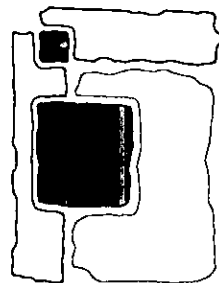


674.38
F716
1994, c 1.

DR



FONTEC

FONDO NACIONAL
DE DESARROLLO
TECNOLOGICO
Y PRODUCTIVO

BIBLIOTECA CCRFO

**INVESTIGACION TECNOLOGICA DE
UN SISTEMA DE VAPORIZADO EN EL
SECADO INDUSTRIAL DE LA
MADERA**

Noviembre 1994

FONDO NACIONAL DE DESARROLLO TECNOLÓGICO Y PRODUCTIVO
PROYECTO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
(Línea de financiamiento 1 A)

BIBLIOTECA

INFORME FINAL

INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA DE UN SISTEMA
DE VAPORIZADO EN EL SECADO
INDUSTRIAL DE MADERA

EMPRESA EJECUTORA
FORESTAL COPINUE S.A.
OCTUBRE DE 1994

PRESENTACIÓN

En el último decenio, se constata que el país ha sabido enfrentar con éxito el desafío impuesto por la política de apertura en los mercados internacionales, alcanzando un crecimiento y desarrollo económico sustentable, con un sector empresarial dinámico, innovador y capaz de adaptarse rápidamente a las señales del mercado.

Sin embargo, nuestra estrategia de desarrollo, fundada en el mayor esfuerzo exportador y en un esquema que principalmente hace uso de las ventajas comparativas que dan los recursos naturales y la abundancia relativa de la mano de obra, tenderá a agotarse rápidamente como consecuencia del propio progreso nacional. Por consiguiente, resulta determinante afrontar una segunda fase exportadora que debe estar caracterizada por una incorporación de un mayor valor agregado de inteligencia, conocimientos y tecnologías a nuestros productos, a fin de hacerlos más competitivos.

Para abordar el proceso de modernización y reconversión de la estructura productiva del país, reviste vital importancia el papel que cumplen las innovaciones tecnológicas, toda vez que ellas confieren sustentación real a la competitividad de nuestra oferta exportable. Para ello, el Gobierno ofrece instrumentos financieros que promueven e incentivan la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas productoras de bienes y servicios.

El Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo FONTEC, organismo creado por CORFO, cuenta con los recursos necesarios para financiar Proyectos de Innovación Tecnológica, formulados por las empresas del sector privado nacional para la introducción o adaptación y desarrollo de productos, procesos o de equipos.

Las Líneas de financiamiento de este Fondo incluyen, además, el apoyo a la ejecución de proyectos de Inversión en Infraestructura Tecnológica y de Centros de Transferencia Tecnológica a objeto que las empresas dispongan de sus propias instalaciones de control de calidad y de investigación y desarrollo de nuevos productos o procesos.

De este modo se tiende a la incorporación del concepto "Empresa - País", en la comunidad nacional, donde no es sólo una empresa aislada la que compite con productos de calidad, sino que es la "Marca - País" la que se hace presente en los mercados internacionales.

El Proyecto que se presenta, constituye un valioso aporte al cumplimiento de los objetivos y metas anteriormente comentados.

RESUMEN EJECUTIVO

Forestal Copihue S.A. es una empresa dedicada a la industrialización de la madera de pino radiata para la fabricación de molduras y componentes de muebles. Debido a esto el proceso de secado de la madera es una etapa imprescindible, el que está asociado al mismo tiempo a un alto costo de producción.

En la actualidad Copihue cuenta con una infraestructura de siete cámaras de secado, dentro de las cuales se encuentran dos de alta temperatura y cinco para secado convencional.

Con el objetivo de aumentar los volúmenes de producción, se estudió la factibilidad de incorporar un sistema innovativo de vaporizado que permitiera reducir los tiempos totales del proceso de secado. Para realizar esta propuesta, se consideró el apoyo financiero del Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo (FONTEC-CORFO).

El proyecto tecnológico se desarrolló en un plazo de 8 1/2 meses y consideró principalmente las etapas de :

- Recopilación de Antecedentes
- Diseño del Sistema
- Fabricación y Montaje
- Ensayos del Sistema
- Análisis de Resultados.

El sistema de vaporizado fue implementado en dos cámaras de secado de la empresa, en las cuales se procedió al ensayo de éste, en condiciones de operación industrial.

Los resultados de la incorporación de los evaporadores muestran una reducción en el tiempo del proceso de secado sobre un 25%, como así también un aumento en la calidad de la madera procesada en lo que se refiere a eliminación de las tensiones internas y disminución significativa de grietas.

Cabe destacar que la realización del presente proyecto se llevó a cabo a través de la aplicación de Ingeniería nacional, en la cual participó la facultad de Ingeniería de la Universidad de Chile con nuestra empresa, obteniéndose un excelente resultado e integración de las partes.

EXPOSICION DEL PROBLEMA

Forestal Copihue S.A., en busca de mejorar su capacidad productiva en el proceso de secado, sin incurrir en el aumento de su capacidad instalada, visualizó la posibilidad de desarrollar un sistema de vaporizado que le permitiera reducir el tiempo total de secado, aumentando con esto la productividad del proceso.

Para conseguir este objetivo general se planteron los siguientes objetivos específicos :

- 1.- Diseñar un sistema y fabricar los equipos adecuados para efectuar el proceso inicial y final del secado de la madera al interior de las cámaras secadoras.
- 2.- Ensayar el sistema de vaporizado, bajo condiciones de operación industrial, sometiendo a proceso diferentes espesores de madera.
- 3.- Evaluar los resultados obtenidos, desde el punto de vista técnico y económico.
- 4.- Formular una metodología o modelo de cálculo que permita el diseño y la operación de la innovación investigada, en cualquier unidad de secado de madera de nivel industrial, en el país.

El uso de evaporadores al interior de las cámaras de secado es una nueva técnica que permite obtener humedades relativas superiores al 95%, con bajas presiones de vapor.

Según antecedentes, éstas condiciones psicrométricas al interior de las cámaras de secado, permiten acondicionar la madera en la etapa inicial y final del secado, de tal forma que se produce una disminución del tiempo total del proceso y un aumento de la calidad de éste.

METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO

Metodología de Trabajo

Para el logro de los objetivos específicos anteriores se estableció la siguiente metodología de trabajo.

La investigación fué dirigida por el Ingeniero señor Eduardo Fuentes Esparza, quién actuó como director del proyecto, apoyado directamente por el Investigador principal Ingeniero Patricio Leighton. A su vez prestaron apoyo al desarrollo del trabajo los Ingenieros de Mantenición y Producción, con su correspondiente personal especializado.

A través del director del proyecto, se solicitó al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile el diseño de un Sistema Vaporizador para Secador de Madera, que fuera capaz de cumplir con ciertas condiciones sicrométricas al interior de las cámaras de secado en los procesos de acondicionado inicial y final. Por otra parte, se planteó el logro y mantención de éstas condiciones en determinados períodos de tiempo.

Para ésto la Universidad de Chile, a través de su Director del Departamento de Ingeniería Mecánica, señor Roberto Román, conoció en terreno las instalaciones de secado de la empresa, obteniendo la información necesaria para empezar con el estudio del sistema requerido.

En el desarrollo del diseño se sostuvo una constante interacción con el investigador principal del proyecto, de tal forma que el diseño propuesto se analizó desde el punto de vista de los requerimientos y su construcción en terreno.

Después de realizado el diseño se procedió a la adquisición, fabricación y ejecución en terreno de los evaporadores. Este sistema fue instalado en dos cámaras de secado y participaron en forma directa los encargados del Area de la Empresa.

Una vez instalados los evaporadores en las cámaras, se procedió al ensayo de estos en el proceso de secado.

Los ensayos realizados, estuvieron a cargo del investigador principal quién contó con el apoyo de personal de operación, mantención y el Jefe de Area.

Procedimiento y Descripción del Diseño

Para llevar a cabo el diseño de los evaporadores el Director del Proyecto se contactó y reunió con los profesores de la Universidad de Chile, de tal manera de exponer los requerimientos que debería cumplir el sistema en las cámaras de secado.

Estos requerimientos solicitados fueron los siguientes :

1.- Para Acondicionamiento Inicial

- Aumentar la humedad ambiente de 35°C y 65% de humedad relativa (H.R.) a 90°C y 95% de H.R. en un período de tiempo de 30 minutos.
- Mantener esta condición de 90°C y 95% de H.R. durante 2 horas.

2.- Para Acondicionamiento Final

- Aumentar la humedad ambiente de 90°C y 40% de H.R. a 90°C y 95% de H.R. en 30 minutos.
- Mantener esta condición de humedad durante 4 horas.

Teniendo en cuenta estos requerimientos y conociendo las instalaciones de secado por la parte ejecutora, se trabajó en el diseño de los evaporadores. El diseño propuesto se desarrolló teniendo en cuenta los siguientes puntos :

- 1.- Condiciones a cumplir en las cámaras de secado
- 2.- Influencia de la masa de madera
- 3.- Diseño del sistema
- 4.- Procedimiento de cálculo
- 5.- Simulación del diseño
- 6.- Gráficas de comportamiento
- 7.- Conclusiones
- 8.- Planos de Ingeniería

En anexo Nº1 se podrá encontrar todos los detalles para el diseño de los evaporadores de un secador de madera.

Construcción y Ensayo del Sistema Vaporizador

La construcción de este tipo de evaporadores se realizó a través de personal de la Empresa y Contratistas externos. El sistema fue implementado en una cámara de secado Irvington Moore para secado convencional y una cámara Bollmann de alta temperatura.

Para el ensayo del sistema se estableció la siguiente metodología :

- 1.- Evaluación del comportamiento térmico de los evaporadores en base al logro de las condiciones psicrométricas en el tiempo.
- 2.- Ensayos en maderas de 24 mm y 42 mm de espesor en 16 cargas, variando los tiempos de acondicionamiento inicial y final en cada una de estas.

Estos ensayos se hicieron en ambos secadores de acuerdo al siguiente programa :

Secador Irvington Moore : 5 cargas en madera de 24 mm.
5 cargas en madera de 42 mm.

Secador Bollmann : 4 cargas en madera de 24 mm.
2 cargas en madera de 42 mm.

RESULTADOS

1.- Comportamiento Térmico de Evaporadores

Para determinar el comportamiento térmico real de los evaporadores se realizaron mediciones en las cámaras Irvington Moore a través del señor Roberto Román de la Universidad de Chile, las que tuvieron como objetivo determinar :

- Evolución de temperatura de bulbo seco y humedo dentro de la cámara de secado.
- Determinar cantidad real de agua evaporada por las bateas evaporadoras construídas.
- Comportamiento general del sistema durante el proceso de acondicionamiento inicial y final de la madera.

Este trabajo realizado permitió determinar que :

- Los evaporadores construídos generan vapor a contar de los 10 minutos de su puesta en marcha. La gráfica 1 permite visualizar este hecho en un proceso de acondicionamiento final, donde se midieron las temperaturas del agua en los evaporadores como la del serpentín de vapor.
- Con una presión de 7 (Kg/cm²) de vapor de alimentación, cada batea genera del orden de 2.000 (kgs/hr.) de vapor en la cámara.
- Durante todo el acondicionamiento inicial, las temperaturas de bulbo seco y húmedo estuvieron muy cercanas una de otra, estando el bulbo humedo entre 2 y 4°C por debajo del seco. Esto indica que permanentemente el aire de la cámara estuvo saturado.

De la figura 2 podemos observar que en este proceso se sobrepasan los 90°C de bulbo seco poco antes de las 5 hrs. de iniciado este. La razón fundamental de éste comportamiento radica en la inercia térmica del sistema.

- Durante el acondicionamiento final podemos observar en la figura 3, que el proceso para alcanzar las condiciones de régimen en temperatura y humedad tardó un poco más de una hora.

Por otra parte, se midió el comportamiento en la cámara Bollmann 2, por personal de la Empresa y se determinó que :

- En el proceso de Acondicionamiento Inicial, se lograron las condiciones sicrométricas (90°C y 95% de H.R.) en un período de tiempo de 1 hora 15 minutos como se muestra en la gráfica N°4.
- Para el Acondicionamiento Final se logran las condiciones sicrométricas en 45 minutos.

