

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



“DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN HORNO DE SECADO DE MADERA BLANDA TIPO VIROLA DE 1.5” DE ESPESOR DE 65 PIES TABLARES/HORA DE CAPACIDAD”

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRÓNICO**

ELMER JAVIER CÓRDOVA ZAPATA

PROMOCION 2000-I

LIMA-PERU

2007

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi querida madre por haberme apoyado a lo largo de todos mis estudios universitarios, y quien ha estado a mi lado en los buenos y malos momentos.

ado
ra la
ción
lo el

AGRADECIMIENTO

A la empresa maderera “Forestal Industrial Yavarí S.A.”, por el apoyo brindado durante la realización del presente proyecto, tanto en las facilidades brindadas para la toma de datos durante las pruebas del proyecto como la libertad para la investigación de cada uno de los procesos de secado de madera empleados, lo cual ha permitido el exitoso desarrollo del presente trabajo.

ÍNDICE

	Nº Página
Prólogo	(1)
1. CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN.....	(3)
1.1. Antecedentes	(3)
1.2. Objetivos	(5)
1.3. Alcance	(5)
2. CAPÍTULO 2 : CONSIDERACIONES PREVIAS	(6)
2.1. Características de la Madera	(6)
2.2. Tipos de Corte en la Madera	(9)
2.3. Tipos de Madera	(11)
2.4. Tipos de Secado de Madera	(15)
2.5. Niveles de Producción y Comercialización Externa	(28)
2.6. Clientes Potenciales	(30)
3. CAPÍTULO 3 : PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS	(32)
3.1. Diseño e Implementación del Sistema de Secado Automático	(37)
3.2. Cálculo de la Eficiencia del Sistema de Secado Automático respecto al Sistema de Secado Manual	(42)
3.3. Planteamiento de la Hipótesis.....	(44)

4. CAPÍTULO 4 : FUNDAMENTO TEÓRICO	(45)
4.1. Materiales	(45)
4.2. Procesos de Manufactura	(57)
4.3. Mediciones (Estándares)	(93)
4.4. Criterios de diseño	(93)
5. CAPÍTULO 5 : DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y MEDICIONES.....	(170)
5.1. Diseño	(170)
5.2. Implementación	(196)
5.3. Pruebas y Mediciones.....	(213)
6. CAPÍTULO 6 : ESTUDIO ECONÓMICO	(229)
5.1. Criterios para Evaluación Económica	(230)
5.2. Descripción de Inversiones, Costos e Ingresos	(230)
5.3. Evaluación Económica.....	(236)
5.4. Comentarios	(238)
CONCLUSIONES	(239)
RECOMENDACIONES	(239)
Bibliografía	(240)
Anexos	(242)

PRÓLOGO

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar e implementar el sistema de control de un horno de secado de madera blanda tipo Virola de 1.5” de espesor, con capacidad de 65 Pies Tablares / hora¹.

La presente obra contiene la siguiente estructura capitular

En el **capítulo 1**, se presenta la introducción, la cual se basa en los antecedentes, los objetivos y el alcance del trabajo.

En el **capítulo 2**, se instruye al lector con conceptos básicos para comprender las propiedades de la madera, los tipos de madera, los tipos de secado de madera, los niveles de producción y comercialización de la madera en el extranjero.

En el **capítulo 3**, se explica detalladamente cual es el objetivo del presente proyecto, y cómo se mide la eficiencia del sistema de secado con control automático respecto al sistema de secado de operación manual.

En el **capítulo 4**, se describen las teorías en que se basa el diseño del sistema de control automático propuesto.

En el **capítulo 5**, se describe la manera de diseñar el sistema de control automático, su implementación, se presentan las pruebas de operación que han servido para

¹ 1 PT/hora (pie tablar por hora) es la unidad de medida de producción de un secador de madera. 1 Pie Tablar se define como una tabla de 1 pie de largo x 1 pie de ancho x 1” de espesor. La equivalencia de esta unidad es : $1 \text{ m}^3/\text{hora} = 424 \text{ PT/hora}$.

realizar las mediciones de los parámetros que permiten evaluar los indicadores para postular la Tesis : eficiencia del nuevo sistema de secado de control automático es superior a la eficiencia del sistema de secado de operación manual.

En el capítulo 6, se realiza un estudio económico, para lo cual se explican los criterios para la evaluación económica, se describen las inversiones, los costos e ingresos para luego realizar la evaluación económica.

Finalmente, se describen las conclusiones y recomendaciones, asimismo la bibliografía, para concluir con los anexos relacionados al tema que incluyen los catálogos de selección de los equipos del Sistema de Control Automático propuesto.

El presente documento es de valiosa utilidad en varios aspectos. Desde el punto de vista académico, es una obra de consulta para estudiantes y profesionales de ingeniería que deseen iniciarse en el interesante mundo del secado de la madera, porque contiene conceptos elementales sobre la madera y su secado. A nivel industrial, es un manual de consulta para profesionales dedicados a la administración de la producción y del mantenimiento de secadores de madera, porque contribuye a la comprensión del principio de funcionamiento de un secador de madera. También es un texto recomendado para empresarios forestales que cuenten actualmente con sistemas de secado manual y tengan en mente incrementar la eficiencia de sus secadores, porque demuestra para un cierto caso particular de secador de madera manual que es posible incrementar su eficiencia.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo denominado “Diseño del Sistema de Control de un Horno de Secado de Madera Blanda tipo Virola de 1.5” de espesor de 65 Pies Tablares / hora de capacidad” se demuestra que el sistema de secado propuesto, basado en un control automático especialmente desarrollado, es más eficiente que los Sistemas de Secado convencionales de accionamiento manual.

1.1. Antecedentes :

La empresa maderera Forestal Industrial Yavarí S.A., ubicada en el distrito de Islandia, provincia de Ramón Castilla, departamento de Loreto, cuenta con ocho secadores de madera, con sistema de secado manual, los cuales presentan las siguientes características:

- El control de los elementos reguladores de las condiciones climáticas dentro del horno se hace de forma manual. El operador controla el proceso de secado, abriendo o cerrando manualmente las válvulas de calefacción, abriendo o cerrando las ventilas y abriendo o cerrando la válvula de humidificación, para ajustar los valores de la temperatura y de la humedad dentro del horno de acuerdo con el programa de secado preestablecido. Esto

exige un operario con una gran experiencia en el secado artificial y con gran sentido de responsabilidad en su trabajo.

- Para medir la temperatura media del aire de circulación dentro del secadero, se utilizaban termómetros de lectura directa : bimetálico, para la medición de la temperatura de bulbo seco y de mercurio, para la medición de la temperatura de bulbo húmedo.
- La medición de la humedad relativa del aire se hace con el método higrométrico. Se establece la diferencia de temperaturas entre el bulbo húmedo y el bulbo seco y con el uso de la tabla psicrométrica, y con este valor se determina la humedad relativa del aire.
- Para saber como avanza el proceso de secado, el operador toma la lectura de humedad de la madera de los extremos del secador periódicamente mediante un medidor de lectura directa del contenido de humedad de la madera por resistencia eléctrica.
- El operador en muchas ocasiones descuidaba el control de las condiciones climáticas deseadas en el interior de la cámara de secado, por lo general en las noches y en las madrugadas en donde no se contaba con un supervisor de planta. Esto ocasionaba el incremento de defectos en el proceso de secado, y por lo consiguiente, el exceso de madera no apta para la exportación.

Para mejorar el proceso de secado de la madera, se vio la necesidad de diseñar e implementar un sistema de secado basado en un control automático, con mayor eficiencia que el sistema de secado de operación manual.

1.2. Objetivos :

Los objetivos de este trabajo son:

- Demostrar que el sistema de secado automático diseñado es más eficiente que el sistema de secado de operación manual.
- Probar que es factible la implementación del sistema de secado automático.

1.3. Alcance :

El enfoque del trabajo es mixto, predominantemente cualitativo. Mayormente, la selección de los equipos del sistema de control automático se realiza mediante el empleo de tablas. Solamente en algunos casos, se realizan cálculos, para la selección de un equipo.

El punto de partida del presente proyecto es la infraestructura de un secador de madera, en el cual el proceso de secado es controlado en forma manual. Al conjunto infraestructura y sistema de control manual se denomina Sistema de Secado Manual.

El alcance del trabajo es el diseño y la implementación del sistema de control automático para esta infraestructura. Al conjunto infraestructura y sistema de control automático se denomina Sistema de Secado Automático, el cual es más eficiente que el Sistema de Secado Manual, para madera blanda tipo Virola de 1.5" de espesor, a una capacidad de secado de 65 Pies Tablares / hora.

CAPÍTULO 2

CONSIDERACIONES PREVIAS

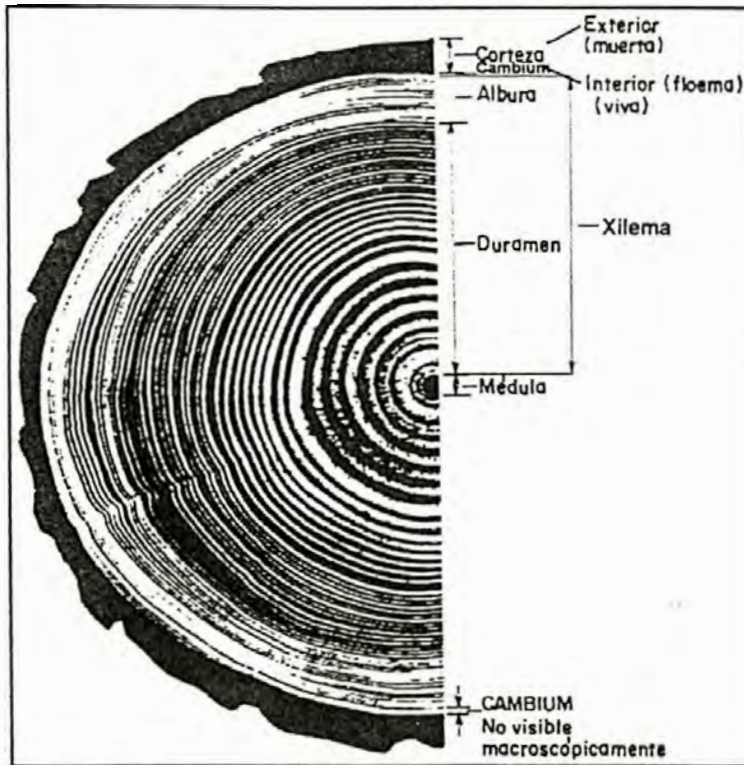
2.1. Características de la Madera²

La madera es un material biológico de origen vegetal. En la parte del tronco de los árboles, sirve para transportar el agua y las sustancias nutritivas del suelo hacia las hojas y da soporte a las ramas. Todas estas funciones determinan la naturaleza de la madera, caracterizada por su porosidad (presencia de espacios vacíos) y elevada resistencia mecánica en relación con su peso, propiedades que la hacen categóricamente diferente a otros materiales de construcción conocidos.

La madera está formada por células, la mayoría de las cuales son alargadas y estrechas, pero huecas, de ahí su naturaleza porosa. Haciendo un corte transversal en el tronco de un árbol se pueden observar de afuera hacia adentro las siguientes partes: corteza, floema, cambium, xilema y anillos de crecimiento. En el centro estructural del tronco se encuentra el corazón blando llamado médula. En los gráficos N° 2.1 y 2.2 se muestran las partes enunciadas.

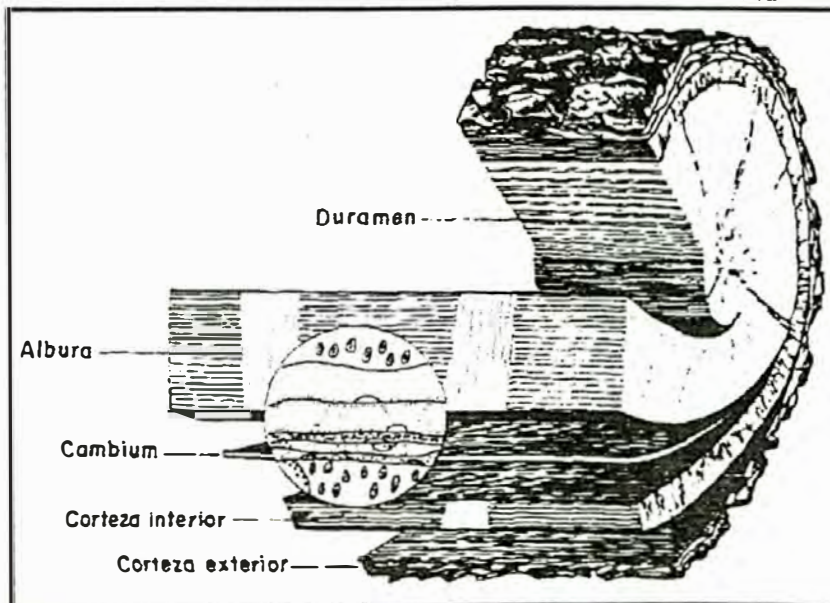
² Fuentes Consultadas : - Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas.
- Manual del Grupo Andino para Aserrio y Afilado de Sierras Cintas y Sierras Circulares

Gráfico N° 2.1
CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA
ESTRUCTURA DE LA MADERA : CORTE TRANSVERSAL



Fuente Consultada: Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas

Gráfico N° 2.2
CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA
FORMACIÓN DE LA MADERA EN EL ÁRBOL



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas

La **corteza**, es la cubierta protectora exterior del árbol. Está conformada por tejidos muertos. Su función es evitar la evaporación del agua del tronco.

