

Universidad técnica Federico Santa María
Sede Concepción “Rey Balduino de Bélgica”

Propuesta de proyecto sensor de humedad para cámara de secado.

Trabajo de Título para optar al
Título de Técnico Universitario en
AUTOMATIZACION Y CONTROL.

Alumnos:

Franco Israel Parra Peña

Bryan Alexander Sáez Galdámes

Profesor Guía:

Helmut Alexis Contreras Novoa



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Propuesta de proyecto sensor de humedad para cámara de secado.

Nombre del candidato(a): Bryan Alexander Sáez Galdámes

Carrera / Grado: Técnico en automatización y control

Campus: Concepcion ; **Departamento:** departamento de electricidad

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Helmut Alexis Contreras Novoa, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 25/09/2025

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 25/09/2025

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Propuesta de proyecto sensor de humedad para cámara de secado.

Nombre del candidato(a): Franco Israel Parra Peña

Carrera / Grado: Técnico en automatización y control

Campus: Concepcion ; **Departamento:** departamento de electricidad

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Helmut Alexis Contreras Novoa, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

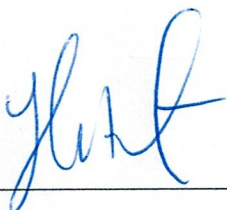
☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 25/09/2025 ; Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 25/09/2025 ; Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

2021

Dedicatoria

Franco

Quisiera dedicar este trabajo a todas las personas que han estado a mi lado en todo, que me han apoyado en los momentos difíciles tanto amigos como familia, pero sobre todo a mi abuelo quien es una de las personas que más quiero y admiro a pesar de las dificultades que ha tenido en este tiempo.

Bryan

Quiero dedicar mi tesis a mi familia ya que ellos me han formado, realizado, forjado en toda mi vida les doy gracias por su apoyo incondicional por nunca dejarme de lado y por sobre toda la cosa la paciencia que han tenido conmigo, gracias a ustedes soy lo que soy.

Mi más sincero agradecimiento a mi compañero de carrera Mauricio Rodríguez, que sin él no estaría en esta etapa de mi vida gracias totales.

INDICE

1. INTRODUCCION AL CAPITULO I.....	13
1.1. CLASIFICACION DE ASERRADEROS	14
1.1.1. Aserraderos móviles.....	14
1.1.2. Aserraderos permanentes.....	14
1.1.3. Operación en terreno	15
1.1.4. Principales empresas de aserraderos en la región y el país	16
1.2. TEORIA DE ASERRADEROS	17
1.2.1. Identificación de aserraderos	17
1.2.2. Aserraderos mecanizados	17
1.2.3. Aserraderos temporales.....	17
1.2.4. Aserraderos no mecanizados.....	18
2. INTRODUCCION AL CAPITULO II.....	20
2.1. INFORMACION BASICA SECADO DE MADERA	21
2.1.1. ¿Qué es el agua libre y ligada?	21
2.1.2. ¿puede el secado provocar que la madera se abra o se fractura?...	21
2.1.3. Clasificación de la madera.....	21
2.1.4. Determinación de contenido de humedad en la madera	22
2.2. METODOS DE SECADO DE MADERA	22
2.2.1. Método de secado en estufa.....	22

2.2.2.	Método de secado eléctricos.....	23
2.2.3.	Método secado al aire libre	24
2.2.4.	Método a través de secadero.....	24
2.2.5.	Método de secado en horno.....	25
2.2.6.	Método de horno solar	26
2.2.7.	Método horno de deshumidificación.....	27
3.	INTRODUCCION AL CAPITULO III	29
3.1.	SENSORES E INSTRUMENTOS RESISTIVOS	30
3.1.1.	Sensor SH-6/120, Measure Instruments.....	30
3.1.2.	Lector MI-7, Measure Instruments	30
3.1.3.	Instrumento por conductividad Xilohigrómetro	31
3.2.	SENSORES E INSTRUMENTOS CAPACITIVOS	32
3.2.1.	Instrumento de medición RP5, Schaller.....	32
3.2.2.	DL2e Data Logger, Delta T Devices	34
3.2.3.	Sistema de medición de humedad MC 4000.....	35
3.3.	SENSORES E INSTRUMENTOS INFRARROJOS.....	35
3.3.1.	Transmisor MCT460, Process Sensors	36
3.4.	Sensores e instrumentos microondas	37
3.4.1.	Instrumento de medición MW-T, Tews Elektronik	37
3.4.2.	Sensor Moist PP, hf sensor.....	38

3.4.3. Sensor Moist Bio P, hf sensor.....	39
4. INTRODUCCION AL CAPITULO IV	42
4.1. CAMARA DE SECADO TIPO HORNO.....	43
4.1.1. Proceso de secado de madera.....	43
4.1.2. Instrumentos de medición.....	44
4.1.3. Componentes del sistema.....	44
4.1.4. Selección de accesorios para la línea de vapor.....	45
4.1.5. Comportamiento del flujo de aire al interior del horno	46
4.1.6. Modelo de simulación de la velocidad del aire	46
5. INTRODUCCION AL CAPITULO V	48
5.1. ¿QUE ES ELWAGNER MC4000?	49
5.1.1. Origen y especificación del Wagner MC4000	50
5.1.2. Software MC4000.....	50
5.1.3. Funciones del MC4000	51
5.1.4. Detalles técnicos	52
5.1.5. Calibración de la unidad de envío (SU).....	53
5.2. INSTALACION DE LAS TIRAS DE LA SONDA DEL SENSOR...55	
5.2.1. Instalación de las sondas	55
5.2.2. Conexión de los cables de la sonda.....	55
5.3. OPERACIÓN DEL SOFTWARE.....	57

5.3.1. Visión general de operación	57
5.3.2. MC 4000 Iniciar sesión y graficas	57
5.4. TABLA DE CLASIFICACION DE TECNOLOGIAS	59
5.5. INSTALACION DE SISTEMA DE MEDICION DE HUMEDAD...60	
5.6. TERMINALES Y ENTRADAS DE LA CONSOLA	62
5.7. DIMENSIONES DE LA CONSOLA MC 4000	63
6. INTRODUCCION AL CAPITULO VI	65
6.1. COSTO TOTAL DE PROYECTO DE IMPLEMENTACION.....	66
7. CONCLUSIONES	68
8. BIBLIOGRAFIA	69
9. ANEXOS	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Industria forestal	13
Figura 1.2. Zonas de industrias forestales	15
Figura 1.3. Ranking de aserraderos en Chile	16
Figura 1.4. Cantidad de aserraderos activos en 2015.....	18
Figura 2.1. Imagen de cámara de secado por estufa	23
Figura 2.2. Imagen de cámara de secado por método eléctrico	23
Figura 2.3. Imagen de secado al aire libre	24

Figura 2.4.	Imagen de método de secadero de madera	25
Figura 2.5.	Imagen de secado de madera en horno.....	25
Figura 2.6.	Imagen de secado de madera por horno solar	26
Figura 2.7.	Imagen de secado de secado de deshumidificación	27
Figura 3.1.	Sensor resistivo SH-6/120	30
Figura 3.2.	Sensor resistivo MI – 7.....	31
Figura 3.3.	Xilohigrómetro de conductividad eléctrica.....	32
Figura 3.4.	Instrumento de medición capacitiva RP5.....	33
Figura 3.5.	Instrumento de medición capacitiva DL2e.....	34
Figura 3.6.	Equipo de medición de humedad MC4000.....	35
Figura 3.7.	Instrumento de medición de humedad MTC460	36
Figura 3.8.	Instrumento de medición por microondas MW-T	37
Figura 3.9.	Sensor por microondas Moist PP	38
Figura 3.10.	Sensor por microondas Most Bio P	39
Figura 4.1.	Cámara de secado	43
Figura 4.2.	Intercambiador de calor de banco de tubos escalonados.....	44
Figura 4.3.	Diagrama flujo de línea de vapor y condensado	45
Figura 4.4.	Esquema del horno utilizado para la simulación	46
Figura 5.1.	Consola MC4000	49
Figura 5.2.	Sensor IN Kiln con sus abrazaderas	54

Figura 5.3. Implementación de medición de humedad en pallet	56
Figura 5.4. Interfaz del MC4000.....	58
Figura 5.5. Grafica de medición de secado de sensores	58
Figura 5.6. Interfaz de sensores	59
Figura 5.7. Sistema de medición de humedad MC 4000.....	61
Figura 5.8. Terminales y elementos de la consola.....	62
Figura 5.9. Dimensiones de la consola o PKU	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Tipos de aserraderos según capacidad de producción	17
Tabla 3-1 SH-6/120	30
Tabla 3-2 MI – 7.....	31
Tabla 3-3 Xilohigrómetro	32
Tabla 3-4 RP5.....	33
Tabla 3-5 DL2e.....	34
Tabla 3-6 MC4000.....	35
Tabla 3-7 MTC460.....	37
Tabla 3-8 MW-T.....	38
Tabla 3-9 Moist PP.....	39
Tabla 3-10 Most Bio P	40

Tabla 5-1	Partes de sonda y consola	55
Tabla 5-2	Clasificación de tecnologías de medición de humedad	60
Tabla 5-3	Descripción de elementos del sistema MC 4000	61
Tabla 5-4	Descripción de terminales y elementos de consola	62
Tabla 6-1	Descripción de compra de materiales de instalación	67

Introducción

En el contexto en cual se realiza este trabajo de título es en una cámara de secado de uso común en la zona, donde la materia prima trabajada es la madera, **en cual tenemos una cámara de secado con la deficiencia de medición de la humedad de la madera procesada.**

La cámara de secado cuenta con equipos mecánicos, eléctricos, automatización e instrumentación necesarios para el desarrollo del proceso de la madera, **con la necesidad de mejorar los instrumentos de medición para no afectar tanto el proceso.**

En esta cámara de secado se debe hacer un estudio, análisis de precisión del instrumento a investigar para reducir los tiempos muertos del proceso.

Objetivos

Objetivo General.

- Generar una propuesta de investigación de un sensor que puede medir la humedad de la madera, facilitando la obtención remota de esta información en la cámara de secado a través de una aplicación vía bluetooth o wifi.
- Al mejorar la medición de los procesos de secado, logramos reemplazar la medición manual por la remota como también se optimizar los respectivos tiempos perdidos.

Objetivos específicos.

- Optimización de cámara de secado a través de estudio del funcionamiento de esta.
- Elección de una tecnología de medición de humedad en cámara de secado.
- Revisión de normas asociadas a proyectos eléctricos y de automatización.
- Propuesta de implementación.

Capítulo I

Antecedentes generales de aserraderos.

1. Introducción al capítulo

La industria forestal primaria reúne a un conjunto de actividades relacionadas con la conversión mecánica, química o mixta de la madera en trozos. En este capítulo se abordará las diferentes industrias que derivan de la materia prima de la madera tales como, la industria del aserrío, la industria de las astillas, la industria de tableros y chapas, la industria de postes y polines, la industria de pulpa estos son la gran mayoría de las industrias forestales en Chile.

A continuación, se mostrará una tabla de producción de las diferentes industrias en Chile.

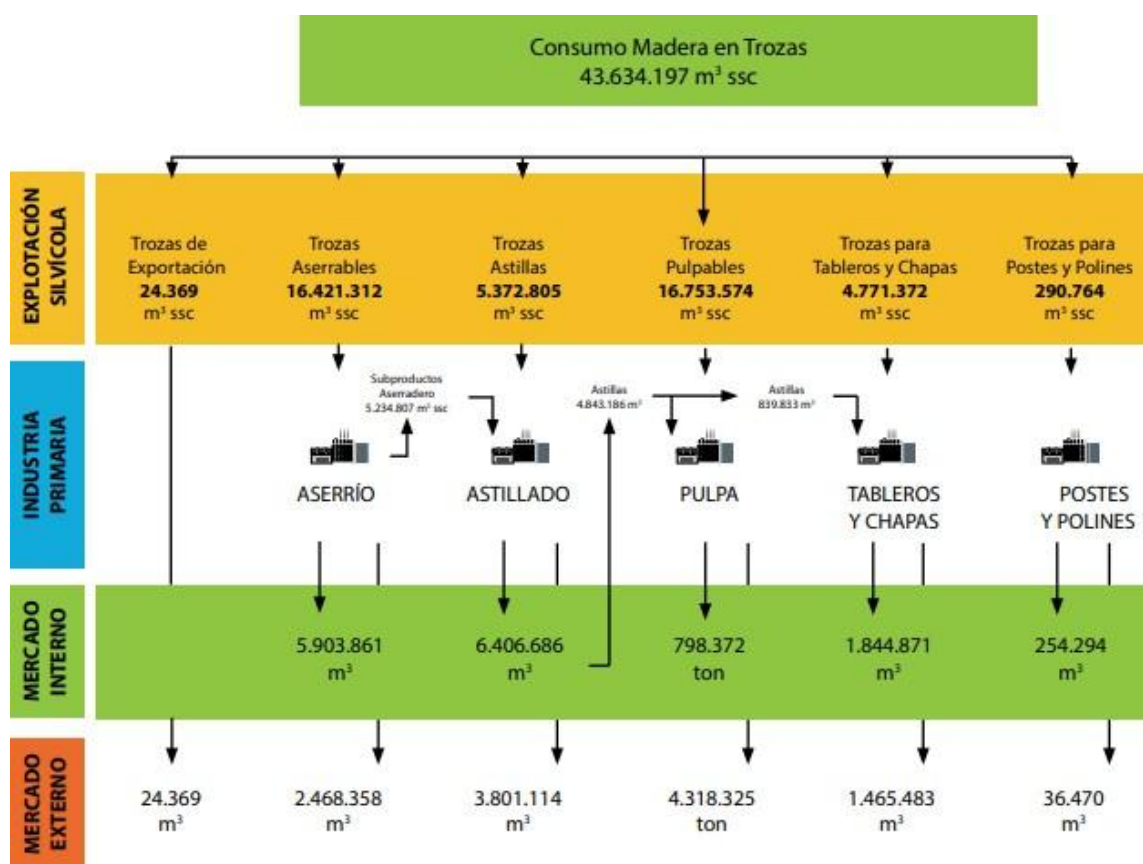


Figura 1.1 industria forestal.

1.1. Clasificación de aserraderos

1.1.1 Aserraderos móviles Los aserraderos móviles corresponden a unidades básicas, generalmente compuestas por un banco con una sierra de tipo circular o una huincha horizontal, que cumplen la función de aserrar y partir la troza. En algunos casos se presenta un banco auxiliar partidor. La fuerza motriz está dada por un motor estacionario, típicamente de tipo diésel.