TEMPERATURAS EN EVAPORADORES

Proceso de Acondicionamiento Final

Secador Irvington Moore

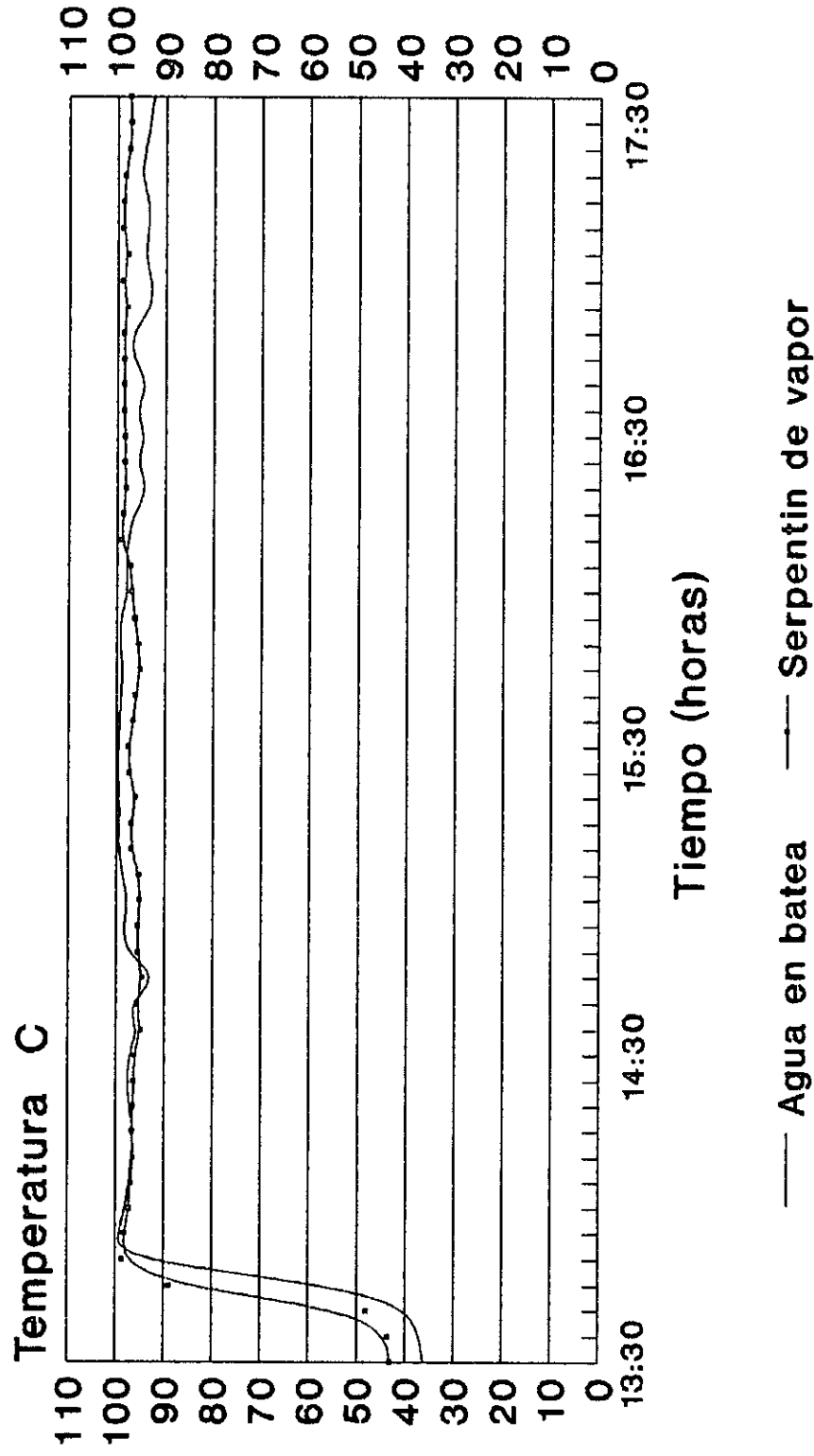
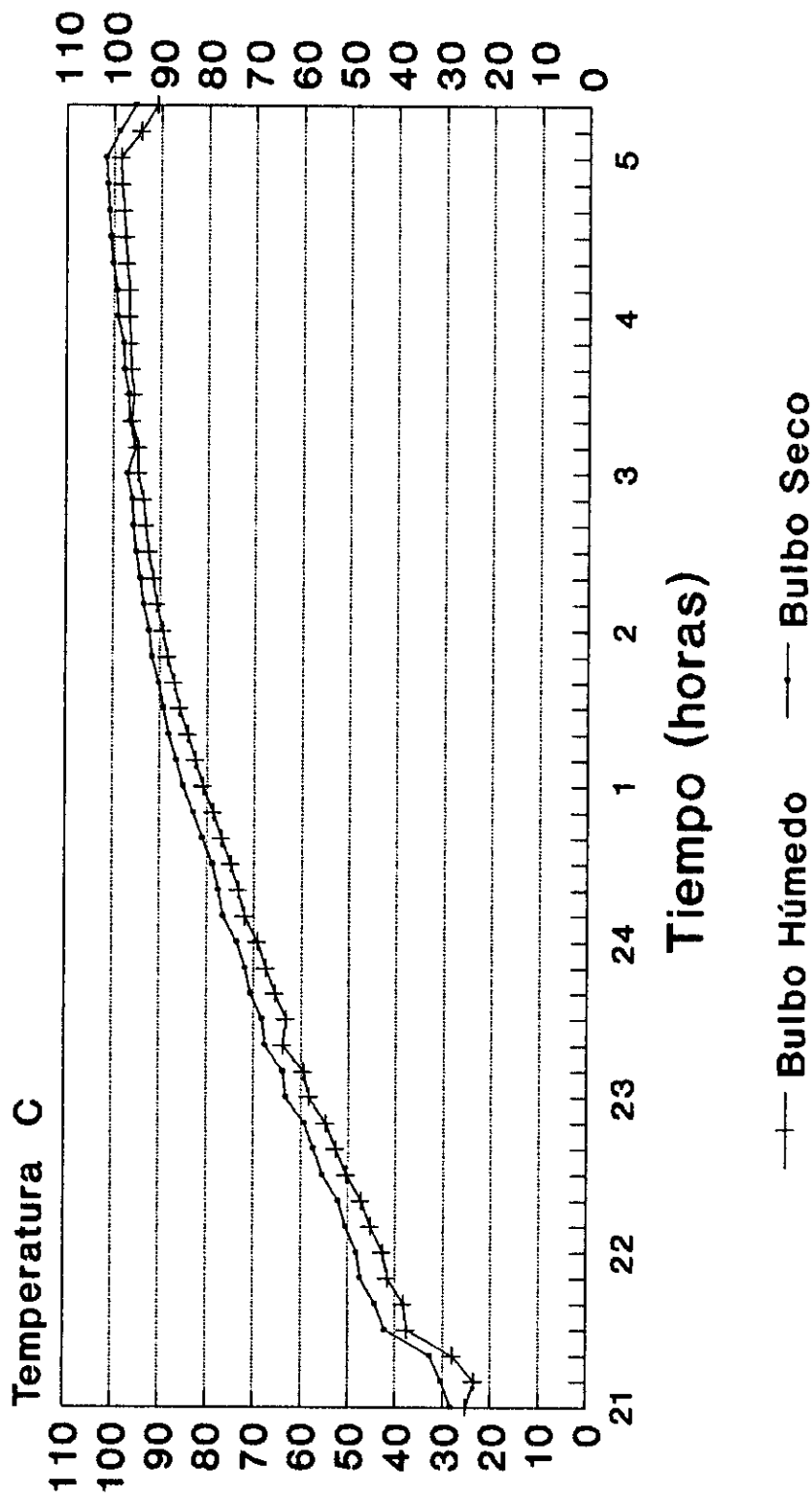


GRAFICO 1

REGISTRO DE TEMPERATURAS

Proceso de Acondicionamiento Inicial

Secador Irvington Moore

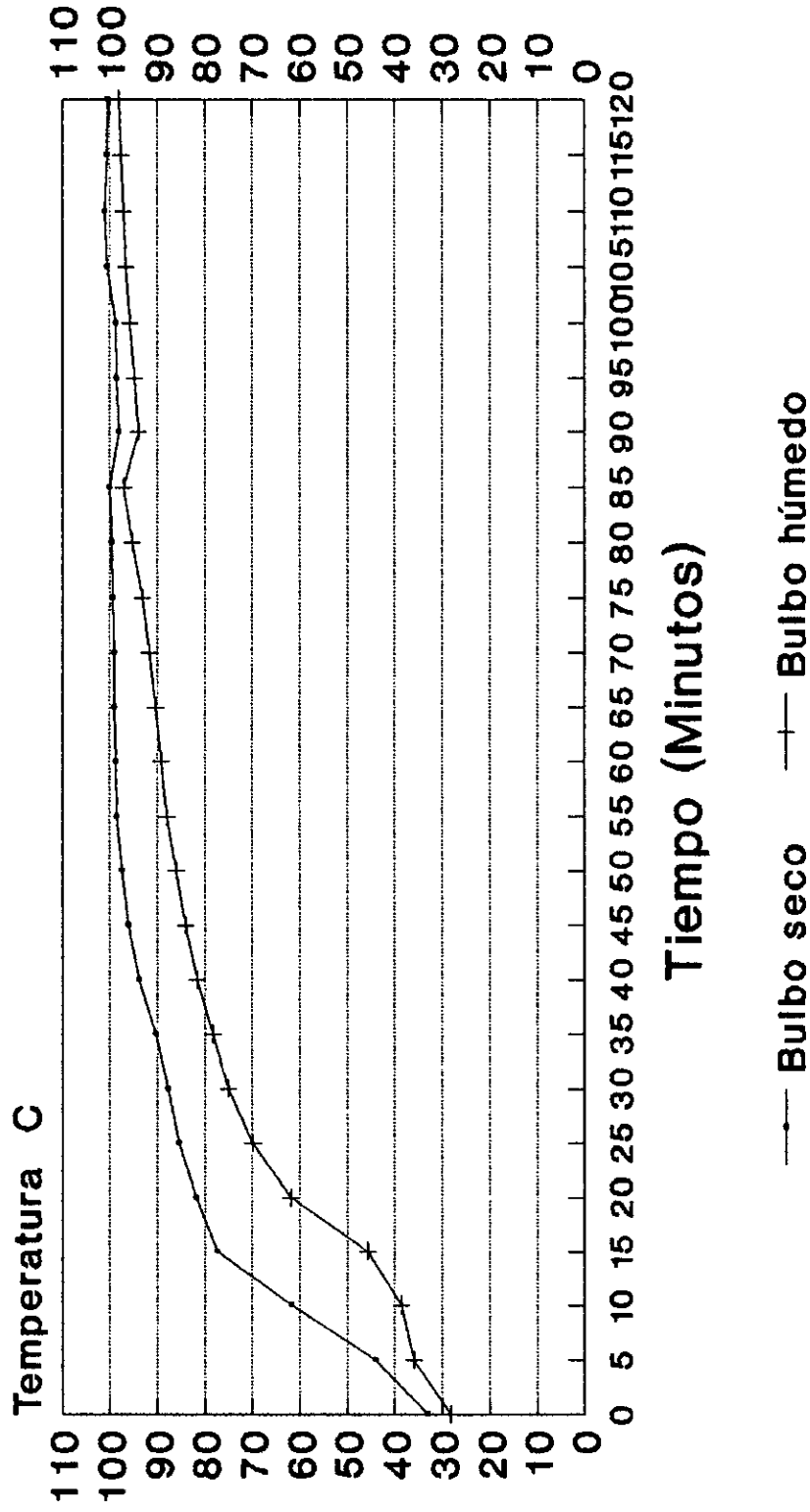


Gráfica 2

REGISTRO DE TEMPERATURAS

Proceso de Acondicionamiento Final

Secador Irvington Moore

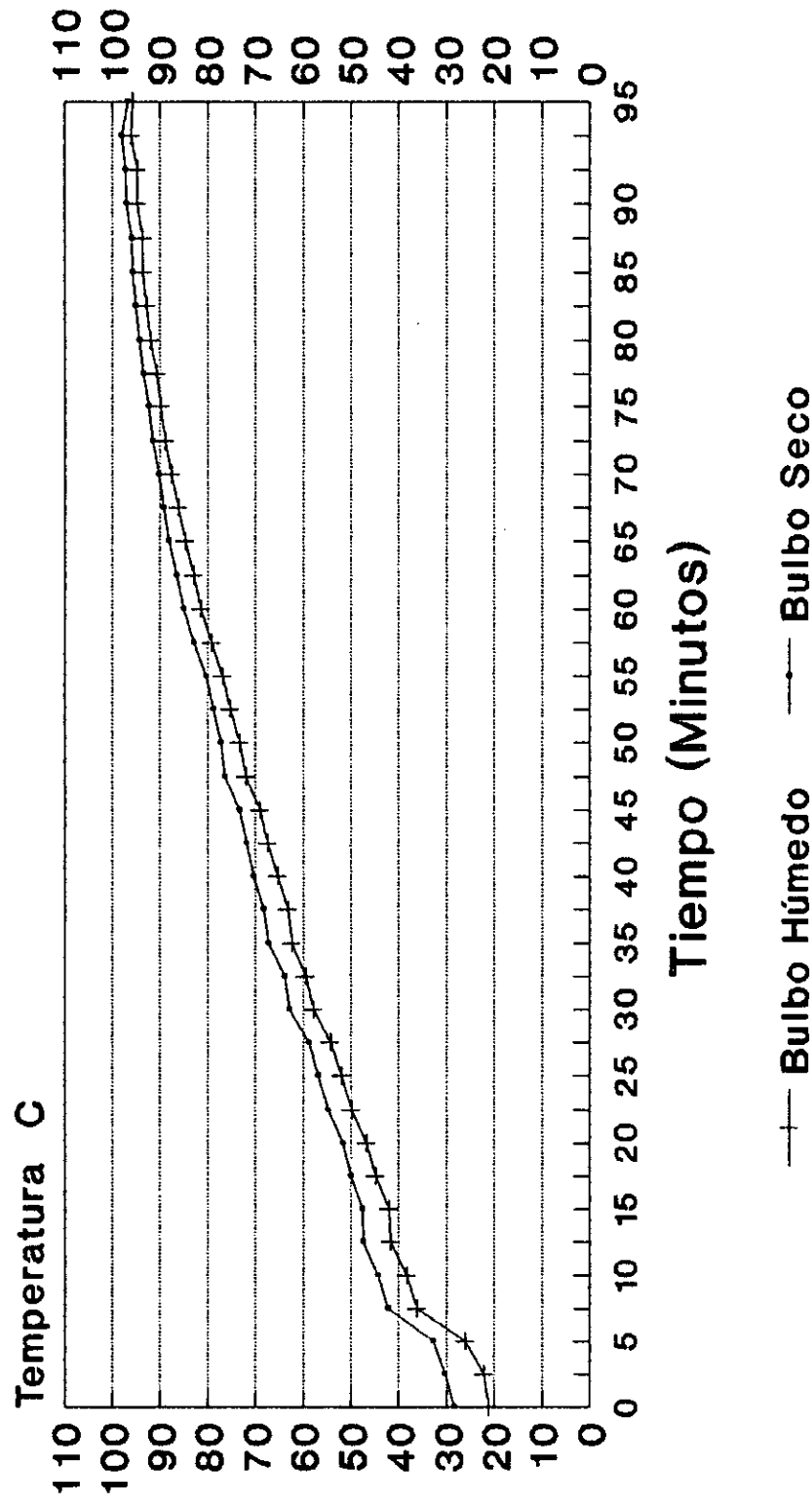


Gráfica 3

REGISTRO DE TEMPERATURAS

Proceso de Acondicionamiento Inicial

SECADOR BOLLMANN 2



Gráfica 4

2.- Ensayo del Sistema en Condiciones de Operación Industrial

Los ensayos realizados en los procesos de secado, en las cámaras con el sistema de evaporadores, se hicieron de acuerdo a la siguiente metodología :

CÁMARA MOORE 1 :

CARGA (Nº)	ESCUADRIA (mm)	A.INICIAL (Horas)	SECADO (Horas)	A.FINAL (Horas)	T.TOTAL (Horas)
206	42	8	82	6	96
207	42	8	81	4	93
208	24	8	60	4	72
209	24	8	64	6	78
210	24	6	61	6	73
211	42	6	91	6	103
212	24	5	63	5	73
213	24	5	60	6	71
214	42	5	82	6	93
215	42	8	78	6	92

Tabla 1.-

CÁMARA BOLLMANN 2 :

CARGA (Nº)	ESCUADRIA (mm)	A.INICIAL (Horas)	SECADO (Horas)	A.FINAL (Horas)	T.TOTAL (Horas)
122	24	6	13	8	27
123	24	8	16	8	32
124	42	4	34	6	44
126	24	6	19	6	31
127	24	4	26	6	37
128	42	5	32	6	43

Tabla 2.-

ANALISIS TERMICO

- 1.- De las mediciones de temperaturas efectuados en las cámaras Moore y Bollman se determinó que :

En el acondicionamiento inicial en la cámara Moore 1 se logran las condiciones requeridas en un tiempo 4 veces mayor que en la cámara Bollman 2.

La causa de este hecho, radica en la diferencia de capacidad de madera por cámara, su funcionamiento y volumen ya que :

Cámara Moore :

- Capacidad de madera : 115 - 130 (m3)
- Potencia Calorífica Inst. : 2.000.000 (Kcal/Hr)
- Presión de vapor de funcionamiento : 7 (Kg/cm²)
- Masa de contrapeso : 40.000 (Kgs)
- V. Total : 1.000 (m3)

Cámara Bollman :

- Capacidad de madera : 55 - 70 (m3)
- Potencia Calorífica : 3.300.000 (Kcal/Hr)
- Presión de Vapor de funcionamiento : 10 (Kg/cm²)
- Masa de Contrapesos : 20.000 (kgs)
- V. Total : 400 (m3)

Si consideramos que la madera tiene un 58% de humedad y además cada lingada tiene en su parte superior un contrapeso de hormigón de 2.000 kgr. de masa, hay que calentar el sistema de 25°C hasta 95°C. El calor necesario aportado a este sistema es :

$$Q_T = (V_{mad} * \rho_{mad} * C_{emad} + M_{hor} * C_{ehor}) * (95 - 25)$$

donde :

- V_{mad} = Volumen de la madera (m3)
- ρ_{mad} = Densidad de la madera
- C_{emad} = Calor específico de la madera
- M_{hor} = Masa de hormigón
- C_{ehor} = Calor específico del hormigón

Calor específico de la madera húmeda : 0,65 Kcal/(Kg°C)
Densidad de madera húmeda : 900 Kg/m³
Calor específico del Hormigón : 0,22 Kcal/(Kg°C)

Por lo tanto, los calores aportados en las cámaras son :

Moore : $Q_{\tau} = 6.911.250$ Kcal
Bollman : $Q_{\tau} = 3.236.250$ Kcal

Si a esto sumamos el calor sensible de los elementos de las cámaras (15%) tenemos aproximadamente :

Moore : $Q_{\tau} = 7.947.937$ Kcal
Bollman : $Q_{\tau} = 3.721.687$ Kcal

Ahora, si observamos la potencia calorífica de cada una de estas cámaras, el tiempo de calentamiento está de acuerdo con lo observado.

- 2.- En el acondicionamiento final se logran las condiciones en un tiempo menor y es similar en ambas cámaras. Esto se debe a que el sistema se encuentra caliente por la fase previa de secado y se requiere de una energía menor para el logro de las condiciones.

En este proceso el aire ambiente capta rápidamente vapor, obteniéndose un clima de permanente humedad relativa alta (95%).

- 3.- Capacidad de Evaporación
A través de mediciones realizadas en terreno se puede concluir que :

La generación de vapor varía de 2000 (Kg/hr) por evaporador en la primera hora, hasta 1.100 (Kg/hr) en el período de mantención de la humedad relativa.