El **floema** o corteza interna, es la porción de tejidos encargada del transporte del agua y alimentos dentro del árbol. Cuando pierde actividad, los tejidos mueren y pasan a formar parte de la corteza externa aumentando su función protectora.

El **cambium**, es la capa microscópica constituida por células vivas y de paredes muy delgadas, que se localizan entre la corteza y la xilema. A través del proceso de división celular, el cambium produce madera hacia la parte interna del árbol y corteza hacia la parte externa, aumentando así el diámetro del tronco.

La **xilema**, viene del griego “xilos” que significa madera, es un tejido complejo que consta de células vivas que en conjunto reciben el nombre de **albura** y de células muertas o inactivas llamadas **duramen**. La mayoría de las diferencias entre albura y duramen son de naturaleza química, ocasionadas por la infiltración en el duramen de sustancias orgánicas como aceites, gomas, resinas, compuestos aromáticos y colorantes convirtiéndolo en un tejido más duradero y de color generalmente más oscuro que la albura. La proporción de albura y duramen es muy variable entre las distintas especies (depende de las características genéticas de cada especie) y entre árboles de la misma especie (depende de la edad del árbol).

La **médula**, es el corazón blando que se encuentra en el centro estructural del tronco.

Los **anillos de crecimiento**, son capas concéntricas de engrosamiento diametral, visibles en muchas especies, formadas por acción del cambium.

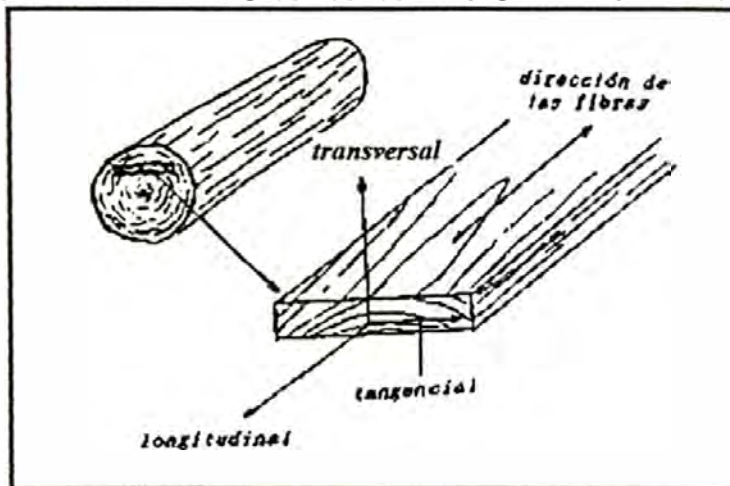
Esta compleja organización estructural hace de la madera un material **anisótropo**, con propiedades mecánicas diferentes en sus tres planos normales de corte

(transversal, radial y tangencial), que la convierten en un material muy particular y con características diferentes a otros materiales tradicionalmente empleados en la construcción.

2.2. Tipos de Corte en la Madera³

Dado el siguiente sistema de referencia (ver gráfico N° 2.3):

Gráfico N° 2.3
TIPOS DE CORTE EN LA MADERA
SISTEMA DE REFERENCIA PARA LOS CORTES EN LA MADERA



Fuente Consultada : Guía para el Secado de la Madera en Hornos
Autor : Consultor Silverio Viscarra

Se consideran tres tipos de corte en la madera: transversal, tangencial y radial.

El **corte transversal**, es el que se realiza en un plano perpendicular al eje longitudinal del tronco (dirección de las fibras de la madera).

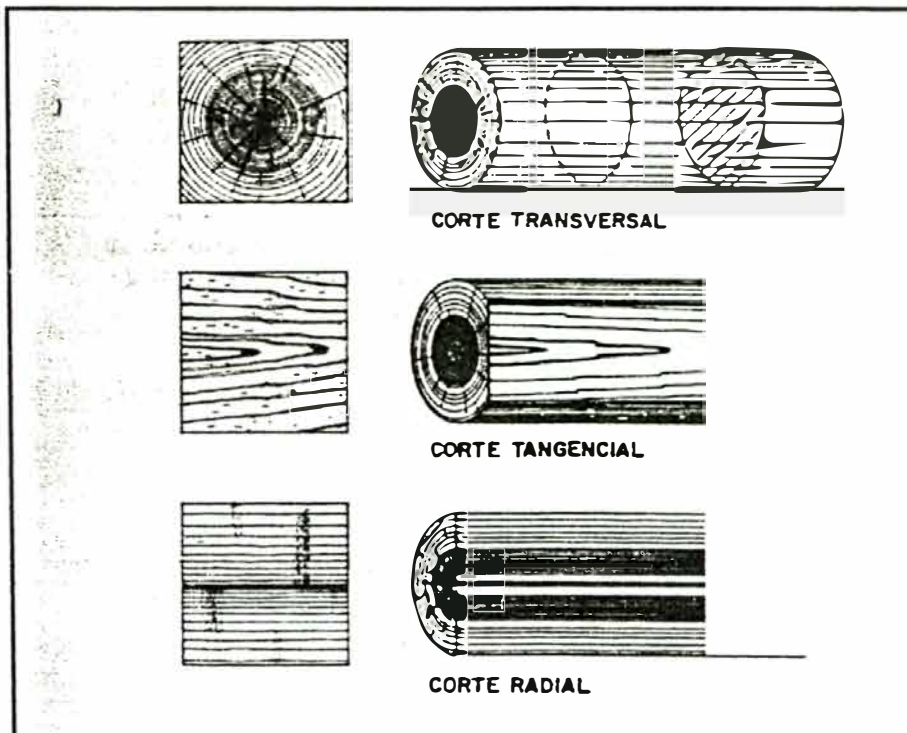
³ Fuentes Consultadas : - Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas.
 - Guía para el Secado de Madera Hornos, Autor : Consultor Silverio Viscarra

El corte **tangencial**, es el que se realiza en un plano paralelo al eje longitudinal del tronco y en la dirección del eje tangencial a los anillos de crecimiento del árbol.

El corte **radial**, es un caso especial del corte tangencial, que pasa por el radio del tronco.

En el gráfico N° 2.4, se muestra esquemáticamente los tipos de corte en la madera y su apariencia.

Gráfico N° 2.4
TIPOS DE CORTE EN LA MADERA
APARIENCIA DE LOS TIPOS DE CORTE EN LA MADERA



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Aserrío y Afilado de Sierras de Cinta y Sierras Circulares

2.3. Tipos de Madera⁴

Las diversas especies maderables, según el árbol del que se obtienen, se agrupan en dos grandes tipos: maderas blandas y maderas duras.

2.3.1. Madera blanda

La madera blanda es un material que proviene de las coníferas.

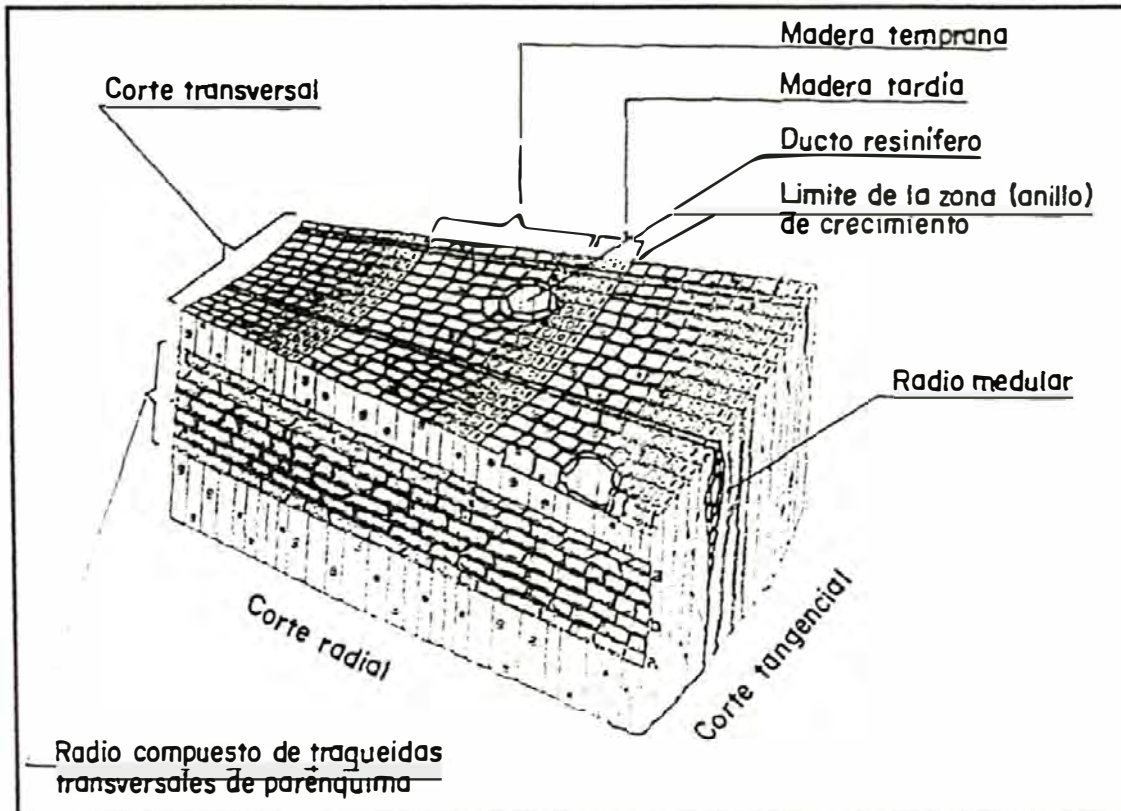
Las coníferas tienen las siguientes características:

- Son árboles que tienen un tronco, por lo general, de aspecto cónico y mantienen sus hojas durante todo el año.
- Son gimnospermas, ya que se reproducen produciendo las semillas sin cubierta.
- Son árboles de crecimiento rápido, son las más abundantes y baratas.
- La madera blanda tiene una densidad de 400 a 550 kg/m³. Cuando la madera tiene una densidad menor que 400 kg/m³ se le denomina madera muy blanda.
- A nivel celular, las maderas coníferas están formadas principalmente por **traqueidas**, que son células dispuestas en el sentido del eje del árbol, alargadas, de extremos cerrados y provistas de puntuaciones que permiten el paso de los líquidos. Estas células cumplen la doble función de transportar líquidos y servir de sostén a la estructura leñosa. Las traqueidas son las células de mayor longitud en las coníferas y miden, normalmente, entre 3 y 5 mm de largo, dimensión que puede ser hasta 75 veces mayor que la magnitud de su diámetro. Otro tipo de células que presentan las maderas coníferas son más delgadas y de menor longitud que las traqueidas y se conocen como

⁴ Fuentes Consultadas : - Manual del Grupo Andino para Aserrio y Afilado de Sierras de Cinta y Sierras Circulares.
- Página web : www.papelnet.cl

parénquimas, las cuales tienen un tejido blando y claro, y donde se encuentran constituyen zonas de fallas donde se originan las grietas y rajaduras de la madera, durante el secado. Estas células conforman canales orientados transversalmente al eje del tronco y cumplen la función de conducir y almacenar sustancias nutritivas desde la corteza hacia la médula, formando lo que se conoce como radios medulares. Ocasionalmente existen canales resiníferos, rodeados de tejido parenquimatoso especializado, dispuestos longitudinalmente o dentro de los radios medulares. Ver gráfico N° 2.5.

Gráfico N° 2.5
TIPOS DE MADERA
ESTRUCTURA CELULAR DE UNA MADERA BLANDA



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

Las maderas blandas son ampliamente utilizadas en la construcción. Estas maderas deben ser secadas a un contenido de humedad final de 15%.

Entre las maderas blandas destacan el pino, la virola, el tejo, el ciprés, el abeto blanco, el abeto rojo, etc.