La característica principal de este tipo de aserraderos es que su estructura puede ser transportada para instalarse en un nuevo lugar en busca de abastecimiento. Por ello, generalmente se establecen en lugares cercanos al bosque. Presentan dificultades en su abastecimiento y comercialización y una alta heterogeneidad en el tamaño, tipo y calidad de la madera aserrada que producen. Según el tipo de sierra que poseen, INFOR los clasifica en:

- Aserradero móvil tradicional: utiliza una sierra circular simple, generalmente de diente postizo, lo que confiere un ancho de corte de $\frac{1}{4}$ de pulgada, generando gran cantidad de residuos madereros (aserrín).
- Aserradero móvil portátil: Corresponde a una generación de aserraderos que surgió en el mercado en la década de 1990 y que utiliza una sierra huincha vertical de un milímetro de espesor, que permite obtener cortes delgados, con el consiguiente mejor rendimiento en madera aserrada que el tipo anterior.

1.1.2 Aserraderos permanentes corresponden a unidades más complejas, que pueden incluir desde el procesamiento de la madera aserrada, pasando por el secado (al aire o artificial), hasta la elaboración para obtener productos finales de madera de mayor valor agregado. En este sentido se pueden reconocer tres tipos de aserraderos permanentes:

- Aserradero tradicional: que produce sólo madera aserrada, ya sea “verde” (húmeda) o seca (generalmente al aire), en diferentes dimensiones.
- Aserradero con elaboración: donde parte de la madera aserrada producida es dimensionada y cepillada en al menos una de sus cuatro caras. Puede producir también productos tales como tablas de piso o cielo, o madera machihembrada.

- Aserradero con remanufacturado: en este tipo de aserradero se transforma parte de la producción de madera aserrada a productos finales más elaborados, tales como molduras o tableros listonados con finger-joint, lo que, además, exige una clasificación de calidad más estricta.

1.1.3 Operación en terreno: estas son las zonas donde más se concentran las industrias de producción de la madera se puede observar que se ubican en cuatro macro zonas las cuales se dividen de la siguiente manera:

- Centro Norte: desde la Región de Coquimbo a la Región del Maule, ambas inclusive.
- Centro Sur: desde la Región del Biobío a la Región de Los Lagos, ambas inclusive.
- Región de Aysén.
- Región de Magallanes.



Figura 1.2 zonas de industrias forestales.

1.1.4 Principales empresas de aserraderos en la región y el país. En el cuadro que se entrega a continuación, se puede observar el ranking de las principales empresas del aserrío en Chile, de acuerdo con el nivel de producción alcanzado en el año 2015, este es un ejemplo de tabla de las mejores empresas aserraderos del país.

RANKING DE LAS PRINCIPALES EMPRESAS DE ASERRÍO (Año 2015)					
RAZÓN SOCIAL	UBICACIÓN	CAPACIDAD INSTALADA (1 turno)(m3)	NÚMERO DE TURNOS	EXPORTACIÓN (m3)	
				Madera Aserrada(1)	Productos Elaborados(2)
TOTAL PAÍS		9.797.937		2.512.282	1.461.36 0
OTRAS EMPRESAS		5.509.011		409.920	582.126
PRINCIPALES EMPRESAS		4.288.926		2.102.360	879.234
Paneles Arauco S.A.		1.576.500		1.265.340	459.824
Paneles Arauco S.A.	Lanco XIV R.	180.000	3		
Paneles Arauco S.A.	Arauco VIII R.	240.000	2		
Paneles Arauco S.A.	Ránquil VIII R.	225.000	2		
Paneles Arauco S.A.	Constitución VII R.	243.000	2		
Paneles Arauco S.A.	Yungay VIII R.	216.000	2		
Paneles Arauco S.A.	Curanilahue VIII R.	210.000	2		
Paneles Arauco S.A.	Arauco VIII R.	195.000	2		
Paneles Arauco S.A.	Constitución VII R.	67.500	2		
CMPC Maderas S.A.		604.800		388.081	235.025
CMPC Maderas S.A.	Mulchén VIII R.	210.000	2		
CMPC Maderas S.A.	Nacimiento VIII R.	184.800	2		
CMPC Maderas S.A.	Cabrero VIII R.	123.000	2		
CMPC Maderas S.A.	Constitución VII R.	87.000	2		
Masisa S.A.	Cabrero VIII R.	129.600	2	214.486	1.751
Procesadora de Maderas Los Angeles S.A.	Los Angeles VIII R.	105.000	2		89.412
Aserraderos Loncoche S.A.	Loncoche IX R.	129.000	2		
Forestal León Ltda.		150.000		20	1.562
Forestal León Ltda.	Coelemu VIII R.	75.000	2		
Forestal León Ltda.	Cauquenes VII R.	75.000	1		
Aserraderos JCE S.A.	Los Angeles VIII R.	114.000	2	9.252	22.469
Maderas Jaime Venturelli y Cia. Ltda.		128.814		1.235	1.206
Maderas Jaime Venturelli y Cia. Ltda.	Lautaro IX R.	75.000	2		
Maderas Jaime Venturelli y Cia. Ltda.	Maule VII R.	53.814	1		
Foraction Chili S.A.	Curanilahue VIII R.	75.000	2		44.720
Forestal Tromen S.A.	Nueva Imperial IX R.	90.000	2	169.728	768
Forestal Santa Blanca S.A.		194.700		572	10.556
Forestal Santa Blanca S.A.	Longavi VII R.	108.900	1		
Forestal Santa Blanca S.A.	Constitución VII R.	85.800	1		
Mauricio Muñoz y Cia. Ltda.	Constitución VII R.	150.000	2		599
Forestal y Aserradero Leonera Ltda	Coelemu VIII R.	60.000	2	12.832	5.225
Maderas Martin Ltda.	Constitución VII R.	150.000	1	1.003	4.607
Aserradero Victoria S.A.	Victoria IX R.	60.000	2		
A I S.A.	Peralillo VI R.	84.000	1		
Lanunadora Los Angeles S.A.	Los Angeles VIII R.	60.000	2	22.040	26
Aserraderos Cerro Colorado S.A.	Los Angeles VIII R.	42.000	2		
Empresa Flores Eirl	Constitución VII R.	31.200	2		
Nelson Ivan Mestre Allende	Constitución VII R.	55.671	1		
Manuel Muñoz Guajardo	Constitución VII R.	24.741	2		
Forestal Andes Ltda.	Freire IX R.	32.784	2	620	
Maderas de Exportacion S.A.	Osorno X R.	60.000	1	1.775	
Forestal y Agrícola Yukon Ltda.	Pelarco VII R.	46.392	1		
Maderas Río Colorado S.A.	Los Angeles VIII R.	24.000	2		1.484
Aserradero Poco A Poco Ltda.	Los Angeles VIII R.	60.000	1	15.378	
Maria Berrios Morales forestal y Aserradero EIRL		50.724			
Maria Berrios Morales forestal y Aserradero EIRL	Maule VII R.	18.558	1		
Maria Berrios Morales forestal y Aserradero EIRL	Maule VII R.	13.608	1		
Maria Berrios Morales forestal y Aserradero EIRL	Maule VII R.	18.558	1		

Nota: Aserraderos ordenados en forma descendente, según volumen producido durante el año.

1) Corresponde a productos terminados. Incluye madera aserrada, basas y tapas.

2) Incluye madera cepillada, machihembrada, cleon, pallets, cajones, molduras, tableros laminados, piezas para construcción, partes y piezas, muebles y otros artículos menudos.

3) Incluye exportación de empresas coligadas.

Figura 1.3 ranking de aserraderos en Chile.

1.2 Teoría de aserraderos

En este capítulo se entregará de manera breve y precisa algunos antecedentes de la industria de aserrío, a fin de poder entender uno de los sectores y procesos más complejos de la industria forestal.

1.2.1 Identificación de los aserraderos, Primero que nada, es necesario comenzar a conocer los tipos de aserraderos en nuestro país que, según el Instituto Forestal, se pueden encontrar tres tipos. Estos se clasifican dependiendo del grado de tecnología incorporada y nivel de producción en el año, los cuales se especifican en la siguiente tabla.

Tipo de aserradero	Capacidad en m ³ al año
Mecanizados	Más de 50.000
Tradicional, no Mecanizados	10.000 a 49.999
Temporales	Menos de 9.999

Tabla 1-1. Tipos de aserraderos según capacidad de producción

1.2.2 Aserraderos mecanizados Como ya se mencionó, este tipo de aserradero es el que más produce al año. Esto se debe a que poseen un proceso de producción completamente automatizado para el corte y traslado de las rozas, la intervención del hombre solo es requerida para comprobar la calidad del corte y en caso de averías en el sistema. Por otra parte, usan una serie de equipos sofisticados para la clasificación de trozas, y el manejo y/o clasificación de madera

1.2.3 Aserraderos temporales Se dice que los aserraderos temporales emplean máquinas antiguas y el movimiento interno de la madera es manual. El proceso de aserrío es muy simple y se lleva a cabo solo con una sierra principal circular de dientes postizos, que sirve a la vez de partidor y con una canteadora de sierra circular fija.

1.2.4 Aserraderos no mecanizados Los aserraderos no Mecanizados emplean normalmente el carro huincha como maquina principal. La sierra partidora puede ser huincha o circular en algunos casos. La canteadora es por lo general una huincha circular móvil y el despuntado es de sierra circular. El proceso de producción es semiautomático debido a que siempre deben estar operadores controlando las máquinas y verificando su correcto funcionamiento.

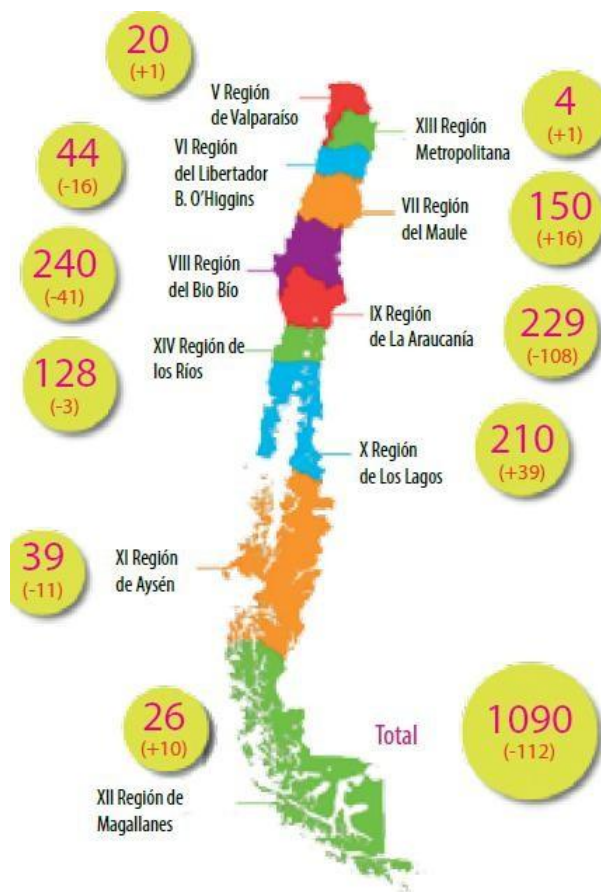


Figura 1.4 cantidad de aserraderos activos en 2015.

Capítulo II

Información básica de la madera y tipos de cámaras de secado.

2. Introducción al capítulo II.

En este capítulo se investigará todas las cámaras de secado que existen en el rubro de los aserraderos o producción de madera, para eso se verán desde las cámaras más simples hasta las más complejas o con una mejor tecnología en la actualidad.

Se describirán cada una de estas cámaras y además su tipo de funcionamiento ya sea a través de vapor, ventilación o electricidad, para poder así poder saber cuál de estas cámaras de secado es la más eficiente en lo que queremos buscar.

Además, se hará una breve mención a la información de la madera, refiriéndose a como está compuesta la madera de cuál es su contenido de humedad al ser cortada, si se puede eliminar el total de contenido de humedad, la clasificación de la madera entre otros términos más.

2.1 Información básica secado de madera:

En un árbol vivo, la madera suele tener un contenido de humedad (CH)* del 75% o más. De hecho, algunos tipos de madera contienen más de la mitad de su peso en agua cuando son cortadas.

Para poder elaborar la madera procesada se requiere eliminar prácticamente toda el agua hasta alcanzar un CH de 7%.

2.1.1 ¿Qué es el agua libre y ligada?

Agua libre es agua líquida que fluye por las células de la madera de un árbol vivo y que puede eliminarse con relativa facilidad.

Agua ligada es el agua que pasa a formar parte de la propia fibra de la madera y es más difícil de eliminar. Cuando la madera es secada, lo primero que ocurre es que el agua libre se evapora hasta que la madera alcanza el llamado punto de saturación de fibra, que generalmente se alcanza cuando el CH llega al 28%.

2.1.2 ¿puede el secado provocar que la madera se abra o se fractura?

La madera encoge a medida que se seca, pero este encogimiento no comienza hasta Debido a la compensación con el aire, la madera pierde agua en ambientes secos y la absorbe en entornos húmedos, mientras no se supere la saturación de la fibra de la madera no debería tener fractura la madera procesada.

2.1.3 Clasificación de la madera: Una vez que la madera ha sido aserrada, normalmente se clasifica en diferentes grupos según su tamaño y sus características a fin de facilitar su manipulación y obtener la mayor calidad.

Normalmente la madera se divide en dos clases en madera útil la cual se emplea en la fabricación de muebles, gabinetes, etc. Y la madera no útil de menor calidad la cual suele venderse verde.

2.1.4 Determinación del Contenido de Humedad en la Madera:

La determinación del contenido de humedad en la madera se realiza teniendo en cuenta los valores de agua libre y de saturación los cuales identificaran el peso de la madera en sí. Para que la madera obtenga su peso constante, se debe secar a unos 100°C.

Su valor numérico se expresa en porcentajes y se eleva con la siguiente formula:

$$CH = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100\%$$

Donde:

CH = humedad de la madera expresada en porcentajes de su peso anhidro.

Ph = peso de la madera en estado húmedo, peso inicial.

Ps = peso de la madera en estado anhidro, o peso final o constante.

2.2 Métodos de secado de madera:

Se tienen los métodos tradicionales como el secado a estufa y los métodos eléctricos los cuales ocupan detectores de humedad y a nivel industrial son muchos más rápidos.

También hay otros procedimientos como decantación al vacío mediante sustancias higroscópicas, destilación de la madera, expulsión directa del agua por presión, centrifugación entre otras más.

2.2.1 Método de secado en estufa: Es uno de los métodos más exactos y con resultados satisfactorios para determinar el contenido de agua en la madera.

Para tener éxito en este método se debe seleccionar bien el tipo de madera para secar.



Figura 2.1 Imagen de cámara de secado método por estufa.

2.2.2 Métodos de secado eléctricos: La medición de humedad en la madera por métodos eléctricos tiene su base en las diferentes propiedades eléctricas de la madera seca y de la humedad, relacionando su conductividad eléctrica y la constante dieléctrica de la madera y su pérdida de potencia.

