

Proyecto 1025

IICA-CIDIA

Informe preparado para el
Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico - INCOP

✓
PRESERVACION DE TRAVIASAS DE LECHOSO
(BROSIMUM UTILE) POR EL METODO
DE BAÑO CALIENTE Y FRIO ✓

Preparado por el
Laboratorio de Productos Forestales - CATIE

basado en la labor de
✓
Carlos Wiessel B., Ing. Químico
Miguel Krones, Técnico maderero

Marzo, 1974

RESUMEN

Se utilizaron 100 traviesas de Lechoso, 4 a escala de laboratorio para determinar la formulación inicial de preservante y 96 en la planta piloto construida a efecto de investigar la preservación de traviesas de esta especie forestal.

Se determinó la composición de la mezcla preservante y el tratamiento que debe seguirse para obtener una preservación adecuada.

El cálculo del costo de una traviesa preservada arrojó una cifra de \$45,40 cada una, con una durabilidad de 20 años, contra \$28,00 de la traviesa sin preservar con una durabilidad de 7 años. El análisis económico de ambas alternativas favorece el uso de la traviesa preservada.

Se recomiendan cambios menores en la planta piloto para subir su capacidad de 9000 a 20000 traviesas anuales.

Se recomienda instalar en la vía las 96 traviesas preservadas a fin de determinar su comportamiento en servicio.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	1
3. ESTUDIOS PREVIOS	1
4. MATERIALES Y METODOS	3
4.1 Material para la investigación	3
4.2 Ensayos de laboratorio	3
4.3 Secado al aire de tiro forzado	4
4.4 Método de preservación	4
5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	5
5.1 Ensayos de laboratorio	5
5.2 Preservación de las traviesas	6
5.3 Inspección de la vía	6
6. ASPECTOS ECONOMICOS	8
6.1 Costos de preservación	8
6.2 Análisis económico	9
7. DISCUSION	11
8. CONCLUSIONES	13
9. RECOMENDACIONES	14
APENDICE. Diagrama del equipo (baño caliente y frío)	15
BIBLIOGRAFIA	16

1. INTRODUCCION

Este informe describe la labor realizada por el Laboratorio de Productos Forestales del CATIE, con sede en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica, bajo convenio con el Instituto Nacional de Puertos del Pacífico (INCOP) para investigar las propiedades de preservación de la madera de Lechoso (Brosimum utile) en las dimensiones de una traviesa de ferrocarril.

Se utilizaron durante el estudio 100 traviesas de la citada especie forestal, provenientes de al menos 15 árboles distintos, las cuales se secaron al aire con tiro forzado y luego se preservaron por el método de baño caliente y frío. Todo el equipo se construyó en los talleres del INCOP y se operó en terrenos de esa institución.

A nivel de laboratorio se realizaron ensayos con distintas fórmulas preservantes, previo tratamiento a escala normal.

Las traviesas preservadas se colocarán en la vía y se seguirá una inspección periódica para registrar su comportamiento en servicio.

2. OBJETIVOS

La presente investigación tiene como objetivos:

- 2.1 Determinar, a escala de laboratorio, la composición de la mezcla preservante más adecuada para la madera de Lechoso, utilizando aceite diesel Nº 2, pentaclorofenol y aceite bunker (fuel oil).
- 2.2 Construir una planta piloto de preservación para llevar a cabo los estudios de tratamiento.
- 2.3 Determinar los tiempos de inmersión en los baños caliente y frío adecuados para lograr una retención de 120 a 150 kg de solución por metro cúbico de madera, utilizando la formulación más adecuada.
- 2.4 Instalar en la vía las traviesas tratadas para determinar su comportamiento en servicio.
- 2.5 Estimar costos de preservación y hacer un análisis económico preliminar.

3. ESTUDIOS PREVIOS

Bajo el proyecto 1004, "Propiedades de cuatro especies maderables de Costa Rica", se estudiaron las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Lechoso (Brosimum utile) y 3 especies más.

De la comparación de las propiedades de esta madera con las de especies norteamericanas usadas para traviesas se recomendó utilizar la madera de Lechoso para este propósito. Se realizaron ensayos preliminares de preservación y la madera se clasificó como muy fácil de preservar. Positivamente se recomendó la madera de Lechoso para ser usada como traviesa de ferrocarril.