2.3.2 Madera dura

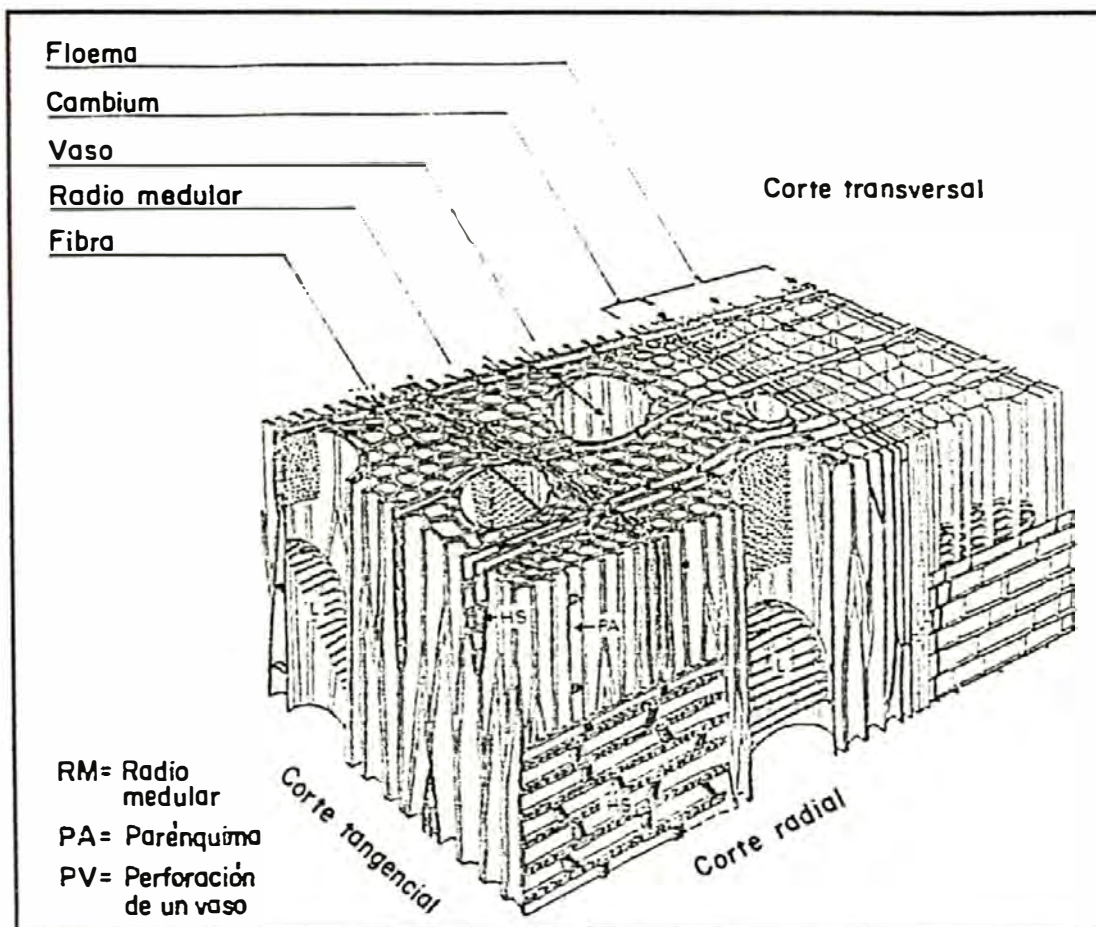
La madera dura es un material que proviene de las latifoliadas.

Las latifoliadas tienen las siguientes características:

- Pueden ser caducifolios y tropófilas. Los caducifolios son árboles de las zonas templadas que permanecen sin hojas en la estación fría. Las tropófilas son árboles de las zonas tropicales que pasan sin hojas la estación calurosa.
- Son angiospermas, ya que se reproducen produciendo las semillas con cierta clase de cubierta.
- Son árboles de crecimiento lento, por lo que son más caras.
- La madera dura tiene una densidad de 750 a 950 kg/m³. Si la madera tiene una densidad de 550 a 750 kg/m³ se le denomina madera semidura y, si tiene una densidad mayor que 950 kg/m³ se le denomina madera muy dura.
- A nivel celular, las maderas duras tienen una estructura más compleja, constituida por **fibras**, que son células alargadas, provistas de puntuaciones para facilitar el paso de nutrientes y que cumplen funciones de sostén del cuerpo leñoso. La fibra es el principal componente, con un 50% o más del volumen de la madera (a mayor porcentaje de fibras mayor densidad); su diámetro alcanza a 0.1 mm y su longitud puede ser hasta 20 veces mayor. Las maderas latifoliadas presentan igualmente vasos, que son elementos de conducción de agua y sales minerales constituidos por células tubulares

unidas por sus extremos generalmente abiertos y que en algunas maderas pueden formar el 50% de su volumen total. Asimismo, presentan células de **parénquima** para la conducción y almacenamiento de nutrientes, no sólo en el sentido transversal sino también en el longitudinal. Ocasionalmente se encuentran **canales gomíferos**, formados por células especializadas de parénquima ubicadas longitudinalmente o dentro de los radios medulares. Ver gráfico N° 2.6.

Gráfico N° 2.6
TIPOS DE MADERA
ESTRUCTURA CELULAR DE UNA MADERA DURA



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

Las maderas duras son ampliamente utilizadas en trabajos de ebanistería tales como muebles de alta calidad, porque son más resistentes y más duraderas que las maderas blandas. Estas maderas deben ser secadas a un contenido de humedad final de 8 a 12%.

Entre las maderas duras destacan : la caoba, el aliso, el fresno, el castaño, el haya roja y blanca, el roble, el arce, el olmo, el boj, el palisandro, etc.

2.4. Tipos de Secado de Madera⁵

En principio, se precisa que el secado de la madera es el proceso de eliminación rápida del agua que tiene en exceso cuando está recién cortada. Este proceso debe ser económico y no debe ocasionar defectos. Se realiza con el propósito de convertir la madera en un material trabajable y útil.

El contenido óptimo de humedad de una madera depende del uso que se le da. Por ejemplo, el contenido de humedad en una madera usada en postes o durmientes, es alto respecto al usado en la producción de muebles.

Entre las múltiples propiedades que posee la madera, la denominada **higroscopicidad** es la que indica su capacidad de perder o ganar agua según las condiciones del medio que la rodea. El aire, la temperatura y humedad son los elementos del medio ambiente que determinan el equilibrio higroscópico de la madera. Ya que su valor depende de las condiciones del medio, el equilibrio de la humedad de la madera con su medio ambiente varía constantemente dentro de ciertos límites y por eso no tienen un contenido fijo de humedad al secarse.

El secado de madera aporta las siguientes ventajas:

⁵ Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas.

- Permite la estabilización en forma y dimensiones de la madera cuando está en uso, minimizando los cambios que puedan presentarse como respuesta a las variaciones en su contenido de humedad.
- Aumenta considerablemente la resistencia mecánica y mejora sus propiedades como aislante térmico, acústico y eléctrico.
- Reduce su peso, favoreciendo consecuente el transporte al disminuir el costo de fletes y facilitar su manipulación.
- Aumenta notablemente la resistencia biológica, especialmente contra la pudrición y manchas causadas por hongos xilófagos, cromógenos y mohos.

Existen los siguientes tipos de secado de madera:

- Secado Natural o al Aire Libre
- Secado Artificial en Hornos o Cámaras
- Métodos Especiales de Secado de Madera

El método a emplear depende de numerosos factores tales como la especie de madera, el tamaño del material, la tasa relativa de secado, y la degradación o daño permisible.

Cualquiera sea el método de secado empleado, deben tenerse presente la producción mínima de defectos, menor tiempo de secado y costos aceptables.

2.4.1. Secado Natural o al Aire Libre

El secado natural o al aire libre consiste en exponer la madera a la acción de los factores climáticos de un lugar. Estos factores son la temperatura, la humedad relativa de la atmósfera y el aire que, en permanente movimiento sirve de agente para establecer un equilibrio higroscópico entre el medio ambiente y la madera. Este sistema de secado ha sido el más ampliamente utilizado. Sin embargo, por estar

sujeto a cambios climáticos, no es posible ejercer control sobre su desarrollo. La duración depende de las características de las especies de madera, de las condiciones climáticas, de la forma de apilado y de la disposición y ubicación del patio de secado, pero en cualquier caso el proceso es relativamente lento.

Además no es posible, simplemente por métodos naturales, alcanzar contenidos de humedad menores correspondientes a la humedad de equilibrio del lugar. Por lo tanto, resulta poco conveniente o apenas un presecado para muchas industrias que manufacturan productos de madera que requieren un contenido de humedad más bajo.

En el gráfico N° 2.7 vemos una forma de secado al aire libre “bajo techo”, por ejemplo.

Gráfico N° 2.7
TIPOS DE SECADO DE MADERA
SECADO AL AIRE LIBRE BAJO “TECHO”



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

2.4.2. Secado Artificial en Hornos

El secado artificial en hornos surgió como respuesta a las deficiencias del secado natural. Por medio de aparatos e instalaciones especiales se establecen en recintos cerrados condiciones climáticas diferentes a las condiciones atmosféricas normales. Mediante ventiladores, se produce un flujo de aire estable que circula a través de las pilas de madera, con temperatura y humedad relativa controladas de acuerdo a programas preestablecidos según especie y dimensiones de la madera en proceso de secado. La velocidad de secado se puede incrementar, elevando la temperatura tanto como sea admisible para cada especie en particular sin ocasionar daños en consideración. De la misma manera, se puede controlar la humedad relativa del aire de tal forma que los gradientes de humedad no produzcan esfuerzos de tensión causantes de grietas y deformaciones.

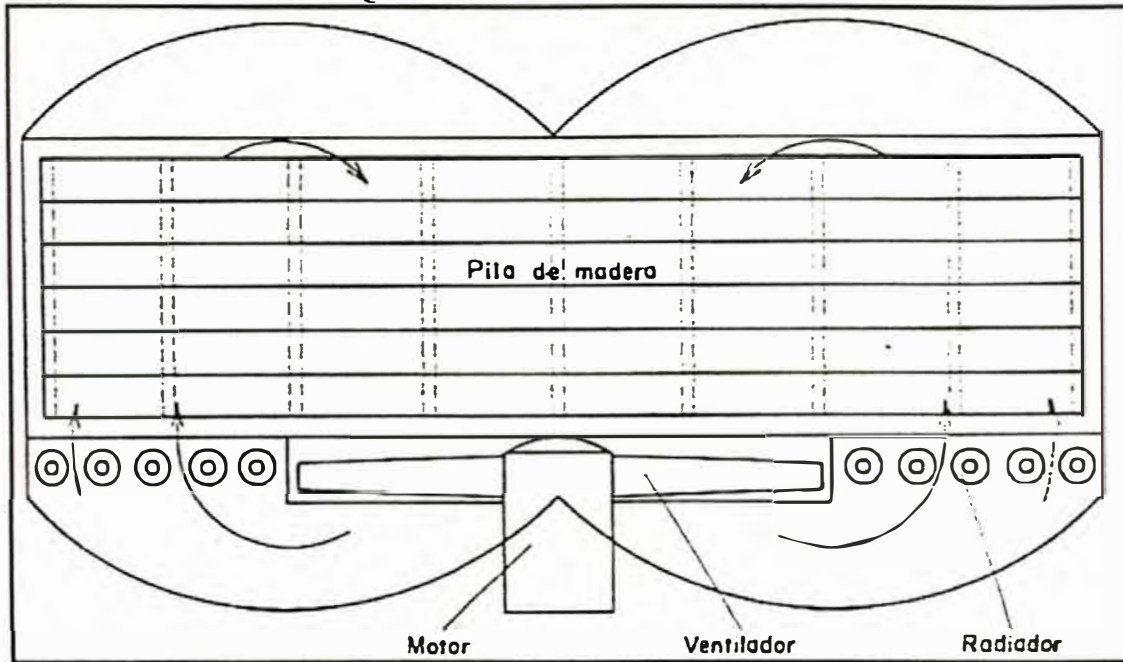
El secado artificial además de reducir considerablemente el tiempo de secado y de restringir la producción de defectos, permite alcanzar contenidos de humedad tan bajos como sean requeridos de acuerdo con el uso final de la madera.

Los costos directos del secado artificial en hornos son inicialmente mucho más altos que los del secado al aire, ya que a la elevada inversión en instalaciones y equipos hay que agregar los costos de combustibles, electricidad y supervisión. Sin embargo, la rapidez del secado es entre 10 y 40 veces más rápido que al aire libre y la calidad final del producto seco, compensan favorablemente las inversiones del proceso artificial.

El secado artificial se ha venido desarrollando industrialmente en formas diferentes, según el tipo de instalaciones y la manera como se acondiciona el aire que circula a través de las pilas de madera.