ANALISIS DE LOS PROCESOS DE VAPORIZADO

Anterior al uso de evaporadores, los procesos de acondicionado en las cámaras Moore y Bollman de Forestal Copihue se realizaban por medio de inyección de una mezcla de vapor con agua presurizada.

Los tiempos de acondicionado promedio en cada cámara usando estos equipos fueron :

CAMARA	PROCESO	ESCUADRIA (mm)	A. INICIAL (hrs)	SECADO (hrs)	A. FINAL (hrs)	TIEMPO TOTAL	GRIETAS (%)
Moore	Convencional	24	8	84	8	100	8
		42	9	112	9	130	16
Bollmann	Convencional	24	4	32	8	44	12
		42	6	44	8	60	30
	Alta Temper.	24	8	20	8	36	35

Cuadro 3.-

El objetivo principal por parte de la Empresa al incorporar el uso de evaporadores fue la disminución del tiempo total del proceso de secado pensando en reducir las etapas de Acondicionado de la Madera, y evaluar que le sucedería a esta, en cuanto a tiempo (Tasa de Secado) y calidad.

Según los antecedentes recopilados en una etapa previa (Informe de Avance) y la interacción con expertos en la materia se procedió a cambiar los programas de secado.

Esto tiene su fundamento en que al poder alcanzar altas temperaturas acompañadas de altas humedades relativas, en la madera se produce un mayor grado de permeabilidad, lo que la prepara para perder agua en forma más rápida, aumentando con esto la tasa de secado.

Debido a esto se aplicaron programas de secado mas exigentes, variando los tiempos de acondicionado inicial y final para ver que ocurría en la calidad de la madera y en el tiempo del proceso de secado.

Según la Tabla N°1, en el secador Moore los tiempos de secado y porcentajes promedios de grietas internas actualmente son :

ESCUADRIA (mm)	T. TOTAL (hrs)	GRIETAS (%)
42	96	5
24	75	4,4

De la Tabla N°2 para el Secador Bollmann se tiene :

	ESCUADRIA (mm)	T. TOTAL (hrs)	GRIETAS (%)
Secado Convencional	24	35	8
	42	44	15
Secado A. Temperatura	24	29	20

Analizando los promedios anteriores en cuanto a tiempos de proceso y porcentaje de grietas se tiene lo siguiente :

1.- Tiempo Total del Proceso de Secado

a) Cámara Moore

- Se observa una disminución promedio de 35 horas de proceso para escuadrías de 42 mm., lo que equivale a un 27% de reducción de tiempo.
- Para escuadría de 24 mm., existe una disminución promedio de 25 horas que corresponde a un 25% de la disminución del tiempo del proceso.

b) Cámara Bollmann

- Para secado convencional en escuadrías de 24 mm., se redujo el tiempo total en 9 horas que corresponde a un 20%.
- Para secado convencional en escuadría de 42 mm., se redujo el tiempo total en 16 horas que equivale a un 26%.
- Para secado en alta temperatura existe una reducción de 7 horas con un 19% de disminución del tiempo del proceso de secado.

2.- Porcentaje de Grietas Internas :

a) Cámara Moore

Escuadría 24 mm. : Se observa una disminución promedio de 3,6% del volumen que corresponde a un 45% de mejora con respecto al 8% anterior.

Escuadría 42 mm. : La cantidad de grietas disminuyó en promedio un 11% en volumen y representa una mejora del 68% con respecto al valor anterior.

b) Cámara Bollmann

En general para secado convencional y de alta temperatura se estima una disminución del 50% con respecto a los valores anteriores.

3.- Análisis del Acondicionado Final :

El objetivo del vaporizado final es la reducción de tensiones en la madera. Al respecto, a cada una de las cargas ensayadas en el secador Irvington Moore se le hizo el correspondiente ensayo de tensiones; al final de este informe se encuentra el anexo NQ2 con fotocopias de cada una de las probetas que se sometieron a prueba.

Antes de analizar estas muestras, corresponde decir que el nivel de tensión de la madera es proporcional al ancho de su escuadría.

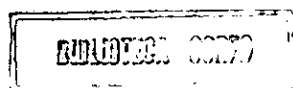
Las cargas 206, 207, 211, 214 y 215 corresponden a escuadrías de 42 mm de espesor. En las fotocopias se puede observar que :

- 1.- Para escuadrías de 42 x 135 (cargas 206 y 207) el tiempo de acondicionado ideal es de 6 horas.
- 2.- Para escuadrías de 42 x 105 (carga 206 y 207) un tiempo de acondicionado de 4 horas es suficiente.
- 3.- Para escuadrías de 42 x 155 (cargas 211, 214, 215) un tiempo de acondicionado de 5 horas deja la madera tensionada; en cambio con 7 horas de vaporizado se obtiene el nivel de tensiones esperadas.

Las cargas 208, 209, 210, 212 y 213 corresponden a escuadrías de 24 mm. de espesor. En las fotocopias adjuntas se observa que :

- 1.- Para escuadrías de 24 x 135 (cargas 208, 209, 212, 213) 5 horas de vaporizado produce el nivel de tensiones deseado.
- 2.- Para escuadría de 24 x 105 (cargas 208, 210, 212 y 213) 4 horas de acondicionado son suficientes.
- 3.- Para excuadrías de 24 x 255 (carga 210) 6 horas de acondicionado parecen insuficientes, pero si se considera el excesivo ancho, además de prueba manual el resultado es conveniente y no debería tener problema en procesos de remanufactura.

Si se comparan estos ensayos, con el antiguo sistema de humectación, se puede decir que en general los tiempos de acondicionado han disminuído entre un 25% y un 50% con respecto a procesos anteriores. Además se observa en las probetas ensayadas que la calidad de la madera en cuanto a su nivel de tensión, aumenta notablemente con este nuevo sistema de humectación.



IMPACTO TECNICO - ECONOMICO

La incorporación de estos nuevos sistemas de humectación ha llevado a obtener los siguientes beneficios :

1.- Cábara Irvington Moore

Capacidad 42 mm.	:	130 (m3)
Tiempo secado anterior	:	130 (hrs)
Tasa de Secado	:	1 (m3/hora)
Productividad	:	89%
Horas de secado al año	:	8760 * 0,89
Tiempo secado actual	:	96 (hrs)
Tasa de Secado	:	1,354 (m3/hora)
Aumento de volumen	:	2761 (m3/año)
Incremento de producción	:	35,4%

Capacidad 24 mm.	:	115 (m3)
Tiempo secado anterior	:	100 (hrs)
Tasa de secado	:	1,15 (m3/hrs)
Productividad	:	89%
Horas de secado al año	:	7796,4 (hrs)
Tiempo de secado actual	:	75 (hrs)
Tasa de secado	:	1,533 (m3/hora)
Aumento de volumen	:	2988,6 (m3/año)
Incremento de Producción	:	33,3%

2.- Cámara Bollmann :

	SECADO CONVENCIONAL	SECADO ALTA TEMPERATURA
Capacidad en 24 mm.	: 55 (m3)	55 (m3)
Tiempo secado anterior	: 44 (hrs)	36 (hrs)
Tasa de secado	: 1,25 (m3/hr)	1,527 (m3/hr)
Productividad	: 89%	89%
Horas de secado al año	: 8760 * 0,89	7796,4 (hrs)
Tiempo de secado actual	: 35 (hrs)	29 (hrs)
Tasa de secado	: 1,571 (m3/hr)	1,896 (m3/hr)
Aumento de volumen	: 2505 (m3/año)	2875 (m3/año)
Incremento de producción	: 25,7%	24,13%
Capacidad en 42 mm.	: 70 (m3)	
Tiempo secado anterior	: 60 (hrs)	
Tasa de secado	: 1,166 (m3/hr)	
Productividad	: 89%	
Horas de secado al año	: 7796,4	
Tiempo de secado actual	: 44 (hrs)	
Tasa de secado	: 1,591 (m3/hrs)	
Aumento de volumen	: 3307,5 (m3/año)	
Incremento de Producción	: 47,7 %	

3.- Cálculo de Volumen Adicional

Ahora, si consideramos el porcentaje de cargas con escuadrías de 24 y 42 mm. promedio que se seca en una unidad de tiempo, tenemos que :

	CAMARA MOORE Secado Convenc.	CAMARA BOLLMANN S.Conven.	S.A.Temp.
42 mm. ---->	30%	19%	12%
24 mm. ---->	70%	69%	

Aumento de producción esperada con la innovación :

$$\text{Moore} : 2.761 \text{ (m3/año)} * 0,3 + 3.378 \text{ (m3/año)} * 0,7 = 3.193 \text{ (m3/año)}$$

$$\text{Bollmann} : 2.505 \text{ (m3/año)} * 0,69 + 3307,5 \text{ (m3/año)} * 0,19 + 2875 \text{ (m3/año)} * 0,12 = 2.702 \text{ (m3/año)}$$

Entonces, el volumen adicional es :

Cámara Moore	:	3.193	(m3/año)
Cámara Bollmann	:	2.702	(m3/año)
		5.895	(m3/año)

Lo anterior se traduce en la siguiente proyección anual de beneficios :

- Producción Anterior	:	61.800	(m3/año)
- Producción Actual	:	67.695	(m3/año)
- Incremento de Producción	:	9,5	%

Esto significa la siguiente situación :

a) Reducción de Costos.

Costo anterior de secado : 10 (US\$/m³)
Costo actual con la innovación : 9,13 (US\$/m³)

b) Incremento de ingresos en instalaciones de Secado.

Si se considera el precio de mercado del servicio de secado a 30 (US\$/m³) se tiene :

Incremento producción : 5.895 (m³/año)
Margen de venta : 20,87 (US\$/m³)
Aumento del ingreso : 123.028 (US\$/año)

c) Incremento de ingreso en procesos de remanufactura :

El margen neto actual por m³ procesado es de :
170 (US\$/m³)

Considerando un rendimiento del proceso del 60%, se tiene que :

Aumento de producción : 3.357 (m³/año)
Aumento de ingreso neto : 566.950 (US\$/año)

CONCLUSIONES

El sistema humectador a través de evaporadores trae los siguientes beneficios :

- 1.- Disminuye el tiempo total del proceso de secado sobre un 25%.
- 2.- Elimina totalmente las tensiones internas de la madera
- 3.- Disminuciones al orden del 4% de grietas en madera juvenil de Pino radiata.
- 4.- El uso de este sistema permite la recuperación de condensado en su totalidad.

RECOMENDACIONES

- 1.- Por la severidad de las condiciones ambientales en las cámaras de secado, es necesario utilizar acero inoxidable en la construcción de las bateas evaporadoras.
- 2.- En general para un volumen de 100 m³ de madera, los evaporadores deben producir una masa de vapor del orden de 2.000 (kgs/hora).

ANEXO 1

BIBLIOTECA CONFO

**DISEÑO DE EVAPORADORES
SECADOR DE MADERA
FORESTAL COPIHUE**

**Roberto Corbalán P., Raón Frederick G.
Roberto Robán L., Alvaro Valencia H.**

**Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad de Chile**

Santiago, Mayo 1994

DISEÑO DE EVAPORADORES PARA CÁMARAS DE SECADO EN FORESTAL COPIHUE

1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS :

La Compañía Forestal Copihue, a través de su Ingeniero Sr. Eduardo Fuentes, solicitó al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile el diseño de un sistema vaporizador para su secador de madera de la planta ubicada en Las Cañas. Este sistema vaporizador o humectador debe ser capaz de :

Para acondicionamiento inicial :

- Aumentar la humedad ambiente de 35°C y 65% de H.R. a 90°C y 95% H.R. en 30 minutos.
- Mantener esta condición de 90°C y 95% H.R. durante dos horas.

Para acondicionamiento final :

- Aumentar la humedad ambiente de 90°C y 40% de H.R. a 90°C y 95% de H.R. en media hora.
- Mantener esta condición de humedad durante cuatro horas.

El sistema a diseñar se basa en la construcción de bateas de agua con calefactores de inmersión los cuales funcionarán con el vapor que le entrega la unidad generadora de vapor.

La cámara tiene 980 m³ de volumen y contiene 130 m³ de madera.

En el presente informe se entregan las bases del diseño, hipótesis empleadas, cálculos del sistema y planos de disposición general.

2.- CONDICIONES GENERALES A CUMPLIR EN LA CAMARA

2.1. Hipótesis generales :

Para el diseño del sistema se han hecho las siguientes hipótesis generales :

- La carga térmica normal de la cámara es cubierta por los calefactores a vapor existentes (radiadores). El decir, el sistema de vaporización en bateas sólo debe ser capaz de producir la masa de vapor requerido en el tiempo fijado, mas cubrir la inercia térmica y pérdidas conductivas del propio sistema.
- Se supone que durante la operación de vaporización las pérdidas de vapor hacia el exterior no superan un 30% de la carga debido al aumento de contenido de humedad del aire.
- La condición de diseño crítica está dada por la impuesta en el acondicionamiento final.
- Debido a la geometría de las cámaras de secado el ancho de las bateas no excederá de 0,4 mt. El largo de estas para aprovechar la transferencia calórica al máximo será de 20 mts.

2.2. Balances Másicos en el Secador

Acondicionamiento Inicial :

Partida:

$T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$; $HR=65\%$; $W_1=23.36 \text{ g/gas}$

$H_1=95.07 \text{ Kj/kg}$; $P_{v1}=3670 \text{ Pa}$; $v_1=0.9045 \text{ m}^3/\text{kg}$

Final:

$T_{bs}=90^{\circ}\text{C}$; $H_r=95\%$; $W_2=1222,6 \text{ g/gas}$

$H_2=3346.8 \text{ Kj/Kg}$; $P_{v2}=67209 \text{ Pa}$; $v_2=3.05 \text{ m}^3/\text{Kg}$

Volumen sin madera : $980-130=850 \text{ m}^3$

Cantidad inicial de vapor de agua: $850/.9045*23.36=$
 21.95 kg.

Cantidad final de vapor de agua : $850/3.05*1222.6 =$
 340.72 kg.

Cantidad de agua a evaporar en media hora: 319 kg

Cantidad de agua con 30% pérdidas : 414.4 kg.

Acondicionamiento Final :

Partida :

$T_{bs}=90^{\circ}\text{C}$; $HR=40\%$; $W1=240.77 \text{ g/gas}$

$H1=731.74 \text{ Kj/kg}$; $Pv1=28298 \text{ Pa}$; $v1=1.425 \text{ m}^3/\text{kg}$

Final :

$T_{és}= 90^{\circ}\text{C}$; $H=95\%$; $W2=1222.6 \text{ g/gas}$

$H2=3346.6 \text{ Kj/kg}$; $Pv2=67209 \text{ Pa}$; $v2=3.05 \text{ m}^3/\text{kg}$

Cantidad inicial de vapor de agua : 143.57 kg

Cantidad final de vapor de agua : 340.72 kg

Cantidad de agua a evaporar en 1/2 hora : 197.15 kg

Cantidad de agua con 30% pérdidas : 256.3 kg

INFLUENCIA DE LA MASA DE MADERA

En el interior del secador se instalan 130 m³ de madera. Estos tienen un contenido de humedad inicial promedio de $X_i=0.9$ (base seca) y una humedad final del orden de $X_f=0.14$ considerando una densidad inicial de 950 kg/m³, esto implica un total del orden de 400 kg de agua por m³ de madera a evaporar.

Si suponemos que durante el acondicionamiento inicial el agua de la madera es un aporte a la condición climática de la cámara, esto implica un alivio de la tarea de la bateas evaporadoras. Sin embargo esta suposición no es tan sustentable por las siguientes razones :

- Al calentarse la masa de madera aumenta su capacidad higroscópica, por lo tanto, inicialmente puede absorber agua.
- En el acondicionamiento inicial el ambiente está prácticamente saturado en agua, por lo cual la capacidad de evaporación de la madera es sumamente limitada. De hecho se busca este efecto para homogeneizar la madera, eliminar gradientes de humedad internos y así facilitar el proceso de secado a alta temperatura posterior.
- También durante el acondicionamiento inicial la circulación de aire dentro de la cámara es limitada, ya que no hay aporte de aire exterior.