Se instalaron el 21 de diciembre de 1971, dos traviesas de Lechoso preservadas, en el kilómetro 112, poste 16 de la vía hacia Puntarenas. Inspecciones periódicas han mostrado que la madera está completamente sana, sin el más leve ataque de hongos o insectos.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 El material para la investigación consistió de 100 traviesas de 15 x 20 x 213 cm de Lechoso (Brosimum utile) en estado inicial verde a un contenido de humedad promedio del 50 por ciento. La madera fue traída de la zona de San Isidro de El General y se convino con el proveedor para entregarla inmediatamente después de aserrada. Las traviesas provenían de por lo menos 15 árboles distintos. Las piezas se entregaron en el plantel central del Ferrocarril Eléctrico al Pacífico, donde se llevaron a cabo todos los ensayos con traviesas de tamaño normal.

El recibo de las traviesas lo realizaron personeros del INCOP clasificando de acuerdo a sus normas de calidad las traviesas, diez de las traviesas no reunían los requisitos mínimos para ser recibidas y veinte más fueron clasificadas como de segunda calidad. Lo anterior en función únicamente de rajaduras presentes en las piezas.

4.2 Ensayos de laboratorio.

A escala de laboratorio se realizaron estudios de preservación con material proveniente de las traviesas.

De las 100 traviesas de Lechoso suministradas al INCOP se escogieron al azar 2 y se cortaron en trozas de 30 cm de largo. Se estibarón bajo techo en lugar ventilado y se les determinó el contenido de humedad periódicamente hasta que alcanzaron un 25 por ciento de contenido de humedad. Una vez secas, estas muestras, 12 en total, se sellaron por extremos con pintura acrílica comercial para evitar que durante el tratamiento de preservación se produjera penetración del líquido preservante por los extremos y poder medir la retención debida a penetración lateral.

Como agente preservante se utilizaron mezclas de aceite diesel Nº 2, bunker (fuel oil) y pentaclorofenol. Se incluyó el bunker (fuel oil) en varias proporciones en las distintas 5 fórmulas utilizadas, porque este aceite pesado, poco volátil, cumple en parte la función de sellar los poros de la madera una vez que el solvente se ha volatilizado, oponiendo resistencia al paso de la humedad y de los agentes destructores de la madera.

Se probaron fórmulas que incluyen desde un 15 por ciento hasta un 75 por ciento de bunker, todas con un 5 por ciento de pentaclorofenol que es el principal agente insecticida-fungicida.

La temperatura del baño caliente fue de 100 ° C, cuidadosamente controlada.

Las muestras se introdujeron en la mezcla caliente y se probaron varios tiempos de inmersión en baño caliente y en baño frío.

Se registró el peso de las muestras antes y después del tratamiento para determinar la retención de preservante y se midió la penetración del mismo tomando muestras con el barreno de Pressler en el centro de cada traviesa.

4.3 Secado al aire - tiro forzado

Se construyó una cámara de secado provista de un abanico accionado por motor eléctrico donde se apilaron las traviesas por el sistema conocido como 1 x 9. Se llevó control periódico del secado extrayendo varias muestras con el barreno de Pressler para determinar el contenido de humedad. Se utilizaron 5 traviesas de la pila para este propósito.

Una vez que la madera alcanzó una humedad promedio del 25 por ciento se dio por terminado el período de secado y las piezas se apilaron bajo techo resguardadas del sol, el viento y la lluvia. Parte de las traviesas (90 %) se secaron con los extremos sellados con pintura acrílica para observar comparativamente el desarrollo de defectos de secado.

4.4 Método de preservación

El método utilizado se conoce con el nombre de baño caliente y frío. Se construyó una planta piloto de preservación que opera bajo este método y consta de las siguientes unidades, tanque de almacenamiento de líquido preservante con un volumen de 3,75 m³ (1000 gal.), un tanque de baño caliente con serpentín para vapor con un volumen de 3 m³ (800 gal.) y un tanque de baño frío con un volumen de 3 m³ (800 gal.).

El serpentín es alimentado por un generador de vapor del tipo de quemador. Una bomba centrífuga opera el movimiento de líquido de un tanque a otro. Véase en el apéndice el diagrama del equipo.

5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

La investigación se realizó en varias etapas: a) ensayos de preservación a escala de laboratorio, b) secado al aire con tiro forzado y c) preservación a escala natural. Los resultados de cada etapa se presentan a continuación.

5.1 Ensayos de laboratorio.

En la tabla 1 se muestran los resultados de los ensayos de preservación llevados a cabo con secciones de traviesas de 30 cm de largo, en el laboratorio.

Tabla Nº 1. Resultados de preservación a escala de laboratorio (Lecho-so).

Ensayo Nº	1	2	3	4	5
Bunker (%)	15	20	30	50	75
Pentaclorofenol (%)	5	5	5	5	5
Temp. baño caliente (°C)	100	100	100	100	-
Tiempo baño caliente (hr)	2	3	4	3	-
Tiempo baño frío (hr)	15,5	68	5	24	24
Retención (kg/m ³)	176	270	140	97	68,5
Penetración lateral (cm)	1,8	7,0	1,0	0,8	0,5

5.2 Preservación de las traviesas.

Se preservaron varios grupos bajo distintas condiciones, los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla Nº 2. Resultados de preservación a escala natural (Lechoso).

Grupo Nº	1	2	3	4	5	6
Nº de traviesas	18	18	12	12	18	18
Bunker % P/P	0	10	10	10	10	10
Pentaclorofenol % P/P	5	5	5	5	5	5
Temperatura baño caliente °C	95	95	90	90	90	85
Tiempo baño caliente hr.	4	4	3	3	4	4
Tiempo de enfriamiento hr.	13	16	13	16	13	16
Retención kg/m ³	237	184	114	120	146	165
Penetración cm	4,5	2,71	0,45	0,65	1,21	1,83
Rajaduras		-	-	-	-	-

Nota: se observó que para el grupo 1 (sin bunker) las grietas y rajaduras adicionales son significativas.

5.3 Inspección de la vía.

Del viaje por la vía el día 5 de diciembre de 1973, en carro motor, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla Nº 3. Inspección de algunos tramos de vía (San José - Puntarenas)

Kilómetro	69	72	83
Poste	2-3	14-15	1-2
Traviesas en buen estado %	46.9	34.8	47.9
Traviesas en mal estado %	33.4	52.1	36.1
Traviesas en regular estado %	19.7	13.1	16.0
Tipo de tramo	curva	recta	curva

Se registraron como traviesas en mal estado las que estaban severamente atacadas por hongos (podridas), con el riel penetrado y los clavos flojos. En regular estado se clasificaron aquellas que mostraban penetración del riel moderada, sanas pero con el clavo flojo o moderadamente atacadas por hongos (podredumbre moderada).

Se inspeccionaron las dos traviesas de Lechoso colocadas el 21 de diciembre de 1971 en kilómetro 112 poste 16; la madera no mostró señal alguna de ataque de hongos o insectos. Presenta una penetración del riel de 5 mm, además señales de haber sido reclavadas por ligera rectificación de vía.

6. ASPECTOS ECONOMICOS

En los siguientes apartados se incluye un estimado del costo de preservación en la planta piloto construida por el INCOP. Se le ha estimado un valor de \$100.000,00 a esta planta para efectos de cálculo, aunque se construyó usando materiales y equipo que la institución ya no utilizaba o del cual se podía disponer por un corto período de tiempo tal como el generador de vapor.

De los tiempos de inmersión necesarios para obtener la retención y penetración requeridas, se estimó que la capacidad de esta planta piloto es de 20.000 traviesas anuales. Los estimados de costos del apartado 6.1, están basados en una producción anual de 20.000 traviesas de 15 x 30 x 213 cm preservadas a una retención de 140 kg de solución por metro cúbico de madera (9 kg/traviesa). La fórmula de la solución preservante es la siguiente: 5 % pentaclorofenol, 5 % aceite bunker (fuel oil) y el resto aceite diesel Nº 2.

6.1 Costos de preservación.

Tomando en cuenta la reciente alza en precios de los derivados del petróleo, hasta los niveles de \$3.82 el galón de aceite diesel y \$2.82 el galón de aceite bunker (fuel oil) y las condiciones detalladas a continuación, se ha calculado el costo de preservación por traviesa.

Condiciones de costo

1. Pentaclorofenol (kg)	\$	5.50
2. Aceite diesel (gal)	\$	3.82
3. Aceite bunker (fuel oil) (gal.)	\$	2.82
4. Traviesas (c/u)	\$	28.00
5. Jornales (mínimo x 1,3)	\$	16.15
6. Costo de planta	\$	100.000.00
7. Depreciación lineal en 10 años	\$	10.000.00
8. Seguros 2 % del costo de la planta	\$	2.000.00

- a. Costos de administración - 5 % del costo total del producto
- b. Intereses - 9 % del costo de planta
- c. Investigación 2 % del costo total del producto.

A continuación se presenta el cálculo del costo de cada traviesa preservada basado en la producción anual.

A. Costos directos de producción.

	Tot.	Por traviesa	Por ciento
1.- Materia prima			
a. pentaclorofenol (9.000 kg)	₡ 49.500.00	₡2,475	5,45 %
b. aceite diesel (46.300 gal)	176.870.00	8,843	19,49
c. aceite bunker (2.720 gal)	7.670.00	0,385	0,85
d. traviesas (20.000)	560.000.00	28,000	61,70
2.- Jornales de operación (900)	14.540.00	0,725	1,60
3.- Supervisión	1.450.00	0,073	0,16
4.- Electricidad y vapor	8.000.00	0,400	0,88
5.- Mantenimiento	5.000.00	0,250	0,55

B. Cargos fijos

1.- Depreciación	10.000.00	0,500	1,10
2.- Seguros	2.000.00	0,100	0,22

C. Gastos generales

1.- Costos de administración	45.380.00	2,270	5,00
2.- Intereses	9.000.00	0,450	0,99
3.- Investigación	18.150.00	0,907	2,00

Costo total del producto ₡907.560.00

Costo unitario ₡ 45.40

6.2 Análisis económico.

En la vía del ferrocarril al pacífico existe un promedio de 1600 traviesas por kilómetro, haciendo un total cercano a 200.000 traviesas colocadas en la vía y sus ramales. Cuando las necesidades de reposición de traviesas se cumplían efectivamente, la demanda requería cerca de 30.000 traviesas anuales lo cual implica una vida útil de alrededor de 7 años como promedio.

El siguiente análisis económico, basado en costo capitalizado igual, nos indica cuál ha de ser la vida útil (n) de la traviesa preservada para que económicamente se halle en condiciones iguales a la que se instala sin tratamiento de preservación.

Costo de traviesa sin preservar	₡28.00
Costo de traviesa preservada	₡45.40
Costo de instalación	₡ 8.00
Tasa de interés	6 %

fórmula utilizada
$$K = C_v + \frac{C_r}{(1 + i)^n - 1}$$

donde:

K = costo capitalizado

C_v = costo inicial

C_r = costo de reposición

n = vida útil

i = tasa de interés

Para una traviesa sin preservar, el costo capitalizado será:

$$K = 36 + \frac{36}{(1 + 0,06)^7 - 1} = 107,49$$

haciendo este costo capitalizado igual al de una traviesa preservada:

$$107,49 = 53,40 + \frac{53,40}{(1 + 0,06)^n - 1}$$

y resolviendo algebraicamente para n:

$$n = 13,8 \text{ años}$$

La vida útil de una traviesa preservada puede estimarse conservadoramente en 20 años.

7. DISCUSION

El ataque al problema de preservación de una especie maderera toma en consideración varias variables, a saber: método de preservación, tipo de preservante, formulación de la mezcla, temperatura y tiempos en contacto con la mezcla, tipo de madera y humedad de la madera, de las cuales dependen los resultados que se obtengan en cuanto a retención y penetración se refiere.

Los requisitos para considerar adecuadamente preservada una traviesa se fijaron en una retención de 140 kg de solución por metro cúbico de madera y una penetración de 2,5 cm siendo la concentración de pentaclorofenol un 5 por ciento.

El requisito de retención es un poco alto si se le compara con el que se exige en las zonas templadas pero ello se debe a que las condiciones de humedad y temperatura de nuestro país favorecen el ataque de hongos e insectos.

La escogencia de la especie (Lechoso) fue previa al presente estudio de modo que la siguiente variable que debíamos fijar era la humedad de la madera. Llevar a cabo un estudio a distintos contenidos de humedad no era una alternativa viable económicamente y tampoco de extrema importancia en un primer estudio, por lo que se decidió llevar a cabo las pruebas con madera seca a un 25 % de humedad.

El siguiente paso requería definir la fórmula de la mezcla preservante y los tiempos de inmersión en los baños caliente y frío; para ello se realizaron ensayos a escala de laboratorio con distintas formulaciones y distintos tiempos de inmersión. En pequeña escala se probaron mezclas que contenían desde un 15 hasta un 75 % de bunker, la temperatura del baño caliente se fijó en 100 ° C y los tiempos de inmersión varían desde 2 a 4 horas en el baño caliente y desde 5 a 24 horas en el baño frío. Los resultados de penetración y retención condujeron a una formulación con 10 % de bunker para realizar las pruebas con traviesas de tamaño normal.

Se construyó una planta piloto con capacidad para 30 traviesas en el baño caliente y en él se preservaron 96 traviesas en grupos de 12 o 18 con distintos tratamientos. En esta planta las traviesas y el líquido entraron en contacto a temperatura ambiente y por medio de un serpentín de vapor se elevó la temperatura hasta 85 - 95 ° C, la cual se mantuvo por 3 o 4 horas. El tiempo necesario para elevar la temperatura osciló entre 30 y 45 minutos, pero este período no se tomó en cuenta dentro del tiempo en baño caliente. Una vez transcurrido el tiempo en baño caliente, se cortó el suministro de vapor y se dejó enfriar el conjunto por 13 o 16 horas; la temperatura del preservante a final de este período fue de 25 - 30 ° C.

Las traviesas se midieron y pesaron antes del tratamiento y se pesaron nuevamente después de preservadas, además se extrajo una muestra con el barrenado de Pressler en el centro de cada traviesa para determinar la penetración lateral mínima.

Respecto al viaje por la vía, los puntos que se inspeccionaron son muy pocos para llegar a conclusiones determinantes.

El análisis económico que se ha realizado es el análisis de alternativas basado en costo capitalizado igual para ambas o sea el fondo necesario para que a un tipo de interés dado, provea la reposición perpetua de la pieza considerada, cuando esta llegue al término de su vida útil. En ingeniería se utiliza el concepto de costo capitalizado para efectos de comparación y escogencia entre alternativas.

8. CONCLUSIONES

8.1 La adición de bunker.

Evita significativamente el desarrollo de rajaduras durante el proceso de preservación.

El porcentaje usado (10 %) es todavía alto y tiene efecto negativo en la penetración y retención del preservante de modo significativo.

8.2 Una preservación adecuada puede lograrse con madera seca hasta una humedad del 25 al 30 por ciento, con las siguientes condiciones:

Temperatura de baño caliente	95 ° C
Tiempo en baño caliente	4 horas
Tiempo de enfriamiento (hasta 30 ° C)	14 horas
Bunker (fuel oil)	5 % P/P
Pentaclorofenol	5 % P/P
Aceite diesel	90 % P/P

que conducen a una retención de 140 kg/m³ o superior y a una penetración de 2 cm o superior.

8.3 Los tramos inspeccionados para conocer el estado de las traviesas instaladas en la vía muestran un alto porcentaje de las mismas en mal estado; esta conclusión no se puede hacer extensiva a toda la vía por el escaso número de tramos inspeccionados.

8.4 La madera de dos traviesas de Lechoso, preservadas e instaladas en el kilómetro 112 en diciembre de 1971 están sanas y libres de ataque de hongos e insectos.

8.5 Analizadas económicamente las alternativas: traviesa de madera sin preservar y traviesa de madera preservada, la traviesa de madera preservada muestra una clara ventaja económica, dado que su vida útil (20 años) es muy superior a la que debería tener (13,8 años) para estar en igualdad de condiciones con la traviesa sin preservar.

8.6 La capacidad actual de la planta piloto construida es de 9.000 traviesas anuales (300 días) pero con modificaciones menores esta capacidad se aumentaría a 20.000 traviesas anuales utilizando el programa de preservación apuntado en el apartado 8.2.

9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Se recomienda enfáticamente el uso de traviesas de Lechoso preservadas por el sistema de baño caliente y frío, dada la simplicidad de la operación, la baja inversión en planta y la facilidad con que esta madera acepta el tratamiento, además de que representa una alternativa más económica y contribuye a la conservación de los recursos forestales mediante el uso racional y prolongado de esta especie maderera.
- 9.2 Se recomienda utilizar la planta piloto construida para efectos de este estudio en la producción industrial de maderas preservadas ya que con pocas modificaciones la capacidad de esta planta llegaría a 20.000 traviesas en 300 días de operación anual o su equivalente en maderas de construcción. Estas modificaciones consisten en eliminar la división entre los baños caliente y frío y la adición de un serpentín más.
- 9.3 Se recomienda, para satisfacer el objetivo 2.4, instalar en la vía las 96 traviesas preservadas, numeradas y fechadas para determinar el comportamiento en servicio de las mismas, tanto en cuanto a durabilidad como en su respuesta al desgaste mecánico.

Apéndice 1. Diagrama del equipo.

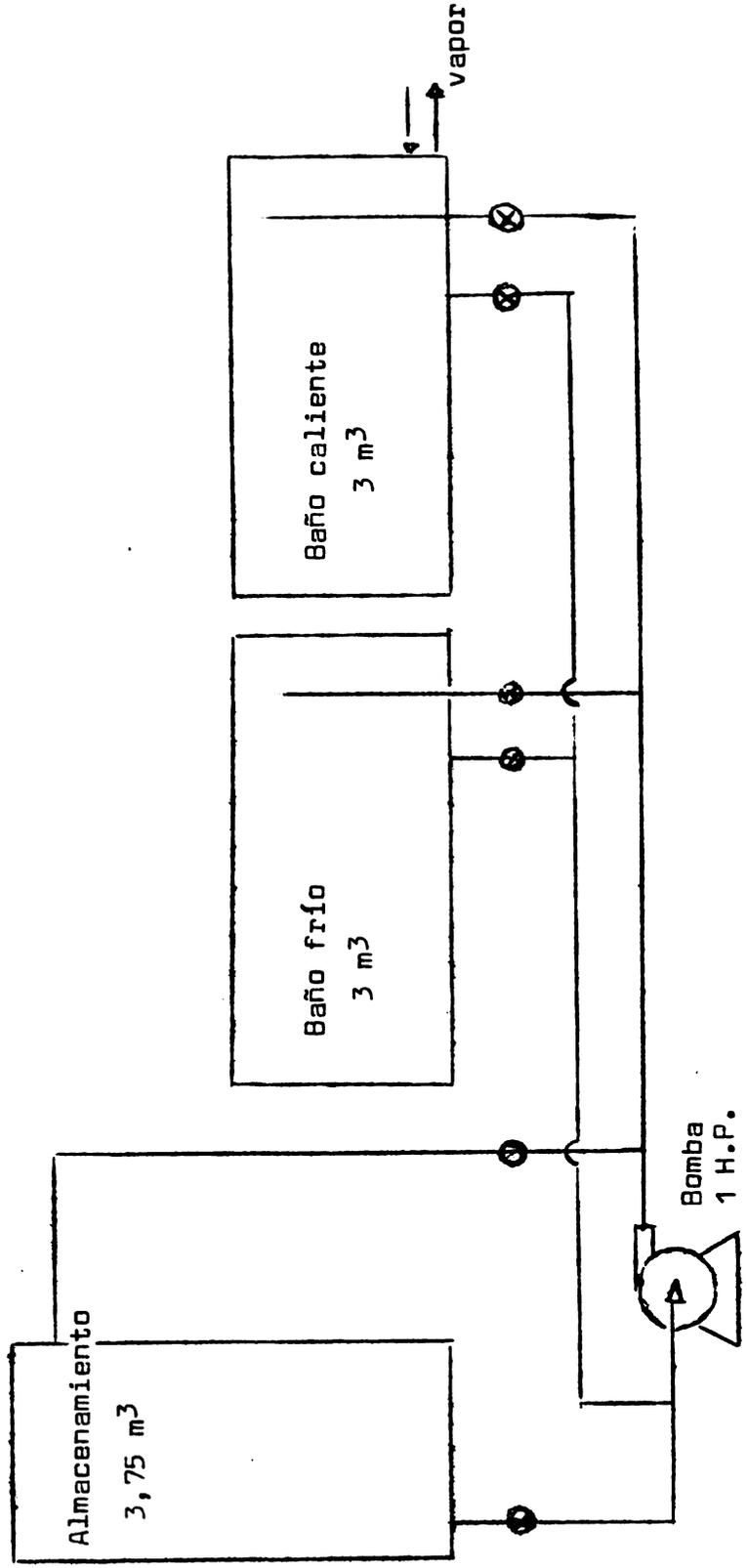


Diagrama de la planta de preservación por baño caliente y frío construida por personeros del INCOP para efectos del presente estudio y su posterior utilización industrial.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Chudnoff y Goytia E. Preservative Treatments and Service Life of Fence Posts in Puerto Rico. Progress Report, USDA Rio Piedras Forest Experimental Station, 1972.
- 2.- González G., Wiessel C., Slooten H. J. van der. Propiedades de cuatro especies maderables de Costa Rica, Ciprés, Gavilán, Lechoso y Vainilla. Informe al INCOP, Proyecto 1004, Laboratorio de Productos Forestales - CATIE, 1972 (mimeografiado).
- 3.- Peters, M.S. y Timmerhaus, K. D. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. McGraw Hill Book Co., New York, 2nd Ed., 1968, 850 pp.