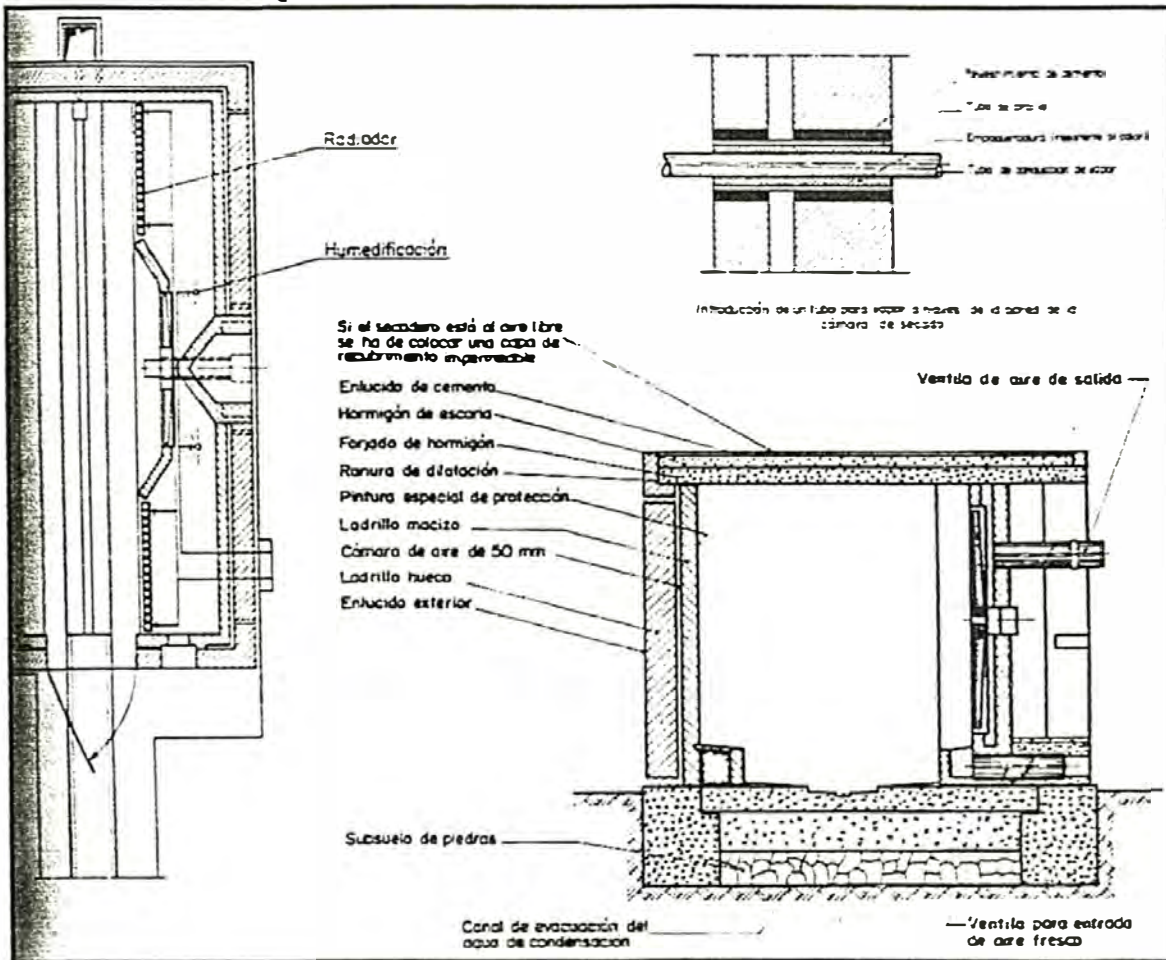
En los gráficos N° 2.8 y 2.9, se muestra un secador artificial con ventilador lateral.

Gráfico N° 2.8
TIPOS DE SECADO DE MADERA
VISTA DE PLANTA, EN FORMA ESQUEMÁTICA, DE UN SECADOR
ARTIFICIAL EQUIPADO CON VENTILACIÓN LATERAL



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

Gráfico N° 2.9
TIPOS DE SECADO DE MADERA
VISTA DE PLANTA Y VISTA DE CORTE DE UN SECADOR ARTIFICIAL
EQUIPADO CON VENTILACIÓN LATERAL



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas.

2.4.3. Métodos Especiales de Secado de Madera

Los métodos especiales de secado son aquellos que no utilizan al aire como principal medio desecador. Estos métodos han tenido muy poca aceptación comercial aunque son de gran utilidad en casos particulares.

En términos generales, la aplicación comercial de un método de secado debe obedecer a ciertos criterios básicos. En primer lugar, se requiere que el contenido de humedad final sea alcanzado en forma uniforme, en el menor tiempo posible y sin

daños que afecten la madera en su aplicación definitiva. En segundo lugar, debe ser aplicable a una gran variedad de especies y tamaños de madera. Finalmente, los costos totales deben ser comparativamente favorables con relación a los sistemas convencionales.

Sin embargo, pueden existir procesos que no se ajusten a los criterios mencionados, pero que excepcionalmente ofrezcan beneficios económicos o técnicos que los hagan funcionales. Tal es el caso de secado de maderas coníferas con solventes orgánicos, que permite además de obtener madera adecuadamente seca, la extracción de subproductos comerciales.

A continuación se mencionan los principales métodos especiales de secado existentes:

- **Métodos Químicos:** Ciertos solventes orgánicos tienen la capacidad de extraer el agua contenida en la madera. Otras sustancias como las sales higroscópicas, propician el movimiento de la humedad del interior hacia la superficie de la madera.
- **Secado en Líquidos Oleosos Calientes:** Es un método rápido de secado de la madera consiste en sumergirla dentro de un líquido repelente de la humedad, que tenga un punto de ebullición mucho más alto que el del agua y que se encuentre a una temperatura tal que produzca la evaporación de la humedad contenida en la madera.
- **Secado al Vacío:** Es un método que consiste en controlar la temperatura y la presión del ambiente dentro de un autoclave, con la finalidad de acelerar la circulación del agua del interior a la superficie de la madera. Es importante recalcar que la acción del vacío implica una disminución de la temperatura de

ebullición del agua, con lo cual se logra una intensificación de la evaporación del agua en la superficie de la madera, y como consecuencia, se aumenta el gradiente de temperatura en la madera ya que la superficie se enfría más rápido que el centro a causa de la intensa evaporación, trayendo como efecto un aumento de la velocidad de secado (ver Tabla N° 2.1).

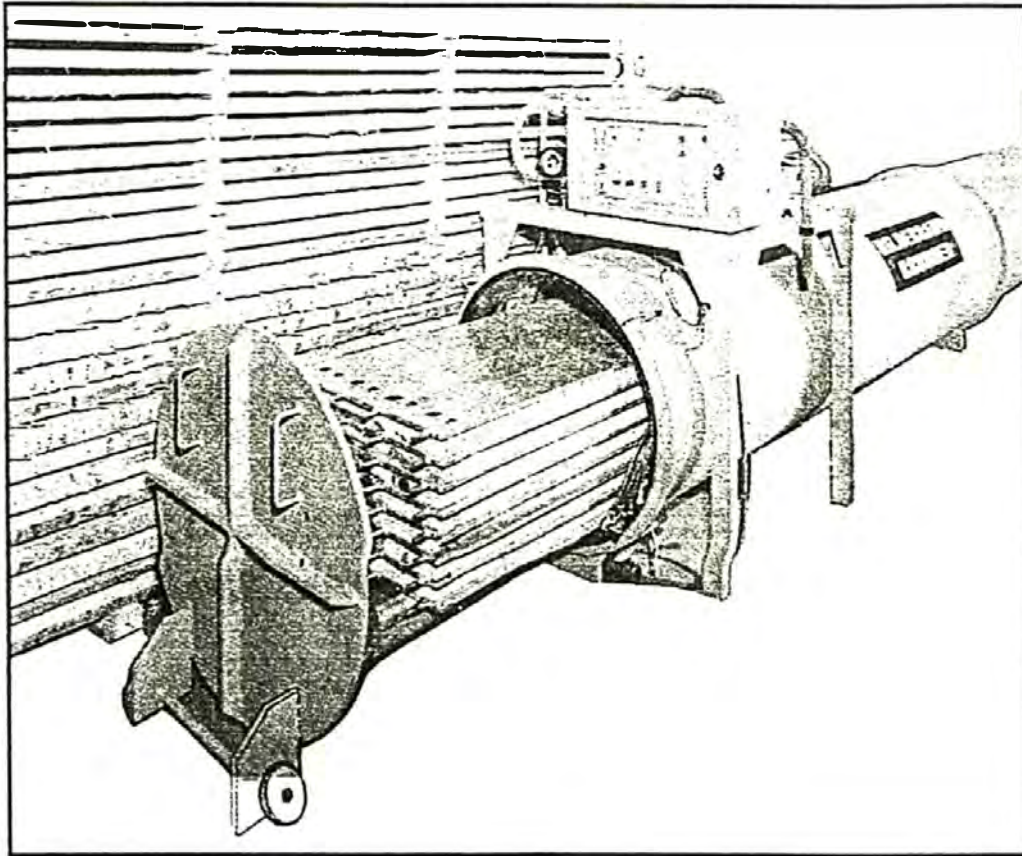
Tabla N° 2.1
TIPOS DE SECADO DE MADERA
TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA
PRESIÓN DEL AIRE

Presión del aire en mm de Hg	Temperatura de Evaporación del Agua en °C
760	100
480	88
305	76
240	70
153	60
120	55
76	45
62	42
38	32
8	7

Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

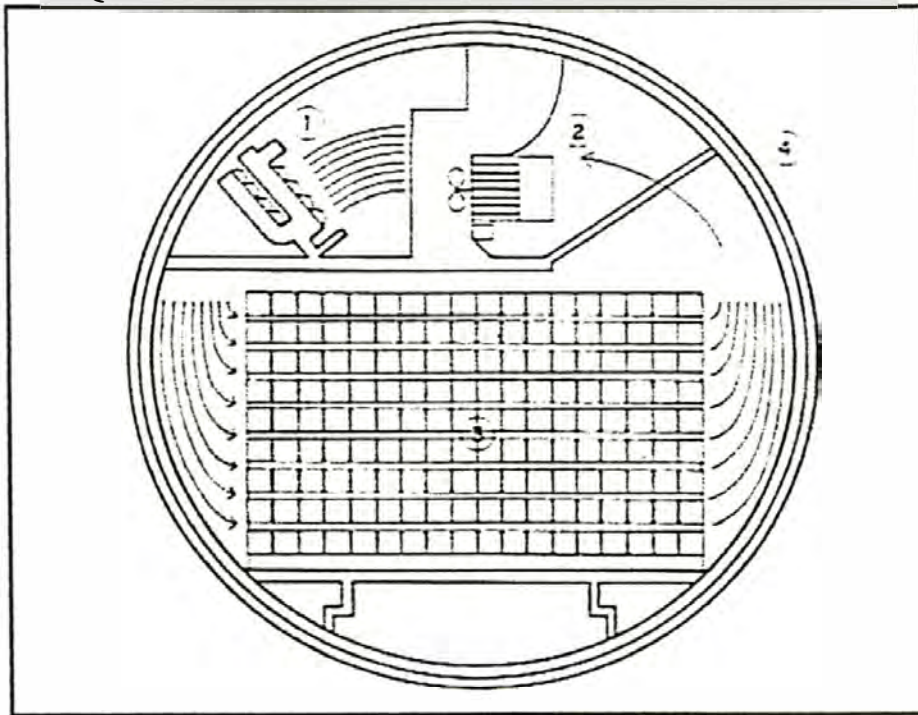
Ahora, veamos en los gráficos N° 2.10, 2.11 y 2.12 algunos ejemplos de secaderos al vacío.

Gráfico N° 2.10
TIPOS DE SECADO DE MADERA
SECADERO AL VACÍO CON CALEFACCIÓN POR PLACAS
ELÉCTRICAS



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

Gráfico N° 2.11
TIPOS DE SECADO DE MADERA
ESQUEMA DEL SECADO AL VACÍO INTERMITENTE

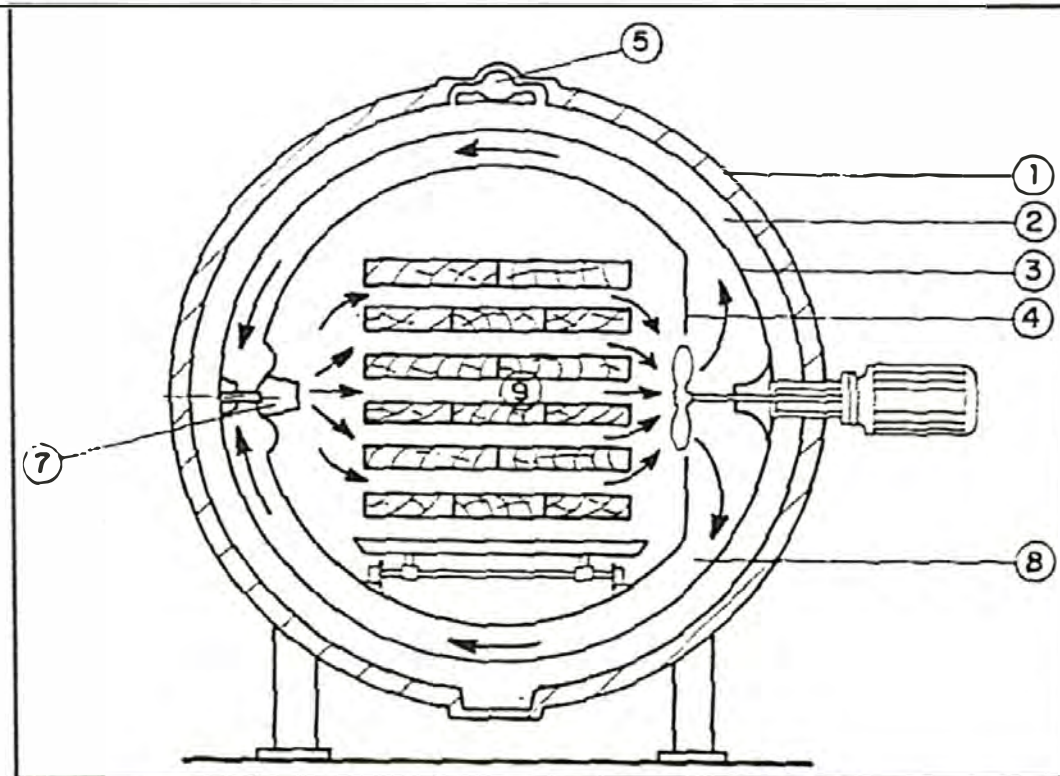


Legenda :