Es sabido que la resistencia eléctrica y las propiedades dieléctricas en la madera dependen de su humedad (6 a 25% CH) “*contenido de humedad de la madera*”.



National Patent Approval CE Certificate ISO Certificate

Figura 2.2 Imagen de cámara de secado por método eléctrico.

2.2.3 Secado al aire libre: El secado al aire libre, que aprovecha la acción del viento y el sol, se realiza apilando la madera sobre paletas y dejando que el viento sople a través de la pila, secando la madera. Un secado lento debido a un escaso flujo de aire o a un alto nivel de humedad puede producir manchas en la madera, mientras que un secado demasiado rápido por un flujo de aire excesivo o una baja humedad puede provocar fracturas. En el caso de maderas destinadas a la fabricación de muebles o cualquier otro producto finalizado que requiere entre un 6% y un 8% de CH.



Figura 2.3 Imagen de secado al aire libre.

2.2.4 Método a través de secadero: con el método del secadero, la madera se coloca en un cobertizo sin muros, lo que evita la exposición directa a los rayos del sol y a la lluvia a la vez que permite mantener un buen flujo de aire. El ritmo de secado se puede regular utilizando una cortina de malla de plástico y cerrándola cuando el tiempo es seco y con altas temperaturas o abriéndolas cuando las condiciones son más frescas y húmedas. Con este método, contenido de humedad final de la madera suele ser superior al 20%.



Figura 2.4 Imagen de método secadero de madera.

2.2.5 Método secado en horno: con el secado de horno, la madera se coloca en una cámara en la cual se controlan el flujo de aire, la temperatura y la humedad para ofrecer el secado más veloz que es capaz de tolerar la madera sin incurrir en defectos. Existen varios tipos de hornos, en función de la forma en que se controlan la temperatura y la humedad.



Figura 2.5 Imagen de secado de madera en horno.

2.2.6 Método de horno solar: Los hornos solares normalmente requieren cierto tipo de colector solar que proporciona la energía calorífica que hace que se evapore el agua presente en la madera. El tiempo de secado del horno solar dependen de las condiciones climatológicas, por lo que es impredecible. En climas cálidos la madera podría degradarse debido a un secado excesivo.

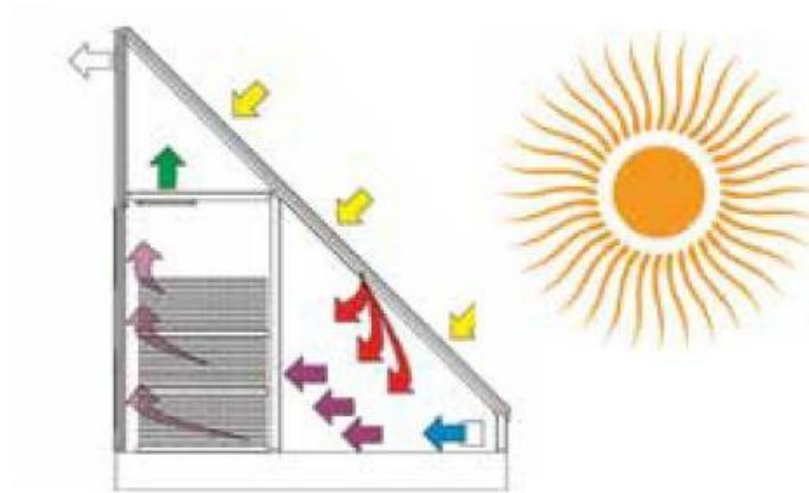


Figura 2.6 Imagen de secado de madera por horno solar.

2.2.7 Método horno de deshumidificaron: Los hornos de deshumidificación emplean un sistema basado en bombas de calor que elimina la humedad de la madera. Una de las principales ventajas de este tipo de sistema es que recicla el calor continuamente en lugar de eliminar el aire caliente como hacen los hornos convencionales. lo que los hace más eficientes energéticamente y reduce sus costos de operación. La razón de que los sistemas de deshumidificación sean menos costosos de operar pese a que el combustible con el que funcionan los sistemas convencionales sea más barato se halla en la capacidad de los primeros de conservar la energía al reciclar el calor.

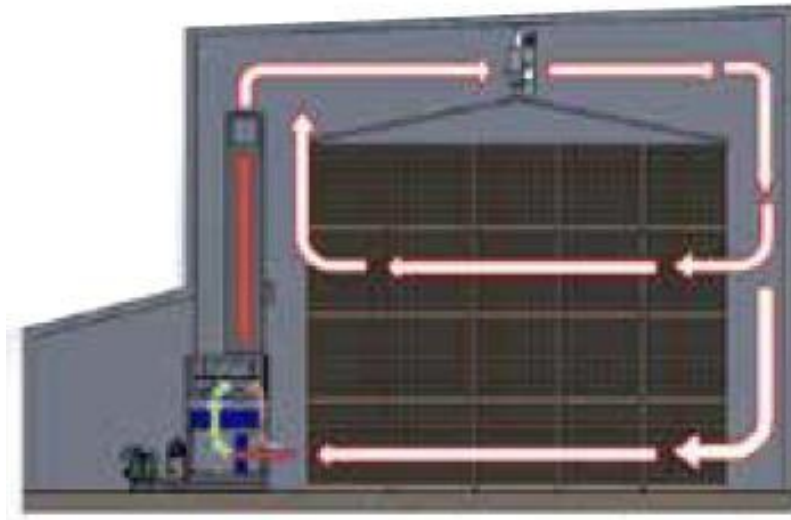


Figura 2.7 Imagen de secado de madera de deshumidificación

Capítulo III

Tecnologías de medición de humedad.

3. Introducción al capítulo III.

En este capítulo se aludirá a toda la tecnología de medición de humedad la cual se hará una investigación de todas estas para poder clasificar cada una de estas por medio de una tabla de notas de cada uno de estas, esta tabla tendrá diferentes criterios tales como capacidad de volumen de madera, temperatura de operación, capacidad de medición entre otros. Después de dar notas a todos estos criterios se realizará un promedio de todas estas tecnologías la cual el promedio más alto se elegirá para nuestro objetivo de trabajo de título.

En este capítulo además se verán los diferentes instrumentos asociados a cada una de las categorías en donde además se evaluarán cada una en una tabla de evaluación, en cual de cada una de estas tecnologías es la mejor para nuestro proyecto de título.

3.1 Sensores e instrumentos resistivos:

Si se tiene una superficie cualquiera en presencia de una mezcla gaseosa con vapor de agua, siempre habrá cierta cantidad de moléculas de agua presentes en dicha superficie. La presencia de agua permite que a través de la superficie circule una corriente, en ello se basan los sensores por conductividad

3.1.1 Sensor SH-6/120, Measure Instruments: Instrumento tipo lanza, su zona sensible para medir humedad es entre la punta y el cuerpo de la sonda. Posee un solo lector y distintos sensores intercambiables para determinar humedad en productos como en forraje, heno, alfalfa, fardos y rollos de pasto.



Figura 3.1 de sensor resistivo SH-6/120.

Tabla N° 3-1: SH-6/120.

Rango de medición	0% - 100%.
Profundidad de medición	120 cm.

3.1.2 Lector MI-7, Measure Instruments: Almacena en la memoria las 25 últimas mediciones y éstas no se pierden al sacar la batería. Además, es programable para algodón, papel, tierras, maderas y mediciones superficiales.

Observación: Es necesaria la inclusión de este lector ya que el sensor previo (SH-6/120) necesita de este para indicar su medición.



Figura 3.2 de sensor resistivo MI – 7

Tabla N° 3-2: MI – 7

Rango de medición	0% – 100%
Resolución	0,1%
alimentación	9 V.

3.1.3 Instrumento por conductividad Xilohigrómetro: Aquellos que miden principalmente la conductividad iónica entre dos puntos de tensión aplicados sobre la madera, las escalas están graduadas para indicar directamente el contenido de humedad (en base seca).

La madera actúa como resistencia en el circuito eléctrico para su medición de humedad y esto requiere que se haga un contacto con la madera en dos puntos.



Figura 3.3 Xilohigrómetro de conductividad eléctrica

Tabla N° 3-3: Xilohigrómetro.

Rango de temperatura	10C° a 32 C°
Resolución	0,1 %
Rango de medición	6% a 40%
Elemento de medición	Electrodos

3.2 Sensores e instrumentos capacitivos:

Son quizás los más difundidos en la industria y meteorología, pues son de fácil producción, bajos costos, y alta fidelidad. El principio en el cual se basa este tipo de sensores, es en el cambio que sufre la capacidad (C en [Farad]) de un condensador al variar la constante dieléctrica del mismo. Si se utiliza la mezcla gaseosa como dieléctrico entre las placas del condensador.

3.2.1 Instrumento de medición RP5, Schaller: Esta herramienta indica el porcentaje de agua contenido en el material referido a su peso total en base seca. Se somete al producto bajo un campo eléctrico de alta frecuencia, cuyas características cambian según el contenido de agua en el material medido.

El instrumento posee compensación automática de temperatura, función de registro de datos (15.000 registros aproximadamente) con grabación de fecha automática y función de calibración de usuario para tipos de materiales específicos. Incluye cable USB para PC. Idiomas de menú: español, alemán, inglés, italiano, francés y ruso.



Figura 3.4 instrumento de medición capacitiva RP5.

Tabla N° 3-4: RP5.

Rango de medición	1% – 50% de contenido de agua
Precisión	± 0,5%
Resolución	0,5% de humedad en el material
Temperatura de operación	0° – 40° C
Protección	IP40
Interfaces	USB (Almacenamiento de datos a través de software)
Profundidad de medición	Max 50 cm.
alimentación	90 – 260 Vac

3.2.2 DL2e Data Logger, Delta T Devices: El registrador de datos DL2e, es un registrador de datos versátil, muy adecuado para aplicaciones de sitios remotos y de laboratorio. El sistema DL2e es fácil de usar y es compatible con una amplia variedad de sensores, intervalos de registros de datos, recopilación de datos e instalaciones de análisis.



Figura 3.5 instrumento de medición capacitiva DL2e.

Tabla N°3-5: DL2e.

Rango de medición	0 – 0,4 m ³ m ⁻³ *
Precisión	± 0,04 m ³ m ⁻³
Temperatura de operación	0° – 40° C
Protección	IP68
Salida	0 – 1 VDC correspondiente a 0 – 0.6 m ³ .m ⁻³ (calibración mineral)
Profundidad de medición	40 – 100 cm, 10 cm de diámetro
Alimentación	5,5 VDC con cable de 2 m 7,5 VDC con cable de 100 m Consumo < 120 mA a un máximo de 15 VDC

3.2.3 Sistema de medición de humedad MC 4000: El MC4000 puede funcionar solo como un valioso sistema automático de medición de humedad en el horno, o puede interactuar con paquetes de software del sistema de control del horno computarizado, proporcionando al operador del horno una herramienta precisa de medición y monitoreo de la humedad para permitir un mayor control sobre la operación de secado del horno.



Figura 3.6 equipo de medición de humedad MC4000.

Tabla N° 3-6: MC4000

Temperatura de operación	21.11°C – 148.8°C.
Temperatura de consola	10°C – 43.33°C.
Corriente	7 A.
alimentación	100 – 120 Vac o 200 – 240 Vac.

3.3 Sensores e instrumentos infrarrojos:

Las moléculas (cualesquiera), no son estructuras rígidas e inmóviles, poseen movimientos rotatorios alrededor del centro de masa, y movimientos vibratorios (de sus componentes atómicos), similares a un movimiento armónico simple. Ambas energías, tanto la rotatoria como la de vibración están cuantizadas, y para que la molécula pase de un nivel energético a

otro se requiere, por lo tanto, de una cantidad de energía específica, que depende del tipo de molécula que se esté considerando espectros moleculares. Dado que las ondas electromagnéticas poseen cierta cantidad de energía dependiendo de la longitud de onda de la misma, las moléculas absorberán o emitirán ondas de frecuencias muy específicas, cuya energía sea equivalente a las transiciones energéticas que presente la molécula.

3.3.1 Transmisor MCT460, Process Sensors: La luz de lámpara se dirige a través de los filtros pasa bandas NIR. Los filtros separan la luz en longitudes de ondas NIR, seleccionadas específicamente por PSC para la medición y la aplicación que se requiere. La luz NIR es dirigida hacia el producto que se está midiendo normalmente en una cinta transportadora o en una banda transportadora. Posteriormente la luz reflejada del producto es capturada por un espejo y enfocada sobre un detector de sulfuro de plomo. La salida en microvolts del detector es tomado por la placa del circuito „inteligente“ y se convierte en porcentaje de humedad, Cabe señalar que, para operar como instrumento de medición de humedad, este transmisor necesita de una interfaz de operador (pantalla táctil) o ser conectado a un PLC.



Figura 3.7 instrumento de medición de humedad MTC460.

Tabla N° 3-7: MTC460

Rango de medición	0,1% – 95 %
Precisión	Sujeta a la aplicación y tipo de producto
Resolución	+/- 0,1 % de humedad en el material
Temperatura de operación	0° – 50° C
Interfaces	4 – 20 mA / 0 – 10 V, RS – 232 y RS – 485 ProfiNet, ProfiBus, Ethernet IP, Modbus, TCP o DeviceNet
Distancia del producto	20 – 45 cm
Alimentación	90 – 260 VAC, 50/60 Hz, 40 W

3.4 Sensores e instrumentos microondas:

3.4.1 Instrumento de medición MW-T, Tews Elektronik: Posee dos antenas, las cuales son montadas a los lados del producto que se desea medir. La antena emisora genera y emite microondas, que atraviesan el producto y alcanzan la antena receptora. La unidad electrónica del MW-T analiza la señal recibida y calcula la humedad y densidad del producto, estos valores son almacenados y pueden ser impresos en etiquetas. La medición de humedad es independiente de la densidad y de la posición de los productos que se desee medir.



Figura 3.8 instrumento de medición por microondas MW-T.

Tabla N° 3-8: MW-T.

Temperatura de operación	0° – 40 ° C
Protección	IP54
Interfaces	2 USB (memoria, impresora, mouse etc.) 4 entradas/salidas digitales 4 entradas/salidas análogas 4 – 20 mA Modbus TCP/IP output
Alimentación	230 VAC (115 VAC opcional), 50 – 60 Hz, 180 VA
Velocidad de medición	30 lecturas por segundo

3.4.2 Sensor Moist PP, hf sensor: El cabezal sensor robusto es usado en la medición de humedad en sólidos y productos a granel, donde el volumen a medir se encuentra alrededor de 0,01 m³. Moist PP es un radiador de microondas con una penetración en el material de hasta 20 cm. Este sensor es un cabezal sensor inteligente ya que posee un microcontrolador. Puede ser operado de forma autónoma en aplicaciones simples o en combinación con la unidad de control Moist Control 100.



