



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA PLANTA
PILOTO PARA IMPREGNACIÓN DE MADERAS**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS, EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

JAIME MARIO ESPINOSA MARTINEZ

Mayo de 2004

Chapingo, Texcoco, Edo. de México.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



**Diseño, Construcción y Validación de una Planta Piloto para
Impregnación de Maderas.**

Tesis realizada por **Jaime Mario Espinosa Martínez** bajo la dirección del comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS, EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR



M.C. MARIO FUENTES SALINAS

ASESOR



DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

ASESOR



M.C. ROGELIO FLORES VELÁZQUEZ

AGRADECIMIENTOS

Una vez más debo rendir un Homenaje sincero a mi escuela la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO, por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

También al CONACYT agradezco el apoyo económico durante el tiempo que duraron mis estudios de maestría.

Al M.C. Mario Fuentes Salinas por su dirección en la construcción de la planta de impregnación, en la elaboración del presente trabajo y por brindarme siempre su apoyo como profesor y su amistad.

A la Dra. Amparo Borja De La Rosa por sus consejos y comentarios al trabajo final, por su apoyo en el proyecto y por su amistad como profesora.

Al M.C. Rogelio Flores Velázquez por sus comentarios y alientos al trabajo final.

Al Dr. Leonardo Sánchez Rojas por su contribución para el financiamiento en parte de la planta de impregnación.

Al personal de la UACH que brindó su apoyo en la construcción de la planta, especialmente a Enrique Sánchez.

A mis maestros de la Maestría, por su apoyo decidido.

DEDICATORIA

Al maestro de maestros, JESUCRISTO.

A mi esposa y a mi hija pues son la razón de toda mi vida, las amo.

Norma y Normita.

A mi Mamá, que nunca escatima en ayudarme, mi ejemplo total.

Te quiero mucho.

Amarcita.

Al recuerdo de mi Papá Jaime Mario Espinosa Cortés.

A mis hermanos que siempre me han ayudado y quiero tanto.

Mónica, Jorge y Carlos.

A mis compañeros de la maestría: Robert, Erika, Katy, Alix, Alex, mi compadre

Raúl, Luis, Rey, Gil e Ivón. Por ser mis amigos.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació el 4 de diciembre de 1964 en México, D.F, realizó sus estudios de primaria en la escuela primaria federal Carmen Serdán. Los estudios de secundaria los efectuó en la Escuela Secundaria Técnica No. 15, ambas instituciones en el fraccionamiento Villa de las Flores Coacalco, Estado de México. El bachillerato lo cursó en la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, en Texcoco Estado de México. Se graduó como Ingeniero Forestal con Orientación en Industrias de la División de Ciencias Forestales, en la misma Universidad Autónoma Chapingo en el año 1987.

En 1987 trabajó en un aserradero portátil en Tuxpan, Mich., en 1988 fue jefe de producción en una empresa paraestatal de tableros aglomerados. En 1989 fue jefe de patio en una industria maderera, y del año 1990 al año 2001 se desarrolló como productor y distribuidor de preservadores de madera, realizando tratamientos erradicantes y como impregnador de madera con métodos sin presión. En agosto del año 2001, ingresó a la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo donde cursó la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales enfocada a la industria de la preservación y secado de maderas.

RESUMEN

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO PARA IMPREGNACIÓN DE MADERAS

Jaime Mario Espinosa Martínez

Mayo de 2004

(Bajo la dirección del M.C. Mario Fuentes Salinas)

El presente trabajo consistió en diseñar, construir y probar una planta piloto para impregnar maderas con sales hidrosolubles, como apoyo de los cursos de impregnación y conservación de maderas y capacitación profesional en la Universidad Autónoma Chapingo. Para diseñar la planta se visitaron seis plantas de impregnación en México. Las dimensiones de diseño del autoclave son 0.60 m de diámetro, 2.60 m de longitud, el espesor de la placa utilizada es de 7.93 mm (5/16", ASTM A-285), una presión de diseño de 13 Kg/cm² y una capacidad volumétrica de 785 Lt. Para la construcción de la planta se utilizó tubería de 1" sin costura cedula 40, válvulas de paso tipo esfera, válvulas de seguridad y reguladora de presión de 2", manovacuómetro con un rango de -30 Hg - 0 - 14 Kg/cm², Eductor de 1", tanque de mezcla de 250 Lt y tanque de trabajo de 1,100 Lt, bomba de inyección y bomba de transferencia. Para la validación de la planta se impregnó una carga de 9 tablas de 0.019 x 0.20 x 2.44 m con un volumen de 0.0849 m³, se logró una absorción de 288.57 Lt/m³, una penetración del 100 % y una retención de 6.77 Kg/m³ en promedio. El costo del proyecto de la planta de impregnación fue de \$ 52,908.41

Palabras clave: Sales CCA, conservación de maderas, autoclave.

ABSTRACT

DESIGN, CONSTRUCTION AND VALIDATION OF A PILOT PLANT FOR LUMBER IMPREGNATION

Jaime Mario Espinosa Martínez.

May 2004

(Under direction of M.C. Mario Fuentes Salinas)

A pilot plant for lumber impregnation with waterborne preservatives was designed, constructed and tested, as a support of lumber impregnation and conservation courses and professional training courses at Chapingo Autonomous University. To design this plant, six impregnation plants in Mexico were visited. The design dimensions for the plant are: diameter 0.60 m, length 2.60 m, width of plate used 7.93 mm (5/16" ASTM-285), pressure design 13 Kg/cm² and volumetric capacity 785 lit. A 1" thick grade 40 pipeline without a welded seam, ball valves, safety valve, a 2" pressure regulation valve, a compound manometer with a range of -30 Hg — 0 —14 Kg/cm², a 1" eductor tube, a 250 lit mixing tank, a 1100 lit work tank, an injection pump, and a transfer pump were used for the construction of the plant. For pilot plant validation, lumber (9 pieces of ¾" x 8" x 8') was impregnated with a volume of 0.0849 m³. It achieved 288.57 lit/m³ of absorption, 100 % of penetration and 6.77 Kg/m³ of retention on the average.

The cost of the construction of the pilot plant was \$ 4,641.00 US Dls.

Key words: CCA waterborne preservatives, wood conservation, retort.

INDICE

	Página
Aprobación de la tesis de grado.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Datos biográficos.....	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
Índice.....	viii
Índice de figuras.....	xiii
Índice de cuadros.....	xvi
Índice de anexos.....	xvii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
3 ANTECEDENTES.....	4
3.1 Revisión de literatura.....	4
3.1.1 Aspectos históricos de la preservación.....	4
3.1.2 Preservadores de madera.....	8
3.1.2.1 Oleosos.....	8
3.1.2.2 Oleosolubles.....	8
3.1.2.3 Hidrosolubles o inorgánicos.....	9
3.1.2.4 Productos antimancha.....	9
3.1.3 Métodos de impregnación.....	9
3.1.3.1 Métodos de impregnación sin presión.....	9
3.1.3.2 Métodos de impregnación a presión hidrostática....	10
3.1.3.3 Métodos a vacío-presión.....	11
3.1.4 Factores que influyen en la impregnación.....	15

	Página
3.1.5 Control de calidad de la madera impregnada.....	17
3.1.6 Estudios sobre impregnación.....	20
3.1.7 Diseño de equipo.....	26
3.1.8 Diagramas de seis plantas de impregnación que operan en México.....	29
3.1.8.1 Planta de impregnación de la empresa Industrial Torres Marmex, S. A. de C. V.....	29
3.1.8.2 Planta de impregnación de la empresa Osmose Mexicana, S. A. de C. V.....	31
3.1.8.3 Planta de impregnación del Instituto de Ecología A. C.....	34
3.1.8.4 Planta de impregnación de la empresa Impregna- dora la Reforma, S. A. de C. V.....	37
3.1.8.5 Planta de impregnación de la empresa Casas y Muebles de Oaxaca, S. A. de C. V.....	39
3.1.8.6 Diagrama de flujo de la compañía Sequoia, S. A de C. V.....	42
3.2 Análisis y comparación de las plantas visitadas.....	44
4 METODOLOGÍA.....	47
4.1 Diseño de la planta.....	47
4.2 Ubicación de la planta.....	47
4.3 Diseño del autoclave.....	48
4.3.1 Memoria de cálculo.....	48
4.4 Selección de equipo auxiliar.....	51
4.4.1 Bomba de inyección.....	51
4.4.2 Bomba de transferencia.....	51

	Página
4.4.3 Eductor.....	51
4.4.4 Manovacuómetro.....	52
4.4.5 Válvula reguladora de presión.....	52
4.4.6 Válvula de seguridad.....	52
4.4.7 Válvulas de paso.....	52
4.4.8 Válvula de retención de presión.....	52
4.4.9 Válvulas de nivel.....	53
4.4.10 Tubo de nivel.....	53
4.4.11 Tuberías.....	53
4.4.12 Tanque de mezcla.....	53
4.4.13 Tanque de trabajo.....	53
4.4.14 Válvula de retención de vacío.....	54
4.4.15 Conexiones de tuberías.....	54
4.4.16 Hidrómetro.....	54
4.4.17 Cimentación.....	54
4.5 Diagrama de instalación de la planta de impregnación.....	55
4.6 Diagrama de flujo de construcción de la planta.....	57
4.7 Sistemas de la planta.....	59
4.7.1 Sistema de mezcla.....	59
4.7.2 Sistema de vacío.....	61
4.7.3 Sistema de llenado.....	62
4.7.4 Sistema de presión.....	63
4.7.5 Sistema de abatimiento de presión.....	65
4.7.6 Sistema de vaciado.....	66
4.7.7 Sistema de carga y descarga de madera.....	67
4.7.8 Sistema eléctrico.....	68

	Página
4.8 Validación de la planta de impregnación.....	69
4.8.1 Planeación de la impregnación.....	69
4.8.2 Preparación de la solución impregnante.....	69
4.8.3 Madera impregnada.....	70
4.8.3.1 Absorción estimada.....	70
4.8.3.2 Penetración.....	70
4.8.3.3 Retención sugerida.....	70
4.8.4 Impregnación de la madera.....	71
4.8.5 Diagrama de flujo del proceso de impregnación.....	72
4.8.6 Hoja de carga.....	73
4.8.7 Costos de construcción y validación.....	73
4.8.8 Cronograma de construcción.....	73
5 RESULTADOS.....	74
5.1 Construcción de la planta.....	74
5.1.1 Construcción del autoclave.....	76
5.1.2 Construcción de cimientos.....	78
5.1.3 Instalación de bombas.....	79
5.1.4 Montaje del autoclave e instalación del sistema eléctrico..	80
5.1.5 Montaje de los tanques de mezcla y de trabajo.....	81
5.1.6 Manufactura y ensamblado de tuberías.....	81
5.1.7 Montaje del eductor en línea de vacío.....	82
5.1.8 Instalación de líneas de aire comprimido y agua.....	83
5.1.9 Rieles y góndola para carga y descarga de madera.....	84
5.1.10 Instalación de válvula reguladora de presión, válvula de seguridad y manovacúmetro.....	84

	Página
5.1.11 Planta terminada.....	86
5.2 Pruebas de funcionamiento de la planta.....	91
5.2.1 Planeación de la impregnación.....	91
5.2.1.1 Madera a impregnar.....	91
5.2.1.2 Solución impregnante y requerimientos de impregnación.....	91
5.2.2 Guía de operación de la planta de impregnación.....	92
5.2.3 Evaluación de la calidad del proceso de impregnación resultante.....	99
5.2.3.1 Análisis de la absorción y retención por diferencia de peso.....	99
5.2.3.2 Análisis de la absorción y retención con la hoja de carga.....	100
5.2.3.3 Verificación de la concentración de la solución impregnante.....	101
5.2.3.4 Análisis de penetración.....	102
5.3 Costos.....	104
6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	106
6.1 Diseño de la planta.....	106
6.2 Construcción de la planta.....	106
6.3 Pruebas de funcionamiento.....	107
6.4 Validación de la planta.....	108
7 CONCLUSIONES.....	111
8 RECOMENDACIONES.....	113
9 LITERATURA CITADA.....	115
10 ANEXOS.....	119

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Diagrama de impregnación del proceso de impregnación de célula Llena o Bethell.....	12
2	Diagrama del proceso de impregnación Rüeping.....	13
3	Diagrama del proceso de impregnación Lowry.....	14
4	Diagrama de la planta de impregnación de la compañía Industrial Torres Marmex, S. A. de C. V.....	30
5	Autoclave de la empresa Industrial Torres Marmex, S. A de C. V.....	31
6	Diagrama de la planta de impregnación de la compañía Osmose Mexicana, S. A. de C. V.....	33
7	Autoclave de la empresa Osmose Mexicana , S. A. de C. V.	34
8	Diagrama de la planta de impregnación del Instituto de Ecología A. C.....	35
9	Autoclave del instituto de Ecología A. C.	36
10	Diagrama de la planta de impregnación de la compañía Impregnadora la Reforma, S. A. de C. V.....	38
11	Autoclave de la compañía Impregnadora la Reforma, S. A. de C. V.....	39
12	Diagrama de la planta de impregnación de la compañía Casas y Muebles de Oaxaca, S. A. de C. V.....	40
13	Autoclave de la empresa Casas y Muebles de Oaxaca, S. A. de C. V.....	41
14	Diagrama de flujo de la compañía Sequoia, S. A. de C. V.....	42
15	Autoclaves de la empresa Sequoia, S. A. de C. V.....	43
16	Vista lateral autoclave.....	50

Figura	Descripción	Página
17	Diagrama de la planta de impregnación.....	55
18	Diagrama de flujo de construcción de la planta de impregnación.....	58
19	Sistema de mezcla.....	59
20	Sistema de vacío.....	61
21	Sistema de llenado.....	62
22	Sistema de presión.....	64
23	Sistema de abatimiento de presión.....	65
24	Sistema de vaciado.....	66
25	Sistema de carga y descarga.....	67
26	Sistema eléctrico.....	68
27	Diagrama de flujo del proceso de impregnación.....	72
28	Ubicación de la planta en el laboratorio.....	74
29	Distribución en planta.....	75
30	Tapa del autoclave en construcción.....	76
31	Tapa del autoclave terminada.....	77
32	Conexiones y costuras en el autoclave.....	77
33	Estructura de cimientos.....	78
34	Bomba de inyección.....	79
35	Bomba de transferencia.....	79
36	Autoclave montada en cimientos, bastidor sujetado en anclas de cimientos y conexión de sistema eléctrico.....	80
37	Tanques de mezcla y trabajo montados en cimientos.....	81
38	Eductor ensamblándose en línea de vacío.....	82
39	Compresor de aire.....	83
40	Líneas de agua y aire a presión.....	83

Figura	Descripción	Página
41	Riel interior del autoclave.....	84
42	Válvula reguladora de presión.....	85
43	Válvula de seguridad y manovacuómetro.....	85
44	Sistema de mezcla.....	86
45	Eductor instalado.....	87
46	Sistema de presión.....	88
47	Sistema de carga y descarga y vista total del autoclave.....	89
48	Registro de peso inicial de la carga.....	92
49	Mezclado de sales CCA.....	93
50	Introducción de la carga al autoclave.....	94
51	Desfogue de presión de válvula reguladora.....	95
52	Salida de madera impregnada.....	96
53	Diagrama del proceso de impregnación aplicado (Bethell).....	97
54	Medición de la concentración de solución impregnante.....	101
55	Corte de muestras de madera impregnada para analizar penetración.....	102
56	Aplicación de cromo azurol en muestras de madera impregnada.....	103

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Desarrollo cronológico de la industria de la preservación.....	5
2	Principales métodos de impregnación sin presión utilizados...	10
3	Cronograma de tiempos de construcción de la planta.....	73
4	Materiales utilizados en la elaboración de los cimientos	78
5	Material utilizado en el sistema eléctrico.....	80
6	Material y equipo del sistema de mezcla.....	86
7	Material y equipo del sistema de vacío.....	87
8	Material y equipo de los sistemas de llenado e inyección.....	88
9	Materiales de los sistemas de abatimiento de presión y vaciado.....	89
10	Materiales utilizados para el sistema de carga y descarga.....	90
11	Materiales utilizados para el acabado de la planta.....	90
12	Hoja de carga.....	98
13	Costos del proyecto, fabricación y validación de la planta de impregnación.....	104
14	Origen de los recursos.....	105

INDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Tablas hidrométricas OSMOSE C-55.....	120
Anexo 2. Cálculo del autoclave según diseño.....	121
Anexo 3. Certificado del personal de Equipos Inoxidables Fontanot, S. A. de C. V.....	126
Anexo 4. Destino de los recursos.....	127
Anexo 5. Directorio de proveedores.....	128

1. INTRODUCCIÓN

La madera ha jugado siempre un importante papel en el desarrollo humano desde que el hombre primitivo la empleó para hacer fuego y probablemente para instrumentos y armas. En la actualidad la madera es ampliamente utilizada en la construcción, fabricación de muebles, pisos, postes de transmisión eléctrica y telefonía y durmientes para ferrocarril, entre otros usos (Morey, 1977).

Sin embargo, como la madera es de origen orgánico, es susceptible de ser biodegradada y los principales causantes de su deterioro son organismos como ciertos hongos e insectos, provocando una disminución de la vida útil a la madera. Para prevenir dicho deterioro, el hombre ha generado ciertos productos y técnicas para protegerla y aumentar considerablemente su vida en servicio, reduciendo en gran escala la deforestación y el gasto económico de la sociedad (Robles y Echenique, 1983).

La manera más eficiente actualmente conocida de proteger la madera es sometiéndola a procesos de impregnación a vacío-presión y el equipo que se utiliza para llevar a cabo estos procesos es conocido como planta de impregnación, que es un sistema constituido por bombas de presión y vacío, tuberías, manovacuómetro, válvulas de paso, válvulas de seguridad y reguladoras de presión, tanques de almacenamiento y mezcla de la solución

preservadora y un cilindro llamado autoclave o retorta, donde se introduce la madera para ser impregnada.

En México existen 11 plantas de impregnación para postes y durmientes de ferrocarril (SEMARNAT, 2000). Además existen otras plantas de impregnación de menor capacidad que no están registradas en la SEMARNAT y que se ocupan en menor escala en cuanto a cantidad de madera se refiere, a la impregnación de vigas y madera aserrada para construcción, para madera de uso en torres de enfriamiento y estacas de madera como tutores en la agricultura; en estas plantas las técnicas de impregnación generalmente son desconocidas a ciencia cierta, ya que algunas plantas no tienen la instrumentación o el equipo adecuado para su buen funcionamiento y el personal operativo no cuenta con capacitación técnica.

Por lo tanto, debido a la necesidad de información técnica en México sobre las condiciones de impregnación de las maderas nacionales, los procesos de impregnación y el requerimiento de realizar capacitación, respecto a la industria mexicana de la preservación, es la razón por la que se realizó el presente trabajo donde se consideró el diseño, construcción y validación de una planta piloto para la preservación de la madera a vacío presión, haciendo también un aporte a la infraestructura de enseñanza e investigación en el área de los productos forestales en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar, construir y validar una planta piloto de impregnación de maderas a vacío-presión con sales hidrosolubles para propósitos de investigación y docencia.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Establecer el procedimiento y equipos en la construcción de una planta de impregnación.
- Elaborar una guía de operación para una planta de impregnación de maderas a vacío-presión.
- Contribuir al equipamiento e infraestructura para propósitos de capacitación de recursos humanos calificados para la industria de la preservación de maderas en México.

3. ANTECEDENTES

3.1 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1.1 Aspectos históricos de la preservación

Desde tiempos muy remotos el hombre ha tratado, con los medios a su alcance de evitar que la madera sufra el fenómeno de la pudrición, utilizando en principio conocimientos empíricos y rudimentarios que se tenían acerca de la preservación de la madera. Los chinos sumergían la madera antes de usarla en agua salada para su conservación, mientras que los egipcios aplicaban aceites naturales en la conservación de sarcófagos y los griegos trataron de mejorar la penetración de los aceites haciendo huecos (incisiones) en la madera. Durante la conquista de América los españoles aprendieron de los indígenas a usar el caucho y resina para proteger sus maderas. Es notable destacar que las embarcaciones de la milicia Holandesa e Inglesa del siglo XVI fueron destruidas, no por sus enemigos, sino por los perforadores marinos que deterioraron los cascos de las naves, lo que influyó en la búsqueda de mejores y efectivos preservadores de madera (JUNAC, 1988).

Con la llegada del ferrocarril en el siglo XIX se tuvo que decidir cual sería el material que se usaría para soportar las vías férreas, en un comienzo se usaron bloques de piedra, sin conseguir buenos resultados, por lo que se sustituyeron por madera, pero ésta se deterioro rápidamente y para evitar el deterioro se utilizó cloruro de mercurio, sulfato de cobre, cloruro de zinc, sulfato ferroso y la creosota (Richardson, 1978).

En 1831, el francés Jean Robert Breant ideó un sistema para la aplicación de preservadores a la madera bajo presión en un cilindro cerrado aplicando vacío y posteriormente la inyección del preservador a presión, dicho invento marcó un parteaguas en la industria de la preservación (JUNAC, 1988). En el Cuadro 1 se presenta el desarrollo cronológico de los principales productos preservadores y métodos de impregnación.

Cuadro 1. Desarrollo cronológico de la industria de la preservación (Barnes y Murphy, 1995).

Año	ACONTECIMIENTO
1681	Utilización de la creosota como preservador
1838	John Bethell inventa el proceso de impregnación de célula llena
1902	Max Rüeping pone en práctica su método de impregnación de célula vacía.
1903	Henrich Wollman fabrica las sales hidrosolubles a nivel industrial
1906	Guthbert Lowry patenta un segundo método de impregnación de célula vacía.
1928	Comienzo del preservador ácido cromado de cobre
1931	Uso del pentaclorofenol como preservador de madera
1933	Aparecen las sales CCA para preservar la madera
1939	Utilización del arsenato de cobre amoniacal como preservador de madera
1950s	Se impregna madera con boro por difusión e inmersión
1960s	Comienzo del uso de solventes ligeros derivados de petróleo como vehículo de preservadores oleosolubles para impregnar madera
1980s	Aplicación de compuestos de Alkilamónio como preservador de madera
1990s	Aplicación de nuevos preservadores de madera a presión sin contener en su formulación arsénico

En lo que corresponde a los inicios de los años 2000 (Freeman y Shupe, 2003) comentan la inquietud por cambiar los preservadores hidrosolubles a base de arsénico al grado de que en Diciembre del año 2003 se canceló voluntariamente el uso de madera impregnada con sales CCA en Los EE.UU. y Canadá, así como la búsqueda de nuevos biocidas sin arsénico para ser utilizados como preservadores de madera tal es el caso de la investigación de los biopreservantes de maderas basados en taninos y otros extractivos de la corteza de pino.

La preservación de la madera en México no ha sido ajena a esa historia, pues como en otros países, fueron los ferrocarriles los de mayor consumo de madera y por ende los que iniciaron la industria de la preservación. En los inicios del siglo XIX se estableció la primera planta de impregnación en Aguascalientes con 3 retortas de 1.524 m de diámetro y 35.36 m de longitud cada una, impregnando con creosota y petróleos crudos; otra planta fue instalada en 1918 en Perote, Ver., con una retorta de 1.83 m de diámetro y 18.29 m de longitud. En el mismo tiempo se instala otra planta en la Junta, Chih., con 2 retortas de 1.83 m de diámetro y 34.75 m de largo para impregnación de durmientes con cloruro de zinc. En 1927 se inauguró otra planta más en Durango, Dgo., con una retorta de 2.44 m de diámetro y 35.36 m de longitud impregnando 100,000 durmientes mensuales con "impregmol" que era una mezcla de creosota y aceites derivados de petróleo. En 1928 se establece otra planta en Acámbaro, Gto., con una capacidad de impregnación

de 150,000 durmientes mensuales. En 1931 la planta de la Junta, Chih., se cambia a Madera, Chih. (Caballero, 1942).

Para el año de 1952, se encontraban operando 4 plantas de impregnación, ubicadas, una en Durango, Dgo., otra en Perote, Ver., otra más en Juchitan, Oax., y una última en Madera, Chih. (Pizano, 1952)

Por otro lado en 1978 el país contaba con 19,819 Km de tendido de vía y para satisfacer la demanda de durmientes por año se requerían para mantenimiento y nuevas vías 3.7 millones de durmientes, en ese año se tenían 13 plantas de impregnación (Enríquez, 1978).

En el año 2003, Ferrocarriles Nacionales de México reporta que se tenía un tendido de vías férreas de 26,655.8 Km y para mantenimiento y nuevas vías se necesitaban por año 4.75 millones de durmientes (SCT, 2003). Para el año 2000 se tenían registradas en el país 11 plantas de impregnación (SEMARNAT, 2000).

Actualmente, además de las 11 plantas reportadas, existen aproximadamente 15 plantas de impregnación no registradas en SEMARNAT, debido a que no impregnan durmientes y postes, sino otros productos como estacas o tutores para la producción de tomate en Culiacán, Sin., para la producción de la vid en Hermosillo y Cavorca, Son., vigas y madera aserrada para usos en la construcción en Xalapa, Ver., y México, D.F., y componentes de

torres de enfriamiento en el Estado de México. Los datos anteriores fueron observaciones directas en base a las visitas realizadas a las plantas de impregnación que operan en México.

3.1.2 Preservadores de madera

3.1.2.1 Oleosos

Dentro de este grupo se encuentra la creosota, uno de los más antiguos y efectivos preservadores de la madera, se obtiene mediante un proceso de destilación del carbón de hulla. John Bethell fue quien en 1838 la patentó, realmente es una mezcla compleja de varias sustancias de hidrocarburos.

Se le considera como un preservador por excelencia para la impregnación de postes y durmientes principalmente y es muy eficaz contra hongos, insectos y taladradores marinos, es insoluble en agua y por lo tanto resiste la lixiviación (Tuset y Duran, 1979).

3.1.2.2 Oleosolubles

En este grupo se encuentran sustancias que se han desarrollado, teniendo como característica común la de ser solubles en solventes oleosos ligeros derivados del petróleo. Ejemplos de este grupo son el pentaclorofenol, naftenato de cobre, quinolinolato 8 de cobre, óxido de tributil estaño, los organoclorados, los organofosforados y los piretroides (JUNAC, 1988)

3.1.2.3 Hidrosolubles o inorgánicos

A este grupo pertenecen los preservadores constituidos por sales metálicas simples y dobles o múltiples solubles en agua. En su composición intervienen compuestos con poder fungicida e insecticida, además de un fijador que impide la lixiviación de los compuestos de la madera impregnada. Permiten un buen acabado en la madera. La desventaja es que hinchon a la madera recién impregnada y obliga a secar nuevamente a las piezas. Ejemplos de este grupo son: El sulfato de cobre, las sales múltiples como las sales cupro-cromo-arsenicales (CCA), arsénico-cobre-amoniacaes (ACA), cupro-cromo-bóricas (CCB) y los compuestos de boro (Tuset y Duran 1979; Vaca, 1998).

3.1.2.4 Productos antimancha

El producto antimancha mas utilizado a nivel mundial es el pentaclorofenato de sodio, sin embargo éste ha sido prohibido en muchos países y desplazado por el metilen bistiocianato benzotiazol (Tuset y Duran, 1979).

3.1.3 Métodos de impregnación

3.1.3.1 Métodos de impregnación sin presión

Los diversos métodos sin presión que existen en la actualidad difieren considerablemente en cuanto a la penetración y retención del preservador y, por lo tanto, en el grado de protección que ofrece contra el ataque de organismos destructores. Aunque con algunos de estos métodos se logran

penetraciones y retenciones de magnitud igual a las obtenidas con métodos a presión. La gran ventaja de los métodos sin presión es que las inversiones requeridas son mínimas debido al bajo costo del equipo empleado. Los principales se citan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Principales métodos de impregnación sin presión utilizados (Kraemer, 1958).

a	Brocha y aspersión
b	Inmersión (momentánea o prolongada)
c	Baño caliente-frío
d	Difusión (sencilla, doble y pastas)
e	Desplazamiento de savia
F	Ascensión simple
g	Ascensión doble

3.1.3.2 Método de impregnación a presión hidrostática

El método Boucherie, patentado en Francia en 1938 por M. A. Boucherie, es exclusivo para impregnar la albura de árboles recién talados y consiste en reemplazar la savia de la madera por una solución preservadora que normalmente es sulfato de cobre, mediante un equipo donde el tanque de almacenamiento esta ubicado a 10 m de altura (JUNAC, 1988).