1. Calefacción.
2. Ventilación.
3. Pila de madera apilada convencionalmente.
4. Autoclave.

Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

Gráfico N° 2.12
TIPOS DE SECADO DE MADERA
SISTEMA DE UN SECADERO AL VACÍO TRABAJANDO EN FORMA
INTERMITENTE A VACÍO Y VENTILACIÓN / CALEFACCIÓN



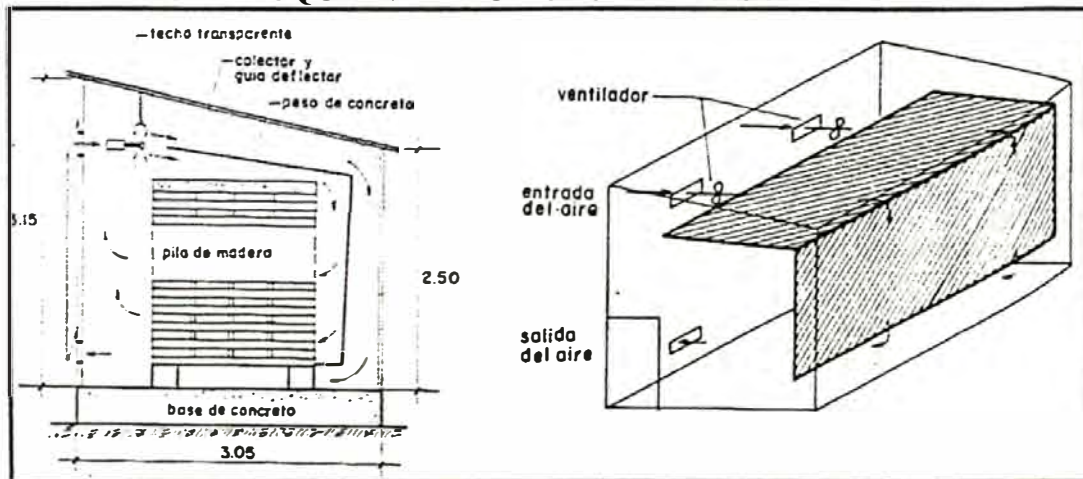
Legenda :

1. Pared exterior de autoclave.
2. Circulación de agua caliente.
3. Pared intermedia.
4. Pared interior.
5. Circulación de agua caliente.
6. Unidad de ventilación.
7. Tobera para distribución de aire caliente.
8. Circulación del aire entre la pared intermedia (caliente) y la pared interior.
9. Pila de madera convencional con separadores.

Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

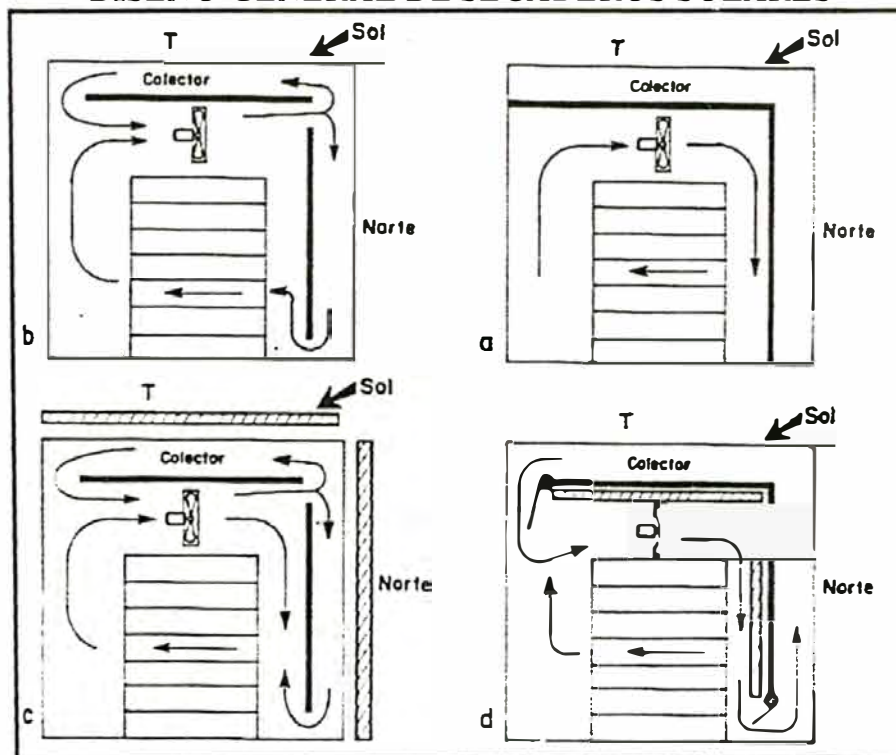
- Secado por Resistencia Eléctrica: Este método se basa en el principio del calor generado por la resistencia que opone la madera al paso de la corriente eléctrica y el rápido incremento de la resistencia con la disminución del contenido de humedad.
- Secado por Corriente de Alta Frecuencia: Se basa en que al colocar madera en un campo de corriente alterna de alta frecuencia, a más de un millón de ciclos por segundo, se calienta a una temperatura superior al punto de ebullición del agua debido a la fricción molecular ocasionada por la oscilación de sus moléculas. La tasa de calentamiento depende de las propiedades dieléctricas y el calor específico de la madera y además de la potencia de la corriente eléctrica disponible.
- Secado Solar: Consiste en el uso de la energía solar para el secado de madera. En general, se busca que mediante un colector plano la energía de radiación se convierta en energía térmica. Esta energía alcanza hasta 60°C en zonas tropicales. En comparación con el secado al aire libre, se ha demostrado que el secado solar reduce el tiempo de secado entre dos y cinco veces y permite obtener contenidos de humedad final por debajo de la humedad de equilibrio del lugar. Respecto al secado artificial convencional, las instalaciones son mucho más baratas y los costos de secado se reducen considerablemente en las zonas tropicales con una radiación solar adecuada para secar madera. Aún en sus límites inferiores, estos secadores presentan una alternativa económica y técnica para las pequeñas industrias de la madera. En los gráficos N° 2.13 y 2.14, se muestran esquemas de secaderos solares.

Gráfico N° 2.13
TIPOS DE SECADO DE MADERA
ESQUEMA DE UN SECADERO SOLAR



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

Gráfico N° 2.14
TIPOS DE SECADO DE MADERA
DISEÑO GENERAL DE SECADEROS SOLARES



Legenda :

- a) Secadero sin aislamiento con colector incorporado.
- b) Diseño mejorado con flujo de aire mezclado.
- c) Secadero con aislamiento externo transparente.
- d) Secadero con aislamiento interno, deflector para controlar el flujo de aire.

T : Techo transparente.

Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

2.5. Niveles de Producción v Comercialización⁶

Respecto al Comercio Internacional de la Madera Peruana, tomando como fuente los datos aduaneros elaborados por PROMPEX (ver tabla N° 2.2), en el año 2001 se experimentó un incremento del 10.6% en los niveles de exportación motivado por el crecimiento de la demanda por maderas duras y el desarrollo de manufacturas de madera. A continuación se muestran los datos de evaluación del comercio internacional del sector maderero en el citado año, que sirvió de punto de partida de la idea para desarrollar la presente tesis.

TABLA N° 2.2
NIVELES DE PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN EXTERNA
EVALUACIÓN DEL SECTOR MADERERO (en millones de dólares
americanos US \$)

Sector	Enero-Diciembre del 2000	Enero-Diciembre del 2001	Variación (%)
Sector Maderas y sus Manufacturas	78,115	86,393	10,6

Fuente Consultada : Revista "BOSQUES AMAZÓNICOS"
Director de la Revista : Juan Mateluna Florián

Los datos de comercialización de las diferentes empresas del Sector Maderero y sus Manufacturas, tomando como fuente los datos aduaneros elaborados por PROMPEX se muestran a continuación en la tabla N° 2.3:

⁶ Fuente Consultada : Revista "Bosques Amazónicos", Director de la Revista : Juan Mateluna Florián

TABLA N° 2.3
NIVELES DE PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN EXTERNA
RANKING DE EMPRESAS (en millones de dólares americanos US \$)

Empresa	Ene-Dic 2000	Ene-Dic 2001	Var (%)	Contribución (%)
MADERERA BÓZOVICH S.A.C.	21,175	18,979	-10.4	22.0
MADERERA VULCANO S.A.C.	4,966	7,260	46.2	8.4
INDUSTRIAL UCAYALI S.A.C.	3,880	6,507	67.7	7.5
EXPORTIMO S.A.	4,208	5,537	31.6	6.4
ALPI ROSA S.A.C.	3,493	4,774	36.7	5.5
TRIPLAY ENCHAPES S.A.	2,651	3,455	30.4	4.0
PROCESOS INDUSTRIALES MADEREROS S.A.C.	2,014	3,219	59.8	3.7
FORESTAL INDUSTRIAL YAVARÍ S.A.	2,784	2,661	-4.4	3.1
TRIPLAY AMAZÓNICO S.A.C.	3,521	2,397	-31.9	2.8
PALACIOS HNOS. CORP. MADERERA S.A.	796	1,790	125.0	2.1
OTROS	28,628	29,813	4.1	34.5
TOTAL GENERAL	78,115	86,393	10.6	100.00

Fuente Consultada : Revista "BOSQUES AMAZÓNICOS"
 Director de la Revista : Juan Mateluna Florián

La MADERERA BÓZOVICH continuó siendo la mayor exportadora nacional a pesar de tener una disminución del 10% para el año 2001 en sus volúmenes exportados principalmente porque el consumo de madera aserrada de Caoba y Cedro disminuyó en el mercado americano.

MADERERA VULCANO S.A.C. a diferencia de lo ocurrido con BÓZOVICH logró en el año 2001 un importante crecimiento de 46% con respecto al año 2000, siendo sus principales mercados Estados Unidos y México, compradores de madera aserrada de Caoba, Cedro y Virola (llamada también Cumala).

El sub-sector de Contrachapados representado por las tres empresas líderes INDUSTRIAL UCAYALI, TRIPLAY ENCHAPES Y TRIPLAY AMAZÓNICO

tuvieron comportamiento diferente. En el caso de INDUSTRIAL UCAYALI tuvo una gran demanda en los mercados de México y Venezuela y también se diversificó en Asia : China y Hong Kong con la exportación de madera preparada para pisos. La empresa TRIPLAY ENCHAPES, además de México y Venezuela, elaboró láminas para el mercado americano. TRIPLAY AMAZÓNICO produjo exclusivamente para el mercado mexicano y no logró superar su nivel de exportación del año 2000 y por el contrario tuvo una disminución del 32% en el año 2001.

EXPORTIMO mantuvo sus niveles de venta de años anteriores. Esta empresa fabricó productos terminados con madera importada de Bolivia e introdujo sus productos al exigente mercado americano donde destacaron sus líneas de muebles, pintados, clásicos, envejecidos, etc.

PALACIOS HNOS. CORPORACIÓN MADERERA fue la empresa de mayor crecimiento en el año 2001 (125%) debido a su alta demanda en el mercado asiático de maderas duras para la fabricación de pisos.

Es necesario evaluar el requerimiento de los mercados referido a los productos para la construcción, muebles, partes y piezas, para planificar la exportación de la madera en forma racional y poder lograr el incremento de divisas.

2.6 Clientes Potenciales⁷

Tomando como fuente datos aduaneros elaborados por PROMPEX (ver tabla N° 2.4), a continuación se mencionan los principales clientes potenciales (mercados en el extranjero) en orden de contribución a la exportación en el Sector Maderas y sus Manufacturas:

⁷ Fuente Consultada : Revista "Bosques Amazónicos" , Director de la Revista : Juan Mateluna Florián

TABLA N° 2.4
CLIENTES POTENCIALES
PRINCIPALES MERCADOS (en millones de dólares americanos US \$)

País	Ene-Dic 2000	Ene-Dic 2001	Var (%)	Contribución (%)
ESTADOS UNIDOS	48,270	49,416	2.4	57.2
MÉXICO	15,532	20,159	29.8	23.3
VENEZUELA	3,095	3,991	28.9	4.6
HONG KONG	1,667	3,087	85.2	3.6
REPUBLICA DOMINICANA	2,342	2,377	1.5	2.8
CHINA	798	1,518	90.3	1.8
ITALIA	1,955	1,432	-26.8	1.7
PUERTO RICO	578	1,223	111.5	1.4
REINO UNIDO	524	302	-42.3	0.3
PANAMÁ	356	102	-71.4	0.1
OTROS	2,997	2,786	-7.0	3.2
TOTAL GENERAL	78,115	86,393	10.6	100.0

Fuente Consultada : Revista "BOSQUES AMAZÓNICOS"
Director de la Revista : Juan Mateluna Florián

Estados Unidos y México fueron los países que tuvieron mayor participación de mercado durante los años 2000 y 2001.