Figura 3.9 sensor por microondas Moist PP.

Tabla N° 3-9: Moist PP.

Rango de medición	0% – 400% base seca, 0% – 80% base húmeda
Precisión	0,1 % – 1,5%
Temperatura de operación	0° – 70° C
Interfaces	4 – 20 mA (activa), RS 485 (opcional) 3 entradas de conmutación aisladas (opcional) 2 salidas de conmutación aisladas (opcional)
Profundidad de medición	25 cm
Alimentación	24 VDC

3.4.3 Sensor Moist Bio P, hf sensor: El cabezal sensor robusto es usado en la medición de humedad en sólidos y productos a granel, donde el volumen a medir se encuentra entre 50 a 100 litros. Moist Bio P es un radiador de microondas con una penetración en el material de hasta 50 cm. Fue diseñado para medición de humedad en grandes bultos.

Este sensor es un cabezal sensor inteligente ya que posee un microcontrolador. Puede ser operado de forma autónoma en aplicaciones simples o en combinación con la unidad de control Moist Control 100.



Figura 3.10 sensor por microondas Most Bio P.

Tabla N° 3-10: Most Bio P.

Rango de medición	0% – 400% base seca, 0% – 80% base húmeda
Precisión	0,5% – 3%
Temperatura de operación	0° – 70° C
Interfaces	RS 232, 4 – 20 mA RS 422, 4 – 20 mA
Profundidad de medición	50 cm
Volumen de medición	50 – 100 L
Alimentación	8 – 28 VDC

Capítulo IV

Diseño de cámara de secado.

4. Introducción al capítulo IV

En este capítulo se describirá como está compuesto una cámara de secado tipo horno o a vapor, se nombrarán y definirán tantos los elementos mecánicos, eléctricos y de control que componen el funcionamiento de esta cámara de secado.

También como está diseñada esta cámara por dentro, como irían acoplados todos elementos mencionados anteriormente en esta cámara como también los pallets donde irán las abrazaderas del sistema avanzado de medición de humedad MC 4000.

4.1 Cámara de secado tipo horno.

En el presente capítulo se describirá el proceso de secado que actualmente se emplea en la cámara de secado se podrá tener una referencia de cómo es la cámara de secado al interior con los diferentes elementos que la componen.

4.1.1 Proceso de secado de madera

La figura 4.1 muestra de las posiciones de los equipos tanto de ventilación como de control que componen el proceso de secado indicando además la dirección en donde pasa el flujo de aire en cada uno de los componentes.

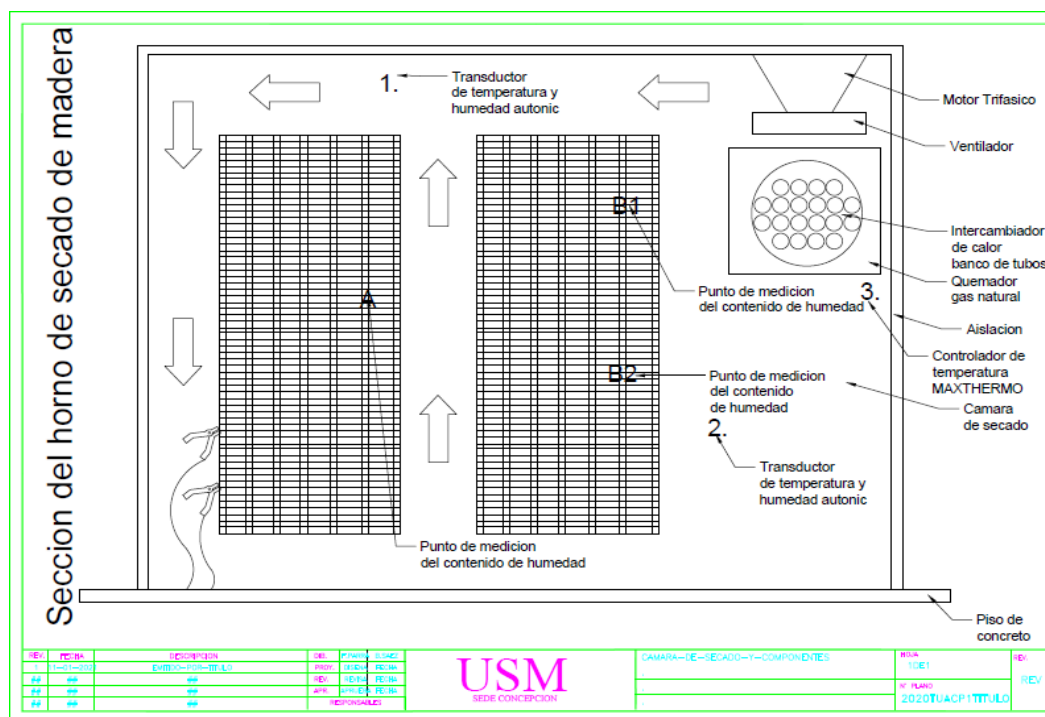


Figura 4.1 cámara de secado.

4.1.2 Instrumentos de medición

En una cámara de secado son muy importantes los instrumentos de medición talos como de temperatura ambiente, contenido de humedad en cámara de secado y en la madera, como también termocupla de tipo k para medir la temperatura de las cañerías.

Estos son algunos de los instrumentos que se encuentran en la cámara de secado.

4.1.3 Componentes del sistema

Estos son los componentes que hacen el secado de madera son los siguientes:

- **Horno de secado.** El horno de secado o cámara de secado es la parte en donde se apila la madera para su posterior secado. Un ejemplo de las dimensiones de un horno de la marca PREMAC presenta unas dimensiones externas de 4,61 m de ancho, 2,82 m de altura y 3,25 m de profundidad, con una capacidad para albergar 17,47 m³ de madera para su secado.
- **Quemador de gas natural.** El quemador de gas natural usado en el proceso es de tipo mecánico, funcionan con un sistema de control compuesto por un sensor de temperatura, y una electroválvula que mantiene la temperatura dentro del horno.
- **Intercambiador de calor de banco de tubos escalonados.** Es el sistema encargado de trasferir calor al aire durante el proceso de secado. Está construido con tubos de acero.

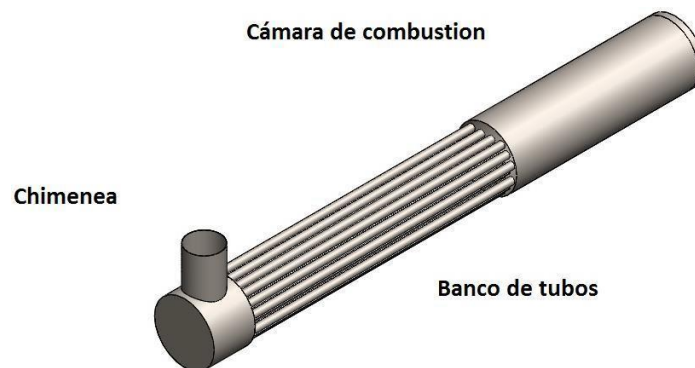


Figura 4.2 Intercambiador de calor de banco de tubos escalonados.

- **Ventiladores y motores eléctricos.** En una cámara de secado se tienen varios ventiladores cada uno de los ventiladores es accionado por un motor eléctrico que funciona de forma continua en el proceso de secado. Una de las recomendaciones que se da para este tipo de proceso es integrar un variador de frecuencia para el motor.

4.1.4 Selección de accesorios para la línea de vapor.

Para comenzar con el sistema de calefacción se deben seleccionar los componentes que lo conforman, siendo estos elementos esenciales para la seguridad y vida útil de la línea de vapor y condensado como además de los serpentines.

Para poder obtener la temperatura deseada en el interior de la cámara de secado, es necesario poder controlar la cantidad de vapor entrante a los serpentines, y para ello se utilizará un controlador, que será el encargado de enviar la señal eléctrica necesaria para poder regular la válvula de control regulando la temperatura a la programada.

Todos los componentes que conforman la línea de vapor y condensado se muestran a continuación como lo indica la figura 4.5, siendo este el diagrama de flujo de la instalación que se utilizará para la cámara de secado de madera.

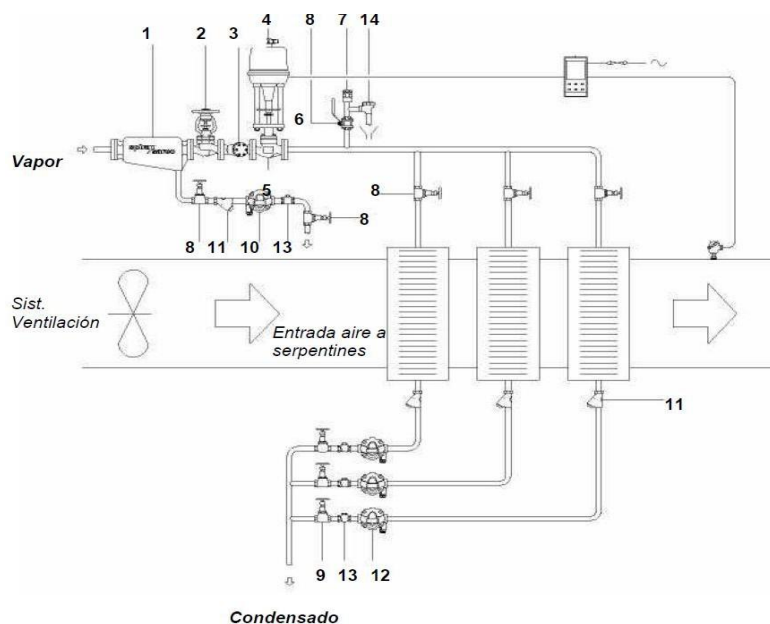


Figura 4.3 Diagrama flujo de línea de vapor y condensado

4.1.5 Comportamiento del flujo de aire al interior del horno.

Para analizar el comportamiento de las corrientes de aire caliente al interior del horno de secado de madera, se ilustrarán como es el fenómeno en las siguientes imágenes.

En la siguiente imagen muestra un esquema con la configuración del horno y cada uno de los elementos que fueron necesarios para el modelo de simulación.

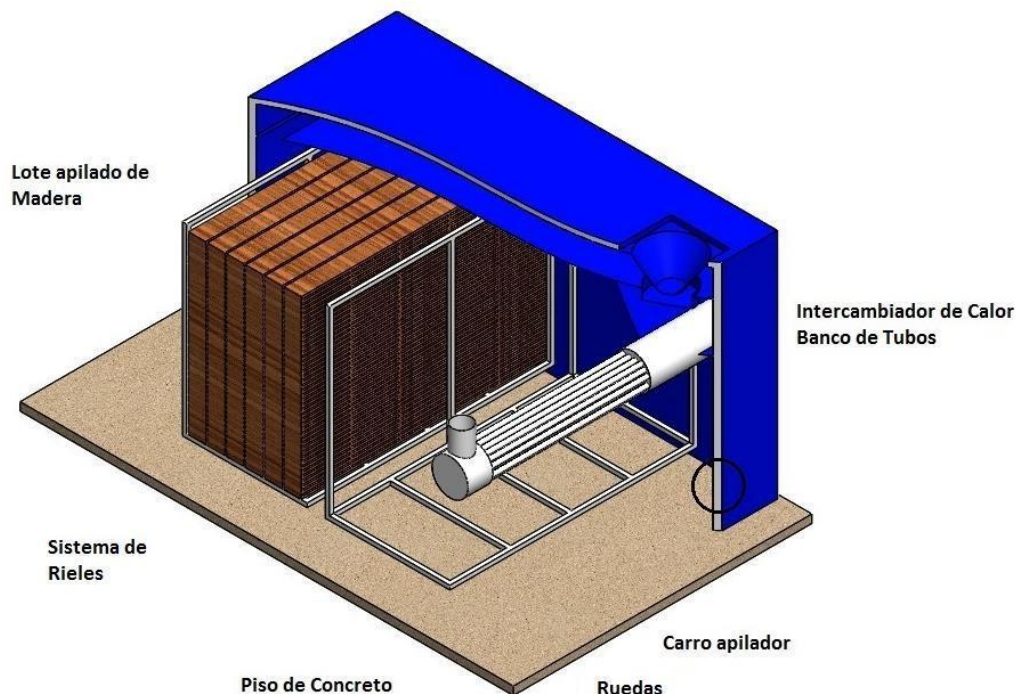


Figura 4.4 Esquema del horno utilizado para la simulación

4.1.6 Modelo de simulación de la velocidad del aire.

Una de las variables más importantes para el correcto secado de la madera es la velocidad del aire y su comportamiento al interior del horno. Un adecuado flujo de aire en el interior de la madera apilada asegura un correcto y eficiente secado. Garantizar un flujo uniforme de aire conlleva un secado parejo del lote, mientras que un flujo irregular genera zonas de secado desigual, ocasionando daños en la madera sin importar que las condiciones de temperatura y humedad en el interior del horno sean adecuadas, ya que la velocidad y flujo de aire constante y parejo garantiza la remoción de la humedad.

Capítulo V

Sistema de medición de humedad MC 4000

5. Introducción al capítulo V.

Este capítulo describirá el origen del sistema Wagner MC4000, la historia de los modelos de medición de humedad posteriores al actual. Las especificaciones de este sistema, tanto técnicas como de instalación e interfaz de este sistema, un estudio comparativo de varias tecnologías de medición de humedad y una nota de cada una para poder decidir cuál es mejor.

Cómo se conecta la energía al panel PKU, qué tipo de terminales y canalizaciones se utilizan para llegar a la sala de control para que se pueda monitorear cada sensor IN Kiln de la cámara de secado.

5.1 Que es el Wagner MC4000.

Wagner MC4000 es un sistema para medir y controlar la humedad de la madera en el horno. Se utiliza para recopilar datos, controlar la humedad de las especies de madera durante el proceso de secado para obtener los mejores resultados. El sistema de medición de la humedad de la madera en el horno Wagner MC4000 lo ayuda a reducir el esfuerzo, aumentar la productividad y la eficiencia en el proceso de secado de la madera.

Reduzca las pérdidas debidas a la degradación relacionada con el secado, minimice las pruebas manuales que requieren mucha mano de obra y haga que su proceso de secado de madera sea más eficiente.



Figura 5.1 consola MC4000.

5.1.1 Origen y especificación del Wagner MC4000.

En la década de 1970, con la introducción del Modelo 778, Wagner Electronics revolucionó la industria con la primera generación de sistemas de medición de humedad de hornos eléctricos basados en campos eléctricos. Diseño robusto y fácil de usar. Wagner ha seguido perfeccionando y actualizando este concepto de diseño básico y probado con el lanzamiento del modelo actual MC4000.