De acuerdo a la literatura sobre vaporizado, esta nos dice que para climas en cámaras de secado de alta humedad relativa y con un vapor saturado de alta calidad la madera debería permanecer teóricamente constante en cuanto a su contenido de humedad.

Por lo tanto, se analizará la influencia de la madera del punto de vista del vaporizado final ya que en este proceso la madera capta una cantidad considerable de agua debido al estado inicial seco, en que se encuentra.

En el acondicionamiento final la madera gana humedad en todo su gradiente externo. Esto se hace con la finalidad de homogeneizar la humedad en todo el trozo para eliminar las tensiones producidas durante el proceso de secado.

Para evaluar esta situación en una primera aproximación se consideraron pruebas experimentales en las cámaras de secado de FORESTAL COPIHUE en los procesos de acondicionamiento final.

Tales pruebas consistieron en someter a ensayo 12 muestras en dos procesos de vaporizado, (6 en cada uno) y determinar la variación de peso de cada probeta entre la etapa inicial y final del acondicionamiento final.

Para esto se consideraron muestras normalizadas de largos de 1 mt y selladas en las puntas para semejarlas a un proceso real.

Estos ensayos permitieron darse cuenta de la siguiente situación :

Para un período de 6 horas de vaporizado se encontró que la absorción de agua por los 130 (m³) de madera fue aproximadamente 3.600 kgs de vapor.

Esto significa una masa de agua captada " como promedio " de 600 (kg/hr) de vapor.

Considerando correcta esta absorción de humedad, entonces de acuerdo a literatura la forma de la curva de absorción es logarítmica.

Si suponemos que a las 8 horas de vaporizado, la fibra está en equilibrio se tiene que :

En los primeros 30 minutos se absorberán aproximadamente : 1200 kgs de vapor.

En la segunda media hora : 600 kgs de vapor.

Por lo tanto, la demanda total de agua de evaporación en la primera hora será :

Primera media hora.

Demanda psicrométrica : 197 kg.

Absorción de vapor por la madera : 1200 kg.

30 % de pérdidas (Totales) : 450 kg.

Total 1847 kg.

Segunda media hora.

Absorción por la madera :	600 kg.
30 % de pérdidas :	<u>180 kg.</u>
Total	780 kg.

Según esto en la primera hora de vaporizado se necesitará generar una cantidad de vapor de : 2627 kg.

Esta evaluación de requerimientos se basa en que la primera hora de funcionamiento del sistema a diseñar se tienen las condiciones máximas de absorción de agua, por parte de la madera.

3.- DISEÑO DEL SISTEMA

En base a los valores anteriores se ha determinado una capacidad de evaporación de 1400 kg/hora de vapor por batea.

El diseño del sistema consulta la utilización de bateas de evaporación las cuales deberán cumplir con los siguientes requerimientos :

- 1.- Posicionar los tubos de intercambio de calor a baja altura en las bateas de modo de poder establecer un nivel bajo del líquido en éstas, aumentando la relación, área de evaporación/Volumen del líquido en las bateas, y disminuyendo la masa de agua a calentar.
- 2.- Utilizar el área de evaporación de las bateas en la forma más efectiva, posicionando tubos de intercambio a lo largo de la mayor parte de la longitud de las bateas.
- 3.- Evitar problemas de inundación de los tubos intercambiadores con condensado mediante las siguientes medidas :

Establecer tramos cortos, de poco más de dos metros, para evitar una excesiva producción de condensado en cada tramo.

Asegurar una alimentación de vapor y descarga de condensado independientes para cada tramo de tubo.

Evacuar el condensado hacia tubos recolectores ubicados bajo las bateas.

- 4.- Tener las trampas de vapor de acuerdo a su capacidad de condensación.

3.1. Bases del diseño

Se dispone de una cámara de secado con un volumen interior de 1000 m³; Se tendrán 2 bateas de 20 mt de largo por 0.4 mt de ancho cada una.

Las condiciones iniciales son las siguientes :

Aire : Condición crítica :

Inicialmente a 90°C y 40% de H.R. debe ser llevado a 90°C y 95% de H.R. considerando la absorción de agua de la madera.

Agua de evaporación :

Inicialmente a 17°C. El volumen inicial de agua en cada batea es de 1.2 m³. Esto implica un nivel libre de agua equivalente de solo 15 cm. Considerando el área de tubos, el nivel de agua desde el fondo debe ser de 18 cm. El agua evaporada se repondrá constantemente mediante un sistema gobernado por un control de nivel.

Vapor de calefacción :

Condiciones de operación del vapor : 7 bar y 165°C.

3.2. Diseño :

Para lograr cumplir los requerimientos en cuanto a la capacidad de evaporación, se propone la siguiente solución :

- * Intercambiadores : Compuestos por arreglos de 4 tubos de 2" Sch.40 distribuidos en 8 arreglos a lo largo de la batea (ver planos adjuntos).
- * Area de transferencia de calor : 14 mt²
- * Agua evaporada en los primeros 30 minutos, partiendo de bateas con agua a 20°C en una altura equivalente de 15 cm : 600 kg. Esta cantidad se puede aumentar usando una lámina de agua de menor espesor (10 cm por ejemplo)
- * Agua evaporada en los segundos 30 minutos : Sobre 700 kg por batea.

- * Condensado producido por batea : 850 kg en la primera media hora de los cuales 225 se producirán en los primeros 6 minutos.
- * Coeficiente global de transferencia de calor : 3846 W/(m²C)
- * Se supuso en forma pesimista, una conductividad térmica del tubo de 13 W/(mC).
- * La solución considera agua de repocisión a 20 C.
- * En el caso de que el agua usada en los evaporadores produzca depósitos por el exterior de los tubos, conviene ablandarla o bien desincrustar exteriormente los tubos en forma periódica, para evitar la disminución del coeficiente de intercambio.

4.- PROCEDIMIENTO DE CALCULO

El diseño se realizó usando la siguiente metodología :

En primer lugar se hizo un prediseño en el que se determinaron en forma aproximada los requerimientos de vapor que iban a consumir las bateas. En este prediseño los aspectos tomados en cuenta son :

- Por balance psicrométrico y absorción de agua por la madera, se determinó que se necesita aportar en la primera media hora 923 kg de vapor por batea. En primera aproximación esto implicaría, que si el agua de las bateas estuviera saturada, por el interior de los evaporadores habría que condensar una cantidad de vapor equivalente a 923 kg, lo que se traduce a una potencia de condensación de 1846 kg/hr. Lo anterior cubre la demanda de vapor más la estimación de pérdidas (las que son permanentes durante el acondicionamiento).
- Por otra parte el agua y las estructuras de los evaporadores están inicialmente a temperatura ambiente, por lo que se necesita un aporte de calor sensible al sistema para llegar de una temperatura de 15°C a 90°C.

Este calor, implica una capacidad máxima de condensación por el interior de los evaporadores de 200 kgs, de condensado en el tiempo que alcanza el régimen de evaporación.

Esta capacidad se estima del siguiente balance de energía :

$$Ma * Cpa * (Taf - Tai) = Mv * hfgv$$

donde :

Ma = Masa de agua (kgs)
Cpa = Calor específico del agua (Kj/Kg°C)
Taf = Temperatura final del agua (°C)
Tai = Temperatura inicial del agua (°C)
Mv = Masa de vapor (Kgs)
hfgv = Calor latente del vapor)Kj/Kg)

El primer término representa la energía absorbida por el agua de las bateas y el segundo término el calor cedido por el vapor.

Esto es de gran importancia en la capacidad de evacuación del condensado a través de las trampas de vapor.

Los valores anteriores se usaron para :

- Definir el dimensionamiento de los troncales y ramales de alimentación.
- Definir la capacidad de evacuación de condensado.
- Definir la situación de partida del modelo de simulación que se desarrolló.

4.1. *Piping* :

La caldera suministra vapor saturado a 7 bar de presión absoluta. Esto implica las siguientes entalpías y volúmenes específicos :

Vapor saturado : $H_g = 2762.0 \text{ KJ/kg}$;
 $v_g = 272.68 \text{ dm}^3/\text{kg}$

Líquido saturado : $H_f = 697,1 \text{ KJ/kg}$;
 $v_f = 1.1082 \text{ dm}^3/\text{kg}$

La diferencia entálpica aprovechable en cada intercambiador es de 2064,69 KJ/kg.

Para evaporar un kg de agua en la batea se requieren 2257.9 KJ/kg, ésto implica 1.1 kg de vapor por kg de agua evaporado en el régimen permanente.

De acuerdo a los volúmenes específicos, se puede determinar la velocidad del vapor para el caudal de $1846 \times 1.1 = 2030 \text{ kg/hr}$ a partir de la siguiente relación:

$$C = Q_m \times v/S$$

Donde Q_m = Caudal másico de vapor (Kg/s)

v = Volumen específico de vapor (m^3/kg)

S = Sección de paso de la tubería (m^2)

Para poder evaporar 1846 kg/hr de vapor en cada batea se requiere que el troncal que alimente los intercambiadores sea de 3" nominal. Este es un punto muy importante. Si el troncal es de diámetro insuficiente, existirá una excesiva pérdida de carga en la línea, la presión será inferior a la de diseño y el sistema puede presentar problemas de operación.

Con troncal de alimentación de 3" y condensado de 2030 kg/hr por batea, tendremos una velocidad inicial del vapor en el troncal de 30 mt/s. Esto es alto, pero aceptable considerando que el tramo del troncal no supera los 20 mts. Después del quinto intercambiador se puede reducir la sección a un diámetro no inferior a 2".

Los retornos de condensado deben ser de 2" nominal pues no hay problema de velocidad, ya que para condiciones de operación máximas, se alcanza el régimen permanente en 6 minutos y se tiene que :

$Q = 2.000 \text{ kg/hora}$
 $V_f = 0,001108 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $A = 0,00456 \text{ m}^2$
 $C = 0,135 \text{ (mt/seg)}$

Este valor representa una velocidad baja, lo cual hace adecuado estas tuberías.

La capacidad de evacuación de condensado deberá ser de 2000 kg/hora por batea.

4.2. Simulación del Diseño

Con la etapa previa de diseño donde se define el dimensionamiento de los intercambiadores de calor, se desarrolló un modelo de simulación el que toma como metodología para un volumen de control equivalente a m/m un módulo : **condensación en el interior del tubo, conducción a través del tubo, eliminación de condensado, convección por el exterior del tubo, ganancia de calor sensible del agua y evaporación de la superficie de agua al ambiente.**

Para la determinación del área de transferencia de calor se implementó un programa de simulación dinámica del proceso de evaporación en una batea. Las variables ingresadas son :

- Diámetro interno y externo (D_i , D_e), número (N) y longitud de tubos (L).
- Propiedades físicas del sistema agua-vapor a diferentes temperaturas.
- Condiciones iniciales de la masa de agua a evaporar (T_i).

- Dimensiones horizontales de la batea y nivel de líquido en ella.
- Condición del vapor de alimentación a los tubos (Tv).

Se simula primero el régimen transiente de calentamiento del agua, en el que existe una tasa reducida de evaporación superficial. En esta fase la energía se usa principalmente para aumentar la temperatura de la masa de agua.

En este régimen el calentamiento transiente está dado por la ecuación :

$$M * C * \frac{dT}{dt} = Q - E - P$$

En que T es la temperatura del agua, t el tiempo, M y C la masa y calor específico del agua en la batea. Q es el calor transferido por el tubo calefactor por unidad de tiempo, E el calor desprendido por evaporación superficial, y P las pérdidas laterales y desde el fondo de la batea. Dado que simultáneamente se realiza el proceso de calentamiento de la cámara, mediante radiadores, partiendo de una temperatura de aire superior a la del agua, estas pérdidas se suponen despreciables.

La ecuación anterior se integra por **diferencias finitas**, con intervalos de tiempo de un minuto.

Para determinar el calor Q instantáneo transferido por el vapor de condensación en el interior del tubo, se realiza el siguiente procedimiento :

Sea Tv la temperatura del vapor en condensación. Se tienen las siguientes relaciones de transferencia :

Convección-Ebullición exterior:

$$Q = 3.14 \cdot D_e \cdot L \cdot h_{ext} \cdot (T_{pe} - T)$$

Conducción en pared :

$$Q = 2 \cdot 3.14 \cdot L \cdot K_t \cdot (T_{pi} - T_{pe}) / \ln(D_e/D_i)$$

Condensación interior :

$$Q = 3.14 \cdot D_i \cdot L \cdot h_{cond} \cdot (T_v - T_{pi})$$

en que h_{ext} es el coeficiente convectivo exterior, que puede ser por convección natural (al inicio) o por ebullición subenfriada o saturada, que ocurre cuando la pared alcanza un sobrecalentamiento mínimo para el comienzo de la ebullición; h_{cond} es el coeficiente convectivo del lado de condensación.

Una vez que el líquido en la batea alcanza la temperatura de ebullición, permanecerá a esa temperatura. La tasa de evaporación se determina del calor transferido a la masa de agua, descontando la energía necesaria para llevar el agua de reposición a la temperatura de ebullición.

Repetidas corridas del programa para distintos diámetros, disposiciones y número de tubos permitieron obtener una combinación de parámetros que resultó en el diseño propuesto.

Se incluye un gráfico de la evolución de la masa evaporada en una batea y del condensado producido en función del tiempo.

El resultado de la modelación nos dice que a los 30' de alcanzado el régimen permanente la capacidad de evaporación de agua es de 1412 kgs de vapor en ambas bateas.

CONCLUSIONES

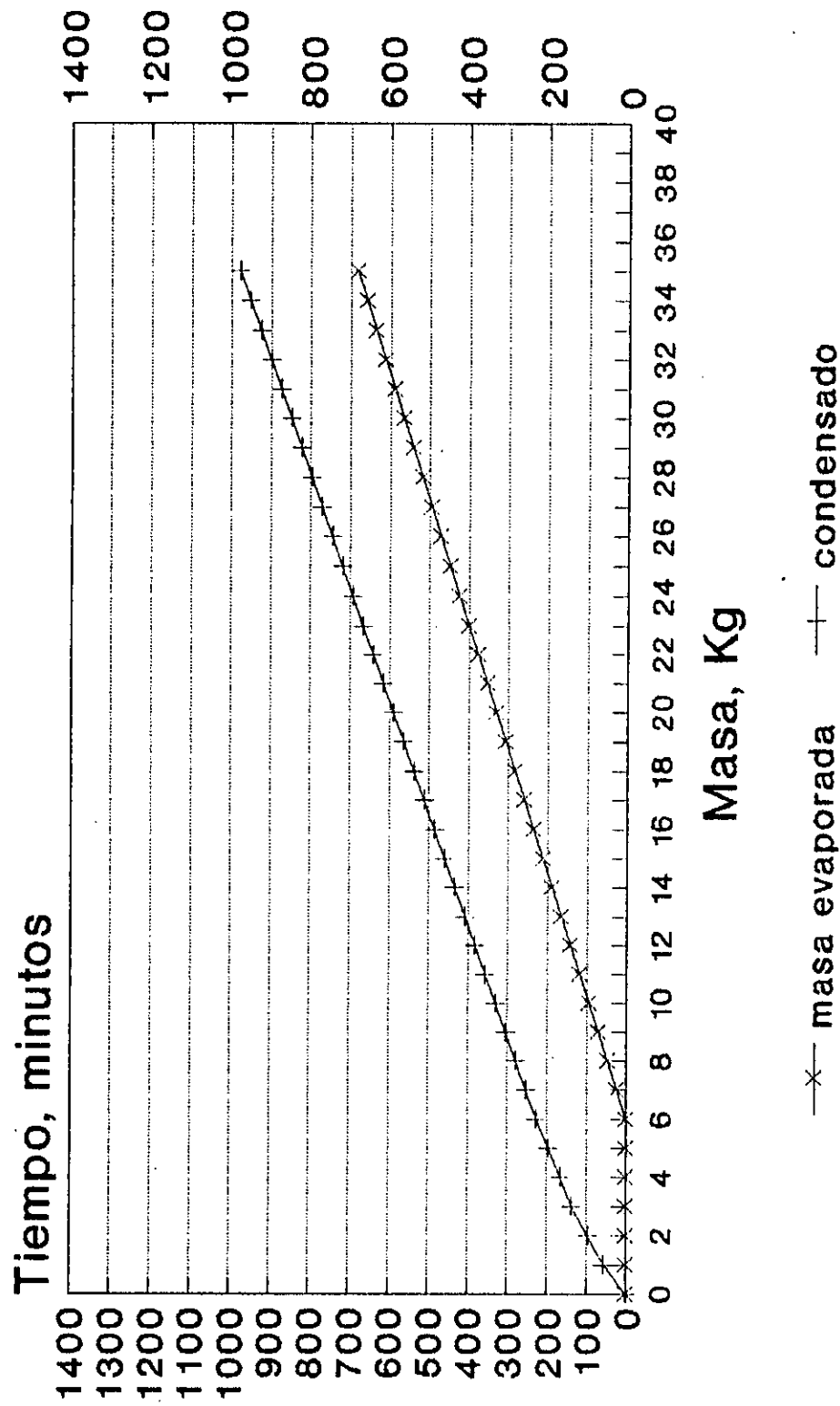
- Del desarrollo del presente trabajo, se puede concluir que, para implementar un sistema de humectación compuesto por bateas evaporadoras, es de vital importancia conocer los requerimientos de la masa de agua a evaporar en el tiempo que se estime necesario alcanzar las condiciones sicrométricas al interior de las cámaras de secado.