Estados Unidos incrementó su participación de mercado en 2% en el año 2001 y continuó siendo el país con mayor participación de mercado en el sector maderas y sus manufacturas.

México y Venezuela lograron en el año 2001 un importante crecimiento de 30% en su participación de mercado con respecto al año 2000.

Puerto Rico fue el país con mayor crecimiento en su participación de mercado en el año 2001 (112%). Panamá, por el contrario, fue el país que experimentó una gran disminución en su participación de mercado en el año 2001 (71%).

CAPÍTULO 3

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

En principio, es necesario precisar que la madera objeto del presente trabajo tiene las siguientes características:

Especie	Virola (conocida comercialmente como Cumala)
Espesor	1½”
Tipo de madera	Madera blanda
Tipo de Secado	Secado Artificial en Horno

Se perfila diseñar e implementar el sistema de control de un horno de secado de madera blanda tipo Virola de 1.5” de espesor, con capacidad de secado de 65 Pies Tablares / hora.

El punto de partida es la infraestructura de un secador de madera, en el cual el proceso de secado es controlado en forma manual. Al conjunto infraestructura y sistema de control manual se denomina Sistema de Secado Manual.

El alcance del presente trabajo enfatiza el aspecto del desarrollo del sistema de control automático para esta infraestructura, que hace más eficiente el proceso de secado de la madera. Al conjunto infraestructura y sistema de control automático se denomina Sistema de Secado Automático, el cual es más eficiente que el Sistema

de Secado Manual, para madera blanda tipo Virola de 1.5” de espesor, a una capacidad de secado de 65 Pies Tablares / hora.

El Sistema de Secado Manual, materia de estudio del presente trabajo, presenta las siguientes características:

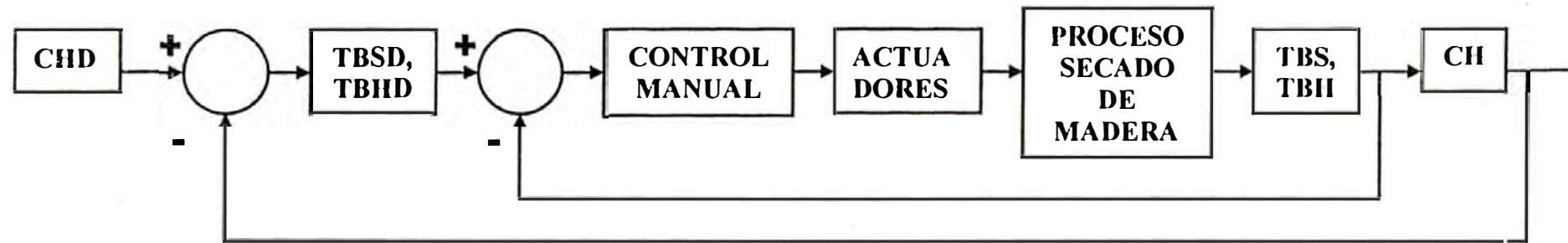
- El control de los elementos reguladores de las condiciones climáticas dentro del horno se hace de forma manual. El operador controla el proceso de secado, abriendo o cerrando manualmente las válvulas de calefacción, abriendo o cerrando las ventilas y abriendo o cerrando la válvula de humidificación, para ajustar los valores de la temperatura y de la humedad dentro del horno de acuerdo con el programa de secado preestablecido. Esto exige un operario con una gran experiencia en el secado artificial y con gran sentido de responsabilidad en su trabajo.
- Para medir la temperatura media del aire de circulación dentro del secadero, se utilizaban termómetros de lectura directa : bimetálico, para la medición de la temperatura de bulbo seco y de mercurio, para la medición de la temperatura de bulbo húmedo.
- La medición de la humedad relativa del aire se hace con el método higrométrico. Se establece la diferencia de temperaturas entre el bulbo húmedo y el bulbo seco y con el uso de la tabla psicrométrica, y con este valor se determina la humedad relativa del aire.
- Para saber como avanza el proceso de secado, el operador toma la lectura de humedad de la madera de los extremos del secador periódicamente mediante un medidor de lectura directa del contenido de humedad de la madera por resistencia eléctrica.

- El operador en muchas ocasiones descuidaba el control de las condiciones climáticas deseadas en el interior de la cámara de secado, por lo general en las noches y en las madrugadas en donde no se contaba con un supervisor de planta.

Veamos el siguiente diagrama de bloques para tener una idea clara del control manual de un secador de madera.

Gráfico N° 3.1

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL MANUAL DE UN SECADOR DE MADERA

**Leyenda :**

CHD : Contenido de humedad deseado de la madera en una fase del proceso de secado.

CH : Contenido de humedad real de la madera medido en el interior de la cámara.

TBSD y TBHD : Temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo deseadas para la fase actual del proceso de secado

Control manual : Cerebro del operador decide la acción a tomar según la diferencia existente entre las temperaturas deseadas y las temperaturas reales medidas en el interior de la cámara de secado.

TBS y TBII : Temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo reales medidas en el interior de la cámara de secado.

Actuadores del Sistema de Secado : La válvula de calefacción, la válvula de humidificación y las ventilas de la cámara de secado (todo de accionamiento manual)

Proceso de Secado de Madera: Es la PLANTA que se desea controlar.

Fuente Consultada : Elaboración Propia

Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

Es importante recalcar que los procesos señalados en el diagrama de bloques antes presentado, se cumple en cada una de las fases del secado de la madera, y el cambio de una fase a otra depende del contenido de humedad real de la madera en el interior del secador y que éste sea igual al contenido de humedad deseado en la madera. Cambiar de fase, implica que las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo deseadas cambien de valor.

Para el caso específico de la madera blanda tipo Virola de 1.5" de espesor, es aconsejable el siguiente programa de secado:

Tabla N° 3.1
PROGRAMA DE SECADO PARA MADERA TIPO VIROLA DE 1½"

FASES DE SECADO	CH (%)	TBS (°C)	TBH (°C)	TIEMPO (HORAS)	HR (%)
Calentamiento	80 - 80	50	46	9	80
Primera Regulación Psicrométrica	80 - 70	50	44	55	70
Segunda Regulación Psicrométrica	70 - 60	50	42	55	61
Tercera Regulación Psicrométrica	60 - 50	55	45	20	56
Cuarta Regulación Psicrométrica	50 - 40	60	48	15	52
Quinta Regulación Psicrométrica	40 - 30	60	46	10	45
Sexta Regulación Psicrométrica	30 - 25	60	44	10	40
Sétima Regulación Psicrométrica	25 - 20	65	46	18	35
Octava Regulación Psicrométrica	20 - 15	65	45	18	32
Novena Regulación Psicrométrica	15 - 10	70	47	12	30
Décima Regulación Psicrométrica	10 - 8	70	47	12	30
Uniformización	10 - 8	65	55	9	60
Acondicionamiento	10 - 8	60	51	9	60
Enfriamiento		45	35	8	52

Leyenda :

CH es el contenido de humedad de la madera

TBS es la temperatura de bulbo seco del aire

TBH es la temperatura de bulbo húmedo del aire

HR es la humedad relativa del aire

Adicionalmente al programa de secado presentado, se aplicarán baños de vapor de 30 minutos cada 3 horas en la superficie de la madera, con la finalidad de evitar un resecamiento en la superficie de la madera, lo cual significa un gradiente de humedad elevado entre la superficie y el centro de la madera, que ocasionaría la formación de defectos en la madera tales como torceduras y rajaduras.

En el programa de secado, se observa que para cada fase de secado se plantean condiciones climáticas diferentes (temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo diferentes), las cuales se deben mantener hasta que la madera reduzca su contenido de humedad a un valor deseado.

3.1. Diseño e Implementación del Sistema de Secado Automático

La Cámara de Secado de Operación Automática consta de los siguientes sistemas:

3.1.1. La Cámara

La temperatura en el interior de la cámara alcanza hasta 70°C. La humedad relativa del aire es elevada, llegando en ocasiones al 100%. La madera libera, en el transcurso del secado, ácidos que atacan fuertemente las paredes de la cámara y los elementos fijos dentro de ella. Por estos motivos, la construcción de la cámara cumple con los siguientes requisitos:

- Buen aislamiento térmico
- Construcción hermética
- Uso de materiales de construcción resistentes a la corrosión y altas temperaturas
- Utilización de puertas de fácil manejo y cierre perfecto

3.1.2. Sistema de Ventilación

El aire de la cámara circula por medio de tres ventiladores que provocan una ventilación forzada. El principio básico es que el aire caliente es menos denso que el aire frío y por lo tanto tiende a elevarse. Cuando este aire caliente es obligado a pasar a través de una pila de madera aserrada, cede calor a las piezas en la pila, se enfría por absorción de la humedad de la madera y se precipita hacia la parte inferior de la secadora. Se crea así un movimiento vertical del aire a una velocidad muy lenta. El propósito de los ventiladores es incrementar la velocidad del aire y por lo tanto, acelerar el proceso de secado de la madera.

3.1.3. Sistema de Calefacción

El calor es necesario para elevar la temperatura de la cámara de secado y para asegurar que la difusión o movimiento de la humedad desde el interior de la pieza de madera hacia la periferia se mantenga o aumente. En términos generales, la calefacción en un horno de secado sirve para lo siguiente:

- Facilitar y acelerar la evaporación en la superficie húmeda de la madera.
- Calentar el aire fresco que entra al horno.
- Reemplazar el calor perdido por radiación a través de las paredes del horno.

En el sistema se emplean radiadores de vapor.

3.1.4. Sistema de Humidificación

La humedad del aire es un factor importante para el control del contenido de humedad de la madera. La humedad del aire afecta el gradiente de temperatura de la madera y la contracción y por tanto tiene relación con los esfuerzos al interior de la pieza que pueden conducir a la aparición de defectos como torceduras y rajaduras.

En este sistema la humedad del aire se controla por medio de la inyección de vapor y el accionamiento de las ventilas de entrada de aire fresco y de salida de aire caliente.

El control de la humedad conlleva el control de la temperatura, tanto del bulbo húmedo como del bulbo seco. Esto se hace por regulación de los radiadores de calentamiento, de los rociadores de vapor y de las ventilas, lo cual inicialmente se realizaba en forma manual. En el nuevo sistema automático planteado la regulación se efectúa automáticamente, lo cual mejora notablemente la eficiencia en el control de estos parámetros para garantizar un tiempo de secado menor y una mayor cantidad de madera seca de calidad a la salida del proceso de secado.

3.1.5. Dispositivos de Control Automático

Para medición de la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo se emplearon dos sensores de temperatura PT100 lo cuales cambian su resistividad en función de la temperatura. Con estos datos se conoce la humedad relativa del aire en el interior de la cámara de secado.

La medición de la humedad de la madera se basa en que la medición de la resistencia eléctrica de la madera varía con su humedad.

Para controlar el flujo de vapor a la entrada de los radiadores se instaló una válvula de vapor de control proporcional. Esto nos permite controlar la cantidad de calor que el vapor transmite a los tubos aleteados de los radiadores y, por consiguiente, se controla la temperatura de los radiadores. Como consecuencia, se controla la temperatura del aire en el interior del secador de madera, por transferencia de calor de los radiadores al aire.

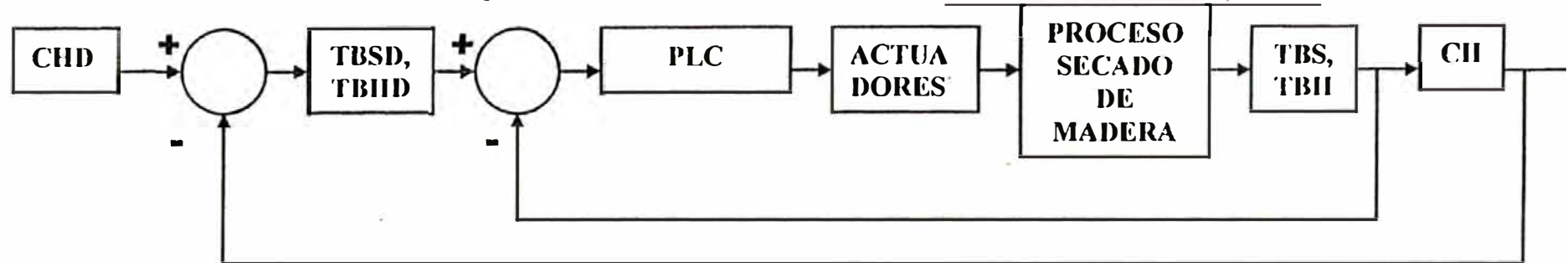
Para control de la inyección de vapor a la cámara, se emplea una válvula de vapor de control ON/OFF.