3.1.3.3 Métodos a vacío-presión

Estos métodos Rogel (1979) los clasifica en:

a) Proceso de célula llena o Bethell. Este método es el más conocido y empleado por la industria de la preservación en México y en todo el mundo, con este método se obtiene una retención máxima de preservador, siendo éste el proceso estándar de impregnación con creosota y sales hidrosolubles. Las etapas del proceso se indican a continuación y se ilustran en la Figura 1.

- 1).- Introducción de la madera en el cilindro de impregnación.
- 2).- Aplicación de un periodo de vacío (del orden de 23 cm de mercurio), para eliminar el aire de la madera y del cilindro.
- 3).- Inundación del cilindro con la solución preservadora bajo vacío, hasta llenar completamente el cilindro.
- 4).- Aplicación de un periodo de presión (del orden de 7 a 9 Kg/cm²), cuya duración depende de la especie de madera a impregnar, de las dimensiones y escuadrías de las piezas y del tipo de preservador hasta obtener la retención deseada.
- 5).- Retorno a la presión normal (atmosférica).
- 6).- Aplicación de un periodo de vacío final para recuperar el exceso de preservador.
- 7).- Regreso a presión normal.
- 8).- Descarga del cilindro.

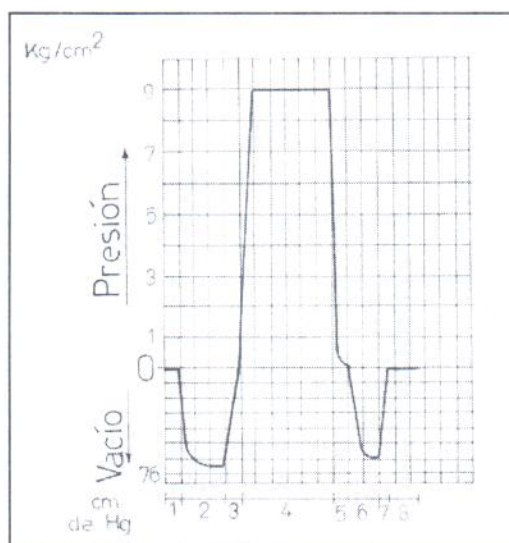


Figura 1. Diagrama del proceso de impregnación de célula llena o Bethell (Rogel, 1979).

b) Proceso de célula vacía Rüeping. En este proceso el aire es comprimido dentro del cilindro y las paredes celulares de las fibras de la madera, posteriormente el preservador es introducido al cilindro manteniendo una presión de aire constante de 4 a 6 Kg/cm² o por medio de un tanque montado sobre el cilindro de impregnación, llamado tanque Rüeping, de donde el preservador bajara por gravedad reemplazando al aire. En ambos casos cuando el cilindro es llenado con el preservador, la presión adicional aplicada introduce la solución preservadora dentro de las paredes celulares contra el aire atrapado, al relajar la presión el aire comprimido en las células se expande, obligando a salir fuera de la madera algo de solución preservadora, el cual se recupera posteriormente junto con el exceso introducido al aplicar el vacío final y lograr así la retención especificada. Las etapas del proceso se indican a continuación y se ilustran en la Figura 2.

- 1).- Carga del cilindro.
- 2).- presión de aire (más o menos de 4 Kg/cm²).
- 3).- Llenado del cilindro (por gravedad baja la solución preservadora, es decir el tanque Rüeping debe estar a la misma presión que el autoclave).
- 4).- Presión de trabajo.
- 5).- Regreso a presión normal y vaciado del cilindro.
- 6).- Vacío de recuperación.
- 7).- retorno a presión normal.
- 8).- Descarga del cilindro.

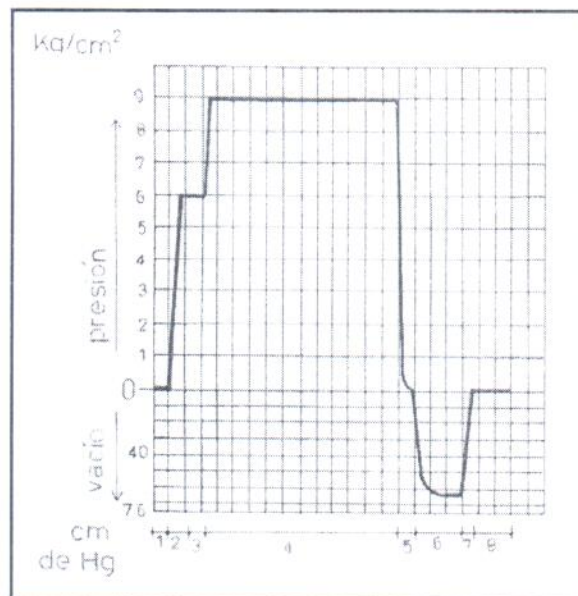


Figura 2. Diagrama del proceso de impregnación Rüeping (Rogel, 1979).

c) **Proceso de célula vacía Lowry.** Este proceso es similar al proceso Rüeping, con la excepción que aquí no se aplica presión de aire inicial y la introducción de la solución preservadora se hace por simple gravedad. Las etapas de este proceso se indican a continuación y se ilustran en la Figura 3.

- 1).- introducción de la madera dentro del cilindro de impregnación.
- 2).- Inundación total del cilindro de impregnación por simple gravedad (el tanque de almacenamiento de la solución preservadora está por encima del cilindro de impregnación). Y aplicación de la presión de trabajo.
- 3).- Regreso a presión normal y vaciado del cilindro.
- 4).- Vacío de recuperación o vacío final.
- 5).- Retorno a presión normal.
- 6).- Descarga del cilindro.

La acción combinada del vacío final y la presión del aire en los lúmenes rechaza una parte del preservador absorbido.

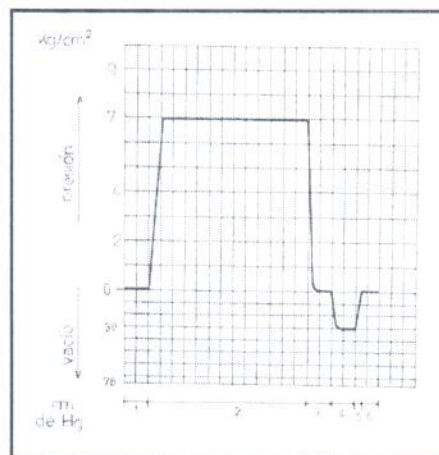


Figura 3. Diagrama del proceso de impregnación Lowry (Rogel, 1979).

3.1.4 Factores que influyen en la impregnación

El éxito de la impregnación (penetración y retención) en las maderas depende en gran medida de los factores internos de la especie que se impregnará, como son: la variación en su estructura anatómica, su anisotropía, formación de duramen diferenciado, ancho de los anillos de crecimiento anual, presencia de extractivos en los elementos de conducción y los lúmenes de las células, contenido de humedad y alteraciones producidas por patógenos. Además también existen factores externos a la madera que inciden en la impregnación como son: el proceso de impregnación al que se someterá la madera, el preservador a utilizar en la impregnación, la preparación mecánica de la madera antes de la impregnación y finalmente algunas prácticas mecánicas posteriores a la impregnación que refuercen la acción del preservador en zonas de mayor riesgo a la pudrición.

La albura y el duramen presentan comportamientos diferentes en relación a la penetración de los líquidos. En las especies que presentan un duramen diferenciado, generalmente existe una variación en la permeabilidad entre la albura y el duramen. La disminución de permeabilidad del duramen es causada por la presencia en los lúmenes celulares de extractivos, la obstrucción de punteaduras y el desarrollo de tilosis en los vasos, principalmente. En cambio en especies donde no se presenta la diferencia entre el duramen y la albura se observa un comportamiento con respecto al movimiento de los líquidos similar (Juacida, 1980).

Existen marcadas diferencias en la penetración de los líquidos considerando los tres planos típicos de corte de la madera, en dirección longitudinal la penetración se realiza con facilidad mientras que en dirección transversal (tangencial y radial) la dificultad aumenta considerablemente. (Tuset y Duran, 1979). Los elementos responsables de la conducción de los líquidos en sentido longitudinal son los vasos en las latifoliadas y las traqueidas en las coníferas. La conducción en sentido radial se efectúa a través de los rayos, mientras que la conducción de los líquidos entre células se lleva a cabo a través de las punteaduras (simples y aeroladas) tomando un papel importantísimo en los procesos de impregnación ya que permiten o impiden el paso de los líquidos a través del tejido leñoso (Kollman y Côté, 1968). Las punteaduras simples transmiten los líquidos por difusión a través de la lámina media y en las punteaduras aeroladas los líquidos se mueven a través de los espacios existentes en la red fibrilar o membrana del margo (Juacida, 1980). Mientras la membrana se encuentra en estado normal la conducción es adecuada y cuando esta membrana es aspirada en el proceso de secado cuando se extrae el agua libre, esta obstruye el paso de la solución preservadora impidiéndose así la penetración (Siau, 1984).

En especies de coníferas pueden observarse al microscopio numerosas punteaduras en las paredes radiales de las traqueidas lo que permite un flujo adecuado de líquidos en sentido tangencial, pero no en el radial ya que el número de puntuaciones en las paredes tangenciales de las traqueidas es

escaso. En estas maderas los canales resiníferos también contribuyen en la penetración de los líquidos siempre y cuando posean un tamaño adecuado, no presenten obstrucción por extraíbles y su número sea suficiente para favorecer una distribución homogénea del preservador. En las maderas latifoliadas la penetración de los líquidos se hace fundamentalmente a través de los vasos, distribuyéndose posteriormente al resto de los tejidos por las puntuaciones. Se deduce entonces que el tipo de porosidad de una madera latifoliada tiene influencia en la penetración y distribución del preservador. En las maderas de porosidad circular se obtiene buena penetración y distribución del preservador en madera temprana en función del tamaño y número de sus poros, mientras que en la madera tardía pueden presentarse problemas de penetración debido al reducido tamaño de sus poros y a su escaso número. En las maderas de porosidad difusa caracterizadas por tener poros numerosos y una distribución homogénea en todo el anillo de crecimiento se puede lograr una buena penetración y distribución del preservador (Tuset y Duran, 1979).

3.1.5 Control de la calidad de la madera impregnada

El eficaz control de calidad determinará el éxito en la impregnación y garantizará una larga vida útil de la madera preservada. La calidad es el grado de ciertos requisitos que debe cumplir la impregnación a un costo razonable. El control de calidad comprende todas las actividades que se puedan realizar para obtener un producto económico y útil para satisfacer los requerimientos del consumidor (Vaca, 1998).

Para el cumplimiento de los requisitos de calidad, se debe contar con personal que pueda desarrollar pruebas de calidad y demás detalles necesarios como son: el control de calidad de la materia prima; el control de calidad del proceso y el certificado de calidad (JUNAC, 1988).

Para poder aplicar la impregnación, se debe hacer una inspección del material como es la especie, dimensiones, presencia de nudos, rajaduras, ataque de hongos e insectos, de acuerdo a normas de preservación, se observará también el corte, el diámetro, perforaciones, cortes y marcas. El contenido de humedad debe ser el más apropiado para poder alcanzar el porcentaje adecuado de protección (Vaca, 1998).

Respecto al control del proceso de impregnación se verificarán ciertos aspectos relativos al poder activo del preservador, las características de la impregnación y los resultados obtenidos. Para tener un control de calidad de las sales utilizadas se determinará la densidad, concentración, composición química observando la solución en cada carga; con una inspección de acuerdo a las normas que rijan en la localidad (JUNAC, 1988).

La impregnación debe contar con un registro de control de cada proceso con cuadros gráficos e informes de planta y debe detallarse: el número y fecha de operación; el volumen de madera y especie forestal procesada; el volumen o

cantidad de producto consumido por la madera y retención del preservador y las condiciones de la impregnación (Vaca, 1998).

Para un buen resultado de la impregnación, es necesario realizar una inspección del proceso, la penetración y retención del preservador en la madera. La penetración es la profundidad de la capa teórica con que se protege a la madera. La industria de la preservación de maderas establece requisitos mínimos y especificaciones que deben cumplir. La sustancia o producto utilizado puede determinarse con reactivos de contacto con la madera tratada, revelando la presencia o grado de penetración de los distintos preservadores y examinar inmediatamente la penetración y distribución (Vaca, 1998).

Lo más recomendable es trabajar con el barreno, el cual permite la obtención de gusanillos que conformarían la muestra para el análisis de penetración. La toma de muestra se realiza en el plano longitudinal y en dirección transversal no existen dificultades para la observación en aquellos preservadores que cambian el color de la madera tratada, sin embargo, para los que dejan la madera del mismo color, se requiere la utilización de los métodos colorimétricos o indicadores de color apropiados para cada caso.

Para determinar la retención real del preservador se pueden aplicar métodos cuantitativos como es el método por peso, el procedimiento consiste en pesar piezas de madera antes y después de la impregnación

determinándose por diferencia, la cantidad del preservador absorbido por las mismas piezas de madera. Dividiendo el valor de la absorción total por el número de piezas se obtiene el promedio de absorción. Existen otros análisis cuantitativos para la determinación de la retención, como el método de las cenizas, que generalmente es aplicado cuando se utiliza sales hidrosolubles. También se pueden utilizar los métodos químicos, espectroscópicos y rayos x (JUNAC, 1988).

Por otro lado, las empresas que realizan impregnaciones de madera deben tener la capacidad de certificar la calidad del producto, con registros, gráficos, análisis de laboratorio de acuerdo a normas y especificaciones técnicas establecidas (Vaca, 1998).

3.1.6 Estudios sobre impregnación

Darrel (1972), comenta que hay varias propiedades de las soluciones preservadoras que influyen directamente en la penetración durante el proceso de impregnación, así como las sustancias inherentes de la misma madera, como son: los extractivos de la madera, los compuestos químicos de la solución preservadora y las reacciones químicas que se presentan entre los componentes de la solución preservadora y los compuestos de la madera, determinando que el efecto de los extractivos es mayor en los preservadores con soluciones alcalinas que en soluciones ácidas y también que los

preservadores oleosolubles penetran mejor en la madera que los preservadores hidrosolubles.

Preston y McKaig (1983), encontraron que la fijación acelerada de las sales CCA por medio de la elevación de la temperatura, no tiene un efecto significativo sobre la pudrición de la madera y por lo tanto recomiendan que la fijación de las sales CCA sea a temperatura ambiente.

Feist y Williams (1991), compararon la eficacia del arsenato de cobre cromado (CCA) y el trióxido de cromo contra el intemperismo. Concluyeron que la presencia de cromo en suficiente concentración en la superficie de la madera reduce considerablemente la erosión causada por los rayos UV y que para madera tratada con sales CCA, a presión, con una buena penetración y sin acabado (pintura o barniz) tuvieron una buena protección contra la erosión debido a que el cromo estaba repartido a través de la madera. El tratamiento de trióxido de cromo con brocha (superficial) dio buenos resultados, pero no como los obtenidos con el tratamiento a presión debido a que el cromo no tuvo buena penetración. Aplicando un barniz a la superficie de la madera tratada a presión con sales CCA, aumenta grandemente la durabilidad de la madera contra el intemperismo. Por lo tanto entre mayor porcentaje de cromo haya en la superficie y en el interior de la madera y la durabilidad del barniz sea mayor aumentará consecuentemente la durabilidad de la madera contra el intemperismo.

Forsyth y Morrell (1992), evaluaron la difusión de cobre y boro por el método de vendaje desde la línea de tierra, concluyendo que las sales se mueven principalmente en dirección longitudinal y radial a un contenido de humedad de 30 y 60 %, y que por este método se pueden impregnar maderas refractarias y proporcionar al interior de la madera la misma protección que la superficie de la madera contra la pudrición.

Fuentes (1994), determinó tiempo y calidad de secado y la incidencia de grietas superficiales que se desarrollan en madera aserrada de *Pinus radiata* impregnada a presión con sales CCA-C, bajo un programa de secado a temperaturas convencionales, aplicando como parámetros de comparación el secado de madera de la misma especie en condiciones naturales, y otra impregnada a presión con agua. Utilizando modelos para la estandarización del rango de humedad a secar, se determinó que la madera preservada con sales CCA, requiere dos y media veces más tiempo para su secado que la madera natural, siendo atribuido esto a la presencia de las sales y no al proceso de impregnación en sí. La madera preservada se agrieta durante su secado significativamente más que la madera al natural.

Asimismo, manteniendo un periodo previo de fijación de 10 días y aplicando una etapa inicial de calentamiento a humedad saturada al principio del secado, se logró una efectiva fijación de los óxidos activos en la madera, no habiendo ninguna redistribución ni pérdida de los mismos por efecto del secado

artificial. Se apreció una sensible correlación inversa entre la intensidad con que se agrieta superficialmente la madera y la tendencia al acanalamiento, considerándose que ello puede deberse al debilitamiento que se ha observado producen las sales CCA en la resistencia mecánica de la madera impregnada.

Avramidis y Ruddick, 1996. Aceleraron la fijación de las sales CCA por medio de calentamiento dieléctrico, sus resultados mostraron que el cromo hexavalente se pudo haber fijado completamente en 5 horas y a una temperatura de 110°C sin observarse efectos adversos en la calidad de la madera.

Espinosa (1997), muestra la eficacia de seis productos antimancha que se comercializan en México, contra el hongo manchador *Cladosporium sp.* en madera aserrada de *Pinus hartwegii*, cuatro de los productos utilizados fueron fabricados a base de pentaclorofenato de sodio, otro a base de boro y uno más a base de metilenbistiocianato y tiocianometiltiobenzotiazol. Obtiene como resultado que la concentración mínima observada para evitar el manchado de la madera o crecimiento cero en un tiempo de cuatro semanas en promedio para los productos a base de pentaclorofenol fue en promedio de 3.0 %, para el producto a base de metilenbistiocianato y tiocianometiltiobenzotiazol fue de 0.25 %, mientras que para el producto a base de boro fue de 141.25 %.

Contreras (1997), propone la instalación de una planta de impregnación a presión de maderas, para el laboratorio de productos forestales en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Para ser utilizada con sales CCA en la impregnación de maderas, quedando esto solo en proyecto.

Flores (1999), presenta los efectos causados por las sales CCA-C en las propiedades mecánicas de la madera aserrada de albura y duramen de *Pinus montezumae*; esta madera fue preservada a presión con sales CCA tipo C a un nivel de retención de 11.16 kg/cm^3 . El efecto de tal tratamiento sobre las propiedades mecánicas de la madera fue posteriormente evaluado. Los resultados mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre la madera tratada con sales CCA-C y la madera sin tratar en ambas condiciones de humedad para albura y duramen. Al 12 % de contenido de humedad, la madera tratada de albura mostró reducciones en su resistencia a flexión estática, compresión paralela, cortante y rejado de un 10.4 %. La dureza en los extremos aumento 10.1 %, la elasticidad presentó un aumento del 46.1 % para compresión paralela; mientras que la resiliencia a flexión estática y compresión paralela disminuyó del 19.7 % al 55.4 % En la madera preservada de duramen al 12 % de contenido de humedad, también se observó una disminución de su resistencia a flexión estática y compresión perpendicular entre 11.3 % y 18.5 % pero aumentó 30.2 % en tensión perpendicular. La elasticidad aumentó en un 66.5 %, mientras que la resiliencia a flexión y compresión disminuyó de 26.4 %

a 45.7 %. En la condición saturada, la madera preservada de albura presentó disminuciones en su resistencia a flexión y tensión perpendicular del 17 % y 34 %; pero su resistencia a compresión perpendicular aumentó 15.8 %, mientras que la elasticidad a flexión disminuyó 60.9 % y la resiliencia a flexión aumentó 62.6%. Para la madera preservada de duramen en condición saturada, la resistencia a flexión disminuyó 13.7 % y la resiliencia a flexión aumentó 57.7 %.

Espinoza (2002), compara la eficacia de siete productos antimancha que se comercializan en México hasta la fecha en que se realizó el estudio, tres productos a base de pentaclorofenato de sodio, los cuales son Osmotox, Pentatox y Biotox, tres más elaborados a base de mutilen-bistiocianato y 2-tiocianometiltio benzotiazol, los cuales son Busan 1009, 1450 y 1071 y uno último que es el busan 1071. Determinando que la concentración que inhibe el desarrollo del hongo *Ceratocystis sp.* En la madera de hule (*Hevea brasiliensis*) a las cuatro semanas es: Osmotox 4.68 %, Pentatox 2.82 %, Biotox 3.24 %, busan 1118 de 2.00 %, para Busan 1009, 1450 y 1071 se requiere una concentración menor al 0.25 %. Tomando en cuenta los precios comerciales de cada producto y de acuerdo con las concentraciones mínimas efectivas para crecimiento cero reportadas en este trabajo, obtuvo que el tratamiento con Busan 1071 es el más económico y más efectivo.

Ambriz (2002), diseña una planta de impregnación de maderas, de 76 cm de diámetro y 7.32 m de longitud, calculando espesor de la autoclave de acuerdo con la presión de trabajo de 15.5 Kg/cm² y un vacío máximo de 760

mm de Hg, siendo el espesor de 7.6 mm. El espesor de las tapas de de 1.06 cm, así como el número de tornillos de la tapa abatible que es de 32. Determina el calibre de las tuberías y conexiones de cedula 40, y utilizando válvulas de paso del tipo globo y mariposa.

3.1.7 Diseño de equipo

Ambriz (2002), en su proyecto indica que para elaborar un nuevo producto se requiere de una planta industrial que le confiera las características deseadas a tal producto. La localización de la planta es parte fundamental del éxito del proceso tanto como la selección del método para realizar el producto. Los factores más importantes en la selección del área son la disponibilidad de la materia prima, del transporte, del agua, de la eliminación de desechos, disponibilidad de energía y combustibles, de mano de obra, de clima y la mano de obra.

El proceso de diseño de la planta implica una serie de etapas. La primera es la generación de la idea, la cual puede nacer de una serie de respuestas hacia un producto o bien hacia un nuevo producto. En caso de que el análisis inicial indique la factibilidad de la idea, se iniciará una investigación preliminar.

El diseño preliminar o también llamado de estimación rápida consta de elegir un método de proceso aproximado y estimar el costo sin incluir detalles del proceso. Después de esta primera etapa, se realizará un diseño estimado,

que contendrá algunos detalles del proceso, como puede ser el método bajo el cual se desarrollará el nuevo producto. Por último está el diseño del proceso que consta de las especificaciones de cada elemento que conformará la planta industrial, en este último paso, se deben tomar en cuenta los requisitos de rendimiento o desempeño de cada elemento por individual, así como la interrelación que existe entre ellos al formar parte de un sistema. Dentro de la última etapa se realizan todos los cálculos de cada elemento que contendrá el proceso.

En lo que se refiere al equipo, los elementos que pueden estar incluidos en un proceso son recipientes a presión (si es el caso), tuberías, bombas y válvulas. En los elementos sujetos a presión se deben tomar en cuenta las diversas cargas a las cuales estarán sujetos, ya que tales fuerzas provocan diferentes intensidades en los componentes del recipiente. La intensidad es una función directa de la naturaleza de las cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción.

Una tubería es un elemento que conduce cualquier tipo de fluido. Tal conducción se da cuando se tiene una presión más alta al inicio que al final de la tubería. El peso de la sustancia que circula es función de la diferencia de presiones, del diámetro de la tubería, de la longitud de la misma, de la resistencia o pérdida de presión por rozamiento, cambios de dirección, codos, válvulas y otros accesorios. El cálculo de los diámetros de las tuberías se

realiza en base a la velocidad de la sustancia a transportar. Es importante mencionar que cuando se manejan fluidos a presión, para el cálculo de los componentes de las tuberías, se ha establecido el código ANSI B31 (American National Standard Institute). En las secciones del código ANSI B31 se pueden encontrar especificaciones de materiales de tuberías y accesorios de la ASTM (American Society for Testing and Materials), especificaciones de la AWS (American Welding Society) y las normas de la MSS (Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fitting Industry). Por otra parte la selección de las bombas a utilizar en un determinado proceso, se basa en el tipo de fluido a transportar, ya que una bomba es un elemento que recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico o térmico y la convierte en energía en forma de presión, de posición o de velocidad. Entonces cada elemento constitutivo de la bomba será de acuerdo al tipo de sustancia y cantidad de la misma. Otros factores que se toman en cuenta son la carga dinámica total, las cargas de succión y de descarga, la temperatura del fluido, la viscosidad, la presión de vapor a la temperatura de transporte y la densidad relativa.

El mismo Ambriz (2002), agrega que para la regulación del flujo en una tubería se utilizan las válvulas, existiendo tantos y tan variados diseños como las necesidades de un proceso. Estas válvulas pueden ser de accionamiento mecánico, hidráulico o neumático. Con las válvulas, además de regular gastos, también se protege la conducción, ya que existen elementos de seguridad en

caso de que ocurra un desperfecto en la conducción. La elección del tamaño apropiado de las válvulas depende directamente de la caída de presión, el flujo y la densidad relativa. Otros factores pueden ser: el tipo de fluido, condiciones críticas de flujo para gases y vapores y la viscosidad de los líquidos.

3.1.8 Diagramas de seis plantas de impregnación que operan en México

Para tener una idea más clara de cómo están construidas, el equipo que tienen, los preservadores que usan y el funcionamiento de una planta de impregnación de madera; se visitaron seis plantas de impregnación instaladas en el país y a continuación se presenta la descripción y características de cada una de las plantas visitadas.

3.1.8.1 Planta de impregnación de la empresa Industrial Torres Marmex, S. A. de C. V.

Esta planta de impregnación Figura 4 y 5, se encuentra ubicada en el municipio de Tlalnepantla en el Estado de México, su función es la impregnación de todos los componentes de madera para la fabricación de torres de enfriamiento con sales hidrosolubles CCA, cuenta con dos tapas elípticas, una es abatible con 22 tornillos de cierre mecánico y otra es fija, el sistema de vacío esta compuesto por dos bombas de pistón marca Ingersoll Rand que extraen el aire del cilindro de impregnación, una trampa de humedad y un vacuómetro. El sistema de inyección esta compuesto por una bomba de inyección a presión marca jacuzzi con un motor de 7.5 HP trifásico y un

manómetro, para regular la presión se utiliza un interruptor de presión a base de una barra de mercurio, utiliza un nivel de vidrio para verificar el llenado y vaciado del cilindro, el sistema de mezcla es un tinaco de 5000 Lt donde se prepara el concentrado de sales CCA, usa una cisterna con capacidad de 16000 Lt como tanque de trabajo, la tubería es de 2" de cedula 40 sin costura y las válvulas de paso son del tipo compuerta.

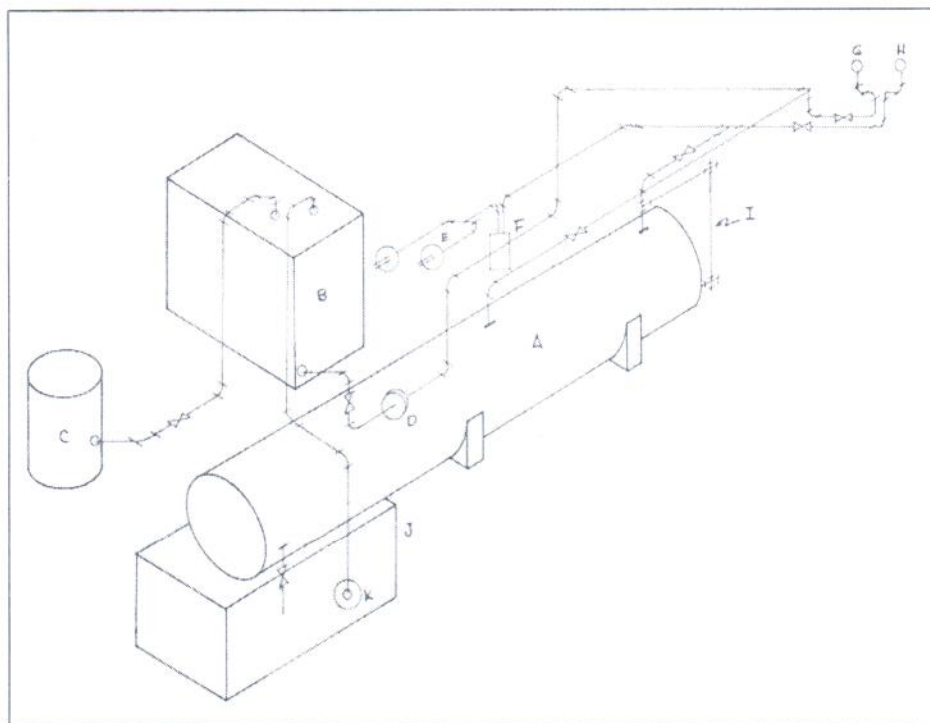


Figura 4. Diagrama de la planta de impregnación de la compañía Industrial Torres Marmex, S. A. de C. V.

donde:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------|
| A.- Cilindro de impregnación | G.- Manómetro |
| B.- Cisterna (tanque de trabajo) | H.- Vacuómetro |
| C.- Tanque de mezcla | I.- Nivel |
| D.- Bomba de Inyección | J.- Fosa de vaciado |
| E.- Bombas de vacío | K.- Bomba de transferencia |
| F.- Trampa de humedad | |

ESPECIFICACIONES:

Largo del cilindro de impregnación:	6.98 m
Diámetro interior del cilindro de impregnación:	1.31 m
Espesor del tanque de impregnación:	9.1 mm
Espesor de las tapas:	9.4 mm
Presión de diseño:	12 Kg/cm ²
Presión de operación:	8 Kg/cm ²
Presión de prueba hidrostática:	18 Kg/cm ²
Capacidad:	9160 Lt

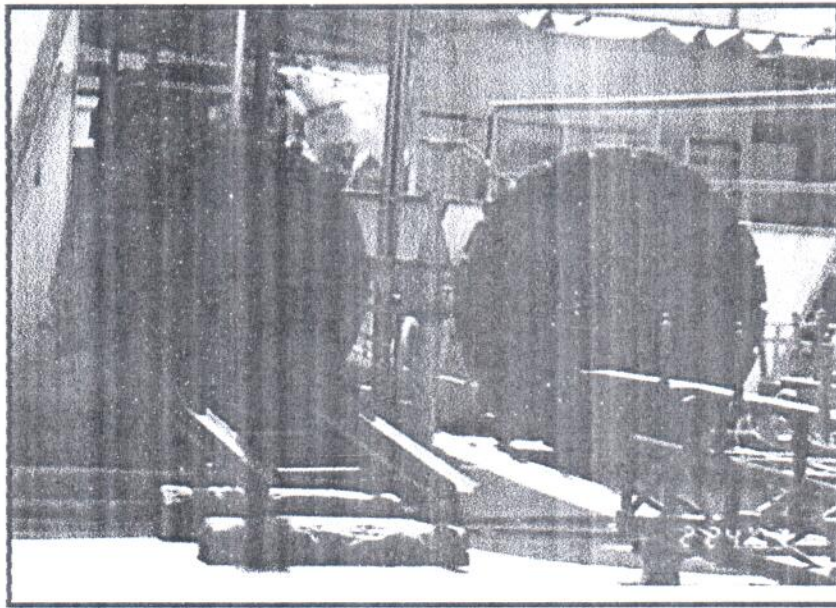


Figura 5. Autoclave de la empresa Industrial Torres Marmex, S. A. de C. V.

3.1.8.2 Planta de impregnación de la empresa Osmose Mexicana, S. A. de C.V.

Esta planta está ubicada en el D.F., al sur de la ciudad y es utilizada para impregnar madera aserrada hasta de un largo máximo de 6 m (19 pies) con sales hidrosolubles CCA Figura 6 y 7, esta planta esta montada sobre un bastidor, el cual soporta dos cilindros, uno montado sobre el otro, el inferior es

un tanque que sirve como tanque de trabajo y almacenamiento de las sales CCA, tiene una capacidad de 1122 Lt y el superior es el cilindro de impregnación, con capacidad de 188 Pt aproximadamente por carga, el cual tiene una tapa abatible y es plana con un sistema de cierre a base de un perno excéntrico para dar el apriete a la tapa y provocar la hermeticidad del cilindro, la tapa trasera es semicircular y fija.

El vacío es hecho no con una bomba de vacío, sino con un eductor que realmente es un venturi, que por medio del efecto de sifón se genera el vacío al hacer circular a través de este equipo un caudal de líquido que en este caso es la misma solución preservadora. La presión se hace por medio de una bomba de turbina marca Aurora acoplada con un motor de 5 HP trifásico de marca IEM, la tubería es de 1" de cedula 40 sin costura, para la medición del vacío y la presión se utiliza un manovacuómetro que esta colocado en la parte inferior del cilindro de impregnación y se utiliza una válvula de alivio como reguladora de presión, no cuenta con nivel de vidrio para que se vea el nivel de inundación o de vaciado del cilindro, sino que cuando el cilindro de impregnación se ha llenado, el exceso de solución preservadora es vertido hacia el tanque de trabajo por medio de una tubería expofeso.

Las válvulas de paso son de cierre rápido de esfera. El tanque de mezcla es un tambor de 200 Lt de plástico que es colocado a un lado de la

planta y ya hecha la mezcla de agua con sales CCA el operador con una cubeta transfiere la solución preservadora al tanque de trabajo.

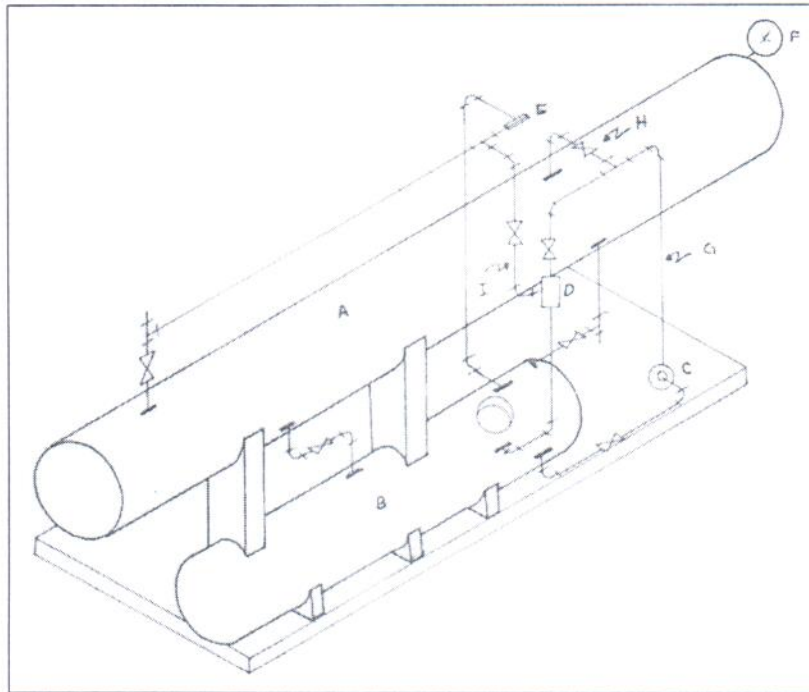


Figura 6. Diagrama de la planta de impregnación de la compañía Osmose Mexicana, S.A. de C.V.

donde:

- | | |
|--|---------------------------|
| A.- Cilindro de impregnación | G.- Tubería |
| B.- Tanque de trabajo y almacenamiento | H.- Válvula de paso |
| C.- Bomba de inyección | I.- Línea de succión aire |
| D.- Eductor | |
| E.- Válvula reguladora de presión | |
| F.- Manovacuómetro | |

ESPECIFICACIONES:

Largo del cilindro de impregnación:	6.30 m
Diámetro interior del cilindro de impregnación:	0.406 m
Espesor del tanque de impregnación:	19 mm
Espesor de la tapa abatible (plana):	6.3 mm
Espesor de la tapa trasera fija	19 mm
Presión de diseño:	13.79 Kg/cm ²
Presión de operación:	8.8 Kg/cm ²
Presión de prueba hidrostática:	23 Kg/cm ²

Capacidad:
Capacidad para madera:

792 Lt
188 Pt

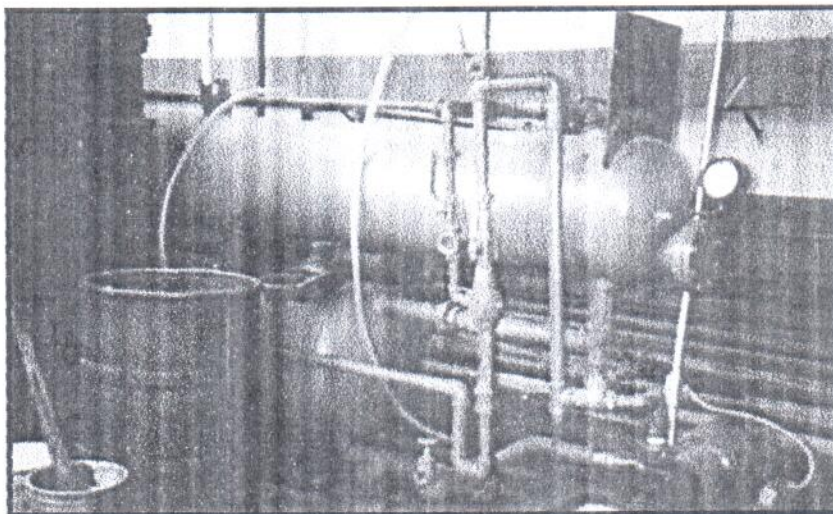


Figura 7. Autoclave de la empresa Osmose Mexicana S. A.
de C.V.

3.1.8.3 Planta de impregnación del Instituto de Ecología A.C.

Esta es una planta piloto de impregnación de maderas, para el laboratorio del Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques del Instituto de Ecología, A.C., Figuras 8 y 9, ubicada a un costado de la ciudad de Xalapa, Ver. Esta planta piloto de impregnación esta, al igual que la de Osmose Mexicana, montada sobre un bastidor metálico, el cual soporta dos cilindros, un superior y uno inferior, el tanque inferior es el tanque de trabajo y almacenamiento de la solución preservadora de 1.55 m de largo y 50 cm. de diámetro, el tanque superior es el cilindro de impregnación de 1.67 m de longitud y 30 cm. de diámetro interior, tiene una tapa abatible con 18 tornillos de

cierre mecánico, el vacío se hace también con un eductor y la presión se realiza con una bomba marca SENTINEL acoplada con un motor de 3 HP.

El vacío y la presión es medida por un manovacúmetro marca METRON con registro de vacío de 0 a 76 cm. de mercurio y la presión con registro de 0 a 21 Kg/cm², la tubería es de 3/4" de cedula 40 sin costura y válvulas de paso de compuerta con un sistema de manivela muy complicado, ya que se necesita una llave perico para abrir y cerrar estas válvulas. El tanque de mezcla en el caso de impregnar madera con sales CCA, se instala a un lado de la planta donde una vez hecha la mezcla el operador transfiere la solución preservadora al tanque de trabajo. Cabe mencionar que esta planta no cuenta con válvula de alivio o de seguridad, ni un nivel que indique el llenado y vaciado del cilindro de impregnación.

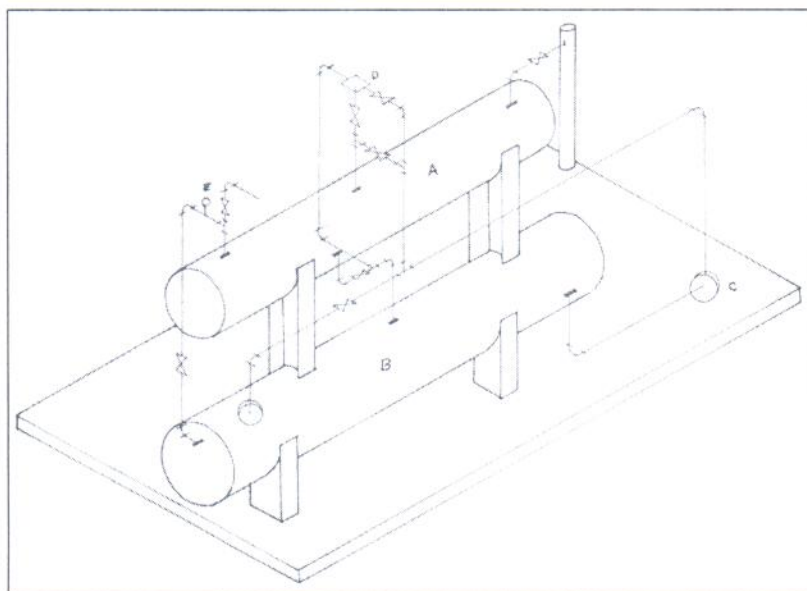


Figura 8. Diagrama de la planta de impregnación del Instituto de Ecología A.C.

donde:

- A.- Cilindro de impregnación
- B.- Tanque de trabajo y almacenamiento
- C.- Bomba de inyección
- D.- Eductor
- E.- Manovacuómetro

ESPECIFICACIONES:

Largo del cilindro de impregnación:	1.67 m
Diámetro interior del cilindro de impregnación:	0.3048 m
Espesor del tanque de impregnación:	15.8 mm
Espesor de la tapa abatible (plana):	10.1 mm
Espesor de la tapa trasera fija	15.8 mm
Presión de diseño:	28 Kg/cm ²
Presión de operación:	20 Kg/cm ²
Presión de prueba hidrostática:	35 Kg/cm ²
Capacidad:	122 Lt

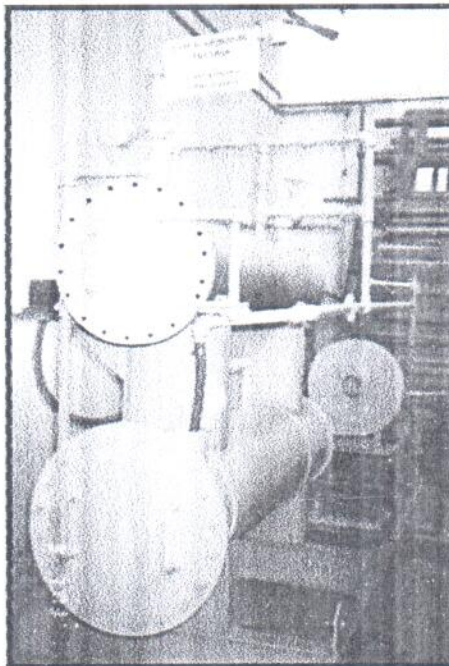


Figura 9. Autoclave del Instituto de Ecología A.C.

3.1.8.4 Planta de impregnación de la empresa Impregnadora La Reforma, S.A. de C.V.

Esta planta esta ubicada en la ciudad de Durango Figuras 10 y 11, manufacturada en Milwaukee Estados Unidos y su función principal es la impregnación por el proceso Bethell de postes para Telmex, dicha planta es automatizada y el operador maneja la planta por medio de una consola de mando, la presión a la que se impregnan los postes es a unas 155 lb/pulg², dicha presión es controlada por una válvula automática que abre y cierra manteniendo la presión de trabajo constante, el vacío se hace por medio de una bomba de vacío de anillo líquido, esta planta tiene un tanque donde almacena agua con capacidad de 22000 Lt, un tanque de mezcla donde se prepara el concentrado de 22000 Lt, dos tanques de trabajo de 40000 Lt c/u, estos tanques tienen un medidor automático para tener la lectura de los galones consumidos en cada fase del proceso de impregnación.

La red principal de tuberías es de 4" de diámetro y las tuberías que se adhieren a esta son de 2", todas las válvulas de paso son neumáticas y abren y cierran solas de acuerdo con el programa que se tenga en la consola. El cierre de la tapa abatible es a base de un arillo dentado el cual al cerrarse engancha a los dientes que tiene la tapa y al girar el arillo dentado jala hacia adentro la tapa que sella con el cilindro de impregnación mediante un empaque, el mecanismo de giro del arillo es con un tornillo sinfín que es movido por un sistema mecánico.

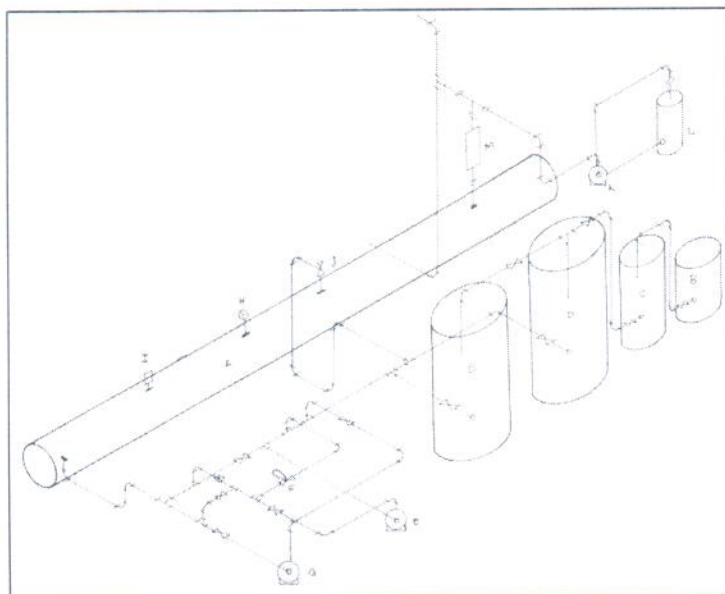


Figura 10. Diagrama de la planta de impregnación de la compañía Impregnadora la Reforma, S.A. de C.V.

donde:

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| A.- Cilindro de impregnación | H.- Manovacuómetro |
| B.- Tanque de agua | I.- Censor automático |
| C.- Tanque de mezcla | J.- Válvula de seguridad |
| D.- Tanques de Trabajo | K.- Bomba de vacío |
| E.- Bomba de inyección | L.- Pulmón de vacío |
| F.- Válvula reguladora de presión | M.- Trampa de humedad |
| G.- Bomba de transferencia | |

ESPECIFICACIONES:

Largo del cilindro de impregnación:	17.60 m
Diámetro interior del cilindro de impregnación:	1.82 m
Espesor del tanque de impregnación:	15.8 mm
Espesor de la tapa abatible (plana):	15.8 mm
Espesor de la tapa trasera fija	15.8 mm
Presión de operación:	11 Kg/cm ²
Capacidad:	80 postes de 7 m de largo

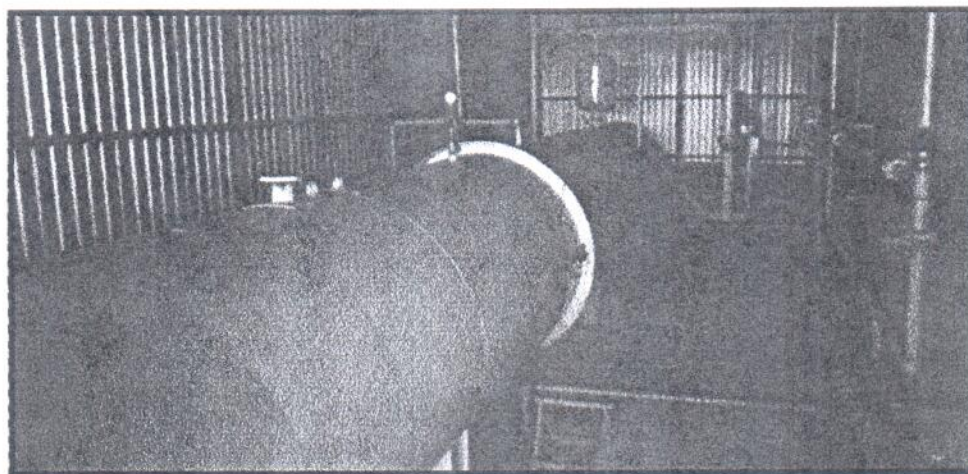


Figura 11. Autoclave de la empresa impregnadora la reforma, S. A. de C.V.

3.1.8.5 Planta de impregnación de la empresa Casas y Muebles de Oaxaca, S. A. de C. V.

Esta planta de impregnación esta ubicada en la ciudad de Oaxaca Figuras 12 y 13, la cual es utilizada para impregnar madera aserrada destinada básicamente a la construcción de casas de madera, el cilindro de impregnación es de 5/8" de grueso, así como sus dos tapas, una es fija y otra es abatible, el cierre de ésta es como la planta de La Reforma, su sistema de cierre es en base a un arillo que cuando se cierra la tapa, el arillo engancha con sus diente a los dientes de la tapa y al girar presiona a la tapa contra el cilindro y mediante un empaque se sella y se produce la hermeticidad deseada. El giro del arillo se hace con un tornillo sinfín manualmente.

El tanque de trabajo es un tinaco con capacidad de 2500 Lt, dicha capacidad está muy reducida y no abastece adecuadamente al cilindro de

impregnación, adentro de este se encuentra la bomba de inyección que es una bomba sumergible, la presión es regulada por un interruptor de presión y medida con el manovacúómetro, el vacío lo hace un eductor cuya función es sacar el aire del autoclave y la madera mediante la recirculación de la solución impregnante por una bomba de transferencia que además es la que vacía el cilindro de impregnación en el proceso. No cuentan con niveles de solución preservadora el tanque de trabajo ni el cilindro de impregnación. El tanque de mezcla es un tambor de 200 Lt que está colocado a un lado del tanque de trabajo.

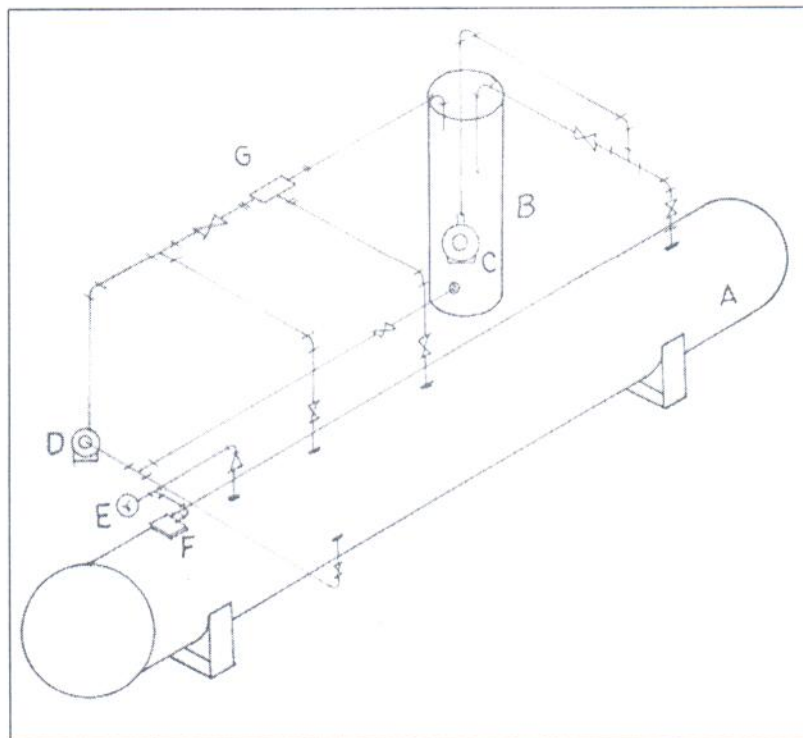


Figura 12. Diagrama de la planta de impregnación de la compañía Casas y Muebles de Oaxaca, S. A. de C. V.

donde:

- A.- Cilindro de impregnación
- B.- Tanque de trabajo y almacenamiento
- C.- Bomba de inyección
- D.- Bomba de transferencia
- E.- Manovacuómetro
- F.- Tablero de control
- G.- Eductor

ESPECIFICACIONES:

Largo del cilindro de impregnación:	6.18 m
Diámetro interior del cilindro de impregnación:	0.90 m
Espesor del tanque de impregnación:	15.8 mm
Espesor de la tapa abatible (plana):	15.8 mm
Espesor de la tapa trasera fija	15.8 mm
Presión de operación:	9.0 Kg/cm ²
Capacidad:	3.93 m ³
Capacidad en madera:	1180 Pt

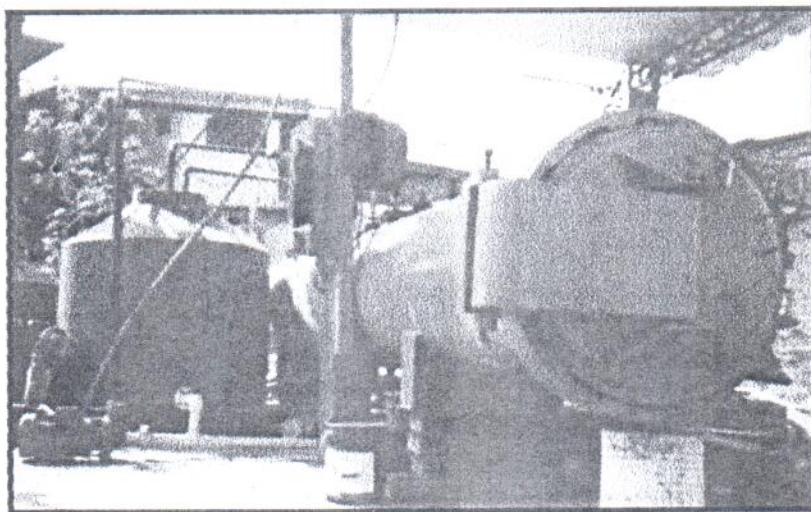


Figura 13. Autoclave de la empresa Casas y Muebles de Oaxaca, S. A. de C.V.

3.1.8.6 Planta de impregnación de la empresa Sequoia, S.A. de C.V.

Esta planta se encuentra en la ciudad de Xalapa, Ver., Figuras 14 y 15 impregna con sales hidrosolubles CCA y con sales de BORO, cuenta con cuatro autoclaves para la impregnación de la madera. Una de estas tiene las dimensiones para la impregnación de tableros de triplay, otras dos son cilindros para la impregnación de madera aserrada y una última autoclave rectangular donde también se impregna madera aserrada, los tanques de trabajo tanto de las sales CCA y las sales de BORO están elevados en la nave de la empresa y las tuberías, bombas de vacío y transferencia, así como del compresor de inyección se utilizan para los dos tipos de preservador utilizados.

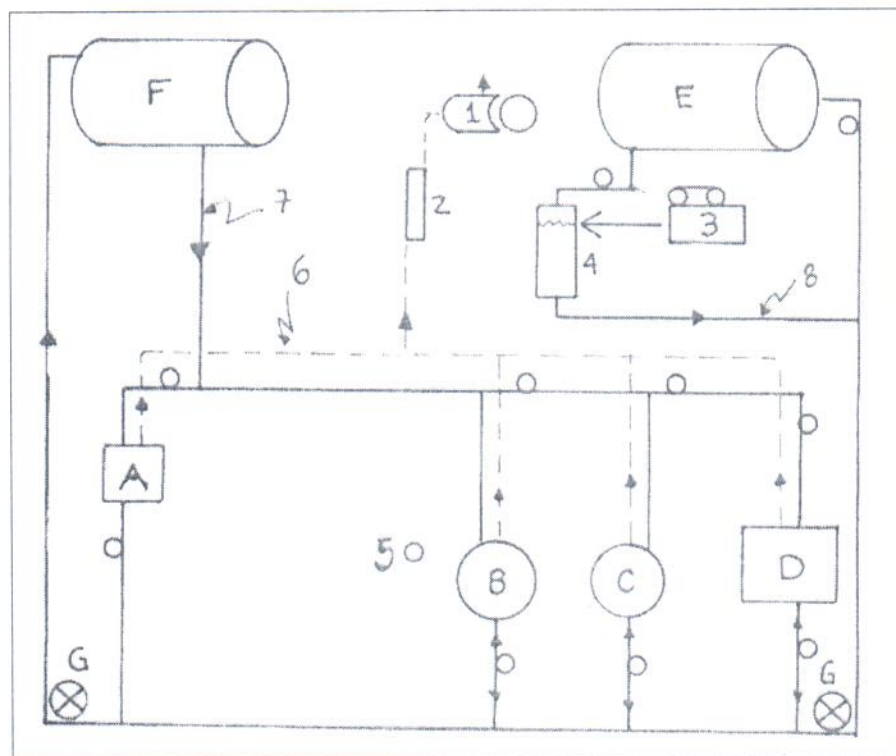


Figura 14. Diagrama de flujo de la compañía Sequoia, S.A. de C.V.

donde:

- A.- Autoclave rectangular para la impregnación de triplay de medidas Comerciales de 1.22 m X 2.44 m
- B.- Cilindro de impregnación No.1
- C.- Cilindro de impregnación No.2
- D.- Autoclave rectangular
- E.- Tanque de trabajo para sales CCA
- F.- Tanque de trabajo sales de boro
- G.- bombas de transferencia
- 1).- Bomba de vacío
- 2).- Pulmón de vacío
- 3).- Compresor de aire como sistema de inyección a presión
- 4).- Tanque de expansión de aire para inyectar a presión
- 5).- Válvulas de paso de esfera
- 6).- Línea de vacío
- 7).- Línea de sales de boro
- 8).- Línea de sales CCA

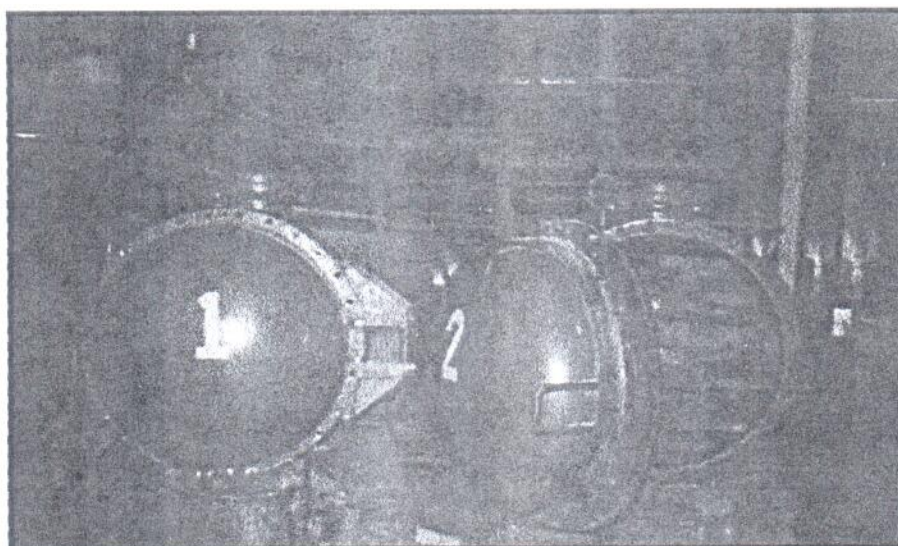


Figura 15. Autoclaves de la empresa Sequoia, S. A. de C.V.

3.2 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS PLANTAS VISITADAS.

La planta Impregnadora La Reforma se clasifica como grande, ya que impregna postes para cableado de telefonía y luz, aporta conocimientos para en un futuro automatizar la planta, como por ejemplo, el medir automáticamente el consumo de la solución preservadora, tener en buenas condiciones los tanques de trabajo, mezcla y agua, entre otros aspectos.

La planta de Osmose Mexicana y la planta piloto del Instituto de Ecología aportan el conocimiento de usar un eductor (sifón) como equipo para hacer el vacío en lugar de una bomba de anillo líquido o de pistones que son mucho mas caras, así como el diseñar el sistema de tuberías lo más cercano posible al cilindro de impregnación para evitar pérdida de presión y gasto excesivo en materiales, además, todas las plantas tienen como instrumento de medición del vacío y la presión un manovacuómetro en lugar de dos indicadores que al adquirirlos son más caros.

De la planta de Casas y Muebles de Oaxaca, así como la planta de La Reforma, la tapa abatible de su cilindro de impregnación es un diseño adecuado, ya que se evitan los tornillos, lo que se traduce en ahorrar tiempo en el abrir y cerrar de la tapa; la desventaja que tiene este sistema de tapa es que es muy caro. La planta de Casas y Muebles de Oaxaca tiene como regulador de presión un interruptor de energía eléctrica y este para o enciende el motor de la bomba de inyección según la presión deteriorando al motor por este trabajo,

mientras que la planta de La Reforma y la planta de Osmose tienen una válvula reguladora de presión, así que con este sistema no se para y arranca paulatinamente el motor de la bomba aumentando su vida útil. Las válvulas de paso de las empresas Osmose y Casas y Muebles de Oaxaca son de esfera y abren y cierran rápidamente sin utilizar alguna herramienta, como es el caso en la planta del Instituto de Ecología, donde se usa un perico para abrir y cerrar válvulas.

Los espesores del cuerpo de los cilindros de impregnación son para La planta de La Reforma de 5/8", para la planta de Casas y Muebles de Oaxaca de 5/8", para la planta de Osmose Mexicana de 3/4", para la planta del Instituto de Ecología es de 5/8" y para la planta de Industrial Torres Marmex es de 9.1 mm. La planta de Industrial Torres Marmex y la planta de La Reforma son las únicas con vías y carritos (góndolas) para introducir la madera al cilindro de impregnación. De la empresa Sequoia se observa un sistema para poder aplicar dos tipos de preservador hidrosoluble, como las sales CCA y las sales de Boro, y un conjunto de autoclaves de diferentes características, usando una sola bomba de vacío para todas las autoclaves, así como un solo compresor de inyección. Las plantas de Osmose, Industrial Torres Marmex, Casas y Muebles de Oaxaca y Sequoia trabajan a una presión de 8 a 11 Kg/cm² para la impregnación de madera de pino.

El sistema de carga y descarga que tiene la planta de la empresa Impregnadora La reforma, S. A. de C. V. y la planta de Industrial Torres Marmex; S. A. de C.V., cuentan con un sistema de rieles y góndolas para introducir los postes al interior del autoclave, mientras que las restantes plantas no cuentan con este sistema de carga y descarga, pues es hecho manualmente por los operadores. Para la planta piloto del Instituto de Ecología, A. C., no hay mayor problema, pues es muy pequeña y no requiere de mucha maniobra para que sea cargada con la madera por impregnar, sin embargo para las demás empresas si hay problemas para cargar y descargar la madera, ya que se manejan volúmenes grandes y se convierte en maniobras muy pesadas y tardadas en llevarse a cabo.

4. METODOLOGÍA

4.1 DISEÑO DE LA PLANTA

Analizadas las plantas de impregnación visitadas, observando las características de cada una, las diferencias que existen entre si y aprovechando lo aprendido de cada una de ellas, generó un diseño específico para la planta de impregnación de este trabajo.

Se determinó construir una planta piloto de impregnación de madera para sales hidrosolubles de 2.60 m de longitud, con el fin de que se puedan impregnar madera con medidas comerciales y de 0.60 m de diámetro. Se decidió fijar para la autoclave una presión de diseño de 13 Kg/cm² y una presión de trabajo de 10 Kg/cm² de acuerdo con las experiencias prácticas recibidas en las visitas.

4.2 UBICACIÓN DE LA PLANTA

Para la ubicación de la planta se seleccionó un espacio dentro del laboratorio del Departamento de Productos Forestales de la División de Ciencias Forestales, a un lado de la estufa de secado. La finalidad de colocarla en esa área es la de tener cercanía con la estufa de secado e interrelacionar en investigaciones posteriores las dos plantas piloto, así como contar con la accesibilidad de las líneas de agua, electricidad y aire comprimido que pasan cercanas a esta zona.

4.3 DISEÑO DEL AUTOCLAVE

Los cálculos de diseño del autoclave de impregnación, se llevaron a cabo con el código ASME sección VIII división I, apoyado en lo dispuesto en el artículo 131 del reglamento para inspección de generadores de vapor y recipientes sujetos a presión (Anexo 2).

Tomando en cuenta la presión y vacío de trabajo u operación, la presión de diseño, las propiedades físicas de la solución impregnante y las dimensiones de la madera por impregnar. Se hizo la memoria de cálculo de los espesores del autoclave y de las tapas toriesféricas.

4.3.1 Memoria de cálculo

datos:

Presión de trabajo = 10 Kg/cm^2

Presión de diseño = 13 Kg/cm^2

Presión de prueba = 15.60 Kg/cm^2

Temperatura de operación = $20 - 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Volumen = 0.800 m^3

Diámetro = 0.60 m

Longitud cuerpo = 2.600 m

Altura de las tapas = 0.25 m

Material = Acero ASTM A-285

Esfuerzo material = 970 Kg/cm^2

Factor de seguridad = 4

Eficiencia de soldadura (cuerpo y tapas) = 90 %

Superficie expuesta a presión:

Envolvente (cuerpo del autoclave) = 4.983 m^2

Tapas = 2.042 m^2

Superficie total expuesta = 7.025 m^2

Espesores mínimos requeridos:

Envolvente = 4.58 mm

Tapas 4.55 mm

Espesores empleados en la construcción:

Envolvente = 7.93 mm

Tapas = 7.93 mm

Presión de diseño soportable:

Envolvente = 22.35 kg/cm^2

Tapas = 22.64 Kg/cm^2

Número de tornillos de la tapa (Ver anexo 2) = 15

Número de tornillos colocados en la tapa (ver Anexo 2) = 16

El autoclave fue equipado con un bastidor de canal de 4" para que ésta quedase elevada a 50 cm de los cimientos y posteriormente se le adaptaron las conexiones para las tomas de vacío, y presión, así como para el manovacúmetro y las válvulas de nivel y de seguridad (Figura 16).

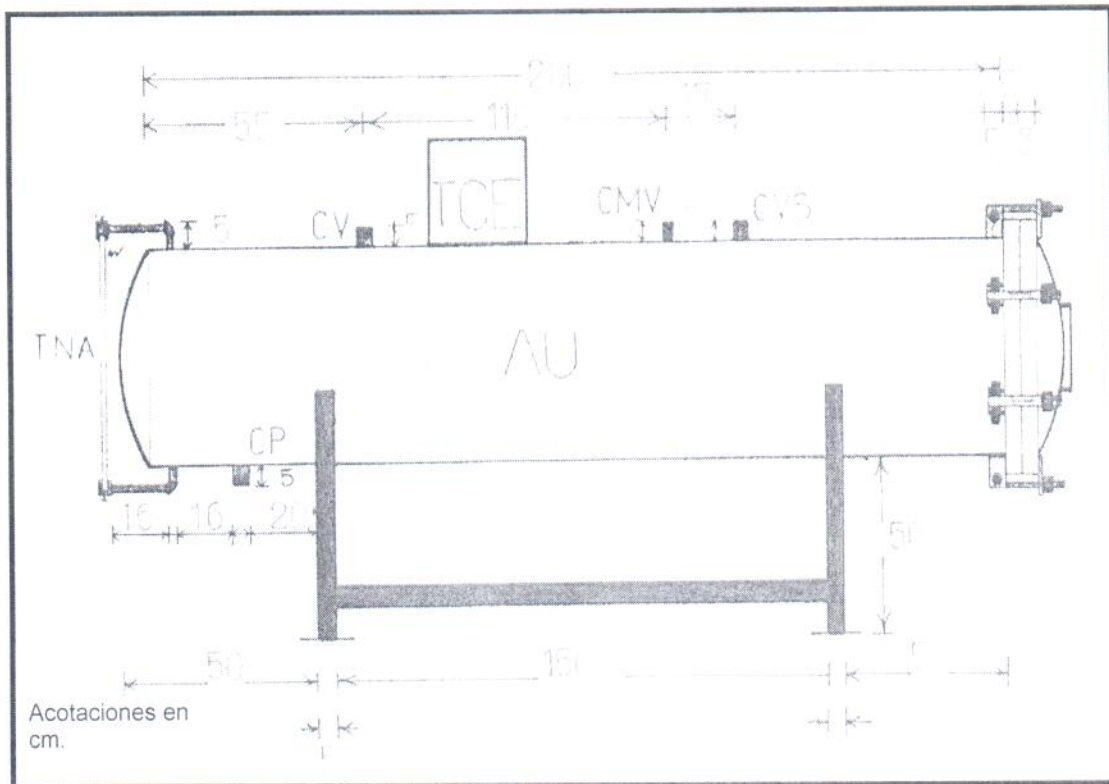


Figura 16. Vista lateral autoclave.

donde:

- AU) Autoclave
- CV) Conexión para la línea de vacío
- CP) Conexión para la línea de presión
- TCE) Tablero de control eléctrico
- CVS) Conexión para la válvula de seguridad
- CMV) Conexión para el manovacuómetro
- TNA) Tubo de nivel del autoclave

4.4 SELECCIÓN DE EQUIPO AUXILIAR

4.4.1 Bomba de inyección

La bomba seleccionada es trifásica, modelo ML1, 2 HP, motor siemens, para 120/227 volts, cuya capacidad es de 11 Kg/cm² suficiente para la presión que se trabajará.

4.4.2 Bomba de transferencia

La bomba de transferencia seleccionada tiene adaptado el motor lo que la convierte en motobomba de ¼ de HP, para 127 volts, marca de motor General Electric, monofásico, marca de bomba Gargo, cuya capacidad es para elevar un caudal hasta 10 metros de altura, suficiente para transferir la solución impregnante del tanque de mezcla al tanque de trabajo.

4.4.3 Eductor

El eductor seleccionado es de marca Penberthy de 1" modelo ML1, con capacidad para hacer el vacío hasta de 30 pulgadas de mercurio al nivel del mar, calibrado para un caudal de 40 Lt/min y para una presión de salida de 1 Kg/cm², suficiente y adecuado para hacer el vacío proyectado de 10 pulgadas de mercurio.

4.4.4 Manovacuómetro

El Manovacuómetro seleccionado es de marca WIKA modelo 232.100 con un diámetro de carátula de 4 pulgadas, conexión NPT de ½ pulgada y un rango de -30" de Hg – 0 – 14 Kg/cm². El cual cubre los rangos establecidos.

4.4.5 Válvula reguladora de presión. La válvula reguladora de presión seleccionada es de marca Cuevas, modelo 1600 y tamaño de 2" y calibrada a 8 kg/cm² para desfogar 300 Lt/min de solución preservadora.

4.4.6 Válvula de seguridad

La válvula de seguridad seleccionada es de marca Cuevas, modelo 1600 y tamaño de 2", calibrada a 9 Kg/cm² para desfogar 300 Lt/min de solución preservadora.

4.4.7 Válvulas de paso

Las válvulas de paso seleccionadas son de marca WORCESTER de 1", de acero al carbón, cierre rápido de esfera con capacidad de 64 Kg/cm² para líneas donde hay presión y para líneas de transferencia se seleccionaron válvulas de esfera de capacidad de 2 Kg/cm².

4.4.8 válvula de retención de presión

La válvula de retención de presión marca WALWORTH de 1" con capacidad de 64 Kg/cm², de acero forjado modelo 5540-25.

4.4.9 Válvulas de nivel

Las válvulas de nivel seleccionadas son de acero al carbón modelo VN005.

4.4.10 Tubo de nivel

El tubo de nivel seleccionado es de vidrio de línea roja, marca REEMEX, con capacidad para 6.5 Kg/cm^2 .

4.4.11 Tuberías

Las tuberías seleccionadas son de cedula 40, tubo negro y sin costura, con capacidad de 14 Kg/cm^2 . Suficiente para trabajar a 8 Kg/cm^2 . Para las líneas donde hay presión y para las líneas donde no hay presión se seleccionó tubería cédula 40 galvanizada.

4.4.12 Tanque de mezcla

El tanque de mezcla seleccionado es de 250 Lt, de plástico para evitar la corrosión y suficiente para preparar 4 cargas y satisfacer la capacidad del tanque de trabajo.

4.4.13 Tanque de trabajo

El tanque de trabajo seleccionado es de 1200 Lt suficiente para satisfacer la capacidad del autoclave que tiene un volumen nominal de 780 Lt y para satisfacer la absorción necesaria para la carga de madera introducida al autoclave.

4.4.14 Válvula de retención de vacío

La válvula de retención de vacío es de bronce con una capacidad de 4 Kg/cm², suficiente para retener el vacío generado.

4.4.15 Conexiones de tuberías

Los codos, cruces, tees, reducciones y niples seleccionadas para las líneas donde hay presión, son de cédula 80 y negras. Y para las líneas de transferencia se seleccionó cédula 40 galvanizadas.

4.4.16 Hidrómetro

El hidrómetro seleccionado es de marca OSMOSE, para determinar densidades en un rango de 1.000 a 1.060 y temperatura en grados Celsius y Fahrenheit. Servirá para evaluar la concentración de la solución con las tablas hidrométricas.

4.4.17 Cimentación

Se determinaron las dimensiones de los tanques de mezcla y de trabajo, así como del autoclave para hacer la cimentación donde se colocaron.

4.5 DIAGRAMA DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE IMPREGNACIÓN

El diagrama se elaboró de acuerdo con las especificaciones de la planta, los equipos seleccionados y espacio donde se ubicó, así como tomando en cuenta las redes de abastecimiento de agua y de energía eléctrica, la cercanía a la estufa piloto de secado y también cercana al aserradero que en un momento dado es el proveedor de madera aserrada (Figura 17).

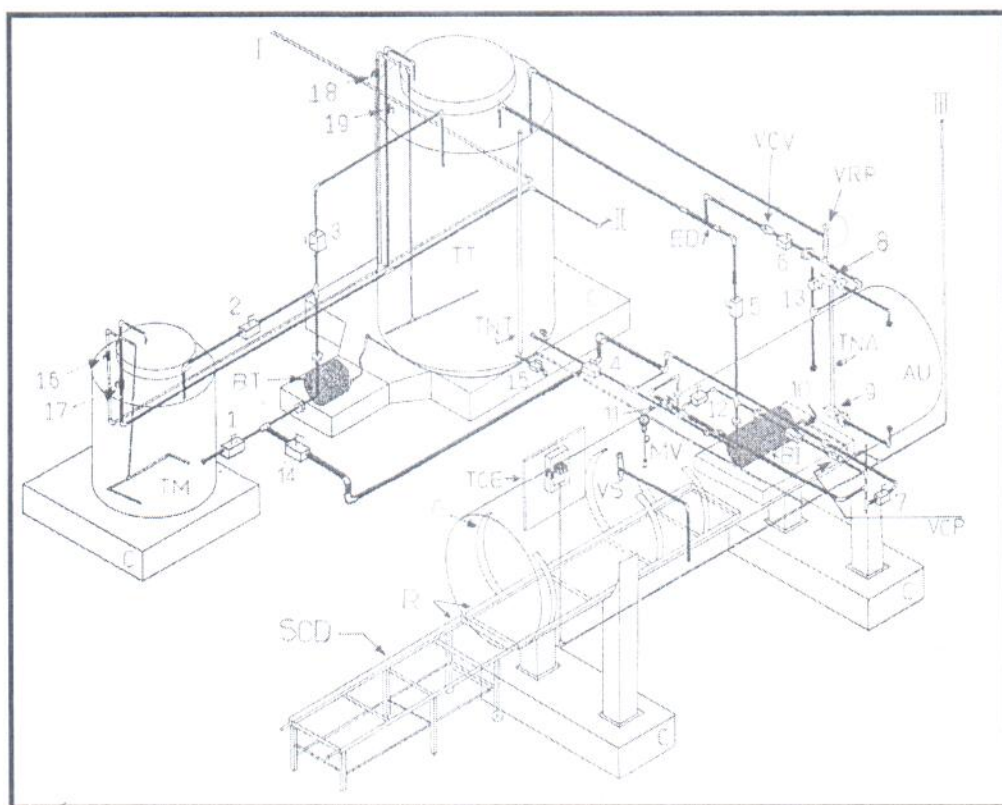


Figura 17. Diagrama de la planta de impregnación.

donde:

TM) Tanque de mezcla

TT) Tanque de trabajo

AU) Autoclave

I) Línea de aire comprimido para sistema de mezcla

II) Línea de agua para sistema de mezcla

III) Acometida eléctrica para sistema eléctrico

BT) Bomba de transferencia en sistema de mezcla

BI) Bomba de inyección (funciona también como de transferencia)

ED) Eductor

TNA) Tubo de nivel del autoclave

VRP) Válvula reguladora de presión

VCP) Válvula de retención de presión

VCV) Válvula de retención de vacío

MV) Manovacúómetro

VS) Válvula de seguridad

TCE) Tablero de control eléctrico

TNT) Tubo de nivel de tanque de trabajo

G) Carro transportador de madera o góndola

R) Rieles de sistema de carga y descarga (SCD)

C) Cimentación

1) Válvula de tanque de mezcla

2) Válvula de recirculación en tanque de mezcla

3) Válvula de transferencia en sistema de mezcla

4) Válvula de tanque de trabajo

5) Válvula general

- 6) Válvula para vacío
- 7) Válvula para vaciado
- 8) Válvula superior de tubo de nivel
- 9) Válvula inferior de tubo de nivel
- 10) Válvula de presión
- 11) Válvula de llenado
- 12) Válvula de abatimiento de presión
- 13) Válvula de venteo
- 14) Válvula de recirculación en sistema de mezcla y vaciado de autoclave
- 15) Válvula para toma de muestras de solución preservadora en tanque de trabajo
- 16) Llave de paso de aire comprimido a tanque de mezcla
- 17) Llave de paso de agua a tanque de mezcla
- 18) Llave de paso de aire comprimido a tanque de trabajo
- 19) Llave de paso de agua a tanque de trabajo

4.6 DIAGRAMA DE FLUJO DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA

El diagrama de flujo se elaboró para representar gráficamente la secuencia de las etapas y operaciones que ocurrieron en el proceso de manufactura de la planta de impregnación (Figura 18).

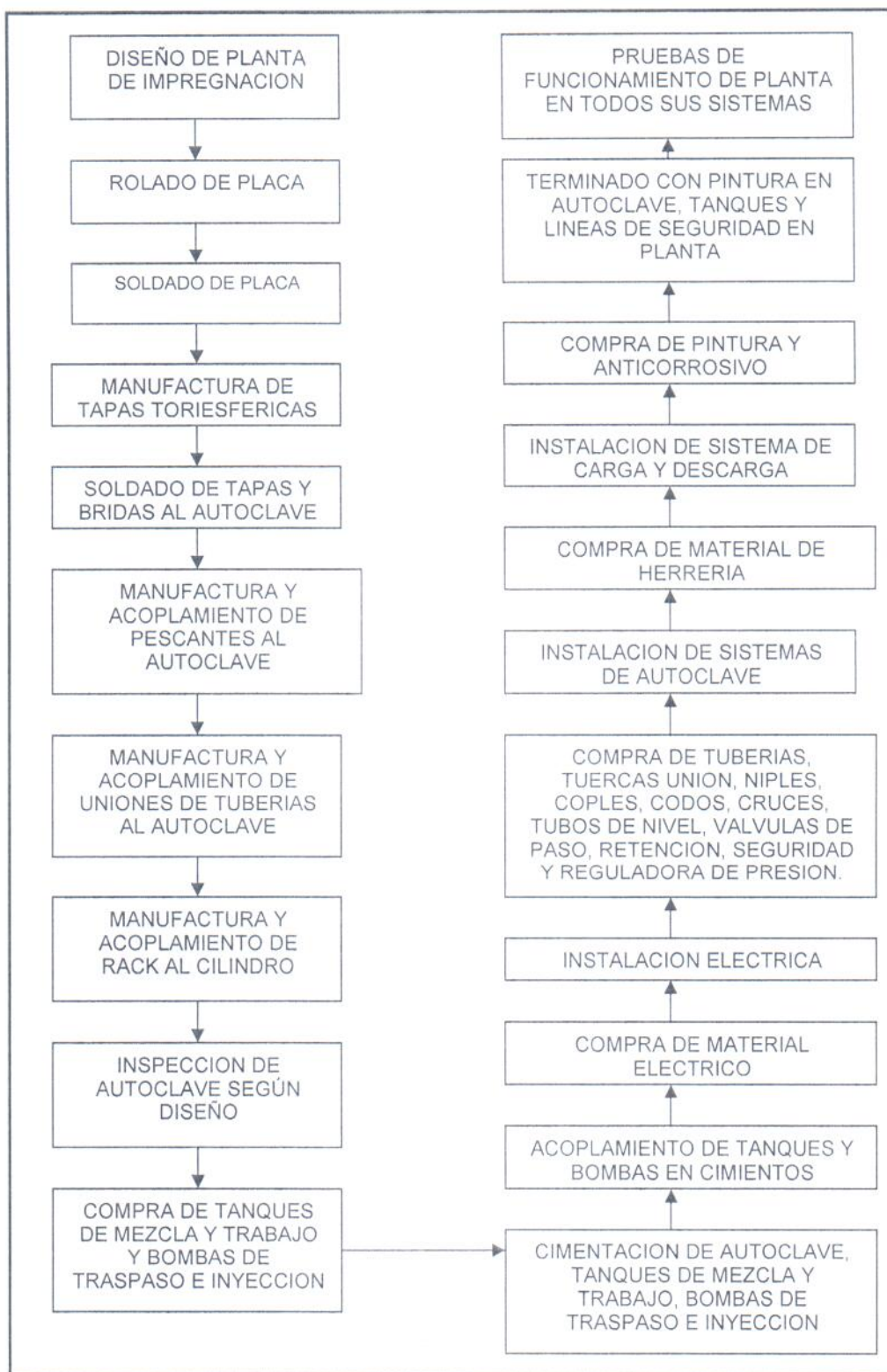


Figura 18. Diagrama de flujo de construcción de la planta de impregnación.

4.7 SISTEMAS DE LA PLANTA

Se presentan por separado todos los sistemas que intervienen en la planta, su función y los materiales que lo componen.

4.7.1 Sistema de mezcla

Sistema que sirve preparar la solución preservadora a la concentración necesaria para la impregnación, compuesto este sistema por la bomba de transferencia y tres válvulas de paso (Figura19).

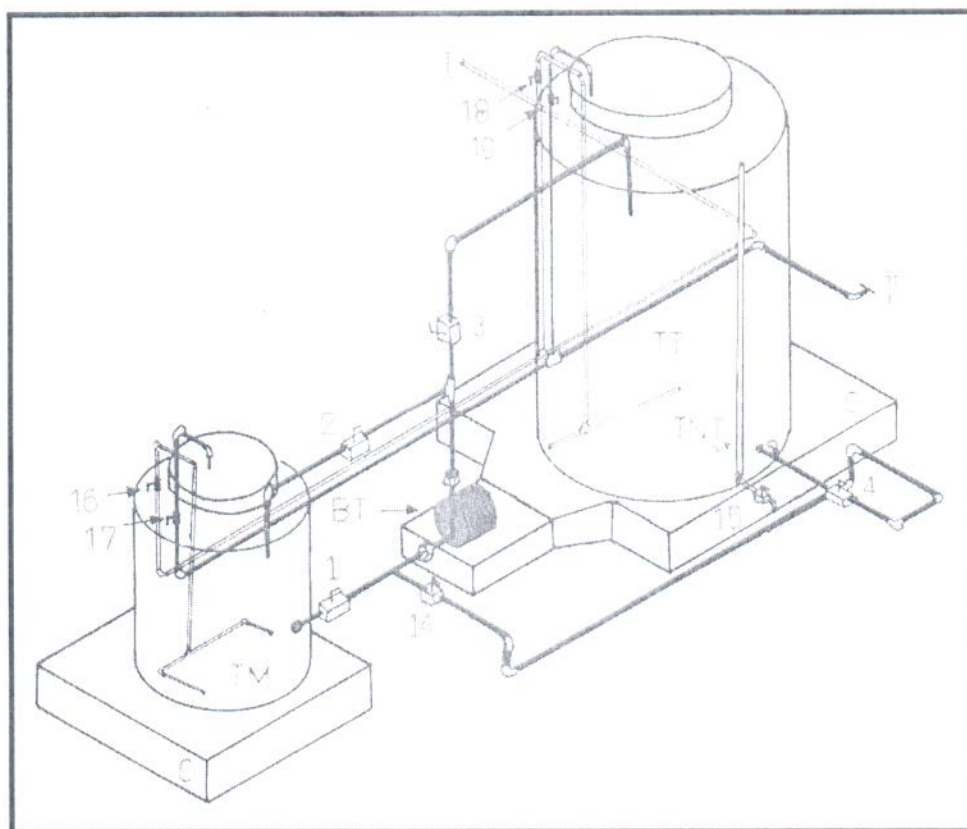


Figura 19. Sistema de mezcla.

donde:

TM) Tanque de mezcla

TT) Tanque de trabajo

BT) Bomba de transferencia

TNT) Tubo de nivel de tanque de trabajo

C) Cimentación

I) Línea de aire comprimido

II) Línea de agua

16) Llave de paso de aire comprimido a tanque de mezcla

17) Llave de paso de agua a tanque de mezcla

18) Llave de paso de aire comprimido a tanque de mezcla

19) Llave de paso de agua a tanque de trabajo

1) Válvula de tanque de mezcla

2) Válvula de recirculación en tanque de mezcla

3) Válvula de transferencia en sistema de mezcla

4) Válvula de tanque de trabajo

14) Válvula de recirculación en sistema de mezcla y vaciado de
autoclave

15) Válvula para toma de muestras de solución preservadora en
tanque de trabajo

4.7.2 Sistema de vacío

Este sistema sirve para extraer el aire del autoclave y de las células de la madera que se impregna. Su principal componente es el eductor (ED) y las líneas de conexión entre el autoclave y el tanque de trabajo (Figura 20).

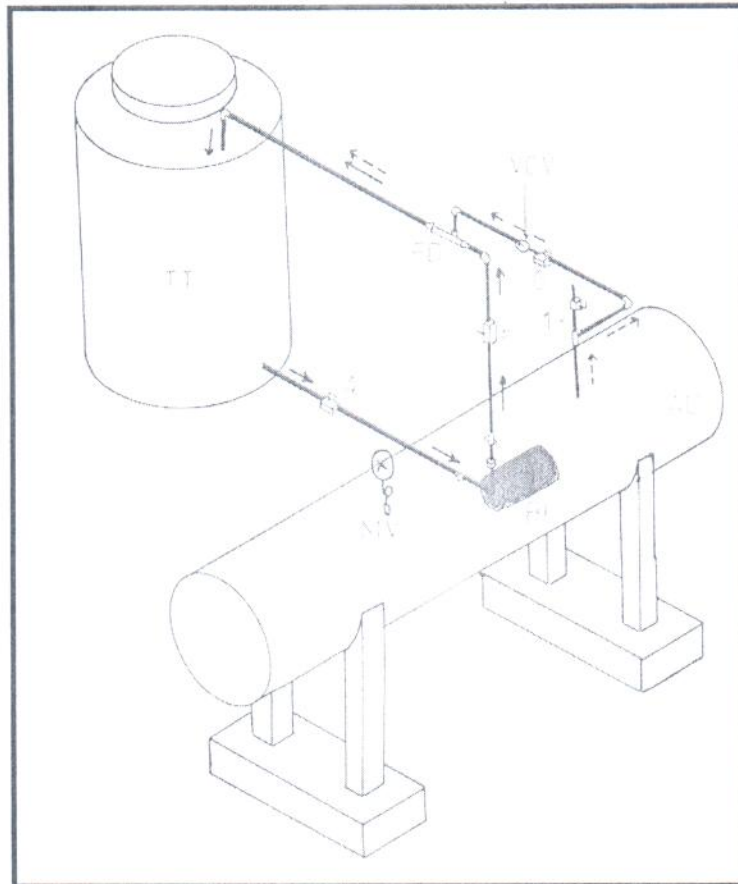


Figura 20. Sistema de vacío.

donde:

- TT) Tanque de trabajo
- AU) Autoclave
- BI) Bomba de inyección
- MV) Manovacúmetro

ED) Eductor

VCV) Válvula check del sistema de vacío

4) Válvula de tanque de trabajo

5) Válvula general

6) Válvula de vacío

13) Válvula de venteo

4.7.3 Sistema de llenado

Este sistema llena el autoclave de solución preservadora estando trabajando el sistema de vacío. Solo se requiere abrir la válvula de llenado No. 11 (Figura 21).

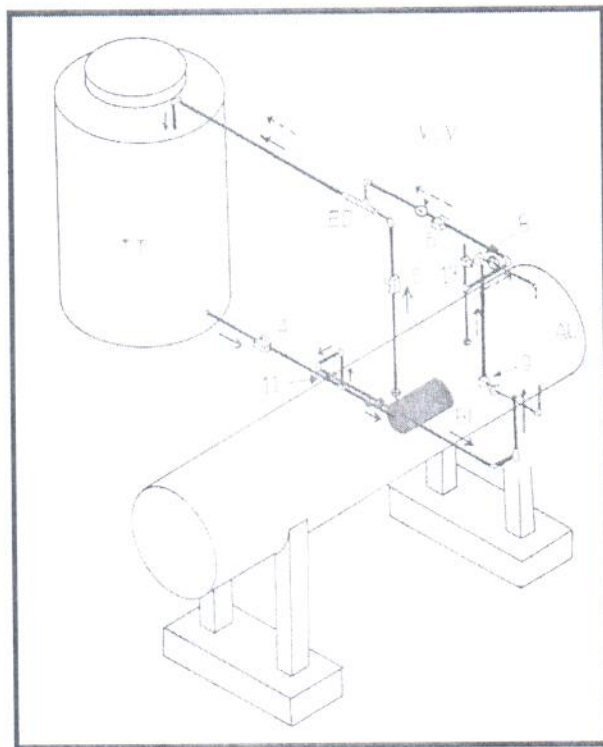


Figura 21. Sistema de llenado.

donde:

TT) Tanque de trabajo

AU) Autoclave

BI) Bomba de inyección

TNA) Tubo de nivel del autoclave

ED) Eductor

VCV) Válvula check del sistema de vacío

4) Válvula de tanque de trabajo

5) Válvula general

6) Válvula de vacío

8) Válvula superior del tubo de nivel del autoclave

9) Válvula inferior del tubo de nivel del autoclave

11) Válvula de llenado

13) Válvula de venteo

4.7.4 Sistema de presión

Este sistema se encarga de introducir la solución preservadora mediante presión a la madera. Su principal componente es la bomba de inyección (b) (Figura 22).

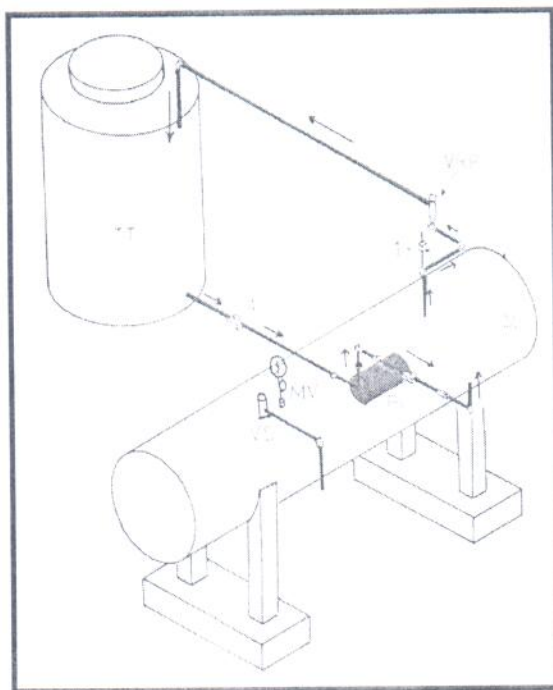


Figura 22. Sistema de presión.

donde:

TT) Tanque de trabajo

AU) Autoclave

BI) Bomba de inyección

VRP) Válvula reguladora de presión

VCP) Válvula check del sistema de presión

MV) Manovacúmetro

VS) Válvula de seguridad

4) Válvula de tanque de trabajo

10) Válvula de presión

13) Válvula de venteo

4.7.5 Sistema de abatimiento de presión

Este sistema se ocupa para abatir la presión positiva que se tenga en el autoclave terminado el proceso de presión, se abre la válvula de abatimiento de presión No. 12 (Figura 23).

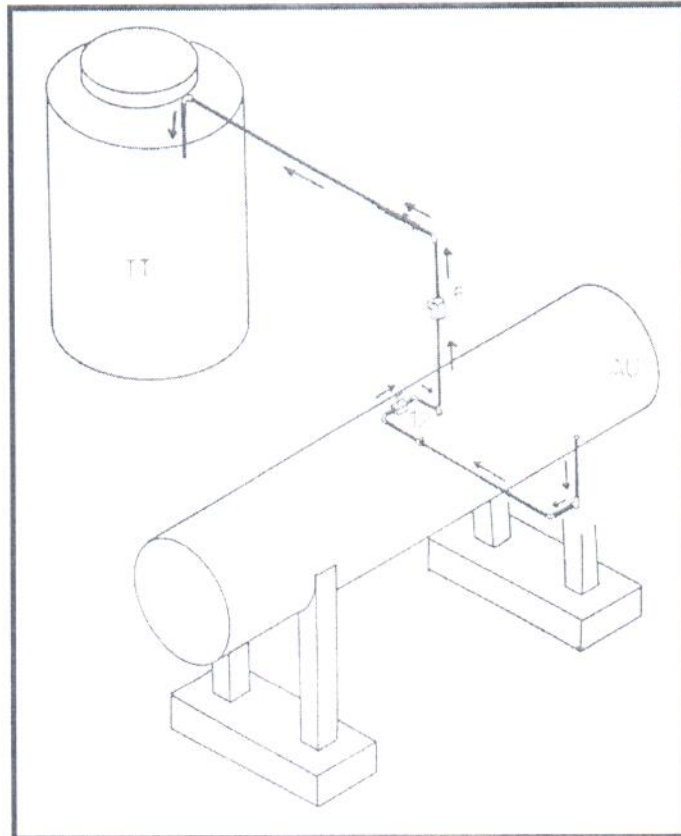


Figura 23. Sistema de abatimiento de presión.

donde:

TT) Tanque de trabajo

AU) Autoclave

5) Válvula general

12) Válvula de abatimiento de presión

4.7.6 Sistema de vaciado

Este sistema se encarga de vaciar el autoclave de la solución preservadora, llevándola al tanque de trabajo, abriendo las válvulas 7, 14 y 3 (Figura 24).

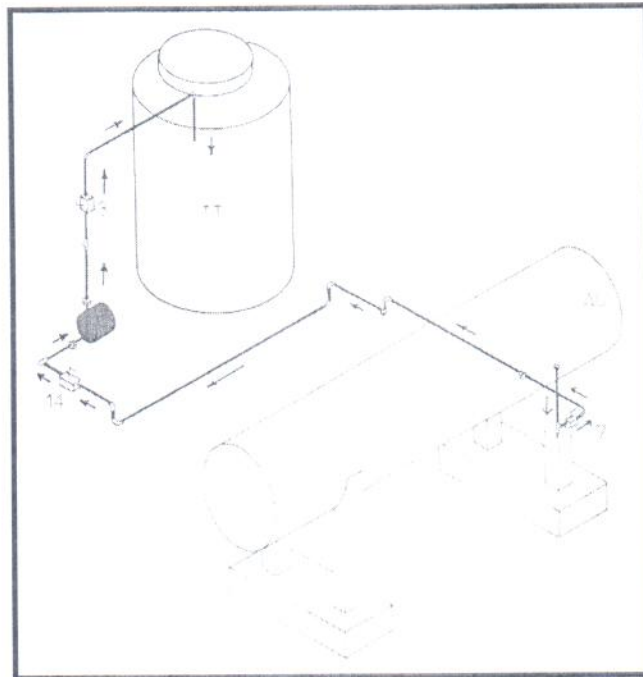


Figura 24. Sistema de vaciado.

donde:

TT) Tanque de trabajo

AU) Autoclave

BT) Bomba de transferencia

3) Válvula de transferencia en sistema de mezcla

7) Válvula de vaciado

14) Válvula de recirculación en sistema de mezcla y vaciado de autoclave

4.7.7 Sistema de carga y descarga de madera

Este sistema se utiliza para introducir y sacar la madera que se impregna (Figura 25).

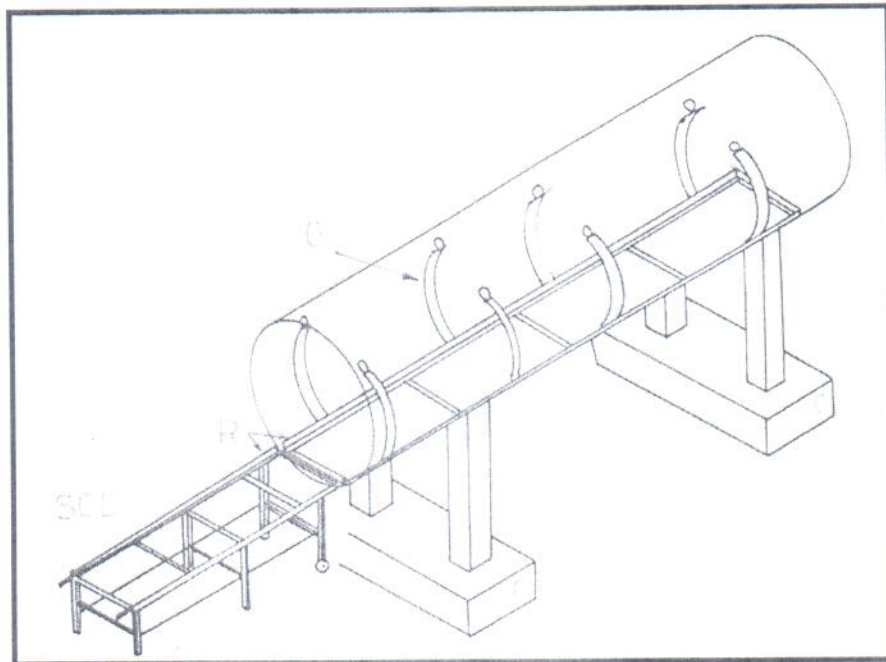


Figura 25. Sistema de carga y descarga.

donde:

AU) Autoclave

R) Rieles

G) Góndola

C) Cimentación

4.7.8 Sistema eléctrico

Este sistema se requiere para proveer y controlar el encendido y apagado de las bombas de la planta (Figura 26).

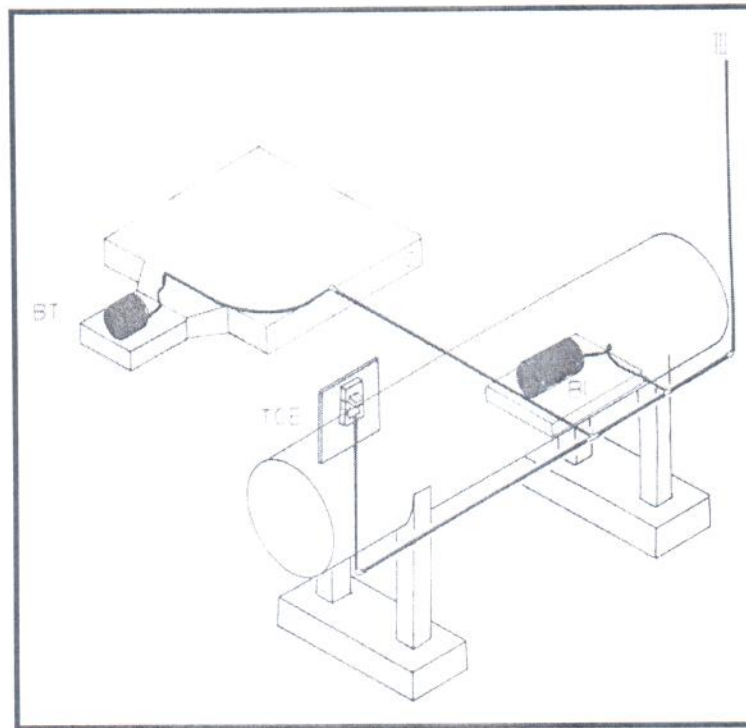


Figura 26. Sistema eléctrico.

donde:

AU) Autoclave

III) Acometida eléctrica

BT) Bomba de transferencia

BI) Bomba de inyección

TCE) Tablero de control eléctrico

C) Cimentación

4.8 VALIDACIÓN DE LA PLANTA DE IMPREGNACIÓN

4.8.1 Planeación de la impregnación

Se planeó la impregnación en base a la norma mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2001 (S.E. 2001) que establece una retención de 6.4 Kg/cm² para el nivel de riesgo 2.

4.8.2 Preparación de la solución impregnante

Se estableció una concentración de la solución impregnante de 2.5 %, para ello el tanque de mezcla fue llenado con agua hasta tener 225 Lt, posteriormente se introdujeron 10 Kg de la pasta de sales CCA-A (C-55) que tiene una concentración de óxidos de 55 % y se mezclaron agitando la mezcla con aire a presión y la recirculación de la solución. Ya disuelta la pasta en el agua se hace el traspaso de esta solución al tanque de trabajo. Haciendo esta operación cuatro veces para satisfacer la capacidad del tanque de trabajo que es de 900 Lt.

El cálculo aritmético de la concentración fue el siguiente:

$$\text{Concentración de la solución (\%)} = \frac{\text{Kg de preservador base óxidos}}{100 \text{ Lt de agua}}$$

4.8.3 Madera impregnada

Se impregnaron 9 tablas de madera de pino de 0.019 x 0.20 x 2.44 m, dando un volumen de 36 pt equivalentes a 0.0849 m³.

4.8.3.1 Absorción estimada

Esta es la cantidad de solución preservadora, expresada en Lt/m³ que debía absorber la madera para lograr la retención requerida en base a la concentración de la solución impregnante.

$$\text{Absorción estimada} = \frac{\text{Retención (Kg/m}^3\text{)}}{(\text{Kg de óxidos/100 Lt de agua})} = \text{Lt/m}^3$$

La absorción estimada resulto de 21.73 Lt para los 0.0849 m³ que se impregnaron.

4.8.3.2 Penetración

Los requisitos mínimos de penetración que se consideraron son los que la norma NMX-C-322-ONNCCE-2001 (S.E. 2001) recomienda, que debe ser del 100 % de la albura.

4.8.3.3 Retención sugerida

La retención es la cantidad de preservador base óxidos que debe retener la madera para lograr el nivel de protección requerido, para el nivel de riesgo seleccionado, que para este trabajo se eligió el riesgo 2 de la norma mexicana

NMX-C-322-ONNCCE-2001 (S.E. 2201), la cual establece una retención mínima de 6.4 Kg/m³.

$$\text{Retención sugerida} = \frac{\text{Kg de preservador consumido base óxidos}}{\text{Volumen de madera impregnada (m}^3\text{)}} = \text{Kg/m}^3$$

Así la retención "bruta" para el volumen de madera a impregnar (0.0849 m³) debió ser de 6.4 Kg/m³ x 0.0849 m³ = 0.543 Kg (base óxidos).

4.8.4 Impregnación de la madera

El proceso de impregnación que se llevó a cabo es el de célula llena o método Bethell. En este método se realizó primero se cargó el autoclave con la madera y se realizó un vacío inicial, en seguida se llenó el autoclave con la solución preservadora, posteriormente la solución impregnante se inyectó a la madera, una vez impregnada la carga de madera se vació el autoclave y por último se hizo un vacío final de recuperación y se descargó el autoclave de la madera (Figura 1).

4.8.5 Diagrama de flujo del proceso de impregnación

Este diagrama se elaboró para mostrar gráficamente la secuencia del proceso de impregnación de la madera según el diseño de la planta (Figura 27).

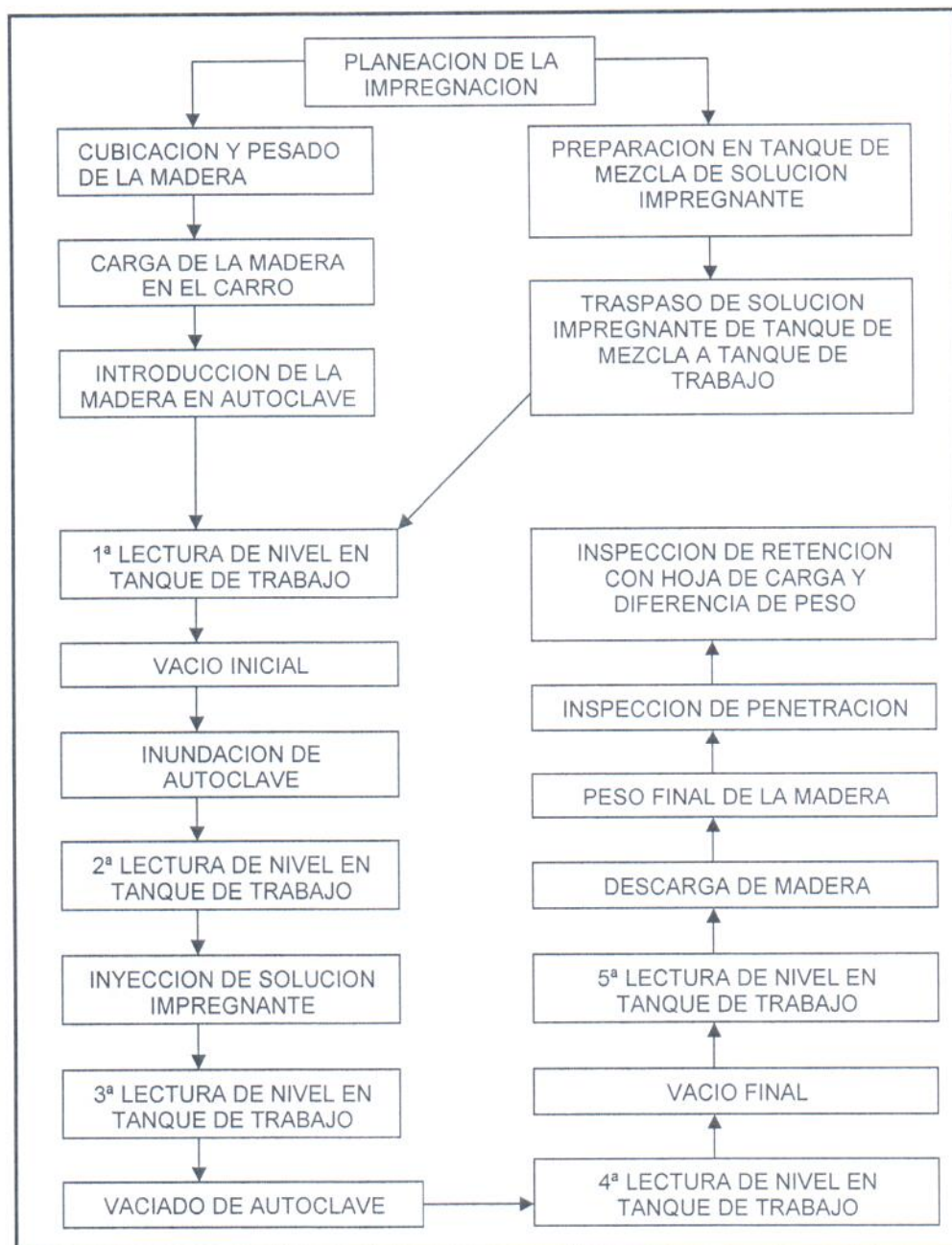


Figura 27. Diagrama de flujo del proceso de impregnación.

4.8.6 Hoja de carga

Con la hoja de carga se llevó el control del proceso de impregnación, registrando la especie, los metros cúbicos de madera y el nivel de riesgo que se consideró, anotando los tiempos y niveles de solución impregnante en cada etapa del proceso, con los resultados, se calcularon la absorción y retención.

4.8.7 Costos de construcción y validación

Se hizo un listado de todos los materiales involucrados en la construcción del autoclave, del equipo y de los viáticos del proyecto, considerándose un monto de \$ 48,800.00

4.8.8 Cronograma de construcción

El Cuadro tuvo la finalidad de marcar los tiempos en cada paso de la construcción de la planta.

Cuadro 3. Cronograma de tiempos de construcción de la planta.

ACTIVIDAD								
1. MANUFACTURA DE AUTOCLAVE	XXXX	XXXX	XXXX					
2. COMPRA DE EQUIPO AUXILIAR		XXXX	XXXX					
3. COMPRA DE MATERIALES			XXXX					
3. MANUFACTURA DE CIMENTACIÓN				XX				
4. MONTAJE DE AUTOCLAVE Y BOMBAS					X			
5. INSTALACIÓN ELÉCTRICA						X		
6. INSTALACIÓN HIDRÁULICA							XXX	
7. PINTURA Y ROTULACIÓN								X

LAS X INDICAN SEMANAS.

TOTAL DE SEMANAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA 20 (5 MESES).

5. RESULTADOS

5.1 CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA

La planta de impregnación de maderas se ubicó en la esquina sureste del laboratorio de productos forestales de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo (Figura 28). Ocupando un área de 20.68 m² con la distribución en planta que se muestra en la Figura 29.

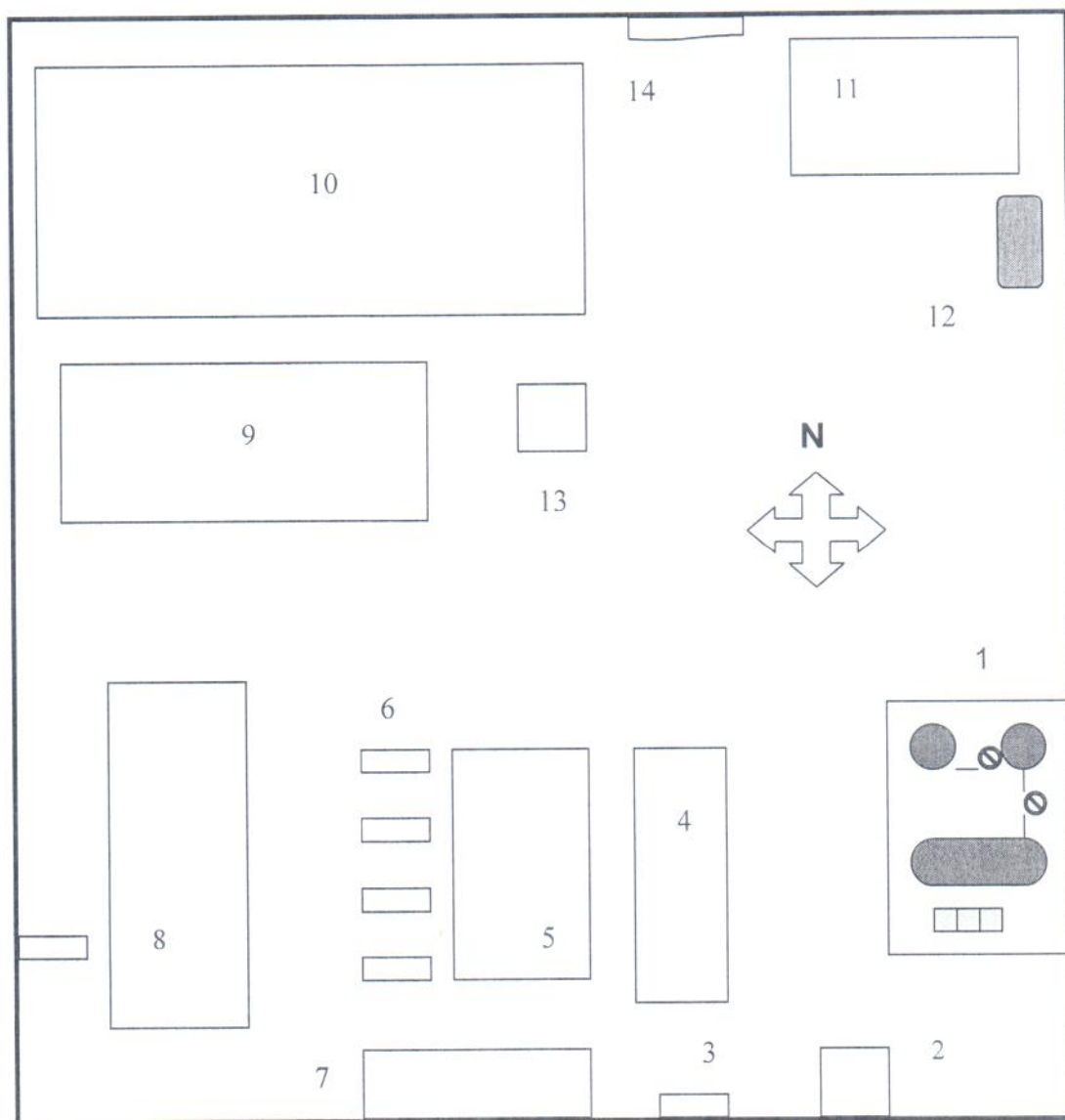


Figura 28. Ubicación de la planta en el laboratorio.

donde:

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1) Planta de impregnación | 8) Aserradero |
| 2) Estufa de secado | 9) Bodega y almacén |
| 3) Torno para chapa | 10) Carpintería |
| 4) Mesa de avance de chapa | 11) Subestación eléctrica |
| 5) Estufa de secado para chapa | 12) Compresor de aire |
| 6) Prensa | 13) Casa prototipo de madera |
| 7) Taller de afilado | 14) Puerta principal |

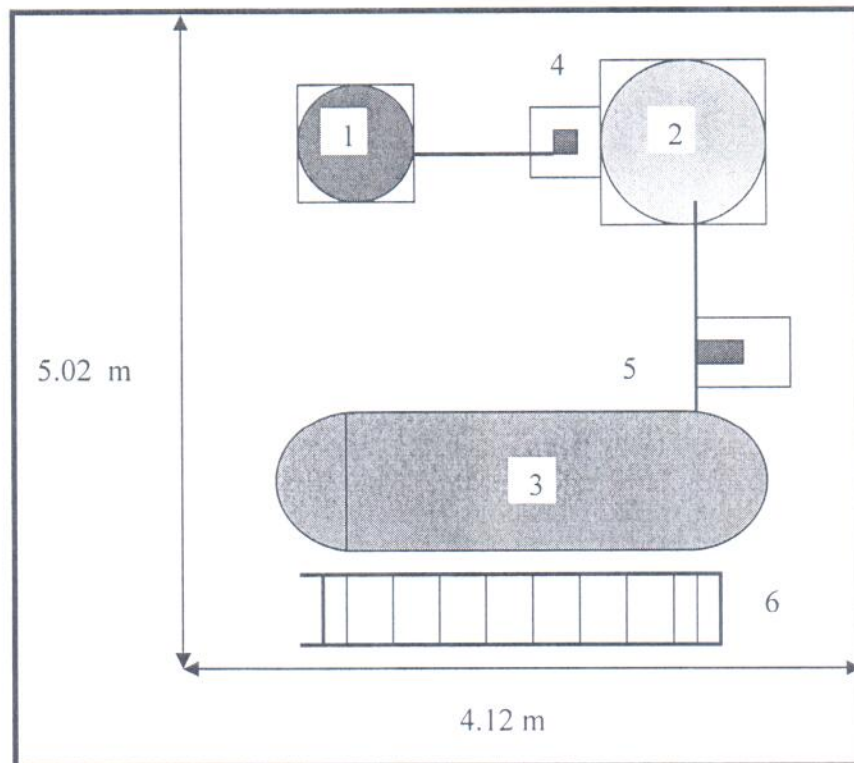


Figura 29. Distribución en planta.

donde:

- | | |
|----------------------|------------------------------------|
| 1) Tanque de mezcla | 4) Bomba de transferencia |
| 2) Tanque de trabajo | 5) Bomba de inyección |
| 3) Autoclave | 6) Carretilla con rieles y góndola |

5.1.1 Construcción del autoclave

El autoclave se fabricó en una compañía especializada en el ramo y tiene las siguientes dimensiones: 2.60 m de longitud y 0.60 m de diámetro, con un espesor de placa (tapas y cilindro) de 7.93 mm, con una presión de diseño de 13 Kg/cm² para trabajar a una presión de 10 Kg/cm² y por razones de investigación se decidió utilizar una presión de trabajo de 8 Kg/cm². En la tapa abatible se acondicionaron 8 pescantes para trabajar a una presión de 8 Kg/cm² y como la presión de diseño es de 13 Kg/cm² se necesitó de 15 pescantes en la tapa, por lo que por razones de seguridad y reparto equidistante entre tornillos se acondicionó un pescante más, adaptando finalmente 16 pescantes (Figura 30 y 31).

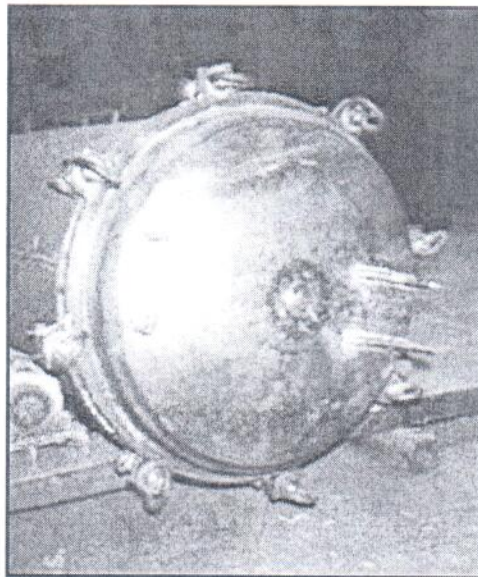


Figura 30. Tapa del autoclave en construcción.



Figura 31. Tapa del autoclave terminada

Se le acondicionó al cuerpo del autoclave seis conexiones para la válvula de seguridad de 1" de diámetro, para el manovacuómetro de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, para dos válvulas del tubo de nivel de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, para la toma de vacío y para la inyección de la solución impregnante de 1" de diámetro para ambas, como se muestra en la Figura 32. Al autoclave se le adaptó un bastidor (patas) para que fuese más funcional y estuviera elevada 50 cm de los cimientos.

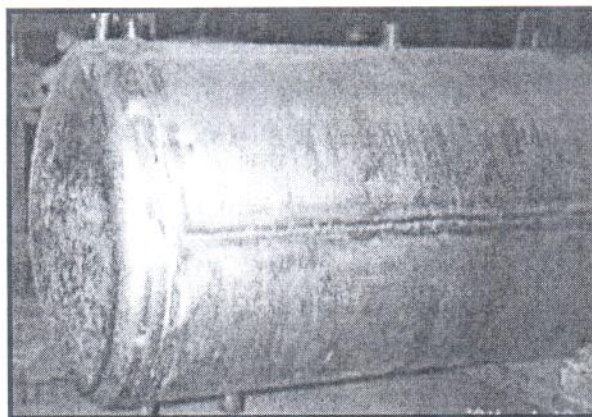


Figura 32. Conexiones y costuras en el autoclave.

5.1.2 Construcción de cimientos

Se construyeron cimientos armados con varilla de $\frac{3}{4}$ " y alambre, con una altura de 17 cm, para el tanque de mezcla, tanque de trabajo y autoclave, para la bomba de transferencia del sistema de mezcla, la bomba de inyección y el autoclave se ahogaron anclas en los cimientos para su sujeción, los materiales utilizados para hacer los cimientos se indican en el Cuadro 4, la altura de los cimientos de las bombas de transferencia e inyección fueron de 12 y 8 cm respectivamente (Figura 33).

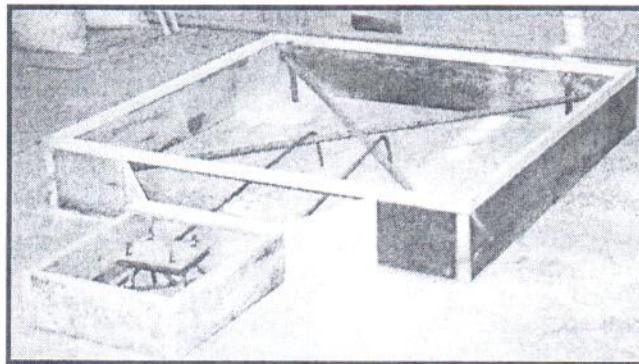


Figura 33. Estructura de cimientos.

Cuadro 4. Materiales utilizados en la elaboración de los cimientos.

Descripción del material	Cantidad
Bultos de cemento	3
Alambre recocado	5 Kg
Alambrón	8 Kg
Soldadura	3 Kg
Varilla de $\frac{1}{2}$ "	3.00 m
Placa	19 Kg
Varilla de $\frac{3}{4}$ "	6.00 m

5.1.3 Instalación de bombas

Las bombas se instalaron en sus cimientos, atornilladas con 4 pernos c/u a las anclas. La bomba de inyección es de turbina con la capacidad para elevar la presión hasta 11 Kg/cm^2 en el autoclave, está adaptada a un motor de 2 HP, trifásico (Figura 34).

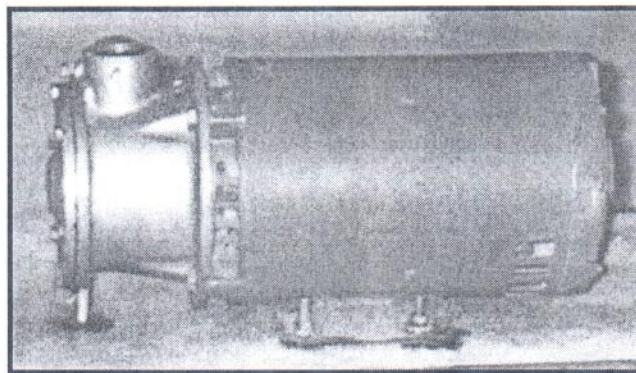


Figura 34. Bomba de inyección.

La bomba de transferencia tiene un impulsor de aspas, adaptada a un motor de $\frac{1}{4}$ HP monofásico (Figura 35).

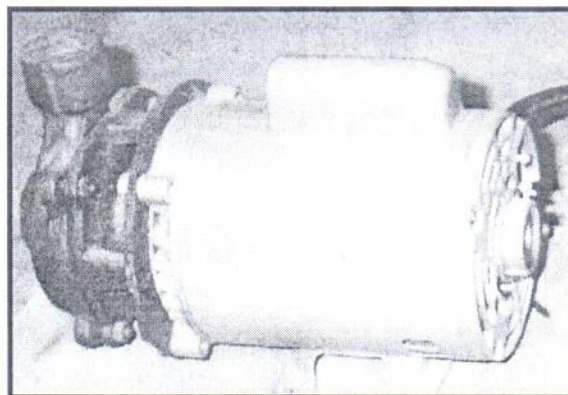


Figura 35. Bomba de transferencia.

5.1.4 Montaje del autoclave e instalación del sistema eléctrico

El Autoclave se monto en sus cimientos, las patas se sujetaron a las anclas con 4 tornillos c/u. Ver figura 36. A un costado del autoclave se fijó el tablero de control eléctrico de las bombas, el sistema eléctrico esta compuesto por cable del # 10, en el cuadro No. 5 se presentan los materiales que se utilizaron en el sistema eléctrico.

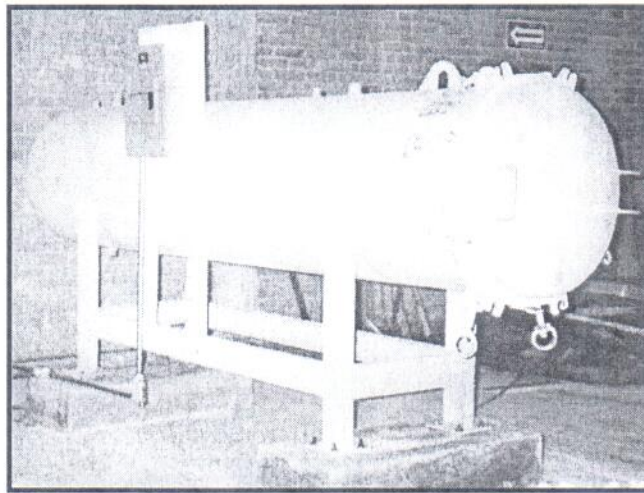


Figura 36. Autoclave montada en cimientos, bastidor sujetado en anclas de cimientos y conexión de sistema eléctrico.

Cuadro 5. Material utilizado en el sistema eléctrico

Descripción del material	Cantidad
Placa para tablero	1
Cable del # 10	150 m
Centro de carga	1
Pastilla de 3 x 20	1
Pastilla de 1 x 30	1
Tubo para pared	8.00 m
Condulet de ½"	6
Condulet T de ½"	2
Cable uso rudo	2.00 m
Conectores para uso rudo	4
Omegas de ½"	6
Taquetes de ¼"	50

5.1.5 Montaje de los tanques de mezcla y de trabajo

Los tanques de mezcla y tanque de trabajo tienen una capacidad volumétrica de 250 y 1,100 litros respectivamente, son de plástico y se montaron sobre los cimientos de concreto (Figura 37).

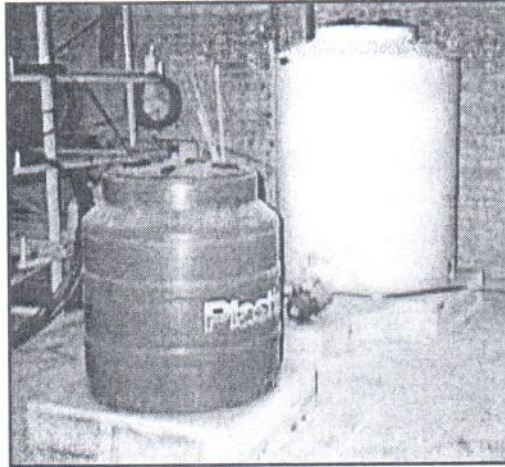


Figura 37. Tanques de mezcla y trabajo montados en cimientos.

5.1.6 Manufactura y ensamblado de tuberías

La tubería de la planta que se instaló es de dos clases, la primera clase de tubería es de cédula 40, negra y sin costura que se utilizó para las líneas que están sujetas a presión, las conexiones de esta clase de tubería son de cédula 80 como son: codos, tees y tuercas unión, mientras que la segunda clase de tubería es de cédula 40, con costura y galvanizada, para las líneas de la planta que no están sujetas a presión, las conexiones para esta clase de tubería son de cedula 40 y galvanizadas. Como son: codos, tees, cruces y reducciones. El diámetro de la tubería es de 1" NPT y para el tubo de nivel del autoclave es de un diámetro de $\frac{3}{4}$ " NPT, para el suministro de agua y aire a

presión en sistema de mezcla las tuberías son de $\frac{1}{2}$ " NPT de diámetro. Las válvulas de paso en el sistema de presión tienen una resistencia de 63 Kg/cm^2 , mientras que las válvulas de paso de los sistemas restantes, que no están sujetos a presión tienen una resistencia de 4 Kg/cm^2 . Las válvulas de paso del tubo de nivel del autoclave son de fierro de $\frac{3}{4}$ " NPT y tienen una resistencia de 35 Kg/cm^2 . el tubo de nivel del autoclave es de vidrio transparente y presenta una resistencia de 9 Kg/cm^2 .

5.1.7 Montaje del eductor en línea de vacío

El eductor se montó en línea de vacío, por medio de una reducción campana de $1" \times \frac{3}{4}"$ en la conexión de entrada, en la conexión de succión por un cople de $1"$ y en la conexión de salida por un cople de $1"$ (Figura 38).

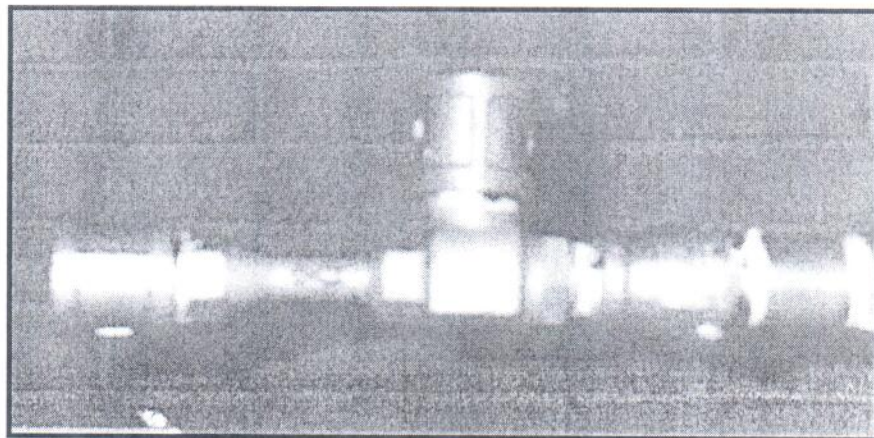


Figura 38. Eductor ensamblándose en línea de vacío.

5.1.8 Instalación de líneas de aire comprimido y agua

La conexión del aire comprimido al tanque de mezcla y al tanque de trabajo se hizo mediante tubería de $\frac{1}{2}$ " galvanizada desde el compresor general del laboratorio de productos forestales (Figuras 39 y 40). Mientras que la toma de agua para el sistema de mezcla se hizo desde la red principal de agua de la División de Ciencias Forestales.

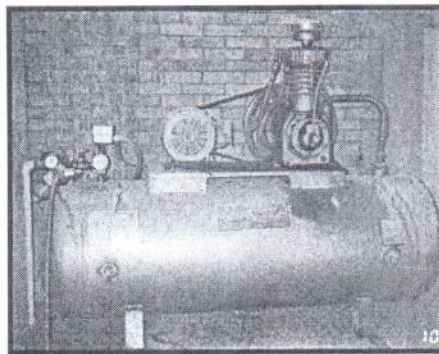


Figura 39. Compresor de aire.

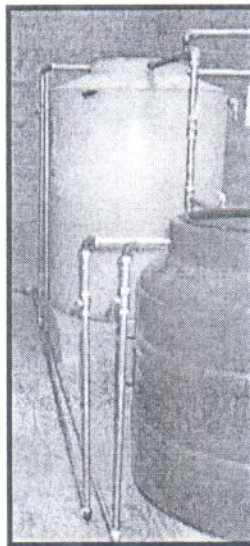


Figura 40. Líneas de agua y aire a presión.

5.1.9 Rieles y góndola para carga y descarga de madera

Para facilitar la carga de madera que se impregnó, se adaptó un sistema de carga y descarga, el cual consiste en una carretilla conformada por un par de rieles y otro par de rieles dentro del autoclave, acoplables entre si, sobre los cuales se desliza una góndola con aros para la sujeción de la madera que se impregnó. La carretilla es móvil y se retira de la entrada del autoclave para poder cerrar la tapa (Figura 41).

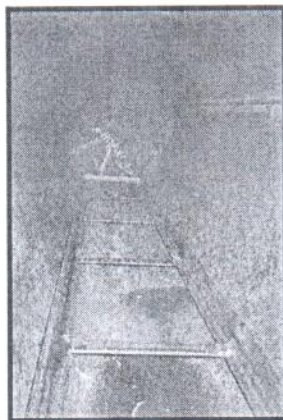


Figura 41. Riel interior del autoclave.

5.1.10 Instalación de válvula reguladora de presión, válvula de seguridad y manovacuómetro

La válvula reguladora de presión esta calibrada para abrir a una presión de 8 Kg/cm^2 , montada en la línea de presión a una conexión de 2" NPT, de esta manera el sistema siempre tendrá una presión constante (Figura 42). La válvula de seguridad está calibrada para abrir a 9 Kg/cm^2 en caso de emergencia y montada sobre el cuerpo del autoclave a una conexión de 2" NPT. El manovacuómetro está montado también sobre el cuerpo del autoclave a una

conexión de ½" NPT y tiene interconectado una cola de cochino para que la presión no afecte en demasía al medidor, el diámetro de la carátula es de 4" y tiene una graduación de -76 a 0 centímetros de mercurio para verificar el vacío generado en el proceso y una graduación de 0 a 14 Kg/cm² para verificar la presión generada en el proceso (Figura 43).

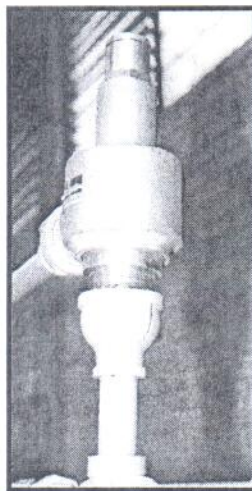


Figura 42. Válvula reguladora de presión.



Figura 43. Válvula de seguridad y manovacúometro.

5.1.11 Planta terminada

El sistema de mezcla conformado por el tanque de mezcla, tanque de trabajo acondicionado con tubo de nivel y escala volumétrica, bomba de transferencia, suministro de aire a presión y agua, tuberías y válvulas 1, 2, 3 y 14 se presentan en la Figura 44, terminados y rotulados.

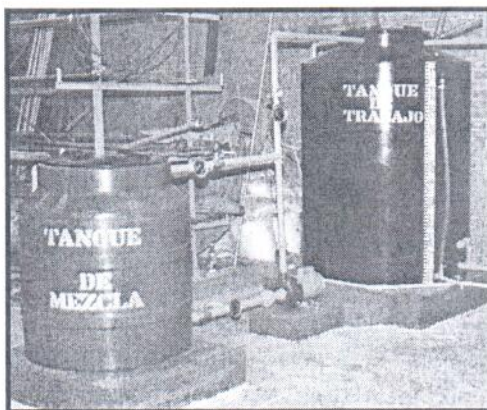


Figura 44. Sistema de mezcla.

El material y equipo que se ocupó para el sistema de mezcla es el que se presenta en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Material y equipo del sistema de mezcla.

Descripción del material	Cantidad
Tinaco con capacidad de 250 Lt.	1
Tinaco con capacidad de 1100 Lt.	1
Bomba de transferencia de 1/4 H.P	1
Válvula de 1 ¼" (válvula No 1)	1
Válvulas de 1" (Válvulas No 2,3 y 14)	3
Tuerca unión de 1 ¼"	1
Tuerca unión de 1"	1
Tubo de 1 ¼"	0.74 m
Tubo de 1"	4.50 m
Codos de 1" galvanizados	3
Tee de 1" galvanizada	1
Manguera de ¾" para tubo de nivel	1.30 m
Escala de longitud	1.20 m

En el sistema de vacío el equipo principal es el eductor, equipo que hizo el vacío en el proceso de impregnación, este vacío se hace recirculando la solución preservadora con la bomba de inyección, haciendo pasar la solución por el eductor y este genera el vacío por succión, se indica en la Figura 45 la instalación del eductor. Este equipo sustituye a una bomba de vacío cuyo costo es muy alto comparado con el eductor, consume energía eléctrica y se le tiene que dar mantenimiento, condiciones que el eductor no necesita.

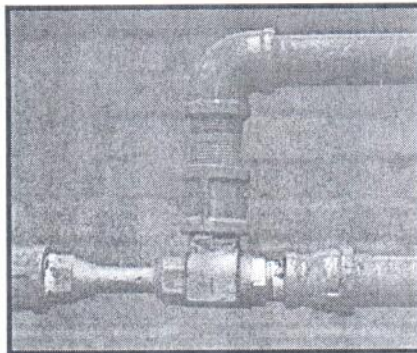


Figura 45. Eductor instalado.

En el Cuadro 7 se presentan los materiales y equipos utilizados para el sistema de vacío.

Cuadro 7. Material y equipo del sistema de vacío.

Descripción del material	Cantidad
Eductor para vacío	1
Válvula check de retención de vacío (cap. 4Kg/cm ²)	1
Válvula de paso (capa. 63 Kg/cm ²) (No. 5 y 6)	2
Reducción campana 1" x 3/4"	1
Cople de 1"	2
Niple de cuerda corrida de 1"	1
Codo de 1" ced. 40 galvanizado	3
Codo de 1" ced. 80 negro	1
Tubería de 1" galvanizada	3.10 m
Tubería de 1" cédula 40 negra sin costura	0.81 m

Para el sistema de llenado solamente se ocupó de una válvula de paso, la No. 11. Para el sistema de presión la bomba de inyección es el equipo más importante y se acopló una válvula check de retención de presión con una capacidad de 65 Kg/cm² y una válvula de paso la No.10 (Figura 46).

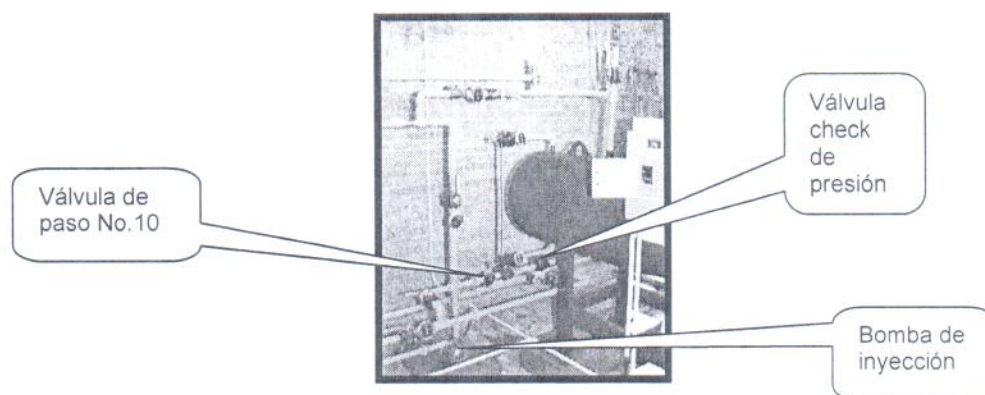


Figura 46. Sistema de presión.

En el Cuadro 8 se indican los materiales y equipos utilizados en la fabricación de los sistemas de llenado y presión de la planta de impregnación.

Cuadro 8. Material y equipo de los sistemas de llenado e inyección.

Descripción del material	Cantidad
Válvula de paso (cap. 63 Kg/cm ²) (No. 11)	1
Tubo de nivel	1
Par de válvulas del tubo de nivel	1
Tubo de ¾" para tubo de nivel en autoclave	0.70 m
Codo de ¾" cédula 80 para tubo de nivel	2
Par de bridas de ¾" con empaques y tornillos de ½"	2
Bomba de inyección	1
Válvula check de retención (cap. 65 Kg/cm ²)	1
Válvula de paso (cap. 63 Kg/cm ²) (No. 10)	1
Válvula reguladora de presión	1
Válvula de seguridad	1
Manovacúmetro	1
Tubo de 1" cédula 40 negro sin costura	0.62 m
Te de 1" cédula 80	1
Cruz de 1" cédula 80	1
Tuerca unión de 1" cédula 80	1

En el sistema de abatimiento de presión se necesitó de una válvula, la No. 12, en el sistema de vaciado se necesitaron 3 válvulas, la No. 7, la No. 13 y la No. 14. En el Cuadro 9 se presentan los materiales que se necesitaron para hacer los sistemas de abatimiento de presión y vaciado.

Cuadro 9. Materiales de los sistemas de abatimiento de presión y vaciado.

Descripción del material	Cantidad
Válvula de paso para abatir presión de 1" (Cap. 63 Kg/cm ²) (No. 12)	1
Tubo de 1" ced. 40 sin costura.	1.67 m
Válvulas de paso para vaciar autoclave (cap. 63 Kg/cm ²) (No. 7, 13 y 14)	3
Tubo de 1" ced. 40 galvanizado	3.10 m
Codo de 1" cédula 80	4
Tees de cédula 80 negras	4
Tuerca unión cédula 80 negra	3

El sistema de carga y descarga se hizo con ángulo de 1", solera de 1" y varilla de ¾". En la Figura 47 se muestran la carretilla y la góndola donde se transporta la madera que se impregnó. Así como una panorámica de la planta de impregnación terminada.

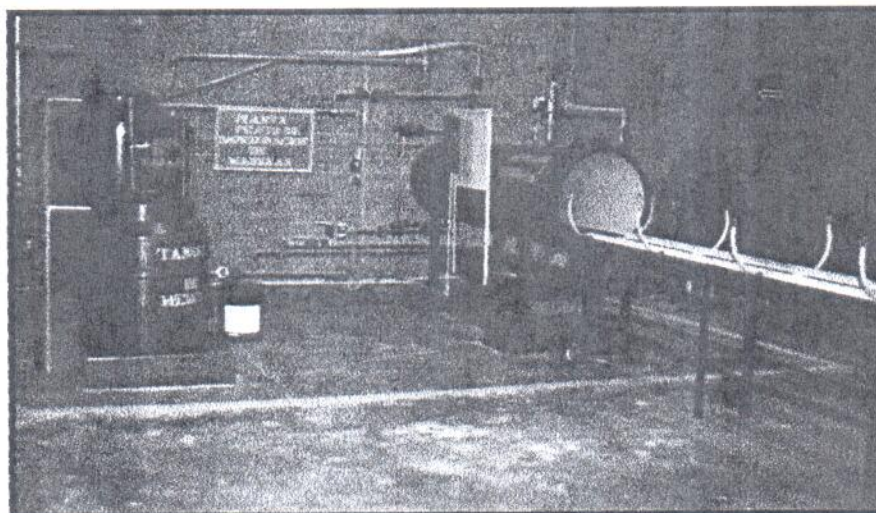


Figura 47. Sistema de carga y descarga y vista total del autoclave.

La tubería de los sistemas generalmente se comparte entre ellos, por lo que si en algún sistema aparece una cantidad menor de tubería es porque ya se consideró en otro ya visto y que se comparten la tubería.

En el Cuadro 10 se presentan los materiales utilizados para la elaboración del sistema de carga y descarga.

Cuadro 10. Materiales utilizados para el sistema de carga y descarga.

Descripción del material	Cantidad
Angulo de 1"	24.00 m
Solera de 1"	6.00 m
Soldadura	1.5 Kg
Valeros (ruedas)	4
Ruedas de goma de 6" de diámetro	2
Varilla de ¾"	5.20 m

Para concluir con la construcción de la planta de impregnación se pintaron todos los sistemas y se rotularon los tanques y autoclave. En el Cuadro 11 se indican los materiales que se utilizaron en el acabado final de la planta.

Cuadro 11. Materiales utilizados para el acabado de la planta.

Descripción del material	Cantidad
Pintura esmalte verde	2.00 Lt
Pintura anticorrosiva amarilla	1 Lt
Pintura esmalte amarilla para señalamientos	1 Lt
Pintura esmalte azul marino	½ Lt
Pintura esmalte blanca	½ Lt
Thiner	6 Lt
Brochas de 2"	4
Estopa	3 Kg
Pintura en aerosol	1 Lt
Rótulos	3

5.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

A continuación se mencionan a manera de listado las diferentes variables que se manejaron en el proceso de prueba de operación de la planta de impregnación.

5.2.1 Planeación de la impregnación

5.2.1.1 Madera a impregnar

- a) Especie: *Pinus sp.*
- b) Dimensiones: 0.019 X 0.20 X 2.44 m
- c) Volumen en pt: 4
- d) Volumen en m³: 0.00943
- e) Cantidad de piezas: 9
- f) Pies tabla _(total): 36
- g) m³ _(total): 0.0849
- h) Contenido de humedad: 14 %
- i) Peso inicial: 44.400 Kg
- j) Peso final: 70.400 Kg

5.2.1.2 Solución impregnante y requerimientos de impregnación

- k) Concentración de la solución impregnante: 2.5 %
- l) Nivel de riesgo: 2
- m) absorción: 256 Lt/m³
- n) Absorción requerida: 21.73 Lt para 0.0849 m³
- ñ) Retención: 6.4 Kg /m³ de óxidos CCA

o) Retención estimada: 0.543 Kg para 0.0849 m^3

p) Cantidad de sales CCA-C55 a utilizar:

- * Volumen de Autoclave: 785 Lt

- * Volumen de solución impregnante requerido: $785 \text{ Lt} + 10 \% = 863.50 \text{ Lt}$

- * Sal comercial CCA-C55 necesaria: 39.20 Kg o 21 59 Kg de óxidos.

q) Método de impregnación: célula llena o método Bethell.

5.2.2 Guía de operación de la planta de impregnación

Para iniciar la operación de la planta se presenta el siguiente proceso en el cual se muestran las etapas de manera secuenciada.

1ª) Para comenzar el proceso de impregnación se pesó la madera obteniendo un peso inicial de 44.400 Kg (Figura 48).

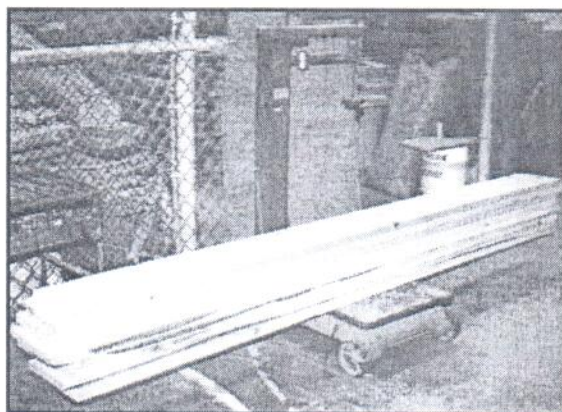


Figura 48. Registro de peso inicial de la carga.

2ª) Se cerraron todas las válvulas de la planta, desde la No. 1 hasta la No. 19

3ª) Se preparó la mezcla de sales CCA-C55 llenando el tanque de mezcla con agua, abriendo la válvula No. 17, hasta el nivel de 225 Lt, se adicionaron 10 Kg de sales CCA-C55, para tener una concentración del 2.5 %, para iniciar la mezcla se abrió la válvula No. 16 del aire a presión para iniciar la mezcla por medio del burbujeo, se abrieron también las válvulas No. 1 y 2 y se puso en marcha la bomba de transferencia (BT), ya que con la recirculación de la solución se ayudó a mezclarse las sales con el agua (Figura 49), una vez que se consideró bien hecha la mezcla se abrió la válvula No. 3 y se cerró la válvula No. 2 para transferir la mezcla del tanque de mezcla (TM) al tanque de trabajo (TT). Esta operación se realizó 4 veces para llenar el tanque de trabajo a un volumen de 902 litros. Por último se apagó la bomba de transferencia y se cerraron las válvulas 16, 17, 1 y 3.

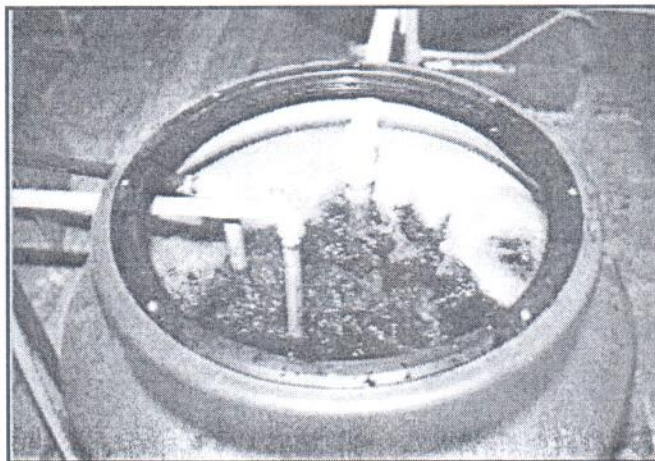


Figura 49. Mezclado de sales CCA.

4ª) Se abrió la tapa del autoclave y se acopló la carretilla del sistema de carga y descarga con los rieles del autoclave, se colocó la madera en la góndola y

se sujetó con los tirantes y los ganchos, se deslizó la góndola con la madera al interior del autoclave (Figura 50). Una vez concluido lo anterior se cerró el autoclave, y se anotó en la hoja de carga, en el Cuadro 12, el **nivel 1** que presentaba el tanque de mezcla.

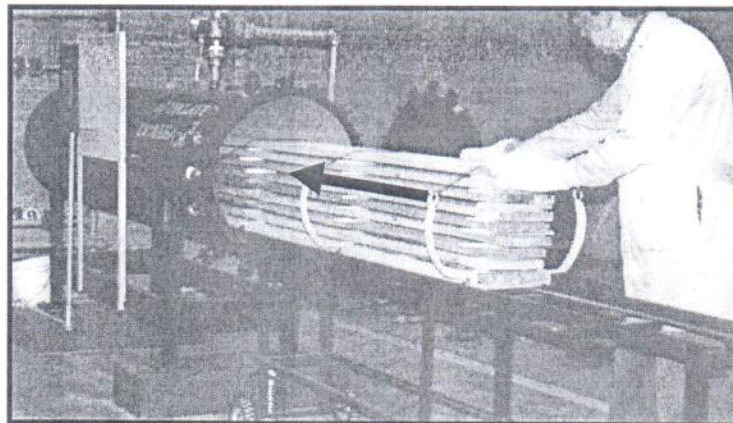


Figura 50. Introducción de la carga al autoclave.

- 5ª) Para iniciar la etapa de vacío se abrieron las válvulas No. 4, 5 y 6 y se puso en marcha la bomba de inyección, para hacer pasar la solución preservadora por el eductor y generar el vacío, una vez llegado al vacío de 25 cm de Hg se paró la bomba y se mantuvo éste por 22 minutos.
- 6ª) Se inició el llenado del autoclave y conservando el vacío logrado se abrió la válvula No. 11 para permitir la entrada de solución preservadora al autoclave por medio de la succión del mismo vacío, por la entrada de la solución preservadora se fue perdiendo el vacío, se necesitó encender la bomba de inyección para regresar al vacío deseado. Para ver el nivel de llenado del autoclave se abrieron las válvulas del tubo de nivel 8 y 9. Una vez llenado el autoclave se apaga la bomba de inyección, se cierran las válvulas 5, 6, 8, 9

y 11, y se anotó en la hoja de carga del Cuadro 12, el **nivel 2** que presentó el tanque de trabajo.

7ª) Para inyectar la solución preservadora por medio de presión se abre la válvula No. 10, se enciende la bomba de inyección, cuando llegó la presión a 8 Kg/cm^2 se abrió automáticamente la válvula reguladora de presión y comenzó a desfogar solución preservadora para mantener la presión constante (Figura 51). El proceso de presión se detuvo cuando en el tanque de trabajo se registró que la madera ya había absorbido 20 Lt, y se anotó en la hoja de carga en el cuadro 12, el **nivel 3** al que quedó el tanque de trabajo. Se cierra las válvulas No. 10 y 4.

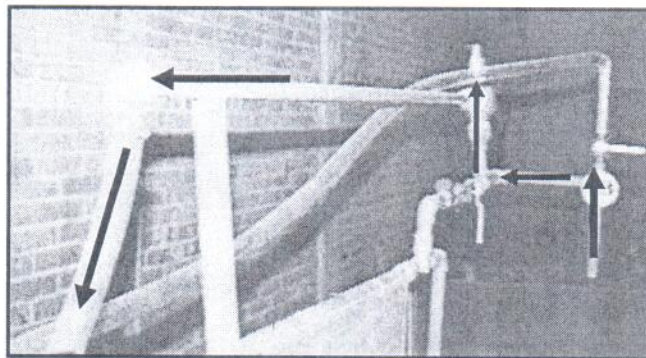


Figura 51. Desfogue de presión de válvula reguladora.

8ª) Para abatir la presión a la que se quedó sometida la madera se abrieron las válvulas No. 12 y 5, ya estando a presión atmosférica se cierran estas válvulas.

9ª) Para vaciar el autoclave de la solución preservadora se abrieron las válvulas No.13 de venteo, 7 y 14, y se enciende la bomba de transferencia, se

abrieron también las válvulas del tubo de nivel 8 y 9 para verificar el vaciado total del autoclave. Se apaga la bomba de transferencia y se cierran las válvulas 8, 9, 13, 7 y 14. Una vez terminada esta operación se registra el **nivel 4** que presentó el tanque de trabajo y se anotó en la hoja de carga.

10ª) Para el vacío final o de recuperación se abrieron las válvulas No. 4, 5 y 6 se encendió la bomba de inyección y se generó nuevamente un vacío de 25 cm de Hg, se apagó la bomba de inyección y se mantuvo el vacío por un tiempo de 15 minutos. Ya concluido este tiempo se cerraron las válvulas No. 4, 5 y 6 y para regresar a la presión atmosférica se abrió la válvula de venteo No. 13, se abrieron las válvulas No. 7, 8, 9 y 14 y se encendió la bomba de transferencia para regresar al tanque de trabajo la solución preservadora recuperada en el vacío final. Concluida la fase anterior se apagó la bomba de transferencia y se cerraron las válvulas 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13 y 14. Se registró el **nivel 5** que presentó el tanque de trabajo.

11ª) Para descargar la madera que se impregnó, se abrió la tapa del autoclave y se acopló nuevamente la carretilla a los rieles del autoclave para deslizar la góndola hacia el exterior. Ver figura 52.

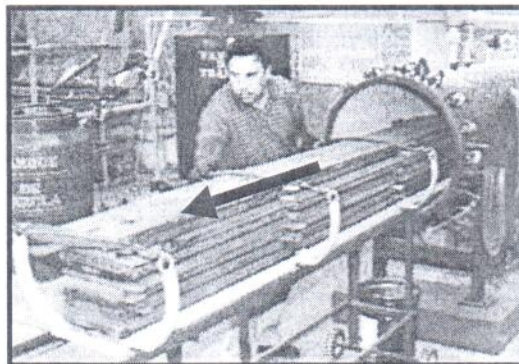


Figura 52. Salida de madera impregnada.

12ª) El final del proceso de impregnación terminó al registrar el peso final de la carga de madera impregnada. Dicho peso final fue de 70.400 Kg, con el peso inicial y el peso final se calculó la absorción real obtenida y se comparó con los resultados obtenidos con la hoja de carga (Cuadro 12).

En la Figura 53 se presenta gráficamente el diagrama real del proceso de impregnación de célula llena o Bethell llevado a cabo.

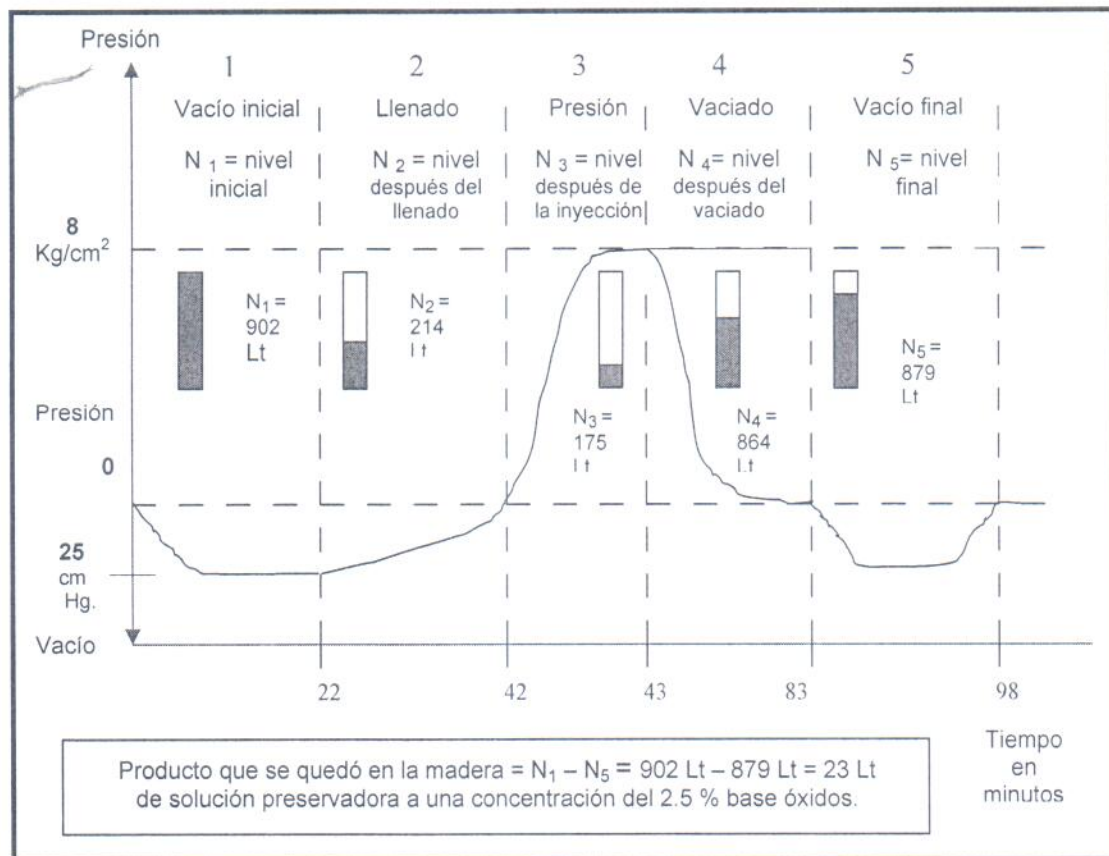


Figura 53. Diagrama del proceso de impregnación aplicado (Bethell).

Cuadro 12. Hoja de carga del proceso de validación de la planta.

CARACTERISTICAS DE LA MADERA A IMPREGNAR:						
Especie	Dimensiones	Volumen m ³	No de piezas	Preservador	Nivel de riesgo	C.H. %
Pinus sp.	0.019 x 0.20 x 2.44	0.0849	9	CCA-C/55	2	14
HISTORIAL DE LA IMPREGNACIÓN:						
	Presión Máxima o Vacío	Hora de Inicio	Hora de Término	Tiempo Transcurrido		
				Horas	Minutos	
Periodo de vacío inicial	25 cm/Hg	17:18	17:40		22	
llenado del autoclave		17:40	18:00		20	
Periodo de presión	8 Kg/cm2	18:00	18:01		1	
Periodo de vaciado		18:01	18:41		40	
Periodo de vacío final	25 cm/Hg	18:41	18:56		15	
Tiempo total de la impregnación				1	38	
ESPECIFICACION DE LA IMPREGNACION	a) Concentración de la solución			2.5 %		
	b) Promedio requerido de retención de óxidos CCA			6.4 Kg/m ³		
	c) Promedio requerido de absorción			256 Lt/m ³		
	d) Volumen de madera			0.0849 m ³		
	e) Absorción total requerida			22 Lt		
RESULTADO DE LA IMPREGNACIÓN	TANQUE DE TRABAJO			1) Nivel inicial		902 Lts
				2) Nivel al final del llenado		214 Lts
				3) Nivel al final de la presión		175 Lts
				4) Nivel al final de vaciado		864 Lts
				5) Nivel al término del vacío final		879 Lts
				6) Absorción total obtenida (1)-(5)		23 Lts
				7) Absorción neta obtenida (6/d)		270.90 Lts
				Sobrecarga (6)-(e)		1 Lts
				Bajocarga		Lts
				Retención real obtenida (7xa)/100		6.77 Kg/m ³
Sal comercial especificada	(e) x (a)/100 = 0.550 Kg					
Sal comercial consumida	(6) x (a)/100 = 0.575 Kg					
OBSERVACIONES: se consumieron 0.025 Kg mas de óxidos CCA y hubo una sobre retención de 0.37 Kg/m ³						

5.2.3 Evaluación de la calidad del proceso de impregnación resultante

5.2.3.1 Análisis de la absorción y retención por diferencia de peso

Utilizando el peso inicial de un volumen de 0.0849 m^3 de madera y el peso final del mismo, se obtuvo el siguiente cálculo de retención:

$$P_i = 44.400 \text{ Kg.}$$

$$P_f = 70.400 \text{ Kg.}$$

$$P_f - P_i = 70.400 \text{ Kg} - 44.400 \text{ Kg} = 26.00 \text{ Kg de solución impregnante absorbidos en } 0.0849 \text{ m}^3$$

Si la solución impregnante tiene una densidad relativa de 1.021, entonces esos 26 Kg representan 25.4 Lt de solución impregnante absorbida por la madera; por lo que la absorción neta lograda es de:

$$\begin{aligned} \text{Absorción lograda} &= 25.4 \text{ Lt} / 0.0849 \text{ m}^3 \\ &= 299 \text{ Lt/m}^3 \text{ (por este método)} \end{aligned}$$

Con esta absorción y la concentración de la solución impregnante se obtiene una retención de:

$$\text{Retención} = \frac{(\text{Absorción} \times \text{Concentración de la solución})}{100}$$

$$\text{Retención obtenida} = \frac{299 \times 2.5}{100 \text{ Lt}} = 7.4 \text{ Kg/m}^3 \text{ (por este método)}$$

5.2.3.2 Análisis de la absorción y retención con la hoja de carga

Nivel inicial en el tanque de trabajo = 902 Lt

Nivel final en el tanque de trabajo = 879 Lt

Solución absorbida por la madera = 23 Lt (Cuadro 12)

Si la solución impregnante tiene una densidad relativa de 1.021, entonces esos 23 Kg representan 22.5 Lt de solución impregnante absorbida por la madera; por lo que la absorción neta lograda es de:

$$\begin{aligned}\text{Absorción lograda} &= 22.5 \text{ Lt} / 0.0849 \text{ m}^3 \\ &= 265 \text{ Lt/m}^3 \text{ (por este método)}\end{aligned}$$

Con esta absorción y la concentración de la solución impregnante se obtiene una retención de:

$$\text{Retención} = \frac{(\text{Absorción} \times \text{Concentración de la solución})}{100}$$

$$\text{Retención obtenida} = \frac{265 \times 2.5}{100 \text{ Lt}} = 6.62 \text{ Kg/m}^3 \text{ (por este método)}$$

5.2.3.3 Verificación de la concentración de la solución impregnante

La solución impregnante se analizó al final del proceso de impregnación y se tomó una muestra de la solución directamente del autoclave, una vez retirada la carga de madera. El análisis se realizó en el laboratorio de anatomía de la madera de la División de Ciencias Forestales, utilizando un hidrómetro (Figura 45), el cual dio los siguientes datos:

a) densidad de la solución: 1.021

b) temperatura: $24^{\circ}\text{C} = 75^{\circ}\text{F}$



Figura 54. Medición de la concentración de solución impregnante.

Con la ayuda de las tablas hidrométricas (Anexo 1) de la compañía proveedora de las sales CCA-C (OSMOSE), se encontró que la solución

impregnante presentó una concentración del 2.5 %, concentración igual a la que se programó en un principio y a la que se preparó la solución al inicio de la impregnación, comprobando que la mezcla de la solución impregnante se realizó correctamente.

5.2.3.4 Análisis de penetración

Para el análisis de la penetración se preparó una solución indicadora a base de cromo-s-azurol-acetato de sodio y 5.0 g de acetato de sodio, según la norma NMX-C-410-ONNCCE-1999 (S. E. 1999). Para ello se disolvieron 0.5 g de cromo-s-azurol y 5 g de acetato de sodio en 80 ml de agua destilada, finalmente se diluyó todo en 500 ml de agua destilada. Con esta solución indicadora se aplicó en el corte transversal (Figura 55), con un pincel a dos muestras de madera extraídas de la carga de madera.

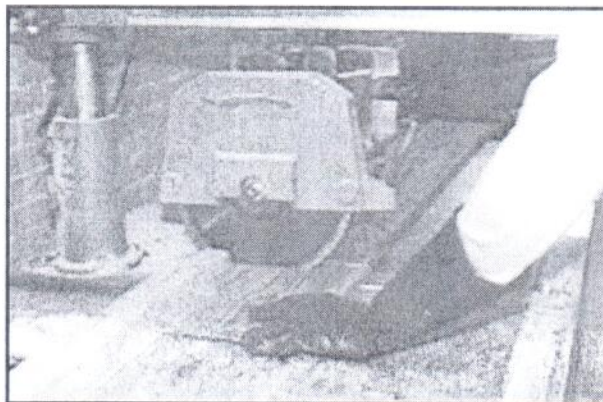


Figura 55. Corte de muestras de madera impregnada para analizar penetración.

La superficie untada con el indicador se tornó de un color azul intenso indicando la penetración que tuvo el preservador, en este caso la coloración

azul que apareció fue en toda la superficie del corte transversal, por lo que la penetración fue del 100 % (Figura 56).

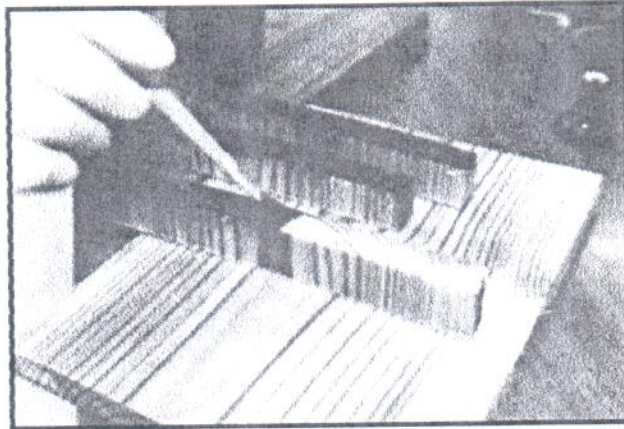


Figura 56. Aplicación de cromo azurol en muestras de madera impregnada.

5.3 COSTOS

Los costos que se tuvieron en el diseño, construcción y validación de la planta de impregnación de madera se presentan a continuación en el Cuadro 13, mientras que el origen de los recursos se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 13. Costos del proyecto, fabricación y validación de la planta de impregnación.

COSTO DE EQUIPO			
PARTIDA	PROVEEDOR	ARTICULO	PRECIO
1	EQUIPOS INOX. FONTANOT	AUTOCLAVE	\$ 12,525.00
2	FERRETERIA BERISTAIN	TANQUE DE MEZCLA	\$ 458.85
3	FERRETERIA BERISTAIN	TANQUE DE TRABAJO	\$ 1,552.50
4	JAIME ESPINOSA	BOMBAS DE INYECCION Y TRANSFERENCIA	\$ 7,406.00
5	JAIME ESPINOSA	SALES CCA-C55	\$ 1,840.00
6	I Y C I INDUSTRIALES	MANOVACUOMETRO	\$ 949.97
7	VALV DE SEG CUEVAS	VALVULAS DE SEGURIDAD Y ALIVIO	\$ 3,271.54
8	I Y C I INDUSTRIALES	VALV DE PASO Y CHECK	\$ 3,816.22
9	I Y C I INDUSTRIALES	TUBO DE NIVEL	\$ 125.91
10	OSMOSE	HIDROMETRO	\$ 1,529.50
11	RAWSON MEXICANA	EDUCTOR	\$ 3,601.11
SUBTOTAL 1			\$ 37,076.60
COSTO DE MATERIALES			
12	FERRETERÍA NETO	ANGULO, SOLERA Y VARILLA	\$ 1,000.00
13	FERRETERIA ERICK	CODOS, TUBOS Y VALVULAS	\$ 943.23
14	EL COBRE	PLACA	\$ 76.90
15	COMEX	PINTURA, THINER, Y BROCHAS	\$ 392.30
16	EMBOBINADOS OLVERA	ARREGLO DE LA BOMBA DE INYECCION	\$ 437.00
17	FOTO PERINORTE	REVELADO DE ROLLO FOTOGRAFICO	\$ 152.00
18	ALMACEN GRAL UACH	TUBOS, CODOS, VALVULAS Y TUERCAS	\$ 2,295.95
19	COMERCIAL BUGAMBILIAS	PLACA P/CIMENTACION	\$ 95.00
20	FERRETERIA LA FORTUNA	CEMENTO, ALAMBRE	\$ 348.00
21	DISTRIBUIDORA ELECTRICA	MATERIAL ELECTRICO	\$ 2,932.21
22	LA FERRE	REDUC CAMPANA DE 2" A 1"	\$ 141.91
23	FERRETERIA MIRAMONTES	MATERIAL DE PLOMERIA	\$ 544.44
24	FERRETODOS	BRIDAS, COLA DE COCHINO	\$ 207.64
25	INFRA	SOLDADURA	\$ 15.98
SUBTOTAL 2			\$ 9,582.56

Continuación Cuadro 13.

PASAJES Y VIATICOS (VISITAS A EMPRESAS IMPREGNADORAS)		
26	IMPREGANDORA LA REFORMA, S. A. DE C. V. EN LA CIUDAD DE DURANGO, DGO.	\$ 2,100.00
27	CASAS Y MUEBLES DE OAXACA, S. A. DE C. V. EN LA CIUDAD DE OAXACA, OAX.	\$ 1,300.00
28	SEQUOIA, S. A. DE C. V. y EL INSTITUTO DE ECOLOGÍA A. C. EN LA CIUDAD DE XALAPA, VER.	\$ 1,300.00
30	INDUSTRIAL TORRES MARMEX, S. A. DE C. V. EN TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO	\$ 700.00
31	OSMOSE MEXICANA, S. A. DE C. V. EN EL DISTRITO FEDERAL	\$ 700.00
SUBTOTAL 3		\$ 6,249.25
MANO DE OBRA		
32	Obra civil (albañiles)	\$ 2000.00
33	Instalación eléctrica (electricistas)	\$ 3,000.00
34	Instalación hidráulica (plomeros)	\$ 6,000.00
35	Pintura (pintor)	\$ 1,000.00
36	Herrería (herrero)	\$ 1,500.00
SUBTOTAL 4 (*)		\$ 13,500.00
TOTAL		\$ 66,408.41

(*) No se incluye el costo de la generación del Proyecto de ingeniería, el cual se estima en \$ 48,000.00.

Cuadro 14. Origen de los recursos.

ORIGEN DE LOS RECURSOS (*)	
1) Proyecto productivo de aserrío	\$ 16,000.00
2) Coordinación de posgrado. DiCiFo	\$ 5,625.00
3) Recursos propios de Jaime Mario Espinosa M.	\$ 9,246.00
4) Recursos propios del MC Mario Fuentes Salinas	\$ 10,342.60
5) Proyecto de investigación en dasonomía	\$ 8,024.41
6) DiCiFo UACH	\$ 3,670.00
TOTAL DE APORTACIONES	\$ 52,908.01

(*) No se considera el pago de mano de obra, que fue con personal de Servicios Generales de la Uach.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta el análisis y discusión de las etapas del proyecto con el fin de conocer a fondo las bondades de la planta de impregnación de maderas construida.

6.1 DISEÑO DE LA PLANTA

El diseño de la planta resultó ser adecuado para los fines que se planteó, sus dimensiones permiten que se impregne madera con medidas comerciales hasta de 8' de largo como máximo y por su diámetro de 0.60 m no se necesita un volumen grande de madera para realizar pruebas, por lo que, es una planta diseñada netamente para hacer investigación en el ramo de la preservación de la madera y para apoyar en la docencia y capacitación. El espesor de la placa que conforma el autoclave y el número de pescantes están diseñados para hacer pruebas hasta de 13 Kg/cm^2 , lo que permite hacer pruebas a diferentes presiones. El eductor para generar el vacío está calculado para hacer un vacío máximo hasta de 20" de Hg, por lo que, se pueden hacer pruebas de impregnación a diferentes niveles de vacío en combinación con diferentes niveles de presión, por lo que se pueden generar diferentes pruebas, según el uso final que tendrá la madera en cuestión.

6.2 CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA

La construcción de la planta se llevó a cabo bajo el diseño establecido, el lugar elegido para ubicar la planta dentro del laboratorio de productos forestales

de la División de Ciencias Forestales resultó ser el mejor, ya que no se tuvieron problemas para conectar el suministro de aire a presión y agua para el sistema de mezcla y la energía eléctrica para el funcionamiento de los motores de las bombas. El autoclave se mando a manufacturar a una empresa especializada en el ramo de recipientes sujetos a presión, fabricada bajo especificaciones de la ASTM.

Todos los sistemas se conectaron adecuadamente y como interactúan entre si se colocaron válvulas de paso de alta resistencia de 63 Kg/cm² y tubería de cédula 40 sin costura en las zonas donde la presión se hace aparente, de modo que se tiene seguridad en la operación de la planta, el resto de la tubería de la red lleva tubería galvanizada para evitar la corrosión y abatir en parte el costo de la red hidráulica. Las válvulas de seguridad y reguladora de presión funcionaron perfectamente, abriendo a la presión regulada. El manovacúómetro es funcional pues contiene las dos escalas que se necesitan en el proceso de impregnación de célula llena. La góndola y los rieles son funcionales, ya que permitió meter y sacar la madera con facilidad.

6.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las pruebas de funcionamiento permitieron verificar si la planta quedó bien ensamblada, se detectaron pequeñas fugas en uniones de tubería con tuercas unión que inmediatamente se corrigieron apretando y sellando las roscas. El empaque de la tapa del autoclave funcionó correctamente

manteniendo la hermeticidad en todo el proceso. Las bombas de transferencia e inyección, el eductor, válvulas de paso y de retención funcionaron correctamente.

6.4 VALIDACIÓN DE LA PLANTA

Las pruebas de validación de la planta generaron información fidedigna para los resultados del proyecto.

Para conocer la absorción de la solución preservadora y la retención del preservador CCA, se contempló a parte de la técnica de la hoja de carga la diferencia del peso final e inicial de la madera.

De los datos obtenidos se ve una diferencia entre los resultados de las dos técnicas utilizadas, ya que la absorción por el método de diferencia de peso es de 3 litros más absorbidos por la madera y la retención por consiguiente es mayor en 0.075 Kg, esta diferencia se da debido a que el método por diferencia de peso es más exacto, pues las variables que maneja son controladas al cien por ciento como es el peso únicamente, mientras que el método utilizado con los registros en la hoja de carga, maneja mas variables y estas no son controladas al cien por ciento como son la cantidad exacta del volumen de solución preservadora en el tanque de trabajo, en este caso en el tubo de nivel se forma un menisco que impide leer exactamente el nivel al que la solución preservadora se encuentra. Otra variable que no se controla con exactitud es la entrada y salida de la solución preservadora, ya que en la red de la tubería de los sistemas se queda parte de la solución preservadora y esto afecta la

La mano de obra de albañiles, electricistas y plomeros fue absorbida por la Universidad Autónoma Chapingo, el herrero, pintor y el proyecto de ingeniería fue absorbido por el alumno Jaime Mario Espinosa Martínez y por el M.C. Mario Fuentes Salinas.

7. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones del presente trabajo respecto a la construcción de la planta de impregnación y para el buen uso de la misma.

- Se diseñó y construyó la planta de impregnación de maderas conforme a lo planeado en el proyecto y los resultados obtenidos en las pruebas de validación demostraron que toda la planta funcionó perfectamente y está en condiciones de ser utilizada en experimentos de investigación y como apoyo en los cursos de conservación de maderas.
- Las pruebas de funcionamiento de la planta son necesarias para hacer los cambios, ajustes o modificaciones en los sistemas y equipos antes de hacer las pruebas de validación.
- El eductor como equipo para hacer el vacío resultó tener la capacidad de lograr el vacío de 20" de Hg estipulado en una hora, que es el máximo vacío que se puede generar a la altura a la que se encuentra ubicada la planta (más o menos a 2200 msnm).
- Se logró un ahorro de \$ 9,000.00 por el hecho de tener un eductor como generador de vacío en lugar de una bomba de vacío que es muy costosa en su precio, mantenimiento y equipo eléctrico.

- El equipo y materiales para la construcción de la planta de impregnación fue posible adquirirlo y/o fabricarlo en el país, a excepción del eductor que fue de importación, por lo que no se tuvieron problemas técnicos de disponibilidad en el comercio para la adquisición de dichos accesorios.
- El costo total de la construcción y validación de la planta resultó ser casi igual a lo planeado.
- Se logró elaborar la guía de operación de la planta con todos los detalles para ser operada adecuadamente.

8. RECOMENDACIONES

A continuación se presentan algunas recomendaciones del presente trabajo respecto a la construcción de la planta de impregnación y para el buen funcionamiento de la misma.

- De acuerdo al mercado o a los requerimientos que se tengan es como se debe planear las dimensiones del autoclave y en general de toda la planta (Investigación, industria).
- El eductor como generador de vacío funciona adecuadamente en un autoclave de dimensiones pequeñas, se recomienda que se pruebe un eductor en un autoclave de dimensiones grandes, como las que impregnan postes y durmientes.
- Se recomienda que la bomba de inyección no se utilice como de transferencia pues ésta tarda más tiempo en transferir la solución impregnante que una bomba de transferencia.
- Es recomendable poner arrancadores en el encendido de los motores de las bombas.

- Respecto a los resultados de la impregnación con la hoja de carga, es necesario que se tome en cuenta que el tubo de nivel del tanque de trabajo este bien graduado, bien instalado y que cubra todo el nivel de la solución impregnante para que se puedan leer perfectamente los niveles del tanque de trabajo en el desarrollo del proceso de impregnación.
- Antes de abrir el autoclave es necesario cerciorarse de que se haya vaciado bien el autoclave y colocar una charola en la parte de debajo de la tapa para evitar escurrimiento de la solución impregnante al suelo.
- Las partes internas de las válvulas de seguridad y reguladora de presión son de acero normal, por lo que se recomienda cambiarlas por piezas de acero inoxidable.

9. LITERATURA CITADA.

- AMBRIZ P., JORGE E. 2002. Diseño de una planta de impregnación de madera para preservadores hidrosolubles. Tesis de maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. 130 p.
- AVRAMIDIS, S. y J. RUDDICK. 1996. CCA accelerated fixation by dielectric heating. *Forest Products Journal* 46(7/8): 52-55.
- BARNES H. y MURPHY R. 1995. The classics and the new age. *Forest Products Journal* 45 (9): 16-25.
- CABALLERO, P. 1942. Los resultados de preservación de maderas en los ferrocarriles nacionales de México. Boletín bimestral de la Dirección General Forestal y de Caza. enero-febrero. Año III. Vol. 3. No. 1. México, D.F. Pp. 3-7.
- CONTRERAS M., JAVIER. 1997. Proyecto de una planta de impregnación de maderas. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Edo. de México. 72 p.
- DARREL, N. 1972. Characteristics of preservative solutions which influence their penetration into wood. *Forest Products Journal* 22(5)31-36.
- ENRIQUEZ, M. 1978. Abastecimiento de durmientes para ferrocarriles de México. *Ciencia forestal* (Jul/Ago) 3-19 p.
- ESPINOZA L., GIL. 2002. Efectividad de siete productos antimancha contra *Ceratocystis* sp. En madera de *Hevea brasiliensis*. Muell arg. (hule).

- Tesis de maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Edo. de México. 115 p.
- ESPINOSA M., JAIME M. 1997. Eficacia de seis productos antimancha contra *Cladosporium sp.* En madera aserrada de *Pinus hartwegii*. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Edo. de México. 112 p.
- FEIST, W. y R. WILLIAMS. 1991. Weathering durability chromium-treated soath pine. *Forest Products Journal* 41(1): 8-14.
- FLORES S., IRAIS. 1999. Efecto de las sales CCA-C en las propiedades mecánicas de la madera de *Pinus montezumae Lamb.* Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 131 p.
- FORSYTH, P. y J. MORREL. 1992. Diffusion of copper and boron from a groundline wrap formulation through Douglas-fir heartwood. *Forest Products Journal* 42(11/12): 27-29.
- FREEMAN, M. y T. SHUPE. 2003. Past, present and future to the wood preservation industry. *Forest Products Journal* 53 (10): 8-15.
- FUENTES S., MARIO. 1994. Secado de la madera de *Pinus radiata* Don. Impregnada con sales hidrosolubles CCA. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile. 161 p.

- JUACIDA P., ROBERTO. 1980. Algunos factores que influyen en la impregnación de maderas. Publicación docente No. 3. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 19 p.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, 1988. Manual del grupo andino para preservación de madera. Lima, s/p.
- KOLLMAN, F. y W. A. COTE. 1968. Principles of Wood Science and Technology. Tomo 1. Springer-verlag. New York. 592 p.
- KRAEMER K., GUSTAV. 1958. Compendio de la conservación de maderas. Santander. 419 p.
- MOREY PHILIP, R. 1977. Como crecen los árboles. Omega. Barcelona. 61 p.
- PIZANO A., J. 1952. Impregnación de maderas. Oficina de investigaciones industriales del Banco de México S.A. México, D.F 62 p.
- PRESTON A. y P. McKAIG. 1983. Effect of accelerated fixation on decay of CCA-treated Wood. Forest Products Journal 33(11/12): 41-44.
- RICHARDSON B., A. 1978. Wood preservation. Landcaster. 229 p.
- ROBLES F. Y R. ECHENIQUE. 1983. Estructuras de madera. Limusa. México, D.F. 367 p.
- ROGEL C., A. 1979. Impregnación a presión con sales hidrosolubles CCA. Informe técnico No. 68. Depto. de tecnología. División industrias. Instituto Forestal. Santiago de Chile. 40 p.
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA (S. E.). 1999. Norma mexicana NMX-C-410-ONNCCE-1999. Industria de la construcción, vivienda de madera,

retención y penetración de sustancias preservadoras, métodos de prueba. México, D. F.

SECRETARÍA DE ECONOMÍA (S. E). 2001. Norma mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2001. Industria de la construcción, madera preservada a presión, clasificación y requisitos. México, D. F.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). 2000. Anuario estadístico de la producción forestal 2000. México, D. F. 154 p

SIAU, J. 1984. Transport processes in Wood. Springer-verlag. New York. 245 p.

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE (SCT). 2003. Vías férreas existentes por entidad federativa en México. <http://www.sct.gob.mx> . 3 de julio de 2003.

TUSET, R. y F. DURAN.1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 683 p.

VACA DE FUENTES, R. 1998. Técnicas para la preservación de maderas. Documento técnico No. 65. Universidad Autónoma Juan Misael Caracho. Bolivia.

10 ANEXOS.

ANEXO 1. TABLAS HIDROMETRICAS OSMOSE C-55 (UNIDADES INGLESAS) BASE OXIDOS

% SOLUCION	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
TEMP, °F										
50	1.019 0.1699	1.0198 0.1785	1.0206 0.1871	1.0215 0.1958	1.0223 0.2045	1.0231 0.2132	1.0239 0.2219	1.0248 0.2306	1.0256 0.2393	1.0264 0.2481
55	1.0187 0.1697	1.0195 0.1784	1.0203 0.1807	1.0212 0.1957	1.022 0.2043	1.0228 0.213	1.0236 0.2217	1.0245 0.2305	1.0253 0.2392	1.0261 0.2479
60	1.0183 0.1696	1.0191 0.1782	1.0299 0.1869	1.0208 0.1955	1.0216 0.2042	1.0224 0.2129	1.0232 0.2216	1.0241 0.2303	1.0249 0.239	1.0257 0.2477
65	1.0178 0.1695	1.0186 0.1781	1.0194 0.1867	1.0203 0.1954	1.0211 0.204	1.0219 0.2127	1.0227 0.2214	1.0236 0.2301	1.0244 0.2388	1.0252 0.2475
70	1.0173 0.1693	1.0181 0.1779	1.0189 0.1865	1.0198 0.1951	1.0206 0.2038	1.0214 0.2124	1.0222 0.2211	1.0231 0.2298	1.0239 0.2385	1.0247 0.2472
75	1.0166 0.169	1.0174 0.1776	1.0182 0.1862	1.0191 0.1949	1.0199 0.2035	1.0207 0.2122	1.0215 0.2208	1.0224 0.2295	1.0232 0.2382	1.024 0.2469
80	1.0158 0.1688	1.0166 0.1774	1.0174 0.186	1.0183 0.1946	1.0191 0.2032	1.0199 0.2118	1.0207 0.2205	1.0216 0.2292	1.0224 0.2378	1.0232 0.2464
85	1.0151 0.1685	1.0159 0.1771	1.0167 0.1857	1.0176 0.1943	1.0184 0.2029	1.0192 0.2115	1.02 0.2202	1.0209 0.2288	1.0217 0.2462	1.0225
90	1.0143 0.1683	1.0151 0.1768	1.0159 0.1854	1.0168 0.194	1.0176 0.2026	1.0184 0.2112	1.0192 0.2198	1.0201 0.2285	1.0209 0.2371	1.0217 0.2458
95	1.0133 0.168	1.0141 0.1765	1.0149 0.185	1.0158 0.1936	1.0166 0.2022	1.0174 0.2108	1.0182 0.2194	1.0191 0.228	1.0199 0.2367	1.0207 0.2453
100	1.0123 0.1676	1.0131 0.1761	1.0139 0.1847	1.0148 0.1932	1.0156 0.2018	1.0164 0.2104	1.0172 0.219	1.0181 0.2276	1.0189 0.3362	1.0197 0.2448
105	1.0113 0.1672	1.0121 0.1757	1.0129 0.1842	1.0138 0.1928	1.0146 0.2013	1.0154 0.2099	1.0162 0.2184	1.0171 0.117	1.0179 0.2356	1.0187 0.2442
110	1.0103 0.1669	1.0111 0.1754	1.0228 0.1839	1.0129 0.1925	1.0136 0.201	1.0144 0.2095	1.0152 0.2181	1.0161 0.2267	1.0169 0.2352	1.0177 0.2438

NOTA: Las cifras superiores en la tabla frente a las temperaturas, representan las lecturas del hidrómetro.
Las cifras inferiores representan las libras de C-55 base óxidos, por galon de solución a la misma temperatura.

Anexo 2. Cálculo del autoclave según diseño.

Los cálculos se efectuaron con el código ASME sección VIII, división I, apoyado en lo dispuesto en el artículo 131 del reglamento para inspección de generadores de vapor y recipientes sujetos a presión.

DATOS:

En envolverte:

Material utilizado = ASTM A-285

KE = coeficiente de ruptura por tracción del material en envolverte
= 3880 Kg/cm²

C = factor de seguridad = 4

S = esfuerzo máximo permisible de trabajo

$$S = \frac{KE}{C} = \frac{3880 \text{ Kg/cm}^2}{4} = 970 \text{ Kg/cm}^2$$

DE = diámetro exterior de envolverte = 610 mm

Di = diámetro interior de envolverte = 594.14 mm

Em = eficiencia del material (soldadura) = 90 %

P = presión de diseño = 13 Kg/cm²

Po = presión de operación = 10 Kg/cm²

L = longitud de envolverte = 2600 mm

Ri = radio interior de envolverte = 297.07 mm

EE = espesor de placa de envolverte = 7.93 mm

En cabezas:

Material utilizado = ASTM-285

KE = coeficiente de ruptura por tracción del material en cabezas

= 3880 Kg/cm²

C = factor de seguridad = 4

H = altura de cabezas = 250 mm

ET = espesor de placa en cabezas = 7.93 mm

Em = eficiencia de soldadura = 90 %

P = presión de diseño = 13 Kg/cm²

Po = presión de operación = 10 Kg/cm²

1.- Cálculo de espesores:

$$\text{En envoltente: } EE = \frac{P * Ri}{(S * Em) - 0.60 P}$$

$$EE = \frac{13 * 297.07}{(970 * 0.90) - (0.60 * 13)} = 4.46 \text{ mm} = \text{espesor calculado}$$

Espesor empleado = 7.93 mm

$$\text{En cabezas: } ET = \frac{P * Di}{(2 * S * Em) - 0.60 P}$$

$$ET = \frac{13 * 594.14}{(2 * 970 * 0.90) - (0.60 * 13)} = 4.44 \text{ mm} = \text{espesor calculado}$$

Espesor empleado = 7.93 mm

2- Cálculo de presión interna máxima permisible

En envolvente:

PE = presión interna máxima en envolvente

$$PE = \frac{S * Em * EE}{Ri + (0.60 * EE)}$$

$$PE = \frac{970 * 0.90 * 7.93}{297.07 + (0.60 * 7.93)} = 22.936 \text{ Kg/cm}^2$$

En cabezas:

PT = presión interna máxima en cabezas

$$PT = \frac{2 * S * Em * ET}{Di + (0.2 * ET)}$$

$$PT = \frac{2 * 970 * 0.90 * 7.93}{594.14 + (0.2 * 7.93)} = 23.24 \text{ Kg/cm}^2$$

3.- cálculo de superficie expuesta a presión

En envolverte:

S1 = superficie envolverte

$$S1 = \pi * Di * L \quad \text{Donde } \pi = 3.1416$$

$$S1 = \pi * 594.14 * 2600 = 4.853 \text{ m}^2$$

En cabezas:

S2 = superficie en cabezas o tapas (para una sola tapa)

$$S2 = \left[\frac{2 * \pi}{4} [(Di + 4 * H^2)] \right]$$

$$S2 = 1.5707963 [0.59414^2 + 4 (0.25)^2] = 0.947 \text{ m}^2$$

$$S2 = 0.947 + 0.947 = 1.894 \text{ m}^2$$

$$\text{SUPERFICIE TOTAL EXPUESTA A PRESION} = S1 + S2$$

$$\text{ST expuesta a presión} = 4.853 + 1.894 = \mathbf{6.747 \text{ m}^2}$$

4.- Cálculo del No de tornillos que debe llevar la tapa.

Formula:

$$\text{Área de la tapa} = 0.947 \text{ cm}^2$$

$$\text{Presión de diseño} = 13 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Resistencia a la tensión del tornillo grado 5} = 8,164 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{No de tornillos de la tapa} = \frac{(\text{Área de la tapa}) (\text{Presión de diseño})}{\text{Resistencia a la tensión del tornillo}}$$

$$\text{NTT} = \frac{(0.947 \text{ m}^2) (13 \text{ Kg/cm}^2)}{8,164 \text{ Kg/cm}^2} = 15$$

Nota: para que la distribución de los tornillos fuese equitativa se adaptó un tornillo más lo que resultó poner 16 tornillos. Para la presión de trabajo de 8 Kg/cm² solo se necesitan tener 9 tornillos, los 7 restantes son tornillos de seguridad.

Anexo 3. Certificado del personal de Equipos inoxidables Fontanot, S.A DE C.V que se encargó de soldar todas las uniones del autoclave.



CALIDAD 21, S.A. DE C.V.

CONTROL TOTAL DE CALIDAD

REGISTRO DE CALIFICACION DE SOLDADOR (WPQ) CODIGO ASME SECCION IX			
NOMBRE DEL SOLDADOR		ROSALIO NOE SUAREZ OLIVOS	
PROCESO(S) DE SOLDADURA USADO(S)		GTAW	
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA USADO EN LA PRUEBA		FON-GTAW-01	
MATERIAL BASE SOLDADO		ASTM A-240 TP 304	
ESPESESORES		8.4 (mm)	
VARIABLES PARA CADA PROCESO MANUAL O SEMIAUTOMATICO (QW-350)			
MATERIAL DE RESPALDO	(QW-402)	VALOR USADO	RANGO CALIFICADO
ASME P NO. A ASME P NO.	(QW-408)	NO	NO
PLACA SI	DIAMETRO SI ES TUBO N/A	8	8
NO SPA METAL DE APORTE	(QW-404)	N/A	N/A
NO F METAL DE APORTE		AWG A 50	AWG A 50
INSERTO CONSUMIBLE PARA GTAW O PAW		8	8
ESPESOR DE DEPOSITO DE SOLDADURA		N/A	N/A
POSICION DE LA SOLDADURA	(QW-405)	6.4 (mm)	12.7 mm
PROGRESION DE LA SOLDADURA		SG	SG Y TG
GAS DE RESPALDO USADO	(QW-406)	ASCENDENTE	ASCENDENTE
MODO DE TRANSFERENCIA GMAW	(QW-408)	ARGON	ARGON
TIPO DE CORRIENTE Y POLARIDAD GTAW		N/A	N/A
VARIABLES DE LA MAQUINA DE SOLDADURA PARA EL PROCESO USADO (QW-360)			
CONTROL DE VOLTAJE AUTOMATICO EN GTAW		CONTINUA-DIRECTA	CONTINUA-DIRECTA
CONTROL VISUAL REMOTO O DIRECTO		N/A	N/A
PRUEBA DE DOBLEZ GUIA (QW-482.1(a), QW-482.1(b), QW-482.3(a))			
ESPECIMEN	TIPO DE DOBLEZ	RESULTADOS	
1	CARA	ACEPTABLE	
2	CARA	ACEPTABLE	
3	RAIZ	ACEPTABLE	
4	RAIZ	ACEPTABLE	
PRUEBA DE RADIOGRAFIA (QW-304 & QW-305) PARA CALIFICACION ALTERNATIVA DE SOLDADURAS DE RANURA			
IDENTIFICACION DE PLACA	N/A	RESULTADOS	N/A
PRUEBA EN SOLDADURA DE FILETE (QW-482.4(a) & (b))			
PRUEBA DE FRACTUR (DEFINIR NATURALEZA TAMAÑO Y LOCALIZACION)	N/A	RESULTADOS	N/A
LONGITUD DE DEFECTOS	N/A	mm	mm
FUSION EN PRUEBA DE MACROATAQUE	N/A	PORCENTAJE DEFECT	N/A
APARIENCIA	N/A	TAMAÑO DE PIERNAL	N/A
CONVEXIDAD	N/A	mm	mm
PRUEBA CONDUCTIDA POR: GABRIEL ESPINOSA CORTEZ			
REPORTE MEC-PON-01			
CERTIFICAMOS QUE LO ESTABLECIDO EN ESTE REGISTRO ES CORRECTO Y QUE LOS ESPECIMENES FUERON PREPARADOS, SOLDADOS Y PROBADOS DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA SECCION IX DEL CODIGO ASME.			
EMPRESA		EQUIPOS INOXIDABLES FONTANOT S.A	
FECHA	26 DE FEBRERO DE 1999	RESPONSABLE	ING. RAFAEL ZARATE P

FORMA WPQ-ASME

Anexo 4. Destino de los recursos.

ORIGEN	APORTACIÓN	DESTINO
Proyecto productivo de aserrío	\$ 16,000.00	1.- Fabricación de autoclave. 2.- Tanque de trabajo. 3.- Eductor.
Coordinación de posgrado DiCiFo	\$ 5,625.00	1.- Hidrómetro 2.- Viáticos a Durango, Edo. De México y México, D.F. 3.- Tubos, conexiones, válvulas
Jaime Mario Espinosa Martínez	\$ 9,249.00	1.- Bomba de inyección 2.- Bomba de transferencia 3.- Sales CCA-C55
MC Mario Fuentes Salinas	\$10,342.60	1.- Madera para impregnar 2.- Rollos fotográficos 3.- Válvulas de alta resistencia de paso, de retención y de nivel 4.- compostura de bomba de inyección 5.- Soldadura 6.- Tuercas unión y tees 7.- Tubo de nivel de vidrio 8.- Reducciones campana y sifón 9.- Mano de obra soldador y material para sistema de carga y descarga 10.- Válvula de seguridad 11.- Pintura, Thiner
Proyecto de investigación en dasonomía	\$ 8,024.41	1.- Viáticos a Xalapa y Oaxaca 2.- Material eléctrico 3.- Manovacuómetro 4.- Tubería, conexiones 5.- Válvula de alivio
DiCiFo	\$ 3,670.00	1.- 8 pescantes más para la tapa del autoclave 2.- Cambio de las válvulas de seguridad y reguladora de presión de 1" a 2"

Anexo 5. Directorio de proveedores.

PROVEEDOR	DIRECCIÓN	ARTICULO
Equipos Inoxidables Fontanot S. A de C. V.	Calle 3 No. 348 Col. Pantitlan, México, D. F. TEL: 57-63-70-43	AUTOCLAVE
Ingeniería y control de instrumentos industriales, S. A. de C. V.	Laguna del Carmen No. 312, Col. Anahuac. México; D. F. TEL: 53-41-02-66	Válvulas de alta resistencia de paso de retención y de nivel. Tubo de nivel. Manovacúmetro
Válvulas de seguridad Cuevas, S. A de C. V.	Adelina Patti No. 167, Col. Vallejo. México, D. F. TEL: 55-17-98-80	Válvulas de seguridad y reguladora de presión
Protección Técnica Para Madera S. A. de C. V. y/o Ing. Jaime Mario Espinosa Martínez	Artemisas 529, Villa de las Flores Coacalco, Edo. de México. TEL: 58-98-42 38	Bombas de Inyección y de Transferencia
Ferretería Beristain	Av. Juárez Sur No. 336, Texcoco, Edo. de México. TEL: 9-54-26-58	Tanques agua de 250 y 1100 Lt
Osmose Mexicana, S. A de C. V.	Rómulo O'farril 344, Col. Olivar de los padres. México, D. F. TEL: 55-95-25-10	Sales CCA-C55 Hidrómetro
Rawson Mexicana, S. A. de C. V.	Melchor Ocampo No. 193, Col. Verónica Anzures, México, D. F. TEL: 52-60-40-57	Eductor
Ferretería Erick	Fuente de Venus No. 54 Tultitlan Edo. de México.	Tubería, conexiones y válvulas
La Ferre, Comercializadora, S. A. de C. V.	Vía José López Portillo Km 22, Tultitlan Edo. de México	Conexiones y válvulas
Distribuidora eléctrica	Palmas No. 108 Col. San Lorenzo Texcoco, Edo. de México	Material eléctrico