Este requerimiento deberá considerar las siguientes variables :

- Volumen de madera
 - Volumen y dimensiones de la cámara de secado
 - Potencia de calefacción
 - Presión de funcionamiento
-
- Este documento es el resumen de la interacción sostenida entre el Ingeniero Patricio Leighton de Forestal Copihue y el grupo consultor.

BATEA DE EVAPORACION

Masa evaporada y condensado producido

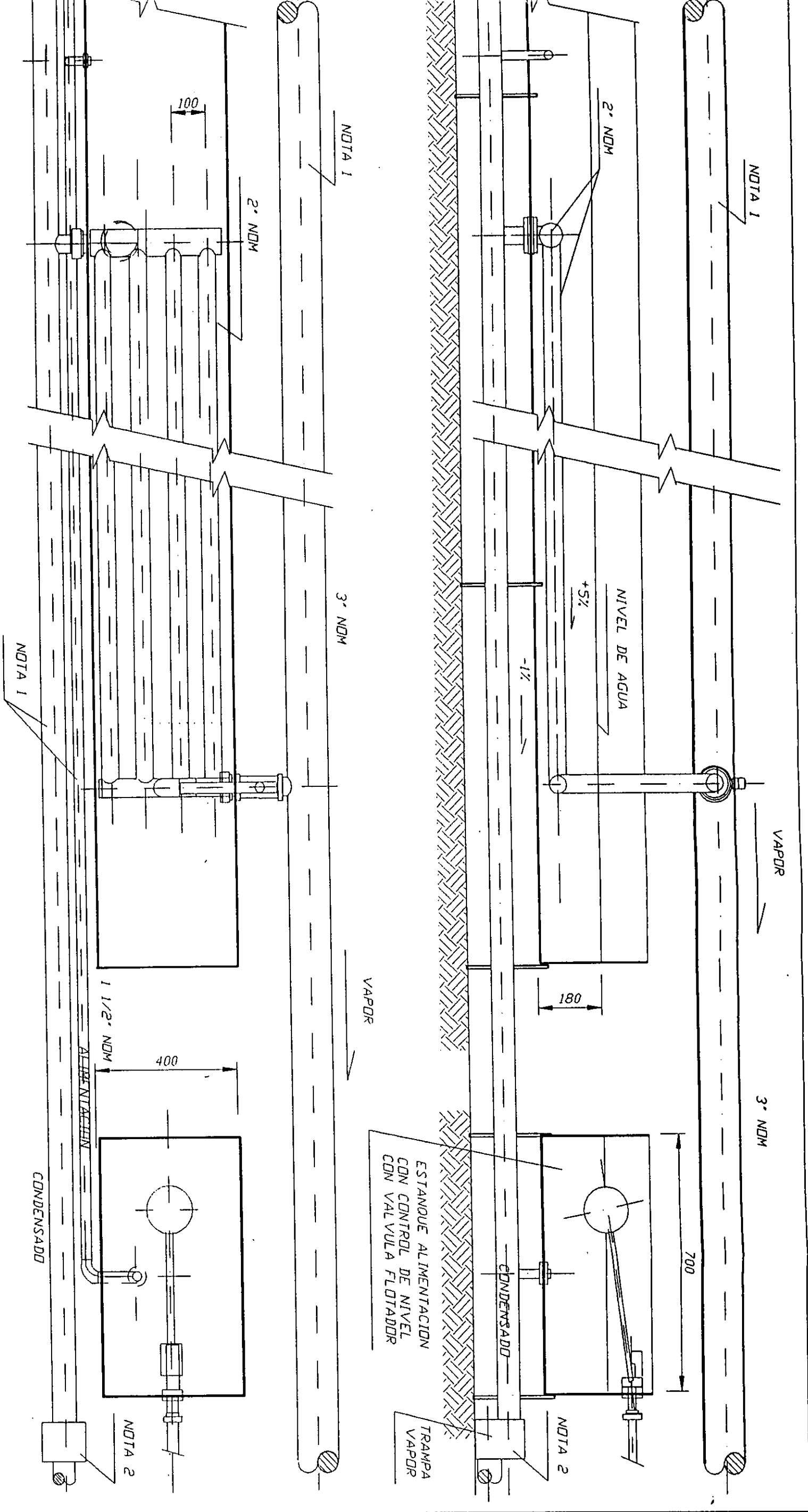


REFERENCIAS

- 1.- J.P. Holman, " Heat Transfer ", Mc Graw Hill, SI Metric Edition, 1989, cap.10: Condensation and Boiling Heat Transfer.
- 2.- J.G. Collier, " Convective Boiling and Condensation", Mc Graw Hill. UK, 1972.
- 3.- D.Q. Kern, " Procesos de Transferencia de Calor ", CECOSA. México, 12ª impresión, capítulos 12 y 14.

NOMENCLATURA UTILIZADA

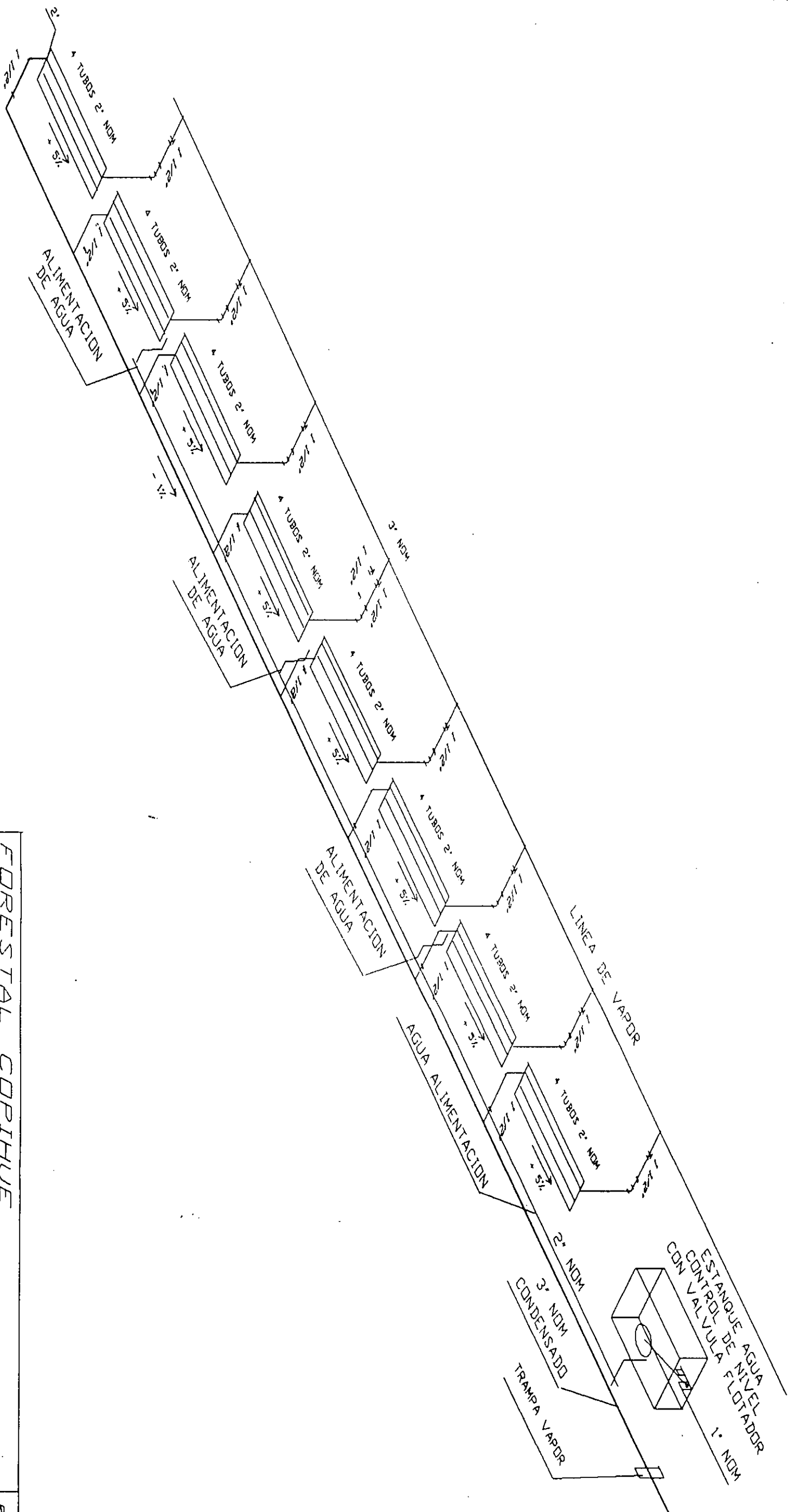
<i>T_{bs}</i>	=	Temperatura bulbo seco (°C)
<i>H.R.</i>	=	Humedad Relativa (%)
<i>W</i>	=	Humedad absoluta o específica (Kg vapor / Kg aire seco)
<i>H</i>	=	Entalpia (Kj/Kg)
<i>P_v</i>	=	Presión del vapor (Pascal)
<i>V</i>	=	Volumen específico (m ³ /Kg)
<i>H_g</i>	=	Entalpia del vapor saturado seco (Kj/Kg)
<i>H_f</i>	=	Entalpia del líquido saturado (Kj/Kg)
<i>V_g</i>	=	Volumen específico del vapor saturado seco (m ³ /Kg)
<i>V_f</i>	=	Volumen específico del líquido saturado (m ³ /Kg)



NOTA 1
SERIAS DE AGUA, VAPOR Y CONDEN.
DE ... A MURD O SUELO SUGUN CO. ...

NOTA 2:
TRAMPA DE VAPOR
CAPACIDAD 1000 KG/HR

FORESTAL COPIHUE			REV
ESTANQUE ALIMENTACION DE AGUA			A
Proy	5/94	RF - RR - AV	DEPTO INGENIERIA
Dib	5/94	RC	MECANICA
Plano	04		U. DE CHILE
			06/94



FORESTAL COPENHUE

SISTEMA EVAPORADORES TUNEL DE SECADO
PLANO ISOMETRICO

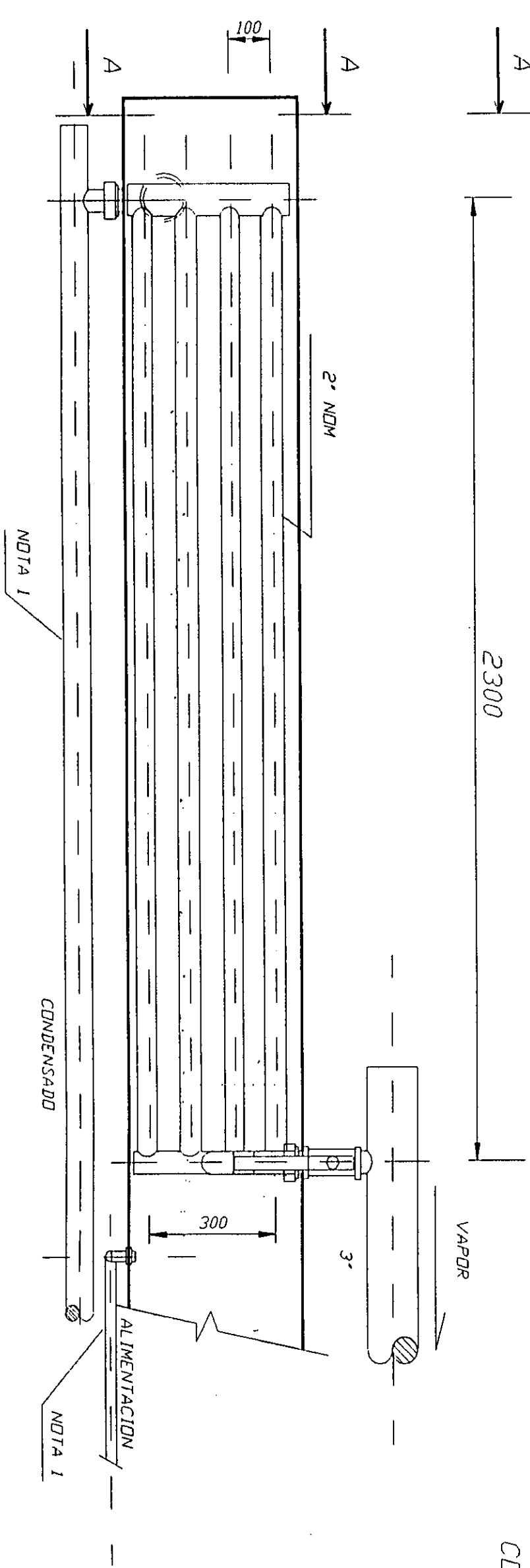
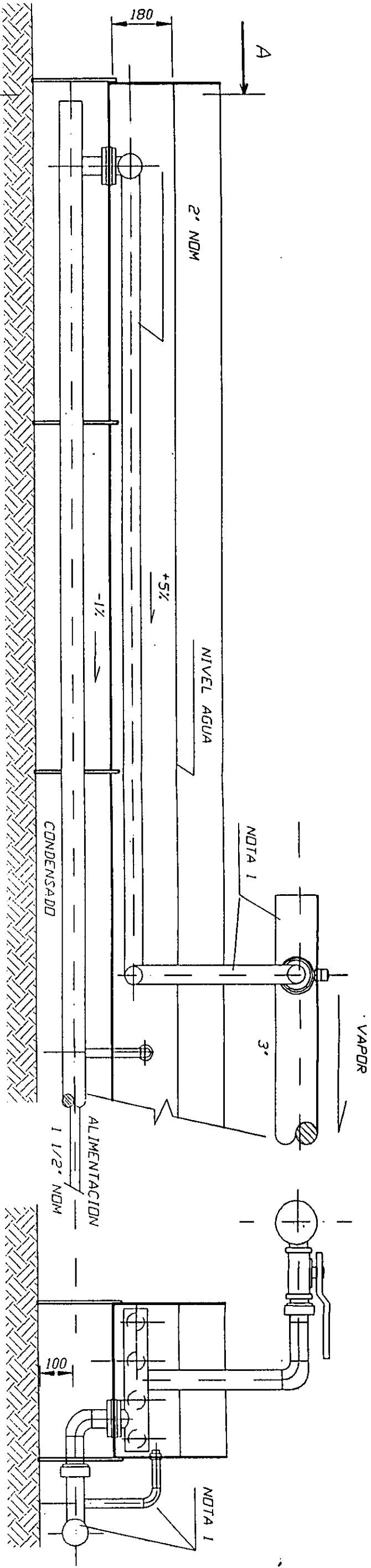
REV
A
06/94

PROY 5/94 RF - RR - AV

DIB 5/94 RC

DEPTO INGENIERIA
MECANICA
U. DE CHILE

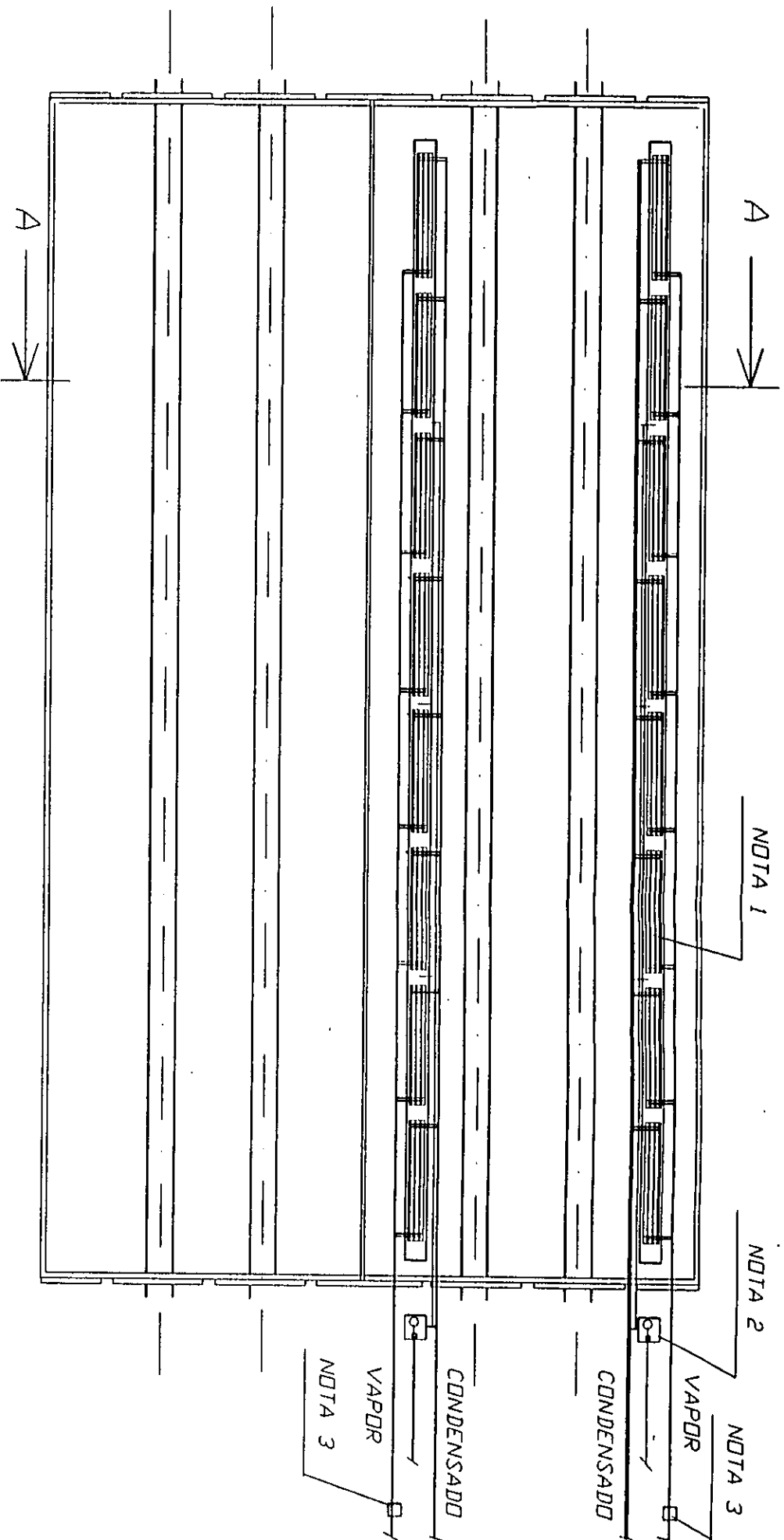
PLANO 02



NOTA 1:

TODAS LAS TUBERIAS DE AGUA
VAPOR Y CONDENSADO DEBEN IR SOBRE SOPORTES
ANCLADOS A MURD O AL SUELO

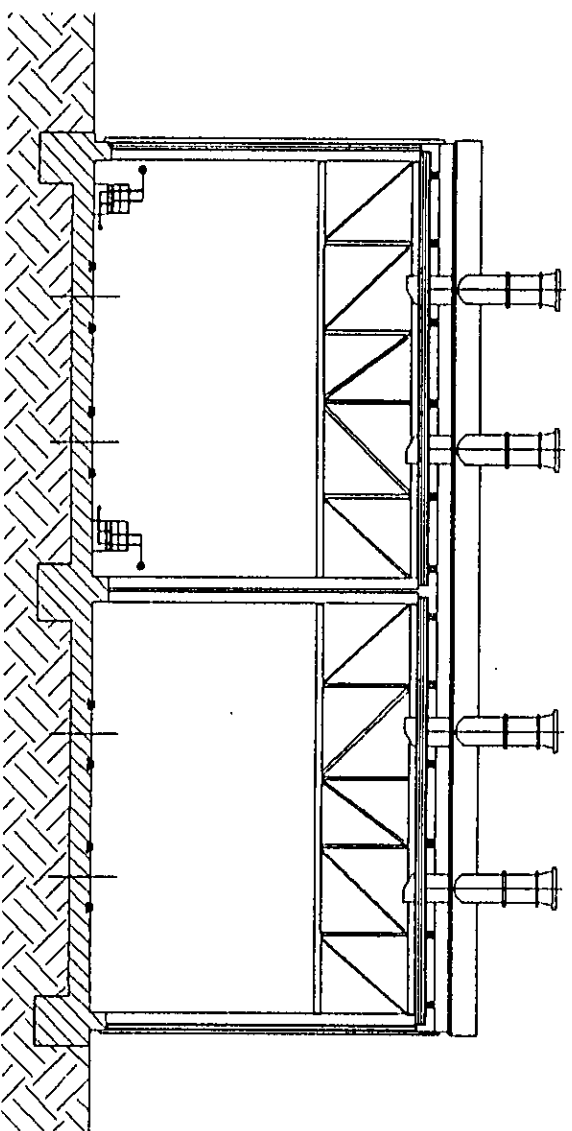
FORESTAL COPIHUE			REV
CONJUNTO EVAPORADOR			A
Proy 5/94	RF - RR - AV	DEPTO INGENIERIA	
Dib 5/94	RC	MECANICA	
Plano 03		U. DE CHILE	



NOTA 1:
8 BANCOS DE TUBOS
DE 4 TUBOS CADA UNO
DE LONGITUD IGUAL A 2.3 MTS

NOTA 2:
ESTANQUE DE ALIMENTACION DE AGUA
CON CONTROL DE NIVEL POR VAL-
VULA DE FLOTADOR.

NOTA 3:
TRÁMPA DE VAPOR
CON CAPACIDAD DE 1000 LTS/HR



SECCION A - A

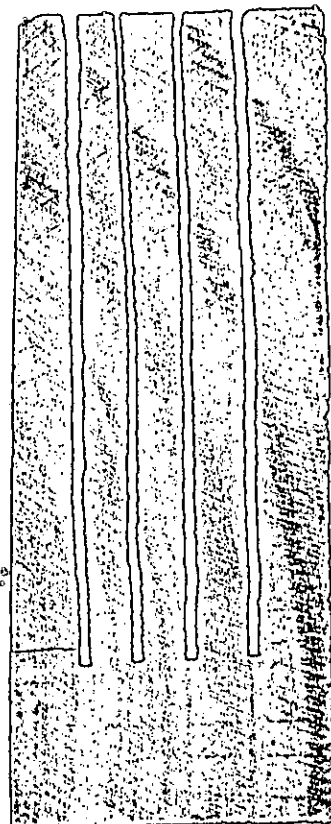
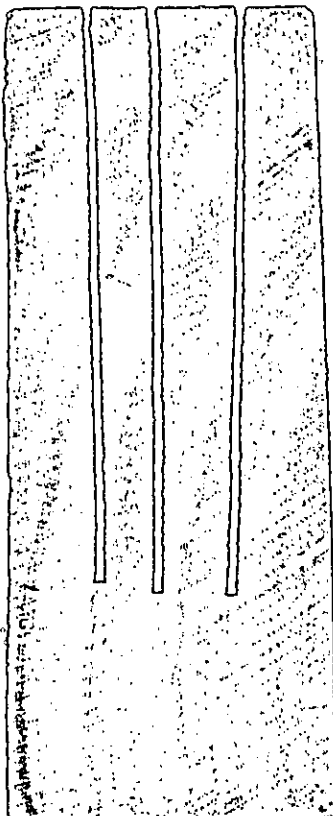
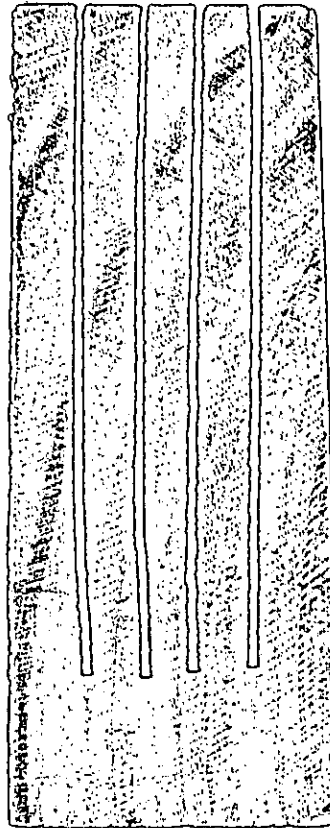
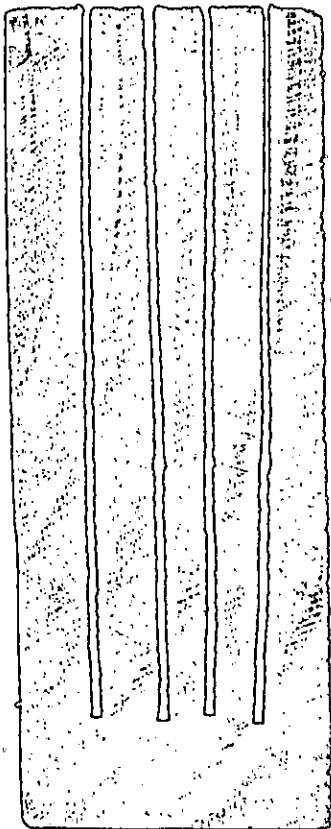
FLORESTAL COPIHUE			REV
PLANO GENERAL EVAPORADORES TUNEL SECADO			A
PROYECTO	5/94	RF - RR - AV	DEPTO. INGENIERIA MECANICA U. DE CHILE
DIBUJO	5/94	RC	
PLANO N	01		

ANEXO 2

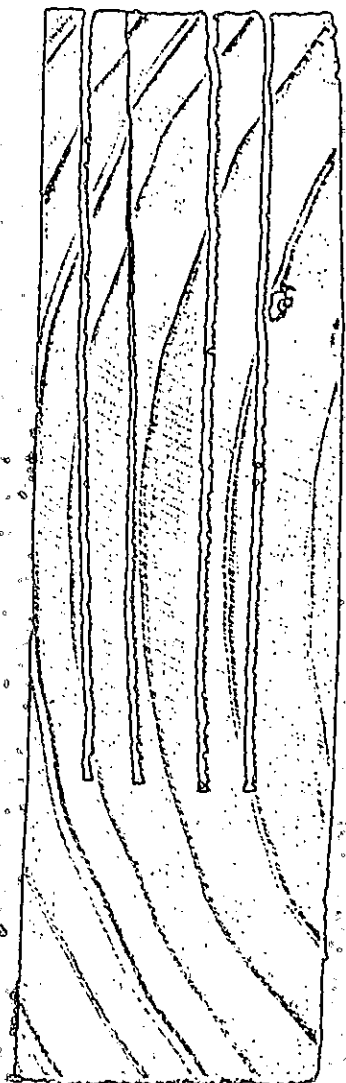
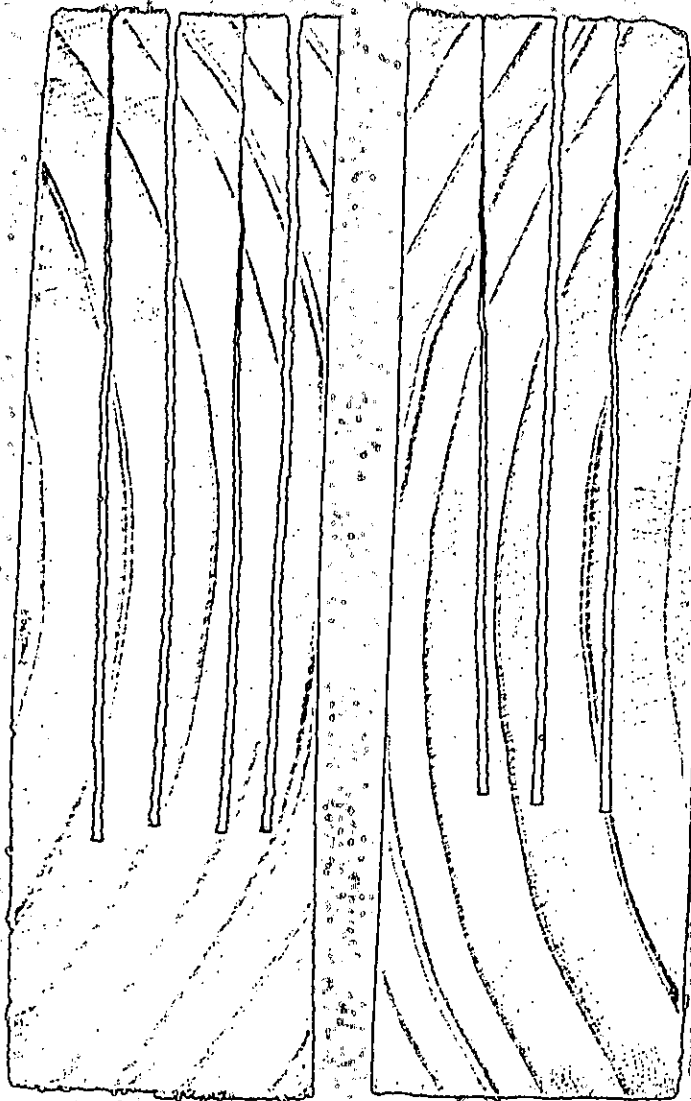
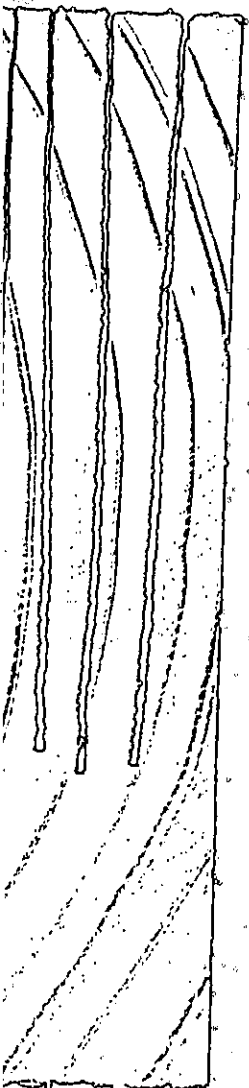
**INDICE DE MUESTRAS SOMETIDAS A
ENSAYO DE TENSIONES**

CARGA	ACONDICIONAMIENTO FINAL	ESCUADRIA	HOJA
206	6 horas	42 x 105	1
206	6 horas	42 x 135	2
207	4 horas	42 x 105	3
207	4 horas	42 x 135	4
211	5 horas	42 x 155	5
214	7 horas	42 x 155	6
215	7 horas	42 x 155	7
208	4 horas	24 x 105	8
208	4 horas	24 x 135	9
209	5 horas	24 x 135	10
210	6 horas	24 x 105	11
210	6 horas	24 x 255	12
212	5 horas	24 x 105	13
212	5 horas	24 x 135	14
213	6 horas	24 x 105	15
213	6 horas	24 x 135	16

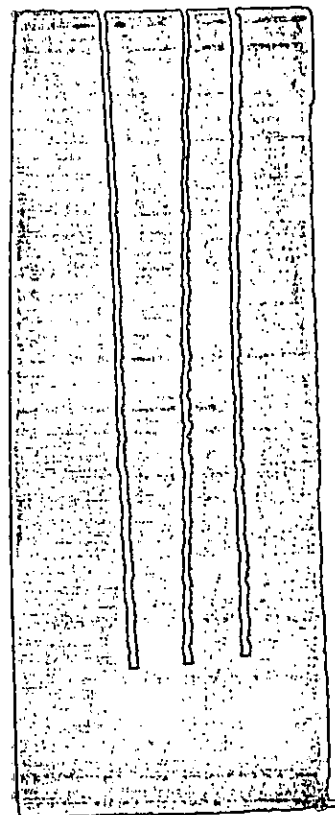
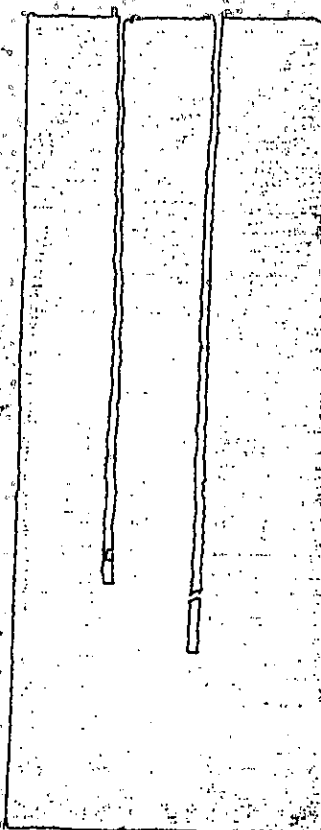
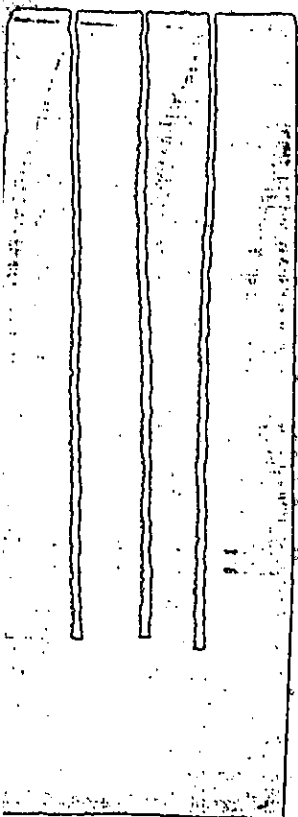
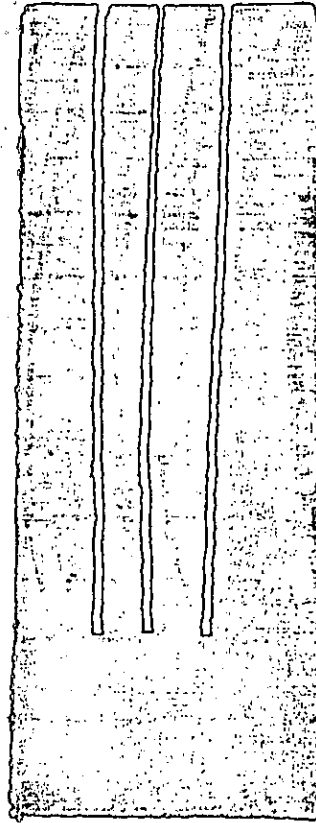
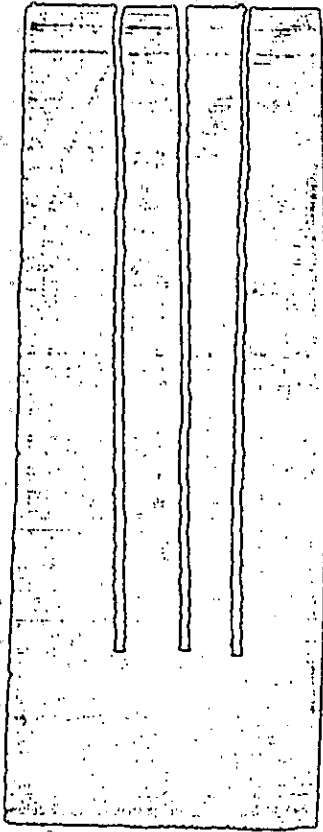
Carga 206
A.F. = 6 hrs



Carga 206
A.F. = 6 hrs



Carga 207
A.F. = 4 hrs

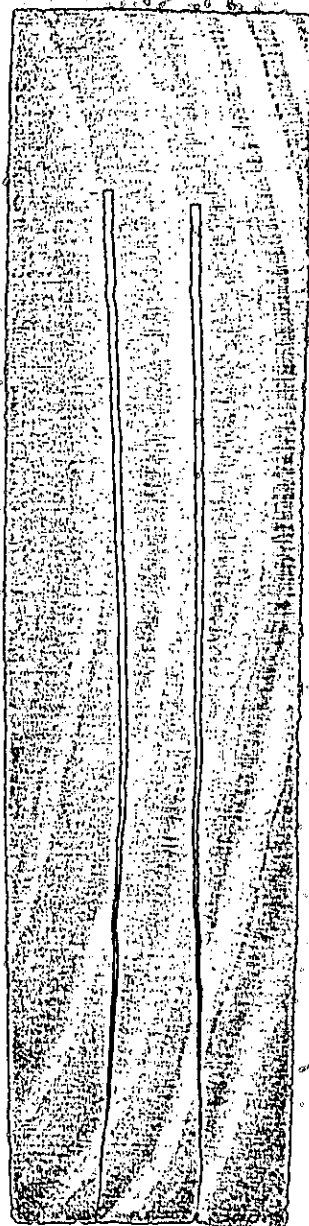
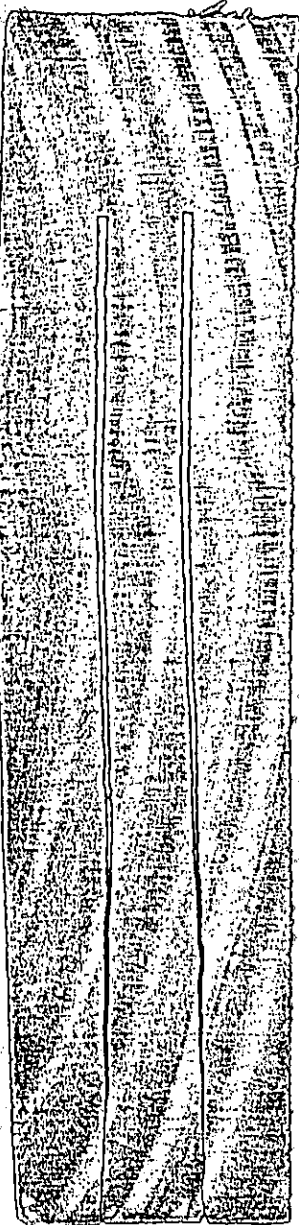
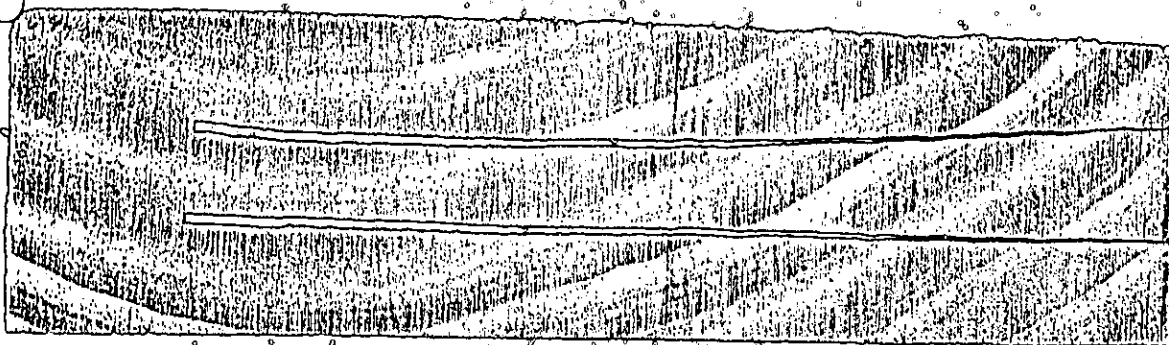


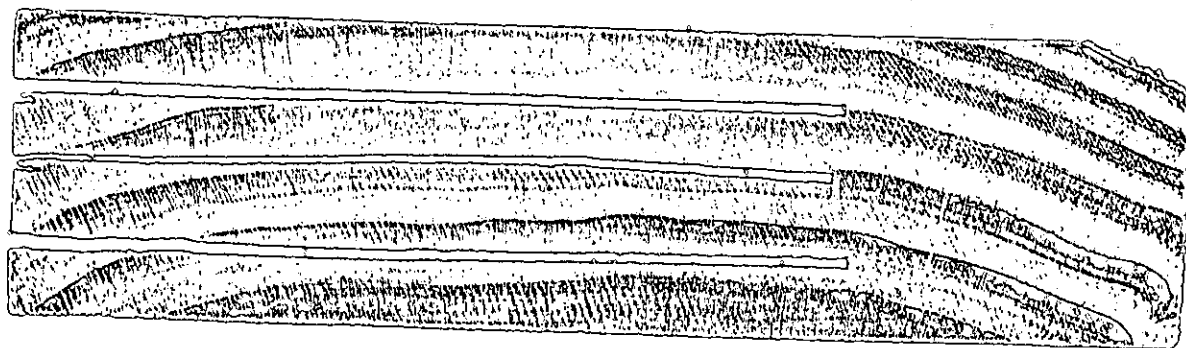
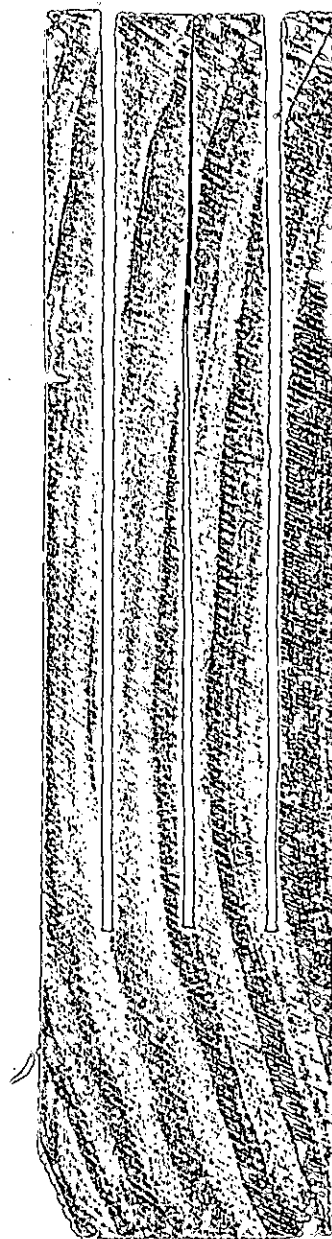
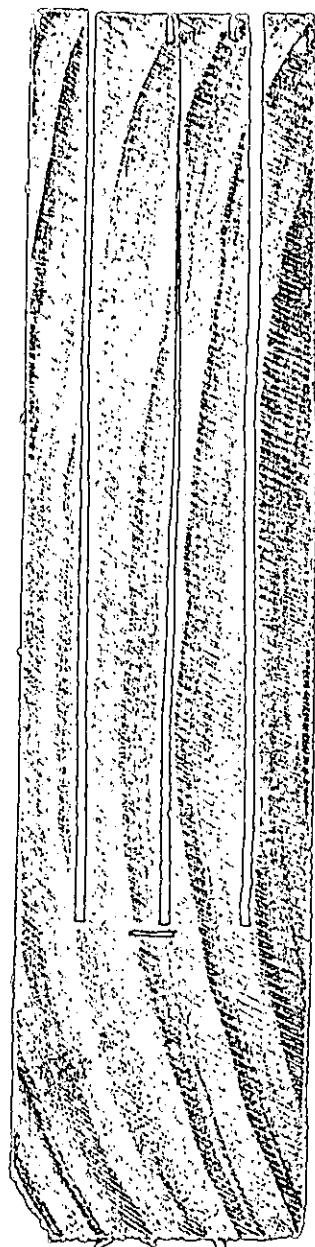
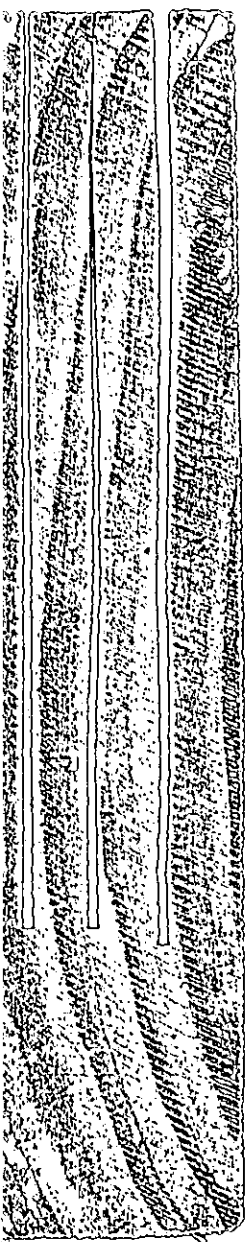
Carga 207

A.F. = 4 hrs



Carga 211
A.F. = 5 hrs

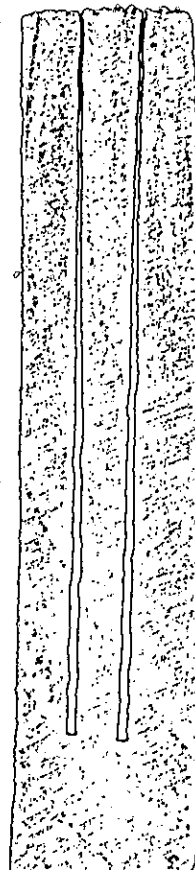
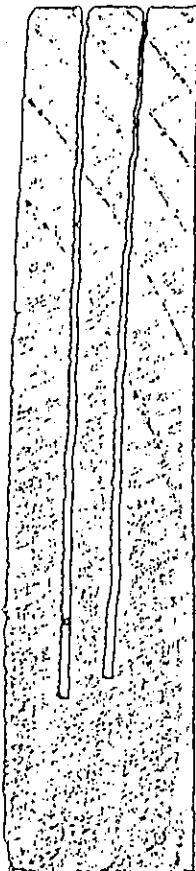
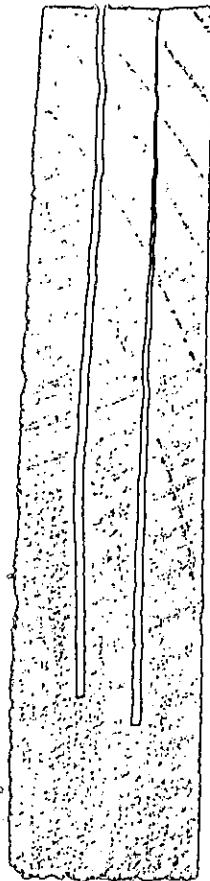
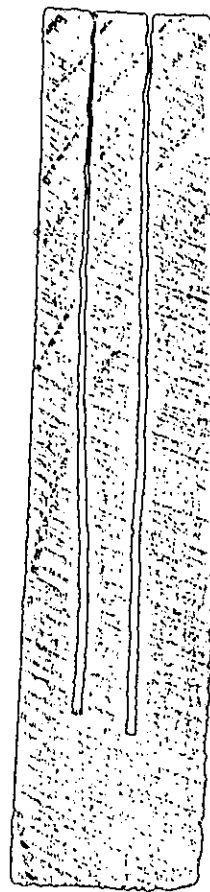
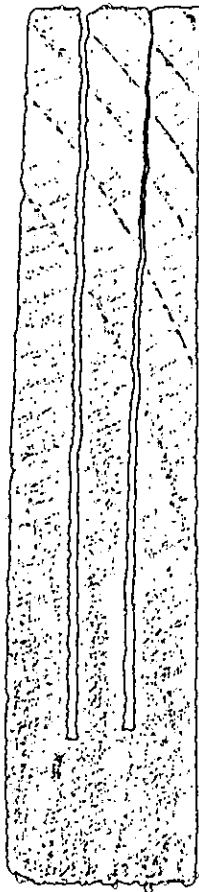




ja

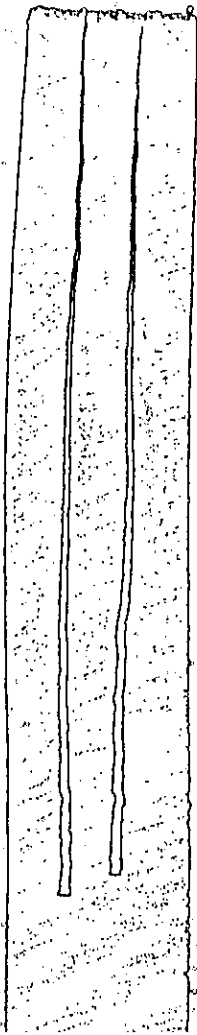
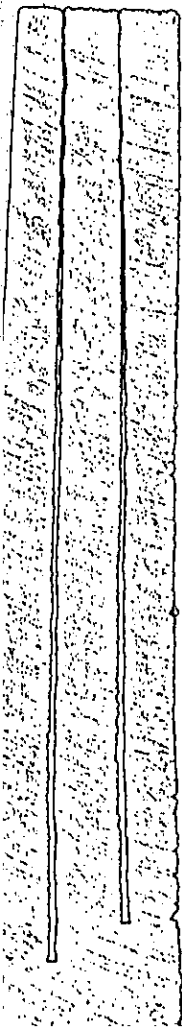
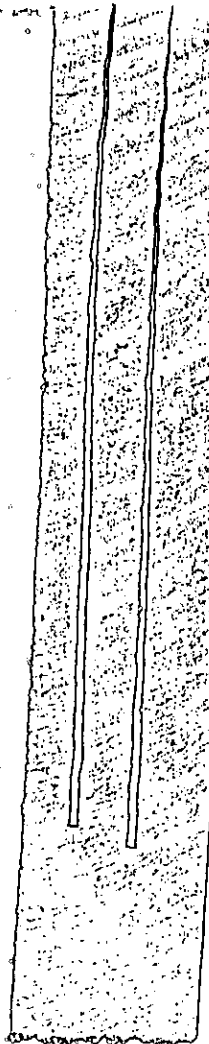
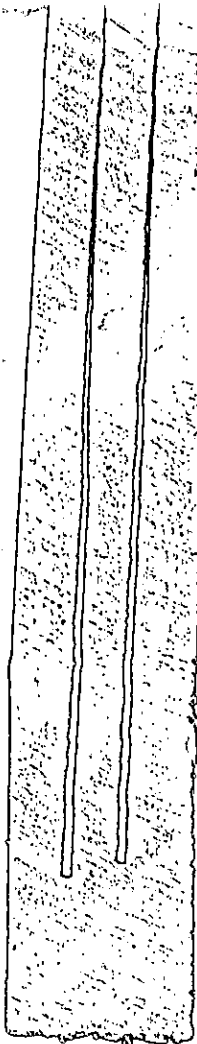
Carga 215
A.F. = 7 hrs

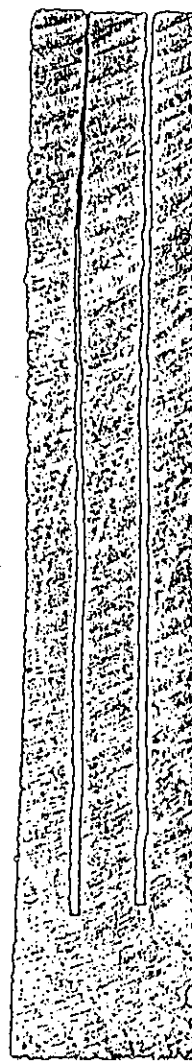
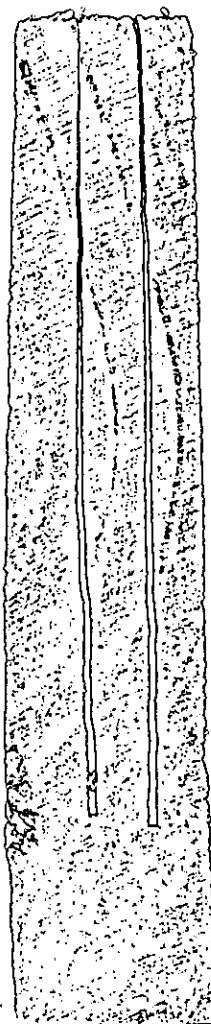
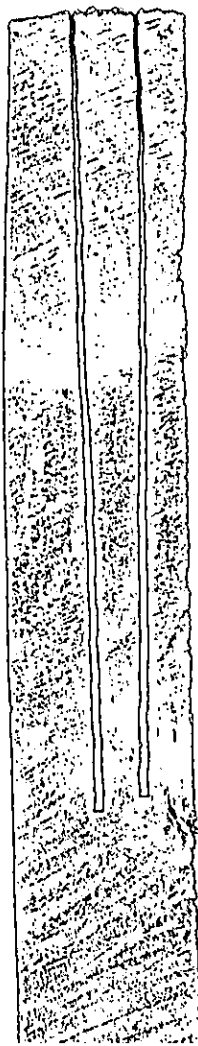
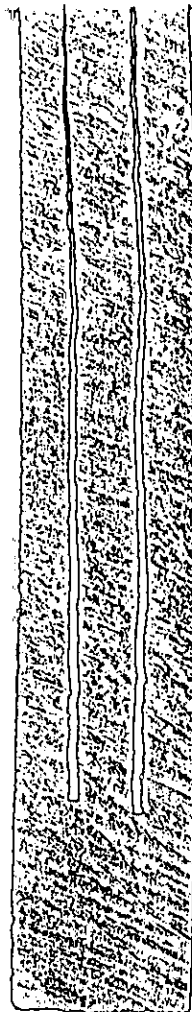
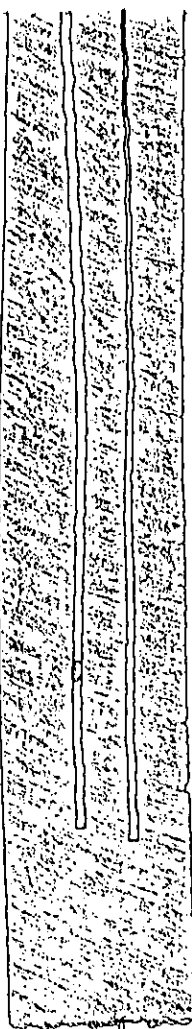
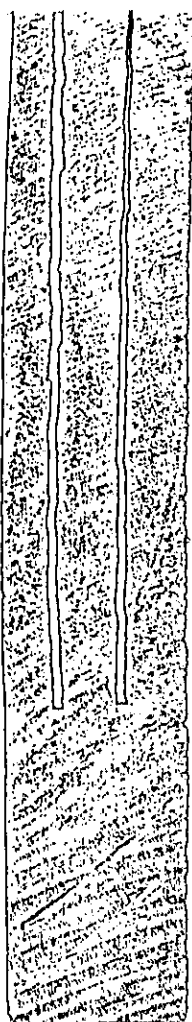


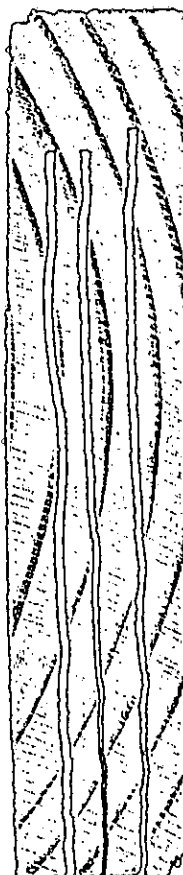
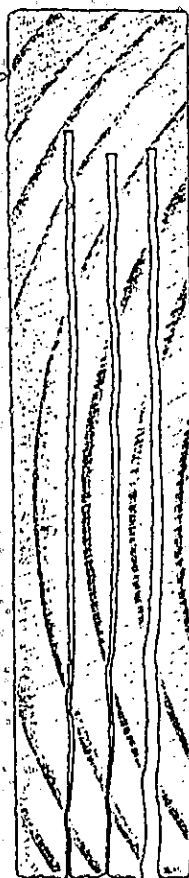


oja
9

Carga 208
A.F. = 4 hrs

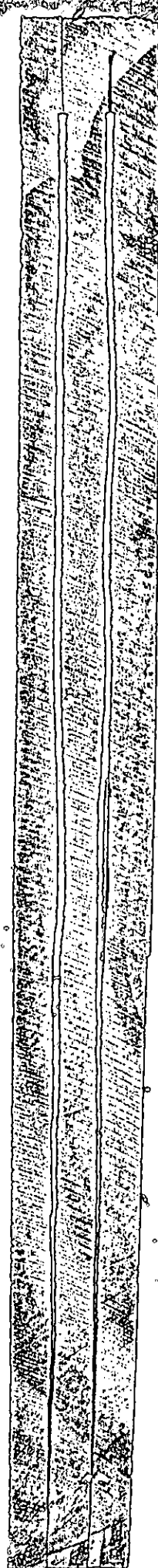
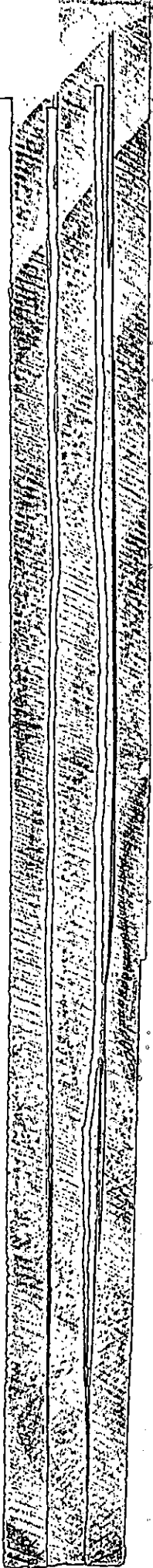


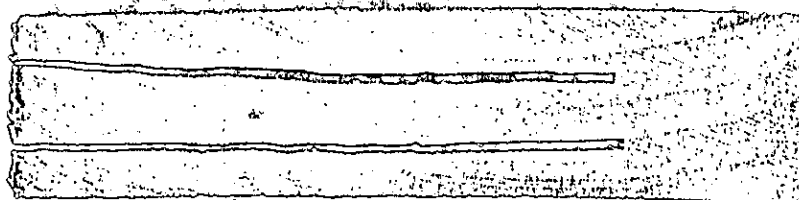
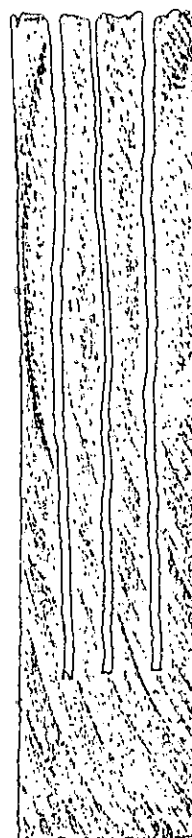
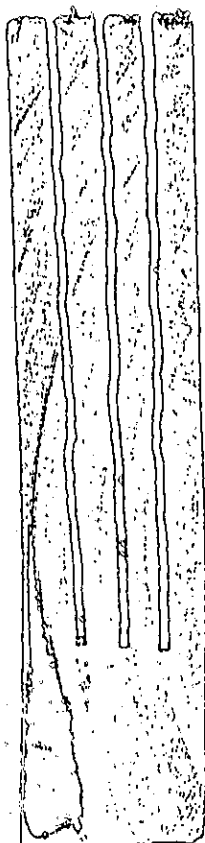


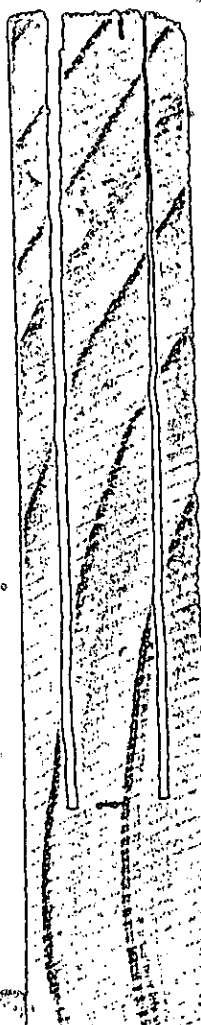
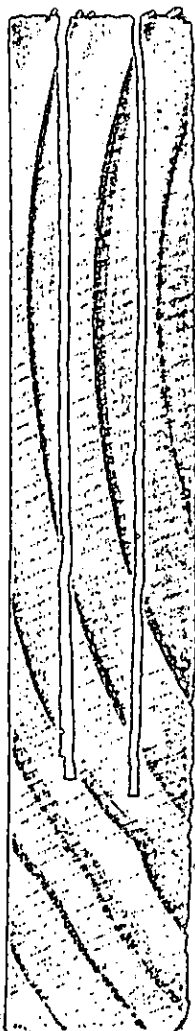
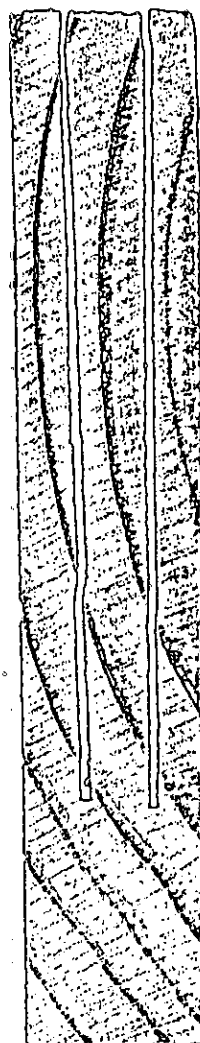
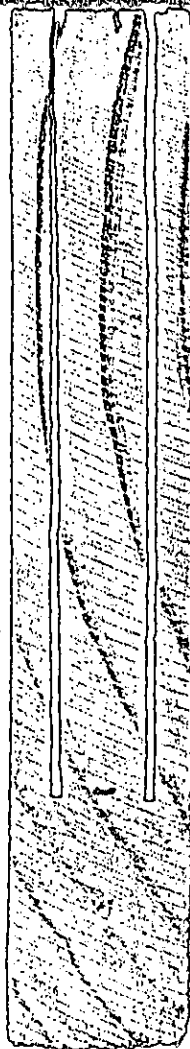


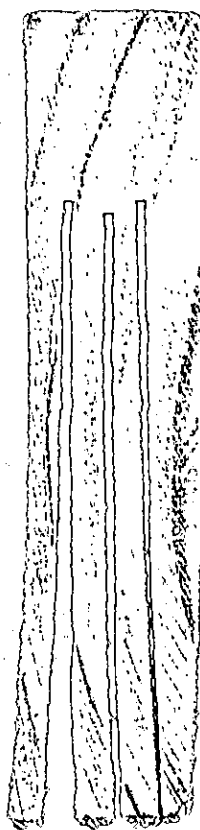
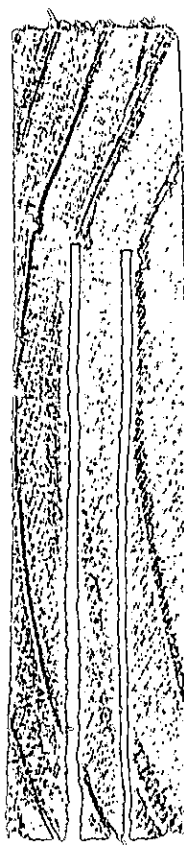
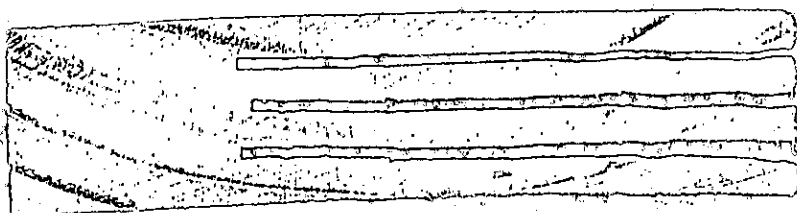
ja
2

Carga 210
A.F. = 6 hrs









Carga 213
A.F. = 6 hrs

Hoja
15