Para control del cierre de las ventilas del horno de secado se emplea un cilindro neumático el cual actúa sobre su mecanismo de accionamiento. Este cilindro es controlado con dos válvulas accionadas eléctricamente.

Todos las señales de medición de temperatura y de humedad de la madera son enviadas a un PLC (Controlador Lógico Programable), el cual de acuerdo a las condiciones deseadas en la cámara, envía una señal determinadas a los dispositivos de accionamiento de las válvulas de vapor y del cilindro neumático realizando un control PI (Proporcional, Integral) sobre estos dispositivos. De esta manera el PLC logra mantener las condiciones deseadas en la cámara.

Veamos el siguiente diagrama de bloques para tener una idea clara del sistema de control automático del secador de madera.

Gráfico N° 3.2
DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PROPUESTO



Leyenda :

CHD : Contenido de humedad deseado de la madera en una fase del proceso de secado

CH : Contenido de humedad de la madera real medido en la madera del interior de la cámara.

TBSD y TBHD : Temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo deseadas para la etapa actual del proceso de secado

PLC : Controlador Lógico Programable que se encarga de mantener las condiciones deseadas, haciendo un barrido de sus entradas (contenido de humedad de la madera, temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo), para dar una orden respectiva a los actuadores.

TBS y TBH : Temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo reales medidas en el interior de la cámara de secado.

Actuadores del Sistema de Secado : La válvula de calefacción de accionamiento eléctrico, la válvula de humidificación de accionamiento electro-neumático y un cilindro neumático que se encarga de abrir o cerrar las ventilas de la cámara de secado.

Proceso de Secado de Madera: Es la PLANTA que se desea controlar.

Fuente Consultada : Elaboración Propia
 Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

3.2. Cálculo de la Eficiencia del Sistema de Secado Automático respecto al Sistema de Secado Manual

Se consideran previamente dos indicadores absolutos :

a) Producción automática absoluta (P_{aut}), volumen de madera seca exportable que produce el sistema de secado automático por unidad de tiempo (pies tablares/hora)

b) Producción manual absoluta (P_{man}), el volumen de madera seca exportable que produce el sistema de secado manual por unidad de tiempo (pies tablares/hora).

Se define ahora el indicador relativo : eficiencia del sistema de secado automático respecto al sistema de secado manual (η).

$$\eta = \frac{P_{aut} \times 100\%}{P_{man}}$$

donde:

η : Eficiencia del sistema de secado automático respecto al sistema de secado manual

P_{aut} : Volumen de madera seca exportable que produce sistema de secado automático por unidad de tiempo (pies tablares/hora).

P_{man} : Volumen de madera seca exportable que produce el sistema de secado manual por unidad de tiempo (pies tablares/hora).

A continuación, se presenta un ejemplo del procedimiento para el cálculo de la eficiencia del sistema de secado automático respecto al sistema de secado manual (η):

a) Determinación de P_{man} :

En el caso del sistema de secado de madera manual, procedemos a calcular el P_{man} (volumen de madera seca exportable que produce el sistema de secado manual por unidad de tiempo).

Se clasifica la madera seca a la salida de la cámara de secado manual, para determinar el volumen de madera exportable.

CLASIFICACIÓN	PIES TABLARES (PT)
Primera	7669,936
Segunda	585,084
Largo Angosta	880,813
Recuperación	1429,341
TOTAL	10565,173

Como el tiempo total del proceso de secado es 260 horas, entonces:

$$P_{man} = 10.565,173 \text{ PT} / 260 \text{ horas} = 40,64 \text{ PT} / \text{hora.}$$

b) Determinación de Paut :

En el caso del sistema de secado con control automático, procedemos a calcular el **Paut** (volumen de madera seca exportable que produce el sistema de secado automático por unidad de tiempo).

Se clasifica la madera seca a la salida de la cámara de secado automático, para determinar el volumen de madera exportable.

CLASIFICACIÓN	PIES TABLARES (PT)
Primera	9227,303
Segunda	530,760
Largo Angosta	327,000
Recuperación Segunda	2048,000
TOTAL	12.133,063

Como el tiempo total del proceso de secado es 186 horas, entonces:

$$P_{aut} = 12.133,063 \text{ PT} / 186 \text{ horas} = 65,23 \text{ PT} / \text{hora.}$$

c) Cálculo de η :

Ahora se calcula el valor de η :

$$\eta = (65,23 / 40,64) * 100 = 160,50 \%$$

Entonces el sistema de secado con control automático es 60,50% más eficiente que el sistema de secado manual.

3.3. Planteamiento de la Hipótesis

La hipótesis que se quiere demostrar es : “El sistema de secado con control automático es más eficiente que el sistema de secado manual, para madera blanda tipo Virola de 1.5” de espesor”.

CAPÍTULO 4

FUNDAMENTO TEÓRICO

En este capítulo se resume la información teórica necesaria para la comprensión del sistema de control automático propuesto para mejorar la eficiencia del sistema de secado convencional.

4.1. Materiales

A continuación se describe cada uno de los materiales que se emplearon para implementar el sistema de control de la cámara de secado:

4.1.1. Materiales para la Medición de la Temperatura

- Se emplearon dos detectores de temperatura por resistencia eléctrica de material Platino (Pt100), uno para la medición de la temperatura del bulbo seco y otro para la medición de la temperatura del bulbo húmedo. Estos sensores tienen la propiedad de variar su resistencia eléctrica respecto a la variación de la temperatura. Reciben el nombre de Pt100 ya que a 0°C tienen una resistencia de 100Ω. La variación de 1°C es equivalente a 0.39 ohmios. A continuación se presenta una tabla con la variación óhmica de los sensores de temperatura PT100:

Tabla N° 4.1
SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA
VARIACIÓN ÓHMICA DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA PT100

$$T(^{\circ}\text{C}) = (R-100) * 2.63$$

Donde: T es la temperatura en grados Centígrados

R es la resistencia eléctrica en ohmios

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-100	60.25	59.85	59.44	59.04	58.63	58.22	57.82	57.41	57	56.6
-90	64.3	63.9	63.49	63.09	62.68	62.28	61.87	61.47	61.06	60.66
-80	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.91	65.51	65.11	64.7
-70	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73
-60	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73
-50	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.13	76.73
-40	84.27	83.88	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.5	81.1	80.7
-30	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67
-20	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.8	89.4	89.01	88.62
-10	96.09	95.69	95.3	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55
0	100	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.9	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.4
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.9	111.28
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	113.99	114.38	114.77	115.15
40	115.54	115.93	116.31	116.7	117.08	117.47	117.85	118.24	118.62	119.01
50	119.4	119.78	120.16	120.55	120.93	121.32	121.7	122.09	122.47	122.86
60	123.24	123.62	124.01	124.39	124.77	125.16	125.54	125.92	126.31	126.69
70	127.07	127.45	127.84	128.22	128.6	128.98	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.27	131.66	132.04	132.42	132.8	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.7	135.08	135.46	135.84	136.22	136.6	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.5	138.88	139.26	139.64	140.02	140.39	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.66	143.04	143.42	143.8	144.17	144.55	144.93	145.31	145.68
120	146.06	146.44	146.81	147.19	147.57	147.94	148.32	148.7	149.07	149.45
130	149.82	150.2	150.57	150.95	151.33	151.7	152.08	152.45	152.83	153.2
140	153.58	153.95	154.32	154.7	155.07	155.45	155.82	156.19	156.57	156.94
150	157.31	157.69	158.06	158.43	158.81	159.18	159.55	159.93	160.3	160.67
160	161.04	161.42	161.79	162.16	162.53	162.9	163.27	163.65	164.02	164.39
170	164.76	165.13	165.5	165.87	166.24	166.61	166.98	167.35	167.72	168.09
180	168.46	168.83	169.2	169.57	169.94	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190	172.16	172.53	172.9	173.26	173.63	174	174.37	174.74	175.1	175.47
200	175.84	176.21	176.57	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.97	181.34	181.71	182.07	182.44	182.8
220	183.17	183.53	183.9	184.26	184.63	184.99	185.36	185.72	186.09	186.45
230	186.82	187.18	187.54	187.91	188.27	188.63	189	189.36	189.72	190.09

240	190.45	190.81	191.18	191.54	191.9	192.26	192.63	192.99	193.35	193.71
250	194.07	194.44	194.8	195.16	195.52	195.88	196.24	196.6	196.96	197.33
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.13	199.49	199.85	200.21	200.57	200.93
270	201.29	201.65	202.01	202.36	202.72	203.08	203.44	203.8	204.16	204.52
280	204.88	205.23	205.59	205.95	206.31	206.67	207.02	207.38	207.74	208.1
290	208.45	208.81	209.17	209.52	209.88	210.24	210.59	210.95	211.31	211.66
300	212.02	212.37	212.73	213.09	213.44	213.8	214.15	214.51	214.86	215.22
310	215.57	215.93	216.28	216.64	216.99	217.35	217.7	218.05	218.41	218.76

Nota : Los valores que se encuentran en el interior de las tablas son los valores de resistencia eléctrica del sensor Pt100.

Fuente Consultada : Libro de Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

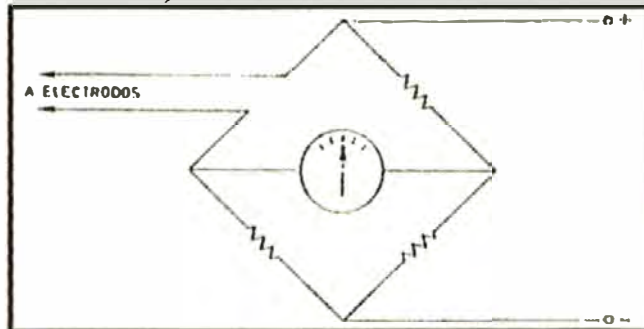
4.1.2. Materiales para la Medición de la Humedad de la Madera

Para medir la humedad de la madera se utilizó un par de electrodos de acero inoxidable.

Entonces se emplea el método por resistencia eléctrica de una muestra del producto a secar, al pasar una corriente a través de los electrodos en contacto con el mismo.

Estos electrodos forman parte de un puente Wheatstone (ver gráfico 4.1).

Gráfico N° 4.1
MÉTODO DE CONDUCTIVIDAD EN SENSORES DE HUMEDAD DE
MADERA, POR PUENTE WHEATSTONE



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Debemos tener en cuenta que existe una relación casi lineal entre el logaritmo de la resistencia eléctrica de la madera y el contenido de humedad de la madera en el rango del estado anhidro hasta el punto de saturación de las fibras (25% de contenido de humedad de la madera)

$$\text{Log } r = 13.25 - 0.32 \text{ CH}$$

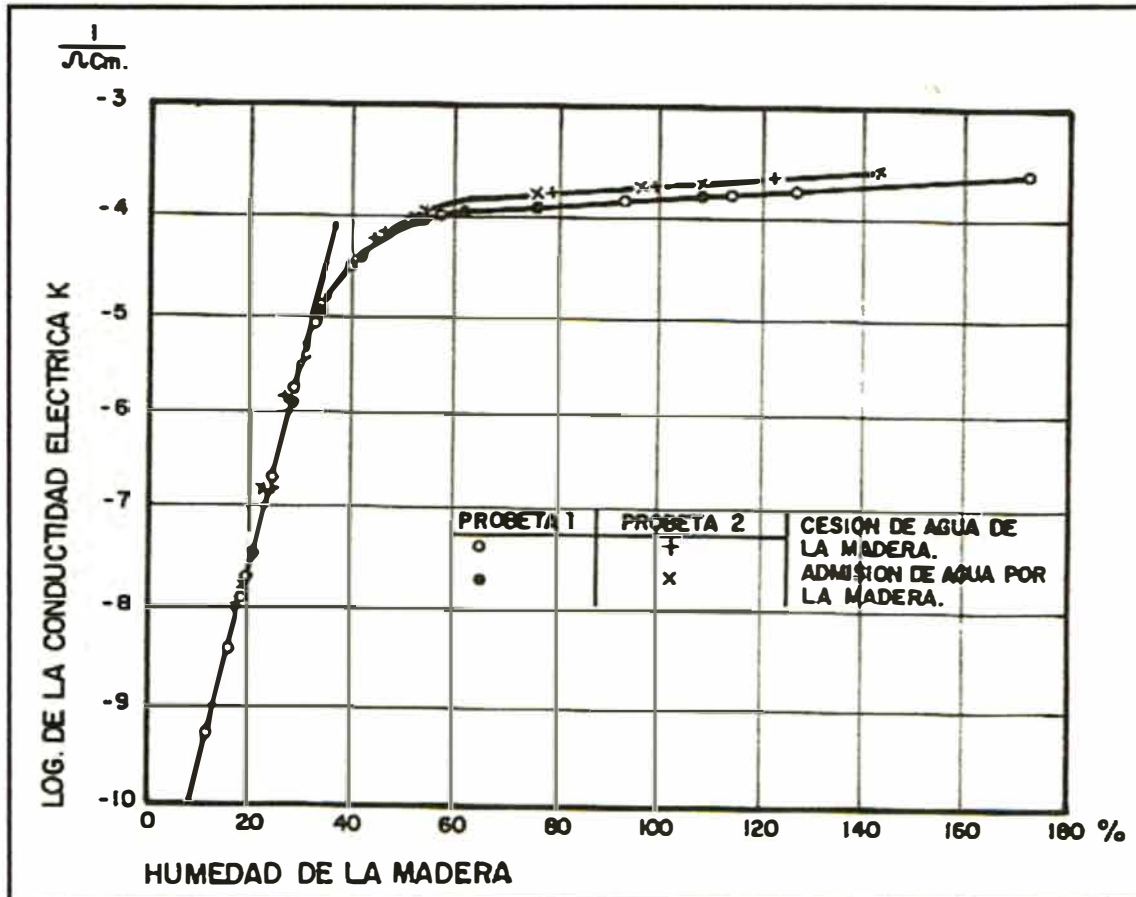
donde : Log r = Logaritmo decimal de la resistencia eléctrica, expresada en ohmios.

CH = Contenido de humedad de la madera, expresada en porcentaje.

Este método tiene una desviación de $\pm 2\%$ para el rango de 6 a 25% de contenido de humedad de la madera.

Secando la madera del 25% al 6%, la resistencia eléctrica aumenta en un millón de veces, mientras que por encima del PSF, un aumento en el CH hasta la saturación completa de la madera ocasionaría una disminución de la resistencia eléctrica de solo cinco veces (Este comportamiento es la base para la elaboración del algoritmo para la toma de datos del contenido de humedad de la madera, ver gráfico 4.2).

Gráfico N° 4.2
COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LA
MADERA EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA MADERA



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

También es importante tener en cuenta que la temperatura influye en la medida por eso es necesario realizar correcciones mediante una tabla de corrección del contenido de humedad de la madera medido en función de la temperatura a la que se encuentre la madera.

En el caso específico del sistema de control automático que se va a implementar, se emplearon ocho pares de electrodos para medir el contenido de humedad de madera de ocho muestras de madera, ubicadas a lo largo del secador de madera en los puntos más críticos de secado. De estos valores medidos se toma un contenido de humedad promedio, que se considera como la media aritmética de los cuatro puntos más

húmedos, que va a ser la base para el cambio de fase, durante el proceso de secado de la madera.

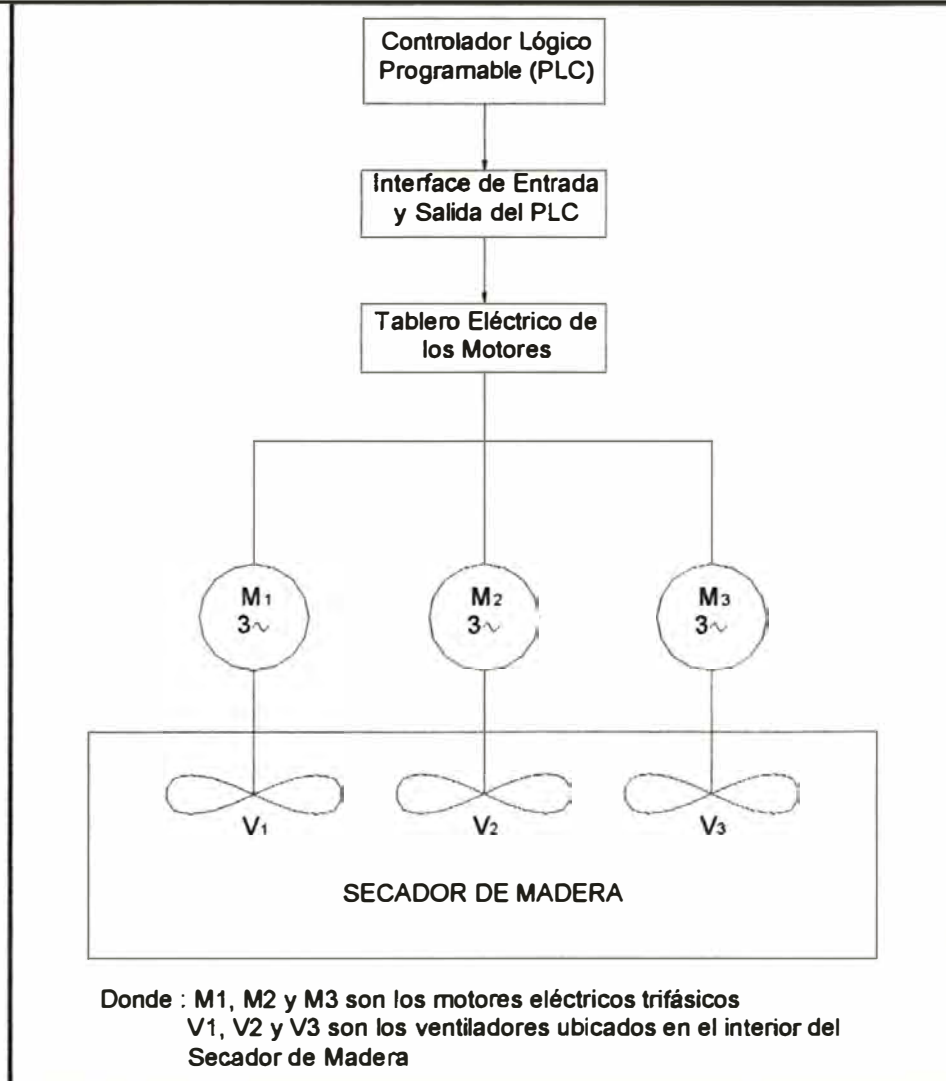
4.1.3. Materiales empleados en el Sistema de Ventilación

En cuanto al sistema de ventilación se implementó un tablero eléctrico para el arranque secuencial de los tres motores eléctricos que accionan a los tres ventiladores que conforman la cámara de secado, de tal forma que arrancan desfasados 10 segundos uno respecto al otro.

Los materiales que conforman el tablero eléctrico de arranque secuencial son los siguientes:

- Tres contactores de fuerza para motor de 5 HP, a 220 VCA, con un contacto auxiliar normalmente abierto (NA).
- Dos temporizadores con rango de regulación de tiempo de 0 a 30 segundos, y con un contacto auxiliar normalmente abierto (NA) y un contacto auxiliar normalmente cerrado (NC).
- Tres relés térmicos para motor de 5 HP a 220 VCA, con un contacto auxiliar normalmente cerrado (NC).

Gráfico N° 4.3
SISTEMA DE VENTILACIÓN
ESQUEMA DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

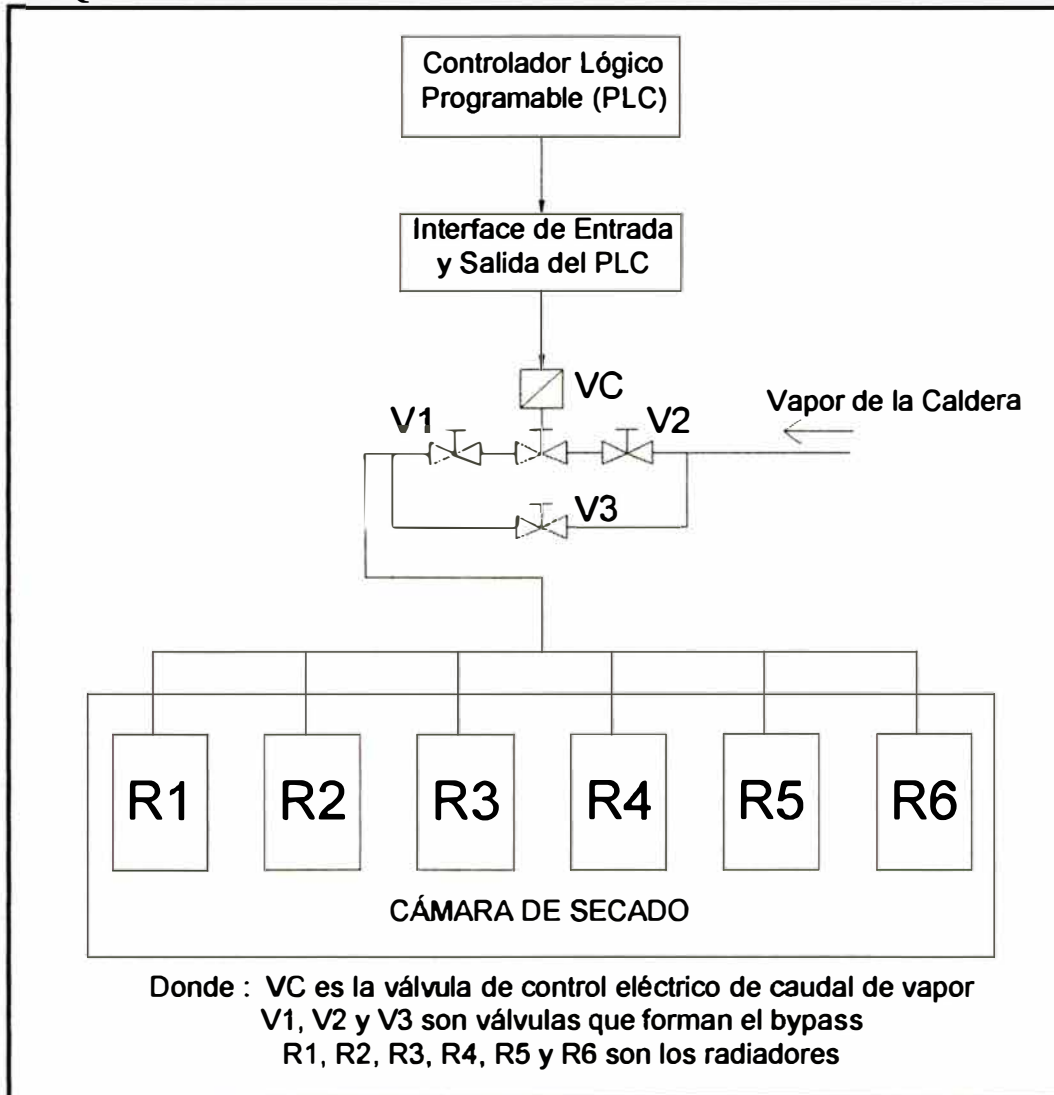


Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

4.1.4. Materiales para el Sistema de Calentamiento

En el sistema de calentamiento se instaló una válvula de vapor con accionamiento eléctrico en la entrada de vapor. Además el sistema tiene tres válvulas para vapor de agua tipo esfera que sirven para establecer el bypass cuando sea necesario realizar mantenimiento a la válvula principal automática.

Gráfico N° 4.4
SISTEMA DE CALENTAMIENTO
ESQUEMA DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO



Fuente Consultada : Elaboración Propia
 Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

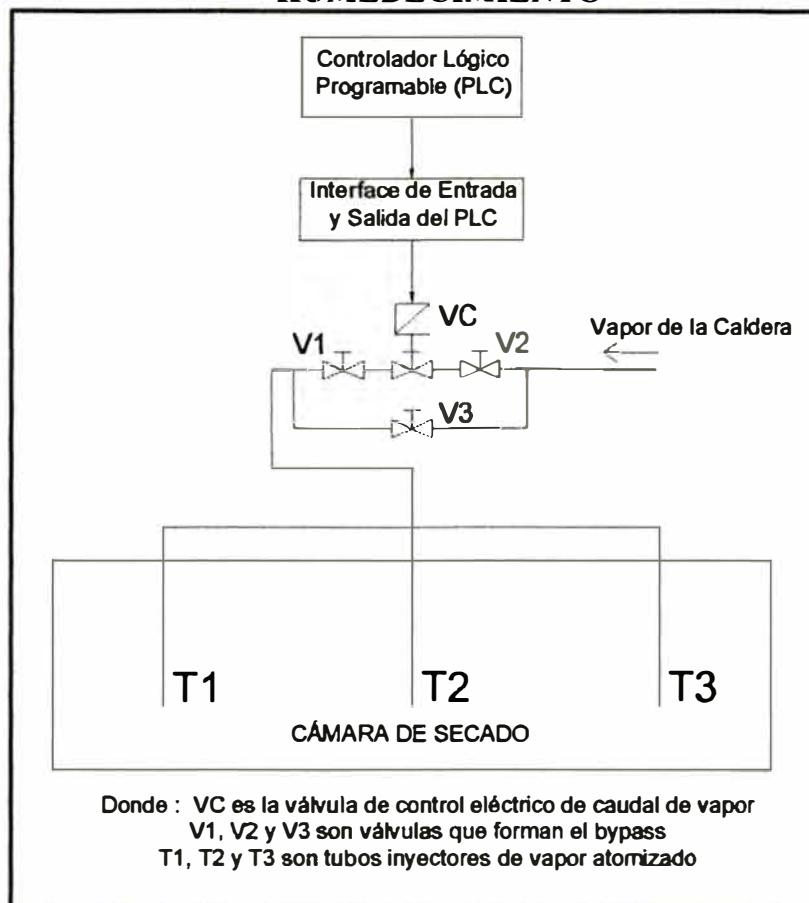
4.1.5. Materiales para el Sistema de Humedecimiento

En el sistema de humedecimiento se instalaron:

- