplazaron por unidades

nuevas. En síntesis, se logró que en el corredor pudieran circular trenes a velocidades en el rango 120–150 km/h, sin hacer distinción si la base estaba constituida por uno u otro tipo de durmiente. Impacta observar que los niveles de inversión son muy distintos, representando una diferencia de 10 veces, US\$ 114.086/km para la opción de cambio total de durmientes de madera a hormigón contra US\$ 11.400/km para la reposición de los durmientes de madera defectuosos. La utilización más eficiente de los recursos entonces corresponde a la última alternativa, que alcanza el estándar deseado al mínimo costo haciendo sólo el cambio de los durmientes en mal estado. Esto, aún considerando costos de mantención y de reposición a futuro, no considerados en este análisis.

Finalmente, cabe destacar la relevancia social que tiene el uso de la madera en este tipo de aplicaciones. La fabricación de durmientes de maderas nativas es realizada por familias de pequeños propietarios, que desarrollan economías de subsistencia, localizadas principalmente entre las zonas cordilleranas de la VII y X regiones. Ellas se encargan de cosechar la materia prima, transformarla en durmientes y comercializar el producto final con las empresas ferroviarias y plantas de impregnación del país. El impacto económico que generaría en los pequeños propietarios del bosque nativo el uso de durmientes de madera en los proyectos de concesión de vías (BOT) de la Empresa de Ferrocarriles del Estado, a implementar durante el año 2004 por un período de 15 años, significa un ingreso adicional del orden de los US\$ 21,14 millones, en comparación con el valor alternativo de la leña. Estas cifras se obtiene al considerar una demanda total de 2,8 millones de durmientes, equivalentes a un volumen cercano a los 300.000 m³ de madera.

2. ANTECEDENTES GENERALES

El corredor Chimbarongo - Chillán, propiedad de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, forma parte de la denominada Línea Central Sur (L.C.S.) Alameda - Puerto Montt, con una extensión de 248 kilómetros de vía en trocha ancha (1.676 mm). Cuenta con una dotación aproximada de 454.667 durmientes de maderas nativas chilenas, con y sin impregnación, afianzados con el sistema de fijación alemán KZ, conocida internacionalmente como KB - o simplemente K - y con riel continuo soldado del tipo K (Fuente: Jorge Aravena, Inspector de vía EFE, sector Chimbarongo - Chillán).

En la actualidad, el corredor es utilizado por doce frecuencias diarias de los servicios de pasajeros TERRASUR Alameda - Chillán (Automotores UTS- 444), cuatro frecuencias diarias del servicio TERRASUR TEMUCO (Locomotoras Clase 269), dos frecuencias diarias del servicio Nocturno Alameda - Talcahuano (Automotor AEZ), y cuatro frecuencias diarias del servicio diurno a Talca (Automotor AEZ). Al mismo tiempo, este corredor sustenta el tráfico de mercancías a cargo de la empresa FEPASA.

El cronograma siguiente ilustra los acontecimientos relevantes ocurridos en el corredor Chimbarongo - Chillán en el periodo 1965-2002:

- Hasta el año 1965 el corredor era transitado por los trenes de pasajeros a una velocidad máxima de 80 km/h (Fuente: Eduardo Nuñez. Ex inspector de vías, tramo Chimbarongo - Chillán. EFE).
- Durante el plan quinquenal de mantenimiento e inversiones de EFE, ejecutado entre los años 1965 y 1970, con fondos obtenidos del Banco Mundial, se renovaron los rieles (sistema eclisado a soldado continuo), se cambió la totalidad de los durmientes, se introdujeron las sujeciones elásticas, se renovó el balasto y se verificaron en forma

mecanizada los parámetros geométricos de la vía (trocha, alineación, nivelación y peralte). Todas estas mejoras elevaron el estándar de la vía, pasando de la clase C (hasta 100 km/hora) a la D (hasta 130 km/hora) (Fuente: Eduardo Nuñez. Ex inspector de vía en el tramo Chimbarongo – Chillán, EFE).

- Los durmientes instalados entre los años 1965 y 1970 fueron del tipo impregnado con creosota, cuyo tratamiento fue realizado en la planta de propiedad de IMPREGMA S.A., sociedad formada por EFE, Correos de Chile y ENDESA, ubicada en la localidad de Chumpullo, provincia de Valdivia.
- Entre los años 1971 y 1980 el mantenimiento de la vía se detiene, produciéndose una disminución en la clase del corredor, cayendo al final del periodo desde la clase D a C.
- En la década de los años 80 la vía fue sometida a mantenimiento menor (recambio de escasos durmientes dañados), sin mejorar la clase de vía del corredor.
- Con posterioridad al año 1990 comienzan a concretarse nuevas acciones de mantenimiento y rehabilitación del tendido, esta vez con fondos aportados por un crédito del gobierno japonés. Entre los años 1994 y 1997 se realizó la renovación de aproximadamente 100.000 durmientes verdes sin tratamiento de preservación. La impregnación con creosota no era posible debido a que la planta de Chumpullo no se encontraba en operaciones y no existía otra alternativa en el mercado nacional (Fuente: Arnoldo Bravo, Alicia Lewellyn, Carlos Estay, Unidad de Modernización EFE).
- Los planes trienales de EFE de los años 1997-1999 y 2000-2002 permitieron la adquisición de aproximadamente 91.000 durmientes impregnados con creosota, los que junto a otras acciones de mantenimiento dejaron al corredor con un estándar de vía clase E, en el cual se puede transitar con una velocidad de hasta 160 km/h (Fuente: Arnoldo Bravo, Alicia Lewellyn, Carlos Estay, Unidad de Modernización EFE).

3. OBJETIVOS

3.1 General

Determinar para el corredor Chimbarongo - Chillán el comportamiento de la solución técnica durmiente de madera nativa y fijación KZ.

3.2 Específicos

- Determinar la ubicación, extensión y máxima velocidad desarrollada en los tramos rectos de la Línea Central Sur en el corredor bajo estudio.
- Evaluar el estado actual de los durmientes de maderas nativas chilenas, con y sin impregnación.
- Evaluar el estado de funcionamiento actual del conjunto durmiente de madera nativa chilena y la fijación KZ.
- Determinar el costo de mantenimiento anual histórico que permitió alcanzar el actual estándar de vía.

- Identificar las variables que impiden el desarrollo de mayores velocidades en el corredor.

4. METODOLOGÍA

4.1 Zonas de muestreo

El tramo bajo estudio fue el corredor ubicado entre el paradero Chimbarongo, kilómetro 149, VI región y la estación Chillán, kilómetro 397, VIII región.

En el corredor se seleccionaron 3 zonas de muestreo, seleccionadas de acuerdo a las siguientes variables:

- Vía recta, sin presencia de estaciones y de longitud superior a los 3 kilómetros.
- Tramos donde el tren de pasajeros desarrolla una velocidad mayor a los 120 km/h.
- Lugares de fácil acceso a la vía.

La identificación de cada zona de muestreo y el registro de las velocidades desarrolladas en cada una de ellas se realizó mediante recorridos de reconocimiento previos, realizados en el automotor UTS 444, del servicio TERRASUR Alameda - Chillán.

4.2 Intensidad de muestreo y tamaño de la muestra

En cada zona de muestreo, de un kilómetro de longitud, se identificaron y controlaron 4 segmentos de vía, cada una de ellas constituida por 140 metros de vía continua. La ubicación de estos segmentos quedó definida por tres postes consecutivos del tendido eléctrico de la catenaria que alimenta a los automotores, ubicados entre los postes 1 y 3; 5 y 7; 9 y 11; y 13 y 15.

En este estudio se aplicó un muestreo aleatorio simple para variable cualitativa. Se trabajó con un 95% de confianza y con un error de muestreo de un 1,77%. Además como no se disponía de información previa, se aplicó varianza máxima, es decir, se consideró $P = Q = 0,5$. Con estos antecedentes el tamaño muestral, n , se obtuvo de la siguiente relación:

$$n = \frac{n_0}{1 + n_0 / N} \quad ; \text{ si } n_0 / N < 0,05 \Rightarrow n = n_0$$

donde:

N = tamaño de la población = 454.667 durmientes

y n_0 se calculó de la expresión:

$$n_0 = \frac{z_0^2 * P * Q}{e^2}$$

Teniendo en consideración que para un nivel de confianza de un 95%, $z_0 = 1.96$:

$$n_0 = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.0177^2} = 3.065,53 \text{ durmientes}$$

$$\text{Como } \frac{n_0}{N} = 0.0066 < 0.05$$

En consecuencia, se asume que $n = n_0 = 3.066$ durmientes

4.3 Inspecciones y evaluaciones

4.3.1 Durmientes y tirafondos

Cada uno de los durmientes inspeccionados fue clasificado de acuerdo a su condición de preservación: impregnado antiguo, impregnado nuevo y sin impregnación. En forma simultanea fueron evaluados de acuerdo con su integridad física: buen o mal estado.

En la actualidad existen dos normas de seguridad de la vía, la versión del año 1995 y la del año 2001. En este estudio se consideró la más exigente por corresponder el tema a seguridad. Según la norma EFE-NSF-11.001, del año 2001, un durmiente en buen estado debe cumplir los siguientes requisitos:

- No presentar quebradura.
- No presentar rajadura u otro tipo de daño que permita que el balasto pase a través de su sección transversal, o que los clavos, tirafondos u otros tipos de sujeciones no se mantengan firmemente adheridos.
- No presentar deterioros que permitan que la silla de asiento del riel pueda moverse lateralmente más de 13 mm respecto de los durmientes (desplazamiento lateral).
- No presentar rebajes o desgastes como consecuencia del incrustamiento de la silla de asiento en más de un 30% del espesor del durmiente (aplastamiento).

Adicionalmente, según la norma FRA parte 213.335, un durmiente en buen estado debe presentar al menos 2 tirafondos, cumpliendo la función de apriete por cada silla de asiento (para vías clase 6 o clase E).

4.4. Estándar de seguridad de la vía

Estos estándares se basan en la cantidad de durmientes en buen estado por collera¹ y en la cantidad máxima permitida de durmientes en mal estado dispuestos en forma consecutiva.

4.4.1 Cantidad de durmientes en buen estado por collera

De acuerdo con la norma de seguridad EFE-NSF-11.001, debe existir una cantidad mínima de durmientes en buen estado por collera para cada clase de vía (Tabla 1). La calificación de las unidades y zonas muestreadas se realizó en base a este requisito.

¹ Segmento de la vía férrea de 12 metros de longitud, que incluye rieles, durmientes y fijaciones.

Tabla 1. Cantidad mínima de durmientes en buen estado por collera, según clase de línea

Cantidad mínima de durmientes en buen estado	Clase de vía					
	A	B	C	D	E	F
	6	10	13	15	17	17

4.4.2 Cantidad máxima de durmientes en mal estado dispuestos en forma consecutiva

De acuerdo con la norma de seguridad EFE-NSF- 11.001, existe una cantidad máxima de durmientes en mal estado que pueden estar ubicados en forma consecutiva para cada clase de vía. La calificación de la clase de vía según este criterio se entrega en la Tabla 2.

Tabla 2. Cantidad máxima de durmientes en mal estado consecutivos por clase de línea

Clase de vía	Durmientes en mal estado consecutivos permitidos (en rectas)
E y F	No permite
D	2 y 3
Fuera de norma	Más de 3

El análisis del cumplimiento de los estándares de seguridad de la vía se realizó aplicando 2 tipos de criterios. El primero de ellos consideró la aplicación de las normas de seguridad EFE-NSF-11.001 y FRA parte 213.335, referidas al estado de los durmientes y a la consolidación de los tirafondos, respectivamente. El segundo criterio combinó el estado de los durmientes, tirafondos y la sujeción elástica del riel por parte del sistema de fijación KZ, según el estándar FRA.

4.5 Estado del funcionamiento de la componente elástica de la fijación KZ (sujeción riel)

Se evaluó el funcionamiento de la componente elástica de la fijación KZ, verificando las cuatro sujeciones de riel existentes en cada durmiente. Se calificó como sujeción suelta o no funcional a todas aquellas en las cuales la pestaña metálica no se encontraba en directo contacto presionando la zapata del riel, ya sea por pérdida de tensión en la arandela, por falta de apriete en la tuerca o por pérdida de uno o varios de los elementos componentes (perno guía, arandela elástica y pestaña o sapo).

4.6 Costo de mantenimiento anual

Información recopilada desde el año 1970 a 2002 permitió determinar el costo anual promedio de conservación de la vía en el corredor de interés. Los antecedentes fueron proporcionados por profesionales de EFE de la Región Metropolitana y de la VII Región, Talca.

5. RESULTADOS

5.1 Zonas de muestreo y velocidad de operación

En la Tabla 3 se entregan antecedentes de la localización de las zonas muestreadas y la determinación de la condición actual de operación.

Tabla 3. Zonas muestreadas

Zona	Ubicación		Longitud inspeccionada (m)	Velocidad (km/h)
Molina	Km 202, poste 1	Km 203, poste 1	584	130 – 135
San Rafael	Km 229, poste 1	Km 229, poste 15	569	120 – 140
San Carlos	Km 379, poste 1	Km 379, poste 15	516	120 – 150

5.2 Tipo de durmiente

En total se caracterizaron 3.054 durmientes (Tabla 4), distribuidos entre impregnados antiguos (planta Chumpullo, instalados antes de 1970); impregnados nuevos (planta Yumbel, instalados entre 2000 y 2001); y sin impregnación (verdes, instalados entre 1995 y 1996).

Los durmientes impregnados antiguos constituyen casi la mitad (45,9%) de la estructura de la vía, no obstante sus más de 33 años en uso. Los impregnados nuevos y los sin impregnación participan con un 26,1% y 28,0%, respectivamente.

Tabla 4. Distribución por tipo, zona y origen del durmiente

Zona	Cantidad inspeccionada	Participación en la zona (%)	Origen
Durmientes impregnados antiguos (IA)			
Molina	505	47,2	Chumpullo
San Rafael	556	53,3	Chumpullo
San Carlos	343	36,3	Chumpullo
Total	1.404	45,9	
Durmientes impregnados nuevos (IN)			
Molina	234	21,9	Yumbel
San Rafael	296	28,4	Yumbel
San Carlos	266	28,2	Yumbel
Total	796	26,1	
Durmientes sin impregnación (SI)			
Molina	330	30,9	Varios (*)
San Rafael	190	18,2	Varios (*)
San Carlos	334	35,4	Varios (*)
Total	854	28,0	

(*) Sector forestal desde la VII a la X regiones.

5.3 Estado de los durmientes

La condición de uso de los durmientes inspeccionados se presenta en la Tabla 5. No se incorporaron las variables medidas a la silla de asiento² (desplazamiento lateral y aplastamiento) debido a que los resultados se encuentran dentro de norma.

² Silla de asiento: elemento de sujeción y anclaje del riel al durmiente

Tabla 5. Durmientes fuera de norma según defecto, Norma EFE-NSF- 11.001

Zona	Cantidad inspeccionada durmientes	Quebradura	Rajadura	Pudrición	Anclaje no consolidado ³			Durmientes fuera norma	
					Riel izquierdo	Riel derecho	Fuera norma Total	Total	%
Durmientes impregnados antiguos (IA)									
Molina	505	0	2	1	4	8	12	12	
San Rafael	556	0	0	1	3	4	7	7	
San Carlos	343	0	0	2	8	13	21	20	
Total	1.404	0	2	4	15	25	40	39	2,8
Durmientes impregnados nuevos (IN)									
Molina	234	0	0	0	0	0	0	0	
San Rafael	296	0	0	0	1	0	1	1	
San Carlos	266	0	1	0	1	0	1	2	
Total	796	0	1	0	2	0	2	3	0,4
Durmientes sin impregnación (SI)									
Molina	330	0	0	8	88	75	163	114	
San Rafael	190	0	0	11	19	17	36	37	
San Carlos	334	1	1	42	48	58	106	106	
Total	854	1	1	61	155	150	305	257	30,1

Los durmientes impregnados antiguos presentan un bajo nivel de defectos con un 2,8%. Este bajo porcentaje es notable al considerar las condiciones de abandono (entre los años 1970 y 1994) y los más de 33 años de servicio.

En el caso de los durmientes impregnados nuevos, la presencia de defectos que los deja fuera de norma es mínima, con un 0,4%.

Un 30,1% de los durmientes verdes o sin impregnar presentan defectos que los descalifican para el uso ferroviario, a pesar de los no más de 8 años de uso. Las limitantes de mayor frecuencia fueron la pudrición (61 unidades), y el anclaje no consolidado (305 sillares de asiento con tirafondos sueltos).

5.4 Estándar de seguridad de la vía

La cantidad de durmientes en buen estado por collera, en función de las zonas muestreadas, se presenta en la Tabla 6.

³ Medido en N° de sillares de asiento con anclaje no consolidado

Tabla 6. Durmientes en buen estado por collera y clase de vía, Norma EFE NSF 11.001

Clase de vía	Durmientes en buen estado	Cantidad de colleras		
		Molina	San Rafael	San Carlos
E y F	22	2	19	5
E y F	21	13	24	8
E y F	20	12	2	5
E y F	19	11	2	13
E y F	18	4	0	2
E y F	17	5	0	4
D	16	2	0	1
D	15	0	0	3
C	14	0	0	2
Colleras inspeccionadas		49	47	43
Colleras fuera de clase E		2	0	6
% Colleras fuera de clase E		4,1	0,0	14,0
Clase de vía resultante		D	E	C

Conforme a esta calificación, sólo la zona muestreada de San Rafael cumple con el estándar de vía clase E. Las zonas de San Carlos y Molina califican en las clases C y D, respectivamente.

La presencia de series de durmientes en mal estado consecutivos (nidos) se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Clase vía según durmientes defectuosos consecutivos, Norma EFE-NSF-11001

Clase de vía	Durmientes en mal estado permitidos	Cantidad de series con durmientes defectuosos		
		Molina	San Rafael	San Carlos
E y F	1			
D	2	12	0	17
D	3	2	0	2
Fuera de norma	Más de 3	0	0	1
Cantidad de series		14	0	20
Clase de vía resultante		D	E	Fuera de norma

Esta calificación deja a la zona San Carlos fuera de norma, a Molina en clase D y San Rafael se mantiene en clase E.

5.5 Funcionamiento de la componente elástica de la fijación KZ (sujeción de riel)

Los resultados de la medición de la componente elástica de la fijación KZ, se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Sujeciones del riel sueltas, FRA 213.335

Zona	Sujeciones Inspeccionadas	Sujeciones KZ						Durmientes fuera de norma (*)	
		Riel izquierdo		Riel derecho		Fuera de norma		de norma (*)	
		Exterior	Interior	Interior	Exterior	Total	%	Total	%
Durmientes impregnados antiguos (IA)									
Molina	2.020	56	59	53	53	221	10,9	95	18,8
San Rafael	2.224	7	8	7	11	33	1,5	38	6,8
San Carlos	1.372	30	60	51	19	160	11,7	110	32,1
Total	5.616	93	127	111	83	414	7,4	243	17,3
Durmientes impregnados nuevos (IN)									
Molina	936	6	6	10	6	28	3,0	24	10,3
San Rafael	1.184	2	5	4	10	21	1,8	22	7,4
San Carlos	1.064	17	32	24	9	82	7,7	56	21,1
Total	3.184	25	43	38	25	131	4,1	102	12,8
Durmientes sin impregnación (SI)									
Molina	1.320	21	25	22	28	96	7,3	148	44,8
San Rafael	760	2	4	13	8	27	3,6	37	19,5
San Carlos	1.336	71	96	98	49	314	23,5	214	64,1
Total	3.416	94	125	133	85	437	12,8	399	46,7

(*) Incluyen los defectos de integridad de la madera, anclaje no consolidado y sujeciones sueltas.

En el caso de los durmientes verdes sin impregnación, la incidencia de sujeciones sueltas (12,8%) fue considerablemente superior a la que presentan los durmientes impregnados. Al sumar los defectos propios de la madera y de las sujeciones, los durmientes verdes sin impregnación presentan una alta proporción de unidades fuera de norma (46,7%).

5.6 Efecto combinado durmientes en buen estado y sujeción de riel apretada

Considerando que la pérdida de tensión de la pestaña de la sujeción KZ sobre el patín del riel afecta la capacidad de la estructura para conservar su geometría, se puede calificar a las pestañas sueltas como una disfunción de la fijación (FRA 213.335). Luego, el efecto combinado que se produce al evaluar el estándar de vía según la presencia de durmientes en buen estado (“buenos”) y sujeciones sueltas presentan un resultado más restrictivo respecto del estándar actual, como se muestra en la Tabla 9, para el caso del análisis por colleras.

Tabla 9. Durmientes en buen estado por collera y clase de vía, Norma EFE-NSF-11.001

Clase de vía	Durmientes en buen estado	Cantidad de colleras		
		Molina	San Rafael	San Carlos
E y F	22	0	4	0
E y F	21	0	13	0
E y F	20	5	14	0
E y F	19	6	7	3
E y F	18	8	4	1
E y F	17	7	3	0
D	16	8	1	4
D	15	7	0	6
C	14	2	1	8
C	13	2		6
B	12	3		3
B	11			3
B	10			3
A	6 a 9			6
Colleras inspeccionadas		48	47	43
Colleras fuera de clase E		22	2	39
% Colleras fuera de clase E		45,8	4,3	90,7
Clase de vía resultante		B	C	A

Según esta calificación, el estándar de vía en las zona San Rafael, Molina y San Carlos disminuye a las clases C, B y A, respectivamente.

Aplicando el criterio anterior, al calificar el estándar de la vía conforme a la existencia de series de durmientes malos y con sujeciones de riel sueltas, aumenta la presencia de “nidos” que dejan fuera de norma a todas las zonas en estudio como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Clase vía según durmientes defectuosos consecutivos, Norma EFE-NSF-11001

Clase de vía	Durmientes en mal estado permitidos	Cantidad de series con durmientes defectuosos		
		Molina	San Rafael	San Carlos
E y F	1			
D	2	36	10	55
D	3	11	0	21
Fuera de norma	Más de 3	2	1	21
Cantidad de series		49	11	97
Clase de vía resultante		Fuera de norma	Fuera de norma	Fuera de norma

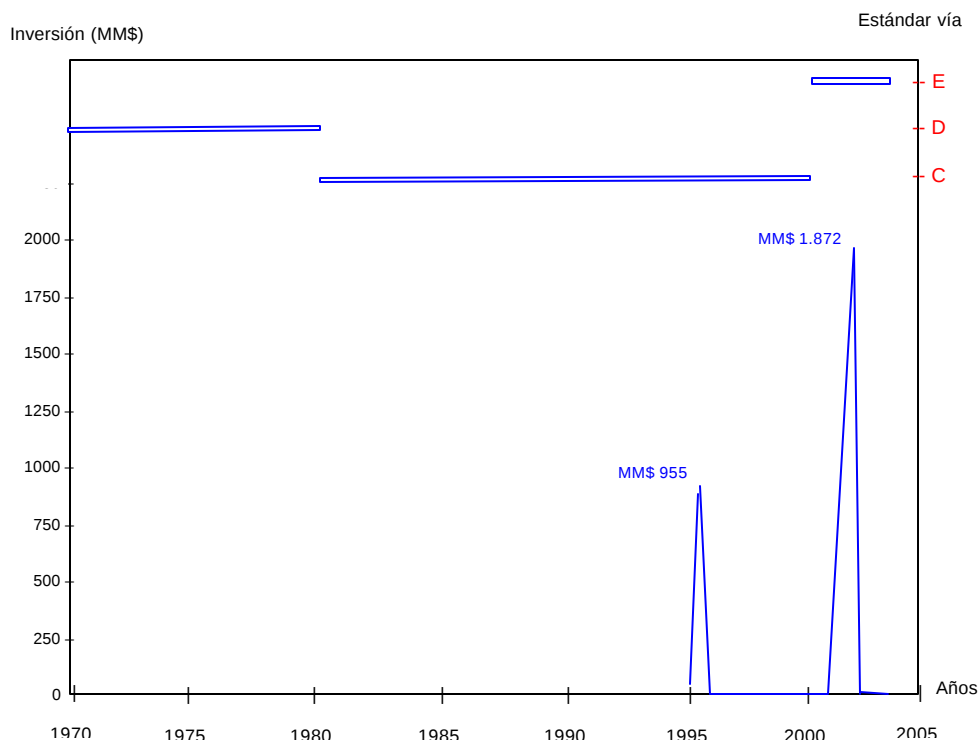
5.7 Costo de mantenimiento anual de la vía

Entre los años 1970 y 1994, EFE no ejecutó ninguna inversión significativa para el mantenimiento del corredor Chimbarongo - Chillán. En el periodo señalado, desde el punto de vista de la velocidad desarrollada por los trenes de pasajeros, la calidad del corredor cayó desde una vía de clase D a una de clase C.

En el año 1995 EFE realizó una inversión de \$955 millones, permitiendo incorporar en 2 años un total 100.364 durmientes sin impregnación (verdes). Posteriormente, durante el periodo 2000-2001, EFE ejecutó una nueva inversión, esta vez por un total de \$1.872

millones. En ese periodo se instalaron 114.958 durmientes impregnados, de los cuales 92.958 fueron impregnados nuevos y 22.000 de reemplazo (usados), extraídos del tramo Alameda - Chimbarongo. Todas estas inversiones dejaron al corredor, desde el punto de vista de la velocidad desarrollada, con un estándar de vía clase E.

El gráfico siguiente ilustra el comportamiento de la inversión y el estándar de la vía entre los años 1970 y 2002.



Lo anterior traducido a US\$/km/año de vía se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Gasto anualizado promedio en la mantención de la vía

Periodo (años)	Monto contrato		Gasto anualizado US\$/km/año
	\$	US\$	
1970 - 1994	Mantención ordinaria, montos de bajo valor		
1995 – 1997 ⁴	955.199.433	2.332.884	4.703
2001 – 2002 ⁵	946.196.963	1.429.430	-
2001 – 2002 ⁶	925.637.535	1.398.371	11.402 ⁷
1970 – 2002		5.160.685	650

Nota: Los montos indicados no contemplan IVA
El dólar promedio de 1995-1997 fue de \$409,45 / 2001-2002 fue de \$661,94
La extensión del tramo Chimbarongo-Chillán es de 248 km.

⁴ Corresponde a Contrato EFE 56

⁵ Corresponde a Contrato EFE 185

⁶ Corresponde a Contrato EFE 193

⁷ Valor de los 2 contratos ejecutados en el periodo 2001-2002

La inversión media anual para la conservación del corredor, actualizada en dólares norteamericanos, en el periodo 1970-2002, fue de US\$650 por kilómetro de vía.

5.8 Variables que impiden mayores velocidades en el tramo Chimbarongo - Chillán

Considerando el estado actual de la estructura de vía y el tráfico esperado, los siguientes factores se presentan como limitantes para el desarrollo de mayores velocidades dentro de la clase de vía E:

- Ausencia de un confinamiento adecuado de la faja de vía
- Carencia de un programa adecuado para la oportuna prospección de vía, tanto desde el punto de vista de los parámetros geométricos, como de la integridad de los elementos constituyentes de la estructura.
- Inapropiada proporción y distribución de durmientes y fijaciones defectuosas.
- Presencia de algunas barras de rieles con desgaste excesivo.
- Ausencia de un programa de conservación de las sujeciones elásticas de la fijación KZ.
- Ausencia de un programa anual de saneamiento, reposición y bateo de balasto, nivelación, alineamiento, trasposición y reposición de rieles.

Mas allá de tener la posibilidad de resolver satisfactoriamente todas las limitantes presentadas, cualquier esfuerzo para mejorar la condición actual de la infraestructura debe contemplar los siguientes aspectos:

- Confinar la vía en ciudades, barrios aledaños y zonas rurales puntuales, de manera de disminuir el riesgo de accidentes de personas y animales.
- Sanear la vía y garantizar las condiciones de drenaje de la misma.
- Ejecutar un roce mecánico y aplicación de herbicida en sectores donde la vegetación se aprecia muy alta.
- Incluir señales automáticas en cruces, de acuerdo a DS 38 y 62.
- Mejorar las señales luminosas en la vía, para aumentar su nivel de visibilidad.
- Alinear y nivelar desviadores y juntas de riel.
- Mejorar el estado de los puentes (cambio de durmientes, fijaciones y conservación de la estructura metálica).
- Mantener las inspecciones sobre rieles y renovar las barras dañadas.
- Continuar con las prospecciones anuales o bianuales para definir acciones a realizar.
- Realizar un reapriete de las sujeciones de riel en la fijación KZ.
- Mejorar la proporción y distribución de durmientes y fijaciones deterioradas.

6. DISCUSIÓN SOBRE LOS PROCESOS UTILIZADOS PARA LA FABRICACIÓN DE DURMIENTES Y COMPARACIÓN ENTRE DURMIENTES DE MADERA Y HORMIGÓN

- En el tramo Chimbarongo-Chillán, los durmientes impregnados han mostrado un buen comportamiento en los más de 33 años que llevan en servicio. Estos durmientes procesados entre los años 1965 y 1970, eran almacenados en cancha durante 6 a 12 meses hasta alcanzar el contenido de humedad requerido por el tratamiento de preservación posterior (45 a 50% dependiendo de la especie). La cantidad de durmientes destinados al secado al aire libre estaba en directa relación con los programas de mantención de ferrocarriles. En el caso de requerir durmientes fuera de programa, se procedía a implementar técnicas de secado acelerado para disminuir la

humedad y alojar en una profundidad especificada la cantidad de preservante requerido de acuerdo a normas AWP (American Wood Preservers` Association) y AREMA (American Railway Engineering and Maintenance – of – Way Association).

Según AREMA, la técnica de secado al aire es demandante de tiempo, pero la larga vida útil de los durmientes impregnados son un testimonio del éxito del procedimiento.

El procedimiento de secado actual considera la reducción del contenido de humedad de los durmientes a 45 - 50% o menos (dependiendo de la especie) en el mismo cilindro de impregnación a temperaturas de 93 °C o más, técnica conocida como Bultonzado. AREMA, indica que dado que el proceso se realiza a la temperatura señalada, el preservante se mantiene menos viscoso y es posible obtener mayores penetraciones en menos tiempo comparado con lo que es posible en durmientes secados al aire. Otro beneficio es que los 93 °C esterilizan la madera. Cualquier espora u hongo que pudiera estar presente es eliminado.

Según la norma ferroviaria de los Estados Unidos AREMA, entre ambos métodos de acondicionamiento de la madera no se hacen diferencias en la calidad final del durmiente impregnado.

- El sistema ferroviario siempre ha estado enfrentado a la problemática de la mantención del estándar de la vía, para brindar seguridad en la circulación de trenes de carga, mientras que en el área pasajeros junto con la necesaria seguridad entregar comodidad durante el viaje. Además de los beneficios anteriores el mantenimiento y apego a estos estándares llevará asociado un mínimo daño al material rodante. Una de las preguntas claves del tema ferroviario es qué hacer al momento de tener la necesidad de subir o mantener el estándar de una vía existente. Las alternativas posibles son las siguientes:
 - Construir una vía nueva utilizando durmientes de madera
 - Construir una vía nueva utilizando durmientes de hormigón
 - Elevar el estándar cambiando los elementos defectuosos

Apoyados en la siguiente tabla histórica podemos llegar a ciertas conclusiones:

Sector	Fecha	Gasto		Gasto unitario (*)	Vida útil Esperada
		MM\$	MMUS\$	US\$/km	Años
Alameda – Rancagua	18-5-99	6.600,8	13,609		
San Fco – Chimbarongo	28-6-01	11.296,0	18,335		
Total Alameda – Chimbarongo		17.896,8	31,944	114.086(**)	50
Chimbarongo – Linares	9-10-01	925,6	1,398		
Linares – Chillán	11-5-01	946,2	1,429		
Chimbarongo Chillán		1.871,8	2,827	11.400	35

(*) Todos los montos sin IVA

(**) 280 km aprox.

Los trabajos realizados en los tramos Alameda – Chimbarongo y Chimbarongo – Chillán tuvieron dos orientaciones distintas. En el primer caso la vía se hizo nueva, se removieron todos los durmientes, se mejoró la base, se puso balasto nuevo y se instalaron los durmientes de hormigón. En el tramo Chimbarongo – Chillán, sólo se

removieron los durmientes en mal estado y se reemplazaron por unidades nuevas. En síntesis, se logró que el corredor pudiera ser circulado por trenes a velocidades en el rango 120 – 150 km/h, sin hacer distinción si la base estaba constituida por uno u otro tipo de durmiente, con la salvedad que los niveles de inversión son muy distintos, se aprecia una diferencia en el gasto de 10 veces (US\$ 114.086/km contra US\$ 11.400/km). Pareciera que la utilización más eficiente de los recursos debiera haber sido la última alternativa, es decir, alcanzar un estándar al mínimo costo haciendo sólo el cambio de los durmientes defectuosos. Esto, aún considerando costos de mantención y de reposición a futuro, no considerados en este análisis.

7. CONCLUSIONES

- La inversión realizada por EFE en el corredor Chimbarongo - Chillán entre los años 1970-2002 asciende a los US\$650/km/año.
- Los valores estimados razonables para conservar el estado actual del corredor (tipo de vía, estándar deseado, tráfico y clima), según los especialistas consultados, debería fluctuar entre US\$ 3.000 y 6.000 por km/año.
- No obstante el mínimo mantenimiento realizado, el corredor ha mantenido su capacidad de soportar tráfico. En la actualidad éste asciende a 12 operaciones (frecuencias) diarias a velocidades propias de las vías Clase E (hasta 160 km/h). Este hecho, sumado a la condición de que el 100% de las fijaciones y casi el 50% de los durmientes poseen más de 33 años en servicio, constituye una prueba del alto rendimiento técnico-económico de la solución durmiente de madera chilena impregnado con creosota, aplicado con fijación KZ, para una vía clase E.
- La vía del corredor Chimbarongo - Chillán está siendo operada por los automotores UTS 444 a velocidades entre los 120 y 150 km/h en las zonas rectas de mayor extensión. A la fecha no se registran accidentes originados por el estado de la infraestructura, lo que lleva a pensar que la vía desde el punto de vista geométrico cumple con el estándar de seguridad de la clase correspondiente (Clase E). Desde el punto de vista de la integridad y funcionalidad de los durmientes conforme a la norma de seguridad de la vía, la zona de San Rafael califica en la clase E, la zona de Molina en la clase D y la zona de San Carlos queda fuera de norma. Si se considera la integridad de los durmientes y las sujeciones de riel en forma conjunta, el corredor está fuera de norma.
- Es imperativo mejorar la distribución de los durmientes deteriorados y corregir el apriete de las sujeciones, garantizando cumplir plenamente con lo dispuesto en la norma de seguridad EFE-NSF-11001 para la clase de vía E.
- Los durmientes de madera sin impregnación presentaron un rápido proceso de pudrición, perdiendo su funcionalidad a los pocos años de instalados. Una consecuencia del deterioro de estos durmientes se refleja en la gran cantidad de “nidos” observados. Esta situación coloca a varios tramos de vía fuera de norma.
- La ausencia de actividades de mantenimiento sobre las sujeciones elásticas KZ (apriete de tuerca sobre arandela elástica y sapo) ha contribuido a la pérdida de la función de diseño de la fijación, lo que disminuye la capacidad de la estructura de conservar su geometría.

- Para poder desarrollar mayores velocidades en este corredor (manteniendo un estándar de vía Clase E), se deben implementar un conjunto de medidas que apunten a confinar la faja de vía y a mejorar el sistema de señalización y comunicación. En segundo lugar, se deben iniciar acciones de mantenimiento de la vía tendientes a mejorar el saneamiento, tales como limpieza de cunetas, fosos, contrafosos, reposición y bateo de balasto y control del crecimiento de vegetales en la faja de vía. En tercer lugar se deben implementar acciones que perfeccionen los parámetros geométricos de la vía y la interfaz rueda-riel, tales como: trasposición y renovación de rieles dañados, mayor frecuencia en el cambio de durmientes y fijaciones fuera de norma, como también ajuste de trocha, alineamiento y nivelación de la vía, en particular, en los accesos a estructuras más rígidas como puentes y alcantarillas al igual que en zonas sujetas a mayores esfuerzos transversales como aparatos de vía (desviadores) y curvas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Empresa de los Ferrocarriles del Estado. Norma EFE-NSF-11-001, Norma de seguridad para vías férreas. 2001
- Empresa de los Ferrocarriles del Estado. Norma de seguridad de las vías férreas de trocha 1.676 mm. 1995
- Federal Railroad Administration, DOT (U.S.A.), Parte 213.335, 2002.
- AREMA, Manual for Railway Engineering, sección 6.3 Conditioning Prior to Treatment, 1999.