El sistema de medición de la humedad de la madera en el horno Wagner MC4000 se puede operar de forma independiente como un valioso sistema automático de medición de la humedad del horno o se puede conectar al paquete de software del sistema de control del micro horno. proporciona al operador del horno una herramienta de medición y medición de humedad precisa para un mayor control sobre la operación de secado.

Un sistema MC4000 típico incluye:

- Una o más unidades por horno (PKU; un recinto principal por horno)
- Al menos 4 unidades de depósito (área del sensor de humedad por horno; máximo 9 unidades por horno)
- La computadora principal del MC4000 tiene un software de interfaz de usuario para configurar y monitorear el estado de humedad (MC) de cada zona de sensor en cada horno durante el secado.

5.1.2 Software MC4000.

La aplicación de software MC4000 proporciona una vista MC en tiempo real para cada área de sensor y proporciona un gráfico de tendencia MC de todos los sensores en el programa de secado. Además, el software MC4000 permite a los usuarios establecer, con cada nueva carga, un punto de apagado promedio de MC o un punto de ajuste de alarma para la carga. Cuando el MC promedio de las mediciones (Unidad de Detección de Humedad) del horno alcanza el punto de ajuste, ocurrirá la activación de la salida del relé que puede disparar una señal de alarma al panel de control o un comando de apagado para hardware del sistema de control del horno.

5.1.3 Funciones del MC4000.

- Muestra la tendencia de MC del sensor durante el secado.
- Diseñado para un funcionamiento confiable incluso a temperaturas de horno de 300 ° F
- Área de sensor grande; obtener el MC promedio entre las placas del sensor
- Alarma automática activada o desactivada y alarma desactivada según el punto de ajuste de humedad
- La arquitectura abierta permite la integración con prácticamente cualquier controlador de microondas.

Los cables de las abrazaderas a las unidades de envío son de resistencia industrial y no corrosivos para soportar el ambiente del horno.

Las pinzas de fuerza industrial se separan fácilmente de las sondas de detección en caso de la caída de la madera.

Sondas de detección no corrosivas de acero inoxidable de alta resistencia.

Hay disponibles sondas de detección de 4 y 8 pies de largo para satisfacer sus necesidades específicas.

Calibración del sistema fácil y eficiente en el tiempo Apagado automático del horno y alarma de apagada basada en el nivel de MC

Proporciona la medición de MC para los rangos de temperatura del horno de 70° - 300° F

La arquitectura abierta se integra con prácticamente cualquier controlador de horno computarizado

Amplia zona de detección para obtener un promedio de MC entre los sensores

Muestra el MC de la madera por encima y por debajo del punto de saturación de la fibra

Proporciona una medición precisa y repetible de MC para obtener resultados consistentes en el punto final

5.1.4 Detalles técnicos.

- Requerimientos de energía
 - 100-120 VAC o 200-240 VAC
 - 7amp, monofásico 50-60HZ
- Entorno operativo
 - Rango de temperatura ambiente
- Sensores: In-Kiln 70° F a 300° F
- Consola: 50° F - 110° F
- Interfaz del operador
 - Ordenador personal
 - Monitorea hasta 12 consolas PKU
- PKU
 - Opera hasta 9 sensores
 - Relé de apagado de estado sólido
 - Clasificado por la NEMA 4
- Abrazaderas del sensor
 - Abrazaderas industriales de alta resistencia
 - Alambres de sonda de acero inoxidable
- Sondas del sensor
 - Longitudes de 4' y 8'.
 - Acero inoxidable de alta resistencia

- Cables sensores
 - Cables de acero inoxidable no corrosivos clasificados para soportar hasta 300° F
- Unidades de envío
 - Acero inoxidable de calibre 16
 - Clasificado para soportar hasta 300° F
- Certificaciones de cumplimiento
- Certificación de la FCC: El sistema de horno avanzado MC4000 está certificado para cumplir con las normas y reglamentos de la FCC parte 15 para el funcionamiento en entornos industriales.

5.1.5 Calibración de la unidad de envío (SU).

Un técnico de Wagner realizará la calibración inicial del SU. El MC4000 debe calibrarse cuando se instala por primera vez para obtener lecturas precisas del contenido de humedad.

El proceso de calibración ajusta automáticamente la electrónica dentro de la unidad por horno (PKU) para las diferentes longitudes de cable que ingresan al horno (s).

Wagner recomienda recalibrar la SU una vez al mes.

Cada sistema MC4000 incluye un dispositivo de prueba portátil para calibrar cada una de las unidades de envío. Se llama Unidad de Sintonización Automática (ATU). Cuando la ATU está conectada a una SU, calibra automáticamente cada placa de circuito al canal correcto en la PKU. Las instrucciones de uso están en la ATU, pero se enumeran aquí como referencia.

1. Desconecte las abrazaderas del cable de la sonda de los terminales de la unidad emisora.
2. Conecte la pinza ATU roja al terminal izquierdo.
3. Conecte la pinza ATU negra al terminal derecho.

4. Encienda el interruptor de energía ATU.
5. Verifique que la luz de encendido se encienda (parpadeando).
6. Espere hasta cuatro minutos para que se complete el proceso de sintonización automática. (El tiempo típico es de 1,5 a 2 minutos).
7. Cuando la luz de "Listo" parpadee, apague la ATU.
8. Desconecte las abrazaderas negra y roja.
9. Vuelva a conectar los cables de la sonda.

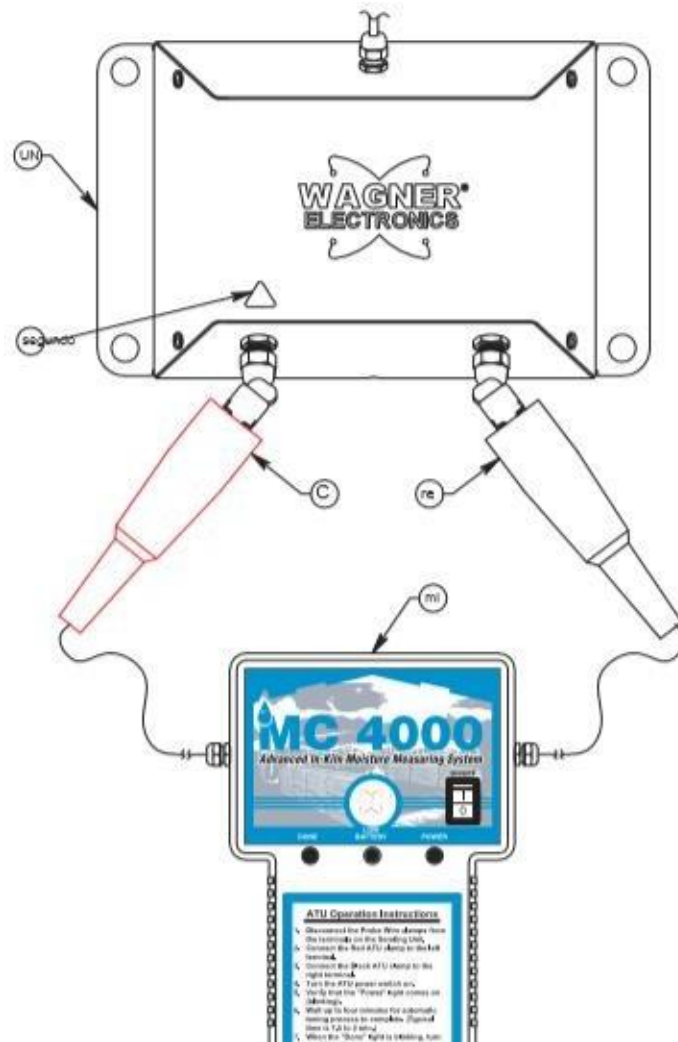


Figura 5.2 sensor IN Kiln con sus abrazaderas.

Tabla N° 5-1 partes de sonda y consola.

símbolo	descripción
UN	Unidad de madera pegada
Segundo	Pared del horno
C	Transmitir la tira de la sonda
re	Tira de sonda de tierra

5.2 Instalación de las tiras de sonda del sensor.

5.2.1. Instalación de las sondas

- Verifique que las tiras de la sonda no tengan grandes áreas de brea. Limpiar según sea necesario. La acumulación excesiva de tono afectará la precisión del sistema.
- Coloque la tira de la sonda de transmisión lo más alto que pueda alcanzar de manera uniforme entre las pegatinas. Si esto ubica la sonda de transmisión por encima del espaciado del travesaño, muévela hacia abajo hasta al menos una hilera por debajo del espaciado del travesaño. Una vez que se haya determinado esta altura, cuente las hiladas de material del piso para una colocación uniforme.
- Coloque la tira de la sonda de tierra a 30-42 pulgadas (91-107 cm) debajo de la sonda de transmisión.
- Instale la tira de la sonda directamente en frente del SU y centrada entre las pegatinas. Las tiras de la sonda deben insertarse completamente en la madera.

5.2.2. Conexión de los cables de la sonda

Las longitudes de los cables de la sonda se hacen a la medida del ancho del horno. Esto es para asegurar que los cables no sean ni demasiado largos ni demasiado cortos. Por lo tanto, en hornos con diferentes anchos de cámara impelente, es importante que se instale el cable correcto en el horno correcto.

Con las tiras de sonda insertadas en las pilas de madera, sujete los cables de la sonda en el extremo de las sondas con las abrazaderas de servicio. Verifique que el cable de la sonda de transmisión conectado a la sonda en la parte superior de la pila. Además, verifique que los cables de la sonda no se toquen entre sí ni con ningún otro objeto metálico. La Figura 2.2.1 muestra la colocación correcta de la sonda.

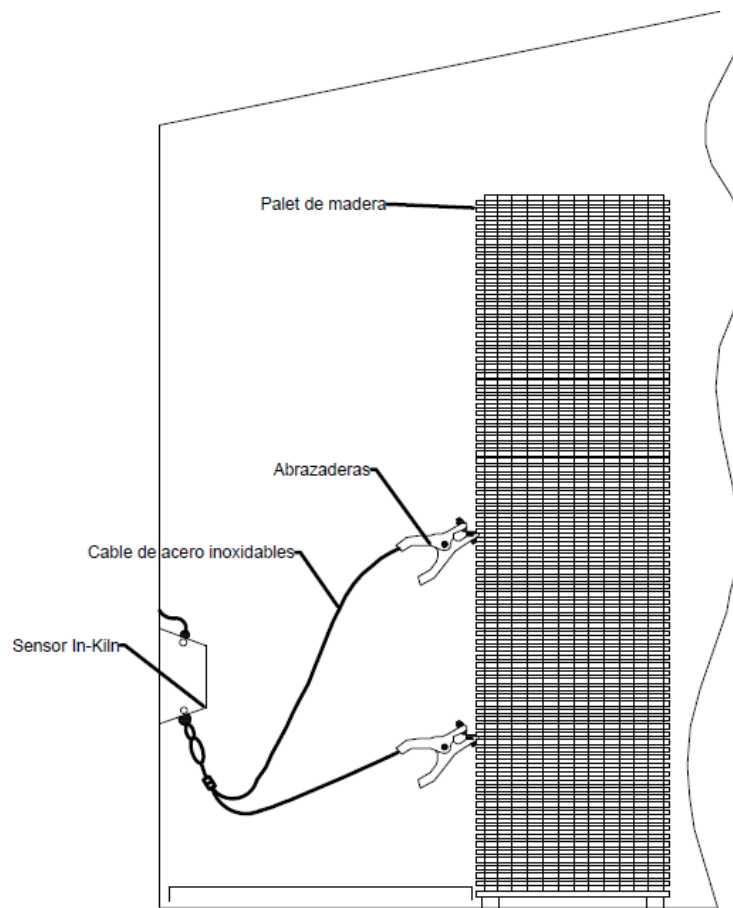


Figura 5.3 implementación de medición de humedad en pallet.

5.3. Operación del software

5.3.1 Visión general.

Una vez configurado el sistema, puede comenzar a recopilar datos. La información sobre el contenido de humedad se transmite de los SU a las Unidades por horno (PKU). La PC registra la información a medida que se transmite y luego se recopila. La PC es la interfaz para las unidades por horno (PKU). A través del software MC 4000 puede ver todos los hornos conectados a la PC y ajustar individualmente la configuración de cada horno.

Operación básica Wagner Meters instala el software MC 4000 y configura la computadora antes del envío.

Inicio de sesión del sistema operativo.

Una vez configurada la computadora, inicie sesión en el sistema operativo de la computadora de la siguiente manera;

Nombre de usuario: Administrador

Contraseña: (en blanco)

Wagner Meters ha configurado una cuenta de administrador sin nada (en blanco) como contraseña. El administrador de red o el departamento de TI pueden cambiar este inicio de sesión si es necesario.

5.3.2 MC 4000 Iniciar sesión y graficas.

Wagner Meters creó un acceso directo al software MC 4000 y lo colocó en la pantalla del escritorio. Después de iniciar sesión en el sistema operativo de la computadora, haga doble clic en el icono de acceso directo del MC 4000 para iniciar el software de Wagner.

El software MC 4000 requiere que el usuario inicie sesión. El sistema se envía con un inicio de sesión predeterminado. Esta cuenta de inicio de sesión predeterminada permite el acceso a todas las áreas del software.

En la interfaz del MC 4000 existen diferentes funciones tales como configuración de los sensores, cantidad de sensores dentro de la cámara de secado, lista de pallet entre otras funciones.

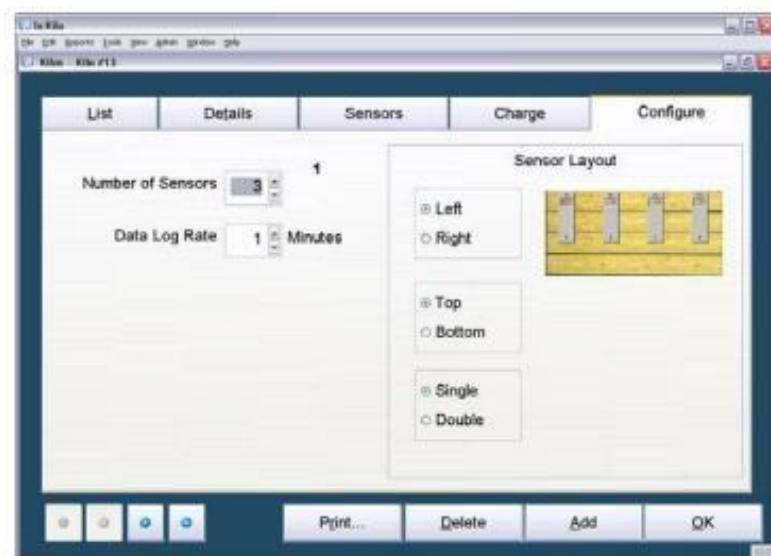


Figura 5.4 interfaz del MC4000.

Esta es la gráfica de secado de cada uno de los sensores, donde se tiene el % de humedad respecto a las horas de secado como se ve en la siguiente grafica.



Figura 5.5 grafica de medición de secado de sensores.

Esta es la interfaz donde se ven cada uno de los sensores en las cámaras de secado.



Figura 5.6 interfaz de sensores.

5.4 Tabla de clasificación de tecnologías.

Se realizo un estudio para determinar cuál de todas las tecnologías disponibles para la medición humedad, definimos distintos tipos de parámetros para evaluar tales como capacidad de volumen de madera, temperatura de operación, capacidad de medición tecnología probada en industrias, efectividad de medición y promedios.

Tabla N° 5-2 clasificación de tecnologías de medición de humedad.

Tecnología	Capacidad de volumen de madera	Temperatura de operación	Capacidad de medición	Tecnología probada en industrias	Efectividad de medición	Promedio
Medición por conductividad	65	50	75	85	80	71
Medición por capacidad	90	100	90	90	90	92
Medición por infrarrojo	50	70	80	85	80	73
Medición por radiofrecuencia	70	85	80	90	90	83

5.5 Instalación de sistema de medición de humedad.

En la siguiente imagen se tendrá un bosquejo de cómo se instalará todo el sistema de medición de humedad de la marca Wagner Meters, algunos de estos elementos son la consola MC 4000, la computadora en la cual se monitoreará el proceso, las canalizaciones, los cables de comunicación Cat 5 entre otros elementos que se aprecian en la imagen.

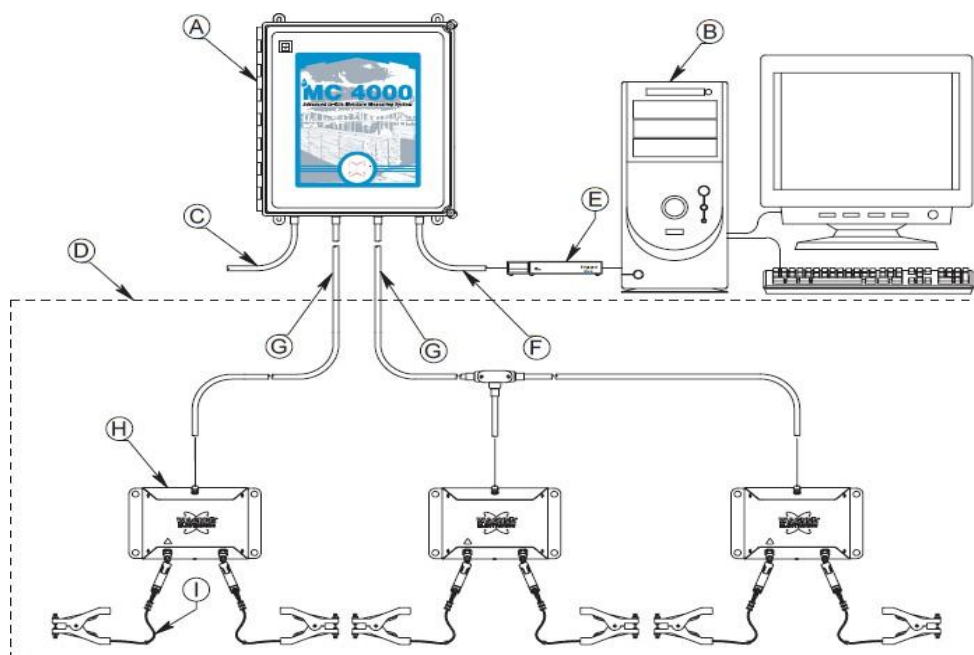


Figura 5.7 Sistema de medición de humedad MC 4000.

Tabla N° 5-3 Descripción de elementos del sistema MC 4000.

Símbolo	Descripción
A	Consola MC 4000
B	Computadora con sistema avanzado de medición de humedad
C	Conducto de alimentación de entrada o canal de protección aprobado
D	Horno interior
E	Convertidor serial USB
F	Protección física para Cat. 5 cable de datos de computadora a PC
G	Cables de PKU a unidad de envío: cables instalados en aluminio conducto
H	Unidad de envío MC 4000
I	Cables de sonda, longitud (0,91 a 2,74 m) (sin conducto o canal de protección requerido)

5.6 Terminales y entradas de consola.

Se mostrará el panel frontal donde tendremos los terminales a los cuales se conectará la consola tales como la alimentación monofásica, slot de comunicación, entre otros.

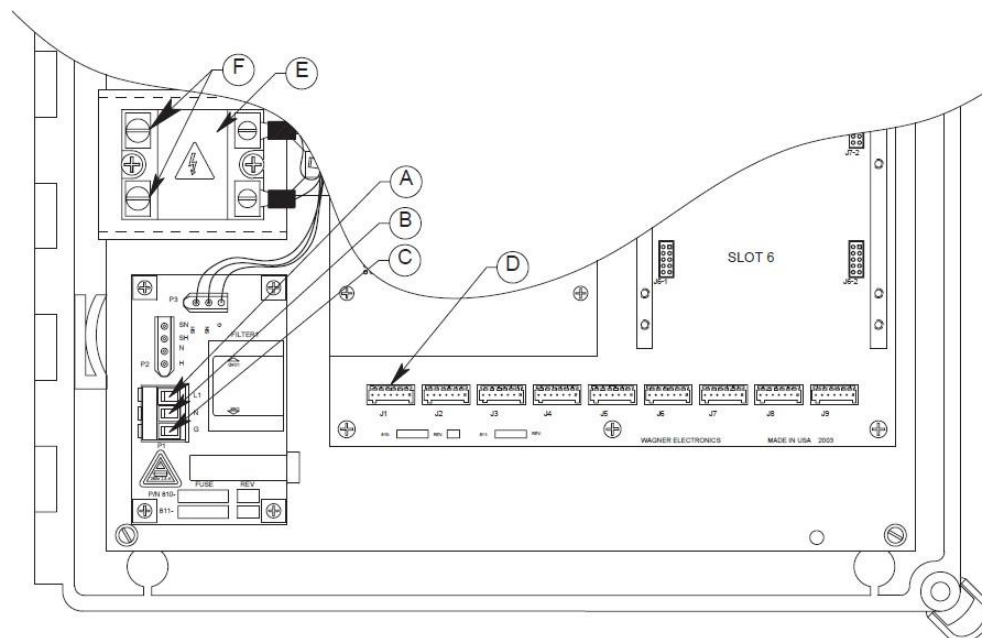


Figura 5.8 terminales y elementos de la consola

Tabla N° 5-4 descripción de terminales y elementos de consola.

Símbolo	descripción
A	Conecte la línea caliente de CA al terminal L1.
B	Conecte el neutro de CA al terminal N.
C	Conecte la tierra a la terminal G.
D	El cable de la unidad de envío
E	Relé de estado sólido.
F	Contactos normalmente abiertos. Los contactos se cierran cuando el MC promedio alcanza el punto de ajuste.

5.7 Dimensiones de la consola MC 4000.

Se mostrarán las dimensiones que tiene la consola para tener el espacio adecuado para su instalación, como también su ancho todo esto en centímetros y pulgadas.

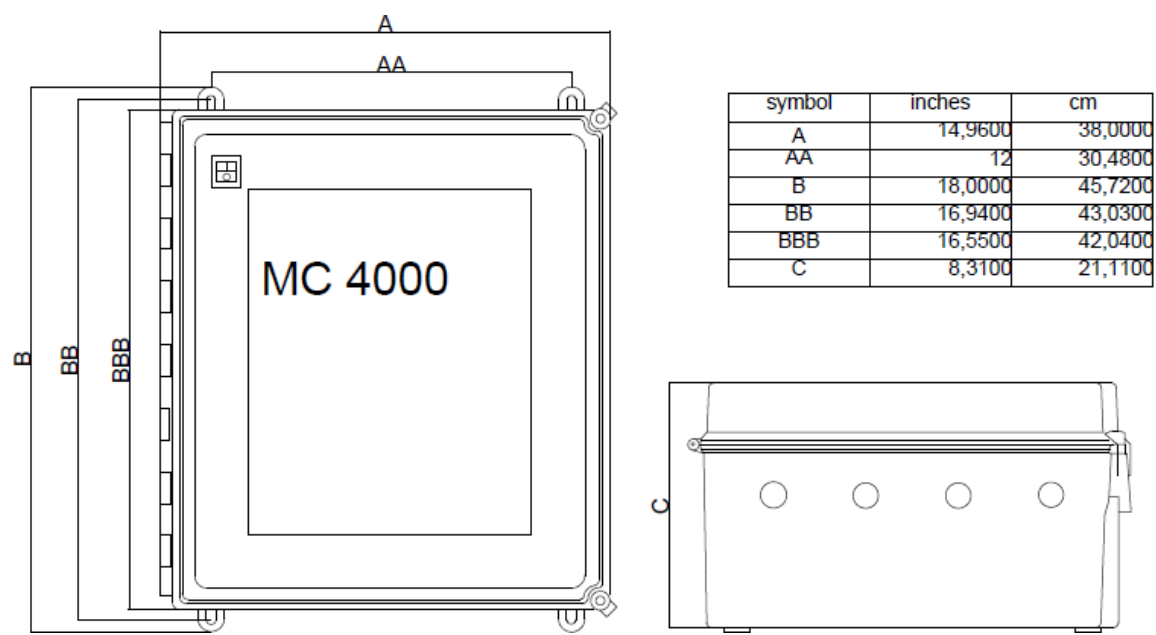


Figura 5.9 Dimensiones de la consola o PKU.

Capítulo VI

Costo de materiales de instalación.

6. Introducción al capítulo VI.

En este capítulo se describirá todo lo relacionado en lista de materiales requeridos para esta implementación indicada. Se describirán la lista de materiales necesarios, la mano de obra requerida y el costo total que implicara instalar todo el sistema de medición de humedad.

6.1 Costo total de proyecto de implementación.

Se tomaron en cuenta todos los costos posibles para esta implementación del sistema, tantos de todos los materiales cotizados como también la mano de obra que estará encargada de instalar el sistema. En la siguiente tabla se describirán las cantidad, marcas y precios elegidos para la compra de materiales y el precio total del proyecto designado.

En la lista se tomaron en cuenta todos los precios de los elementos de instalación para el sistema ya mencionado, el precio total de lo cotizado es de \$1.223.253 aparte de este valor se le tiene que incluir el precio de los técnicos que realizaran la instalación que aproximadamente durara 5 días, como el precio de instaladores eléctricos es de \$40.000 aproximadamente se necesitan 4 técnicos para realizar la instalación así que el precio de la instalación es de \$2.023.253 considerando los precios de los materiales sin el sistema de medición de humedad.

El sistema de medición de humedad MC4000 lo cotizamos con la empresa de Wagner Meters en Estados Unidos por medio de contacto directo desde su página oficial, en los cual nos dijeron que sistema tenía un valor de 3.800 USD. Lo que sería unos \$2.795.040, el total del proyecto tendría un total de \$4.818.293.

Tabla N°6-1 descripción de compra de materiales de instalación.

Ítem	Cantidad	Unidad	Características	Precio unitario	Precio total	Comprador
1	1	Cu.	Fuente de poder 24 VDC 10A	\$70.526	\$70.526	WIA
2	2	Cu.	Sensor inductivo 24VDC 3 hilos PNP	\$15.000	\$30.000	rhona
3	1	Cu.	Selector 3 posiciones 2 contactos de retorno.	\$12.100	\$12.100	Mercado libre
4	10	Cu.	Prensa estopa PG 13.5	\$7.400	\$74.000	Mercado libre
5	12	Cu.	Prensa estopa PG 16	\$4.400	\$52.800	Mercado libre
6	3	Cu.	Prensa estopa PG 21	\$5.690	\$17.070	Mercado libre
7	3	Cu.	Cinta aisladora PVC 3m	\$7.171	\$21.513	kupter
8	10	Cu.	Conduit galvanizado 1/2x3 m	\$7.140	\$71.400	EECOL
9	15	Cu.	Amarras plásticas 100 bridas	\$1.340	\$20.100	Temu
10	4	Cu.	Borneras riel DIN 4AWG,22MM	\$8. 816	\$35.264	WIA
11	2	Cu.	Cordón Eléctrico 3x4 Mm2 Rv-k 0,6/1kv Negro 30 Mts	\$70.500	\$141.000	Mercado libre
12	1	Cu.	Cable utp cat5e 30 m caja	\$40.990	\$40.990	Mercado libre
13	15	Cu.	Bandeja cortacables 200x50mm	\$40.516	\$607.740	Gobantes
14	5	Cu.	Tubo emt Conduit 20mm 3m	\$5750	\$28.750	Sodimac
				materiales	\$1.223.253	

Conclusiones

Se logro obtener una propuesta del sistema de medición de humedad en la cámara de secado para el procesamiento de pino radiata, sistema de la marca de Wagner Meters que facilita la medición al operador desde el exterior por toda la instalación del MC 4000.

Se aplicaron distintos estudios para definir cuál de las tecnologías de medición de humedad es la más factible para implementar, en ese estudio se dio como resultado que la tecnología de medición por capacidad era la mejor entre todas las demás, el modelo MC4000 fue el sistema elegido para solucionar el problema de medición de humedad externa que tendría nuestro operador, los motivos de selección son su precisa medición, alta resistencias de sondas, cantidad de sensores en la consola, interfaz de la consola entre otros beneficios.

Se realizaron estudios de costo de materiales y distancias de desde la sala de control de monitoreo hasta la cámara de secado donde se encuentra la consola del MC 4000, se tomaron en cuenta la cantidad de metros de tubos EMT galvanizados, Conduit flexible metálico con PVC, elección de conductores de alimentación monofásica, entre otros materiales.

El costo total de los materiales es de aproximadamente

En este trabajo se cumplieron todos objetivos propuestos, con tal de proyectar el sistema de medición de humedad en la cámara de secado en proceso del pino radiata.

Bibliografía

- [1] Cristian Daniel Rodríguez Suarez. “Estudio del proceso de secado de madera mediante el uso de hornos a gas en la empresa Jam maderas”. {24 de mayo de 2017}. En línea: (<https://repositorio.utp.edu.co/items/be9d5cf3-6250-4e85-b1ed-0628ad8c9592>)
- [2] Carlos Emilio Santos Silva. “Mejoramiento de la eficiencia energética en el secado de madera a alta temperatura”. {2016}. En línea: (<http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3333>).
- [3] Wood-mizer. “Sistemas de secado en horno”. En línea: (<https://www.woodmizer.cl/2017/catalogos/secadoenhorno.pdf>).
- [4] Carlos Andrés Silva Espinoza, Luis Felipe Velásquez Lozano. “Automatización de un equipo de impregnación de madera”. {2014}. En línea: (http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1297/3/Silva_Espinoza_Carlos.pdf).
- [5] Wagner Meters “MC4000 Sistema avanzado de medición de humedad en el horno” {2018}. En línea: (<https://www.wagnermeters.com/forest-products/mc4000-in-kiln-moisture-measurement-system/>).
- [6] Wagner Meters “El sistema avanzado de medición de humedad en el horno MC4000 le brinda la información que necesita para tomar decisiones que ahorren dinero” {2018}. En línea: (<https://www.wagnermeters.com/pdf/lit/fp/WMFP-LIT-MC4000-Brochure.pdf>).
- [7] Sebastián Andrés Doerner Hitschfeld “Proyecto cámara de secado para madera elaborada”. {2009}. En línea: (<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcid652p/doc/bmfcid652p.pdf>).
- [8] Samir Kouro. “Sensores de humedad”. {1 de junio de 2001}. En línea: (<http://www2.elo.utfsm.cl/~elo372/complemento2.pdf>).
- [9] Canadian forest industries “Nuevo sistema de medición de humedad en hornos”. {31 de mayo de 2013}. En línea: (<https://www.woodbusiness.ca/new-kiln-moisture-measuring-system-1121/>).

Anexos

Anexo 1: Flujo productivo industria del aserrío en Chile

Anexo 2: Cantidad de aserraderos activos en Chile.

Anexo 3: Medición de sensor In-Kiln en pallet.

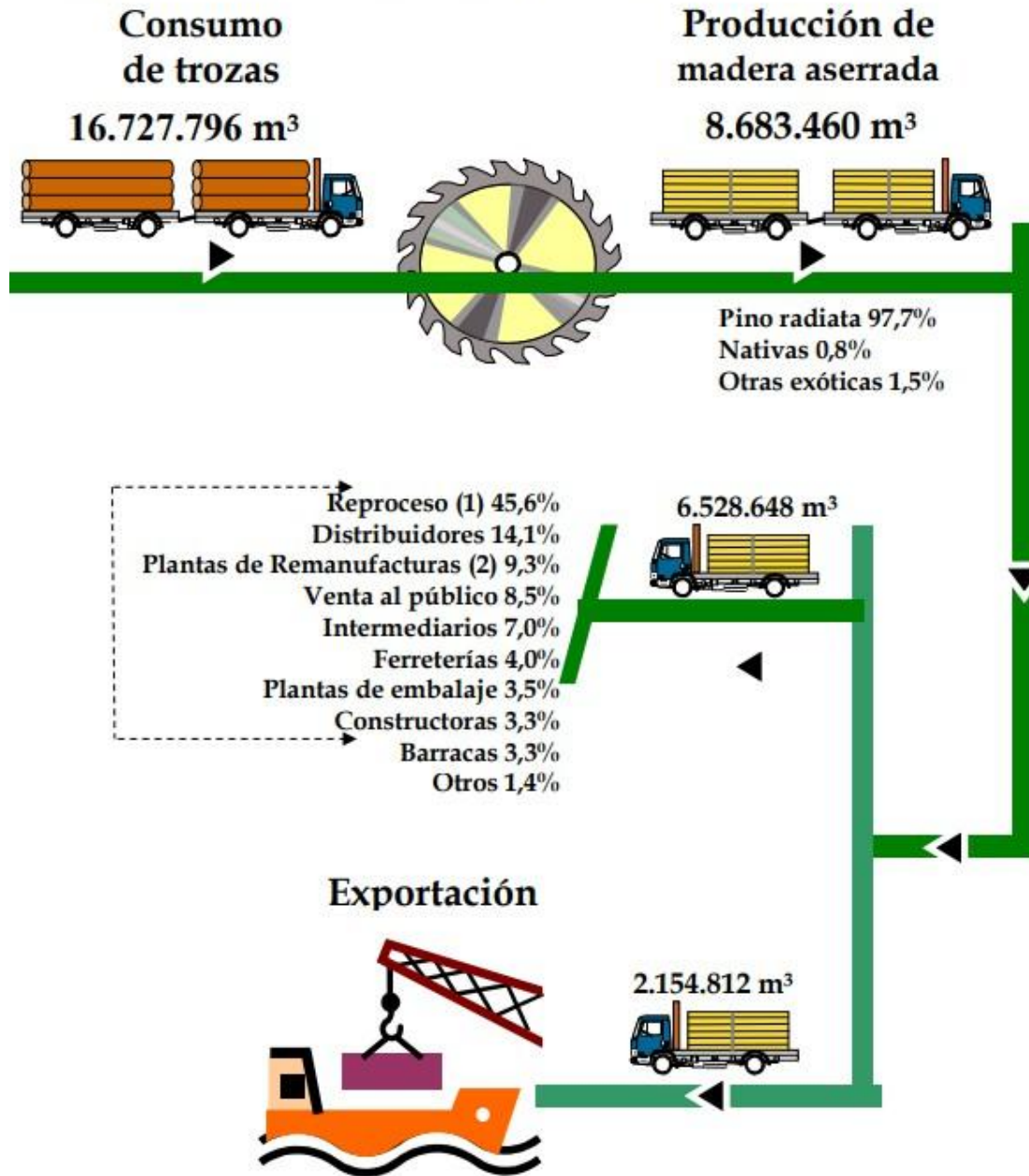
Anexo 4: Dimensiones de sistema de medición MC4000.

Anexo 5: Instalación de sistema MC4000.

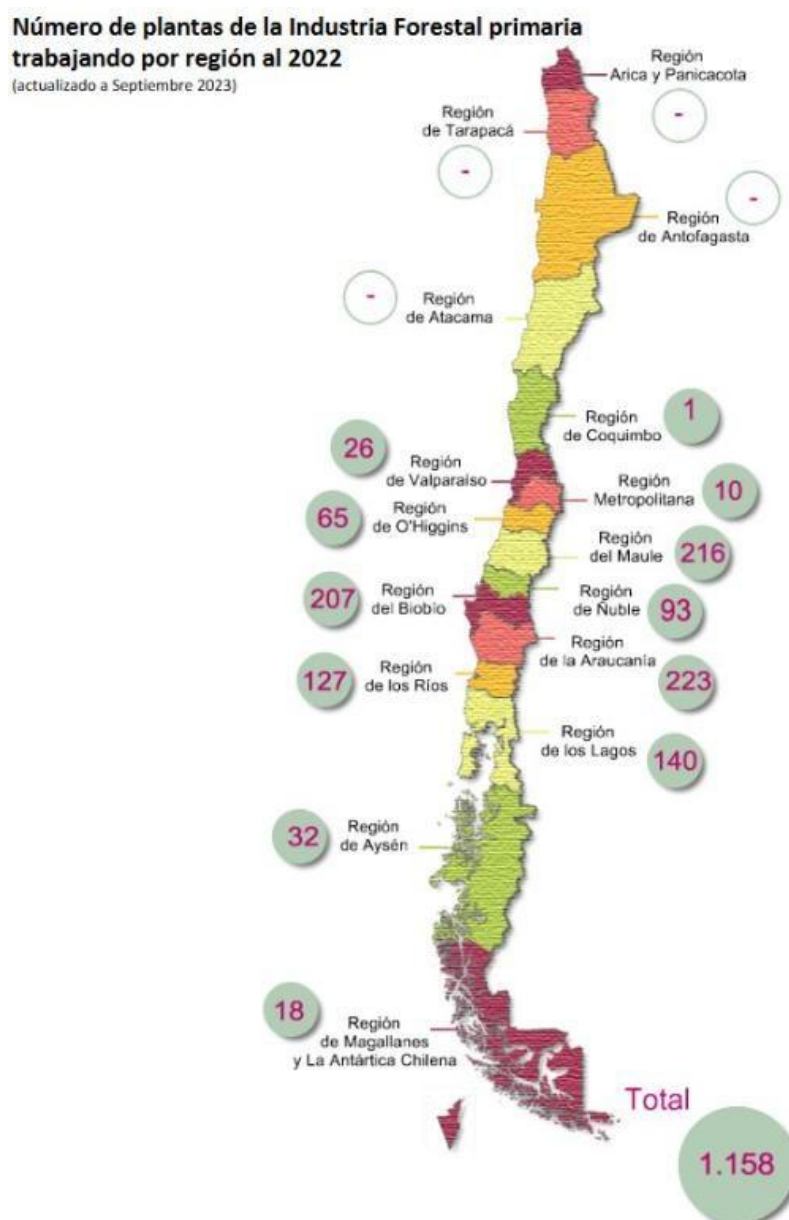
Anexo 6: Catalogo del sistema MC4000.

Anexo 1. Flujo productivo industria del aserrío Chile.

Flujo Productivo Industria del Aserrío en Chile, 2021



Anexo 2. Cantidad de aserraderos activos en Chile.



Producción de madera de aserraderos por año.

CUADRO 1
PRODUCCIÓN DE MADERA ASERRADA

AÑO	Miles m ³	AÑO	Miles m ³
2000	5.698,1	2011	6.784,7
2001	5.872,0	2012	7.160,2
2002	6.438,9	2013	7.720,7
2003	7.004,5	2014	7.998,8
2004	8.014,8	2015	8.372,2
2005	8.298,4	2016	8.455,1
2006	8.718,2	2017	8.150,9
2007	8.340,4	2018	8.307,2
2008	7.306,1	2019	8.030,4
2009	5.836,3	2020	7.873,8
2010	6.353,9	2021	8.683,5

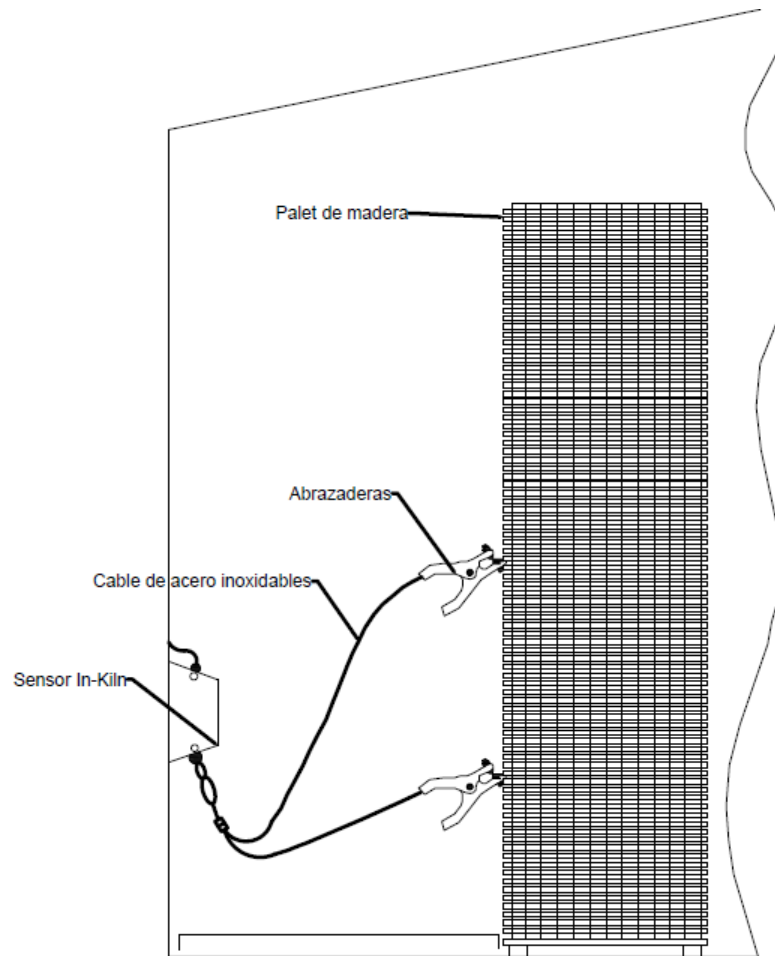


CUADRO 2
VALOR NOMINAL DE LA PRODUCCIÓN DE MADERA ASERRADA

AÑO	Miles US\$	AÑO	Miles US\$
2000	555.293	2011	1.082.050
2001	480.143	2012	1.142.227
2002	505.421	2013	1.249.741
2003	579.757	2014	1.299.757
2004	737.832	2015	1.176.868
2005	957.347	2016	1.059.141
2006	1.067.986	2017	1.188.151
2007	1.170.433	2018	1.270.777
2008	1.051.446	2019	1.116.656
2009	713.579	2020	1.007.270
2010	926.956	2021	1.602.181



Anexo 3. Medición de sensor In-Kiln en pallet.



Anexo 4. Dimensiones de sistema de medición MC4000.

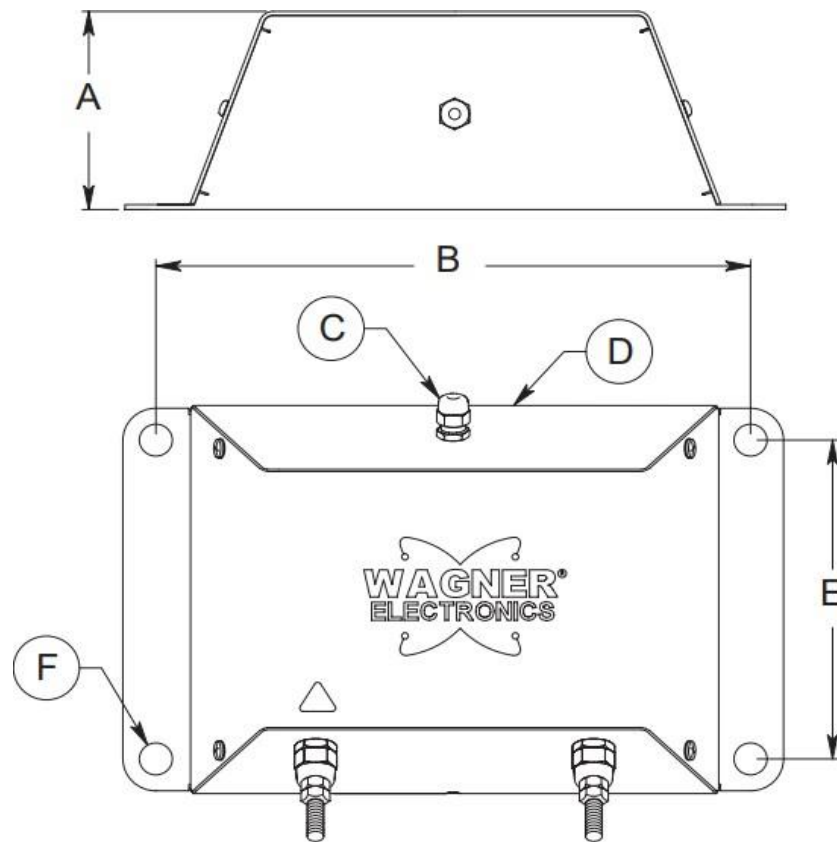


Figure 3.3

Symbol	Description	Inches	cm
A	Height	2.91	7.39
B	Mounting hole spacing	9.00	22.86
C	Strain relief for console to sending unit cable	-	-
D	Top of sending unit	-	-
E	Mounting hole spacing	5.00	12.70
F	Mounting hole diameter	0.50	1.27

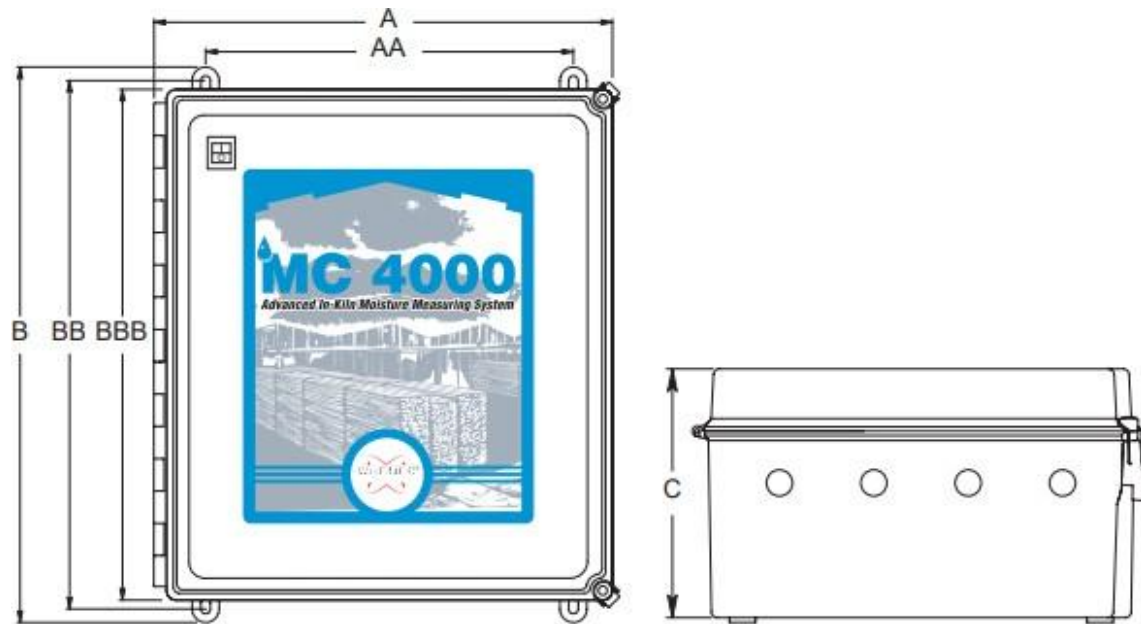
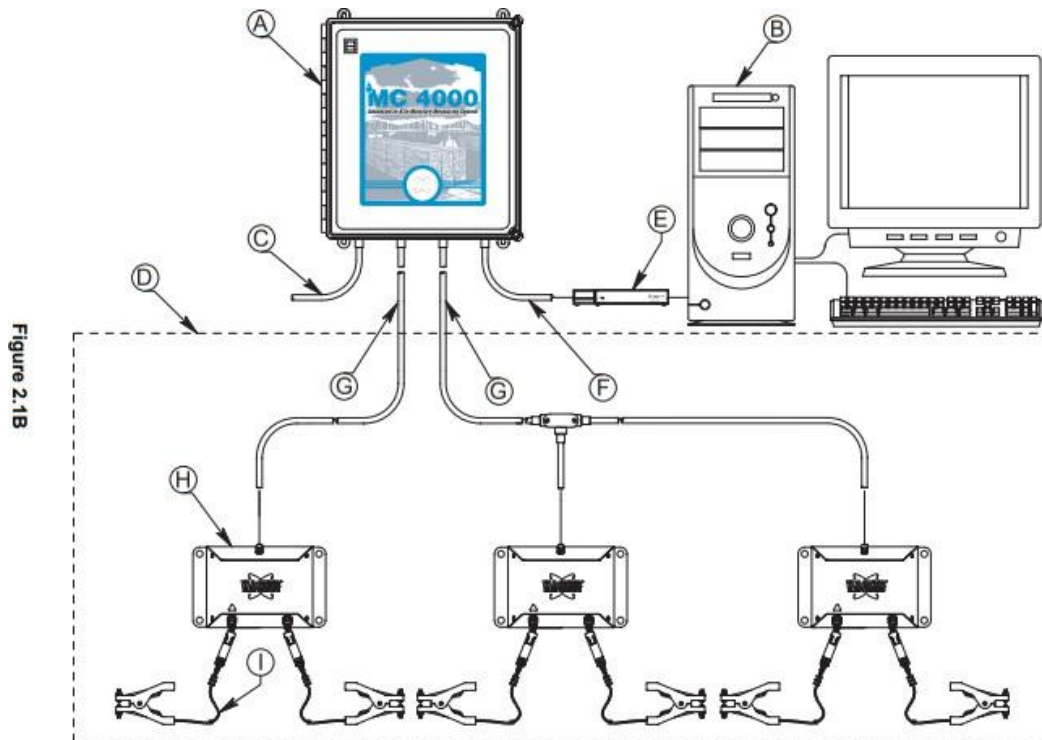


Figure 1.3

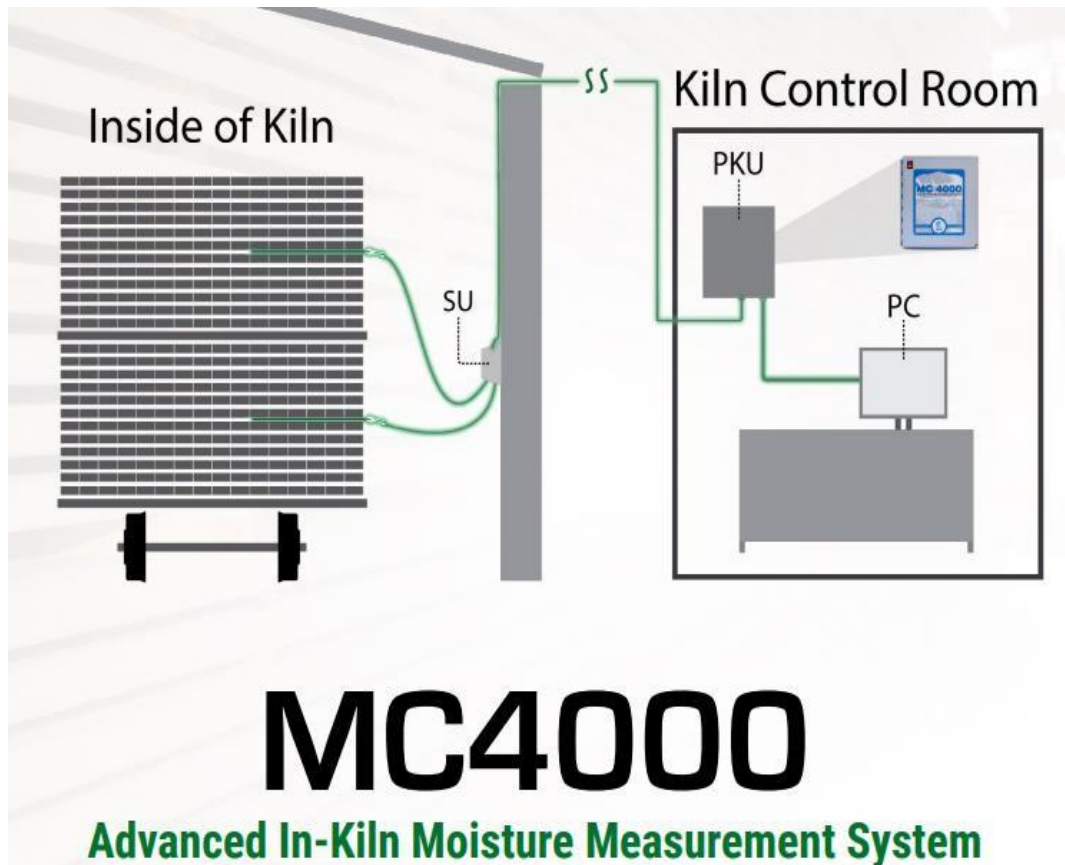
Symbol	Inches	cm
A	14.96	38.00
AA	12.00	30.48
B	18.00	45.72
BB	16.94	43.03
BBB	16.55	42.04
C	8.31	21.11

Anexo 5. Instalación de sistema MC4000.



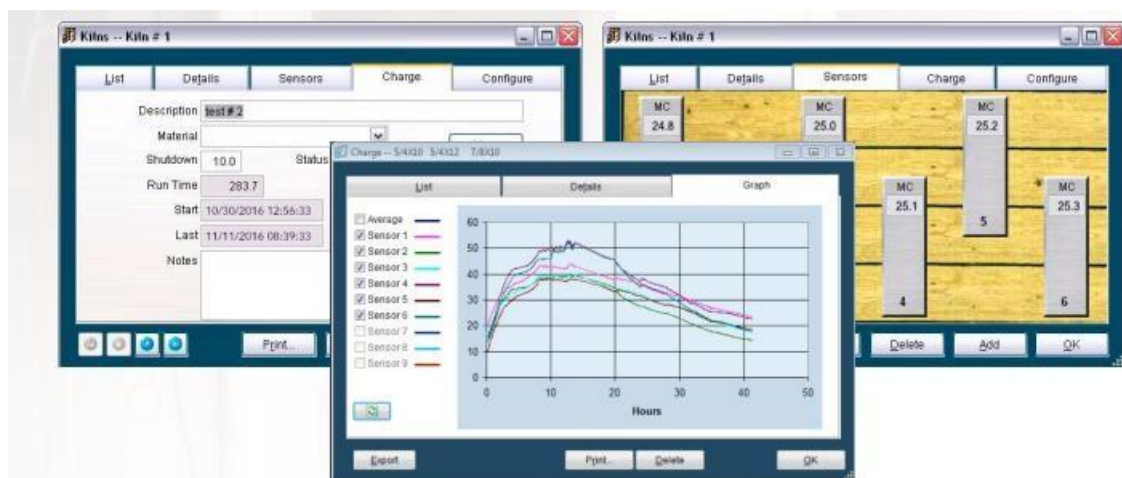
Symbol	Description
A	MC 4000 PKU Console
B	Advanced In-Kiln Moisture Measuring System Computer
C	Input power conduit or approved protective channel (ONLY!)
D	Inside kiln
E	USB Serial Converter
F	Physical protection for Cat. 5 computer data cable to PC
G	PKU to Sending Unit cables - cables installed in aluminum conduit, or protective channels may be used if approved for in-kiln use.
H	MC 4000 Sending Unit
I	Probe cables, 3-9 ft. (0.91-2.74m) custom length (no conduit or protective channel required).
-	Important: Additional holes for conduit & cables may only be drilled through bottom of PKU Console.

Anexo 6. Catalogo del sistema MC4000.



In the 1970s, with the introduction of our Model 776, Wagner Meters revolutionized the industry with the first generation of electrical, field-based, in-kiln moisture measurement systems. Wagner has continued to refine and update this basic and proven design concept with the launch of our current Model MC4000, which is ruggedly designed and easy to use.

The MC4000 can stand alone as a valuable, automatic in-kiln moisture measurement system, or it can be interfaced with computerized kiln control system software packages, providing the kiln operator with an accurate moisture measurement and monitoring tool to afford more control over the kiln-drying operation.



Closer Look at the MC4000 Software

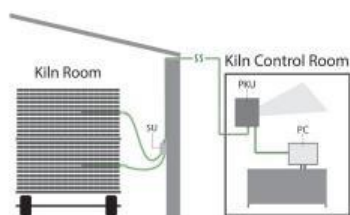
The MC4000 software application offers a real-time view of the moisture content for each sensing zone, and provides a moisture content trend graph of all of the sensors during the drying schedule. Additionally, the MC4000 software allows the user to set up, for each new charge, a moisture content average shutdown or alert set-point for the charge. When

the average moisture content of a kiln's Sending Units (moisture sensing zones) measurements reaches the set point, a relay output activation will occur that can trigger a alert notification signal to annunciator panels or a shutdown command to kiln control system hardware. 

MC4000 Advanced In-Kiln Moisture Measurement System Components

The MC4000 is manufactured using superior industrial components and Wagner's PROVEN sensing technology. Static electrical charges that adversely affect other technologies have no effect on Wagner's MC4000 In-Kiln System. Wagner has designed its technology for the real-world environment of wood products mills.

The MC4000 Advanced In-Kiln Moisture Measurement System monitors MC in the kiln drying environment from 70° - 300° F. The MC4000 can measure the MC in low temperature drying operations. It displays the MC of lumber above and below the fiber saturation point.



- ◆ The PKU (Per Kiln Unit) features a rugged, industrial electronic design. This compact design operates reliably in the most demanding environments.
- ◆ 1 PKU can monitor up to 9 sending units.
- ◆ Each sending unit measures the average MC of the sensing area located between the sensor probes.
- ◆ Durable 16 gauge stainless steel sending units mount to the kiln wall. The electronics can withstand temperatures up to 300° F.
- ◆ Up to 12 kilns can be monitored with 1 system.

- ◆ Cables from the clamps to the sending units are industrial strength and non-corrosive to withstand the kiln environment.
- ◆ Industrial strength clamps easily break away from sensing probes in case of falling wood.
- ◆ Heavy duty stainless steel non-corrosive sensing probes.
- ◆ 4 ft. and 8 ft. long sensing probes are available to meet your specific needs.
- ◆ Easy time efficient system calibration.



Sending Unit



Heavy Duty Clamps Attached to Sensors

Detalles técnicos.

Technical Details

Power Requirements

- 100-120 VAC or 200-240 VAC
- 7amp, Single Phase 50-60HZ

Operating Environment

- Ambient Temperature Range
Sensors: In-Kiln 70° F to 300° F
Console: 50° F - 110° F

Operator Interface

- Personal Computer
- Monitors up to 12 PKU Consoles

PKU

- Operates up to 9 sensors
- Solid State Shutdown Relay
- NEMA 4-Rated

Sensor Clamps

- Heavy Duty Industrial Strength Clamps
- Stainless Steel Probe Wires

Sensor Probes

- 4' and 8' Lengths
- Heavy Duty Stainless Steel

Sensor Cables

- Non-corrosive stainless steel cables rated to withstand up to 300° F

Sending Units

- 16 Gauge Stainless Steel
- Rated to withstand up to 300° F

Certifications for Compliance

- FCC Certification:
MC4000 Advanced In-Kiln System is certified to comply with FCC Rules and Regulations Part 15 for operation in industrial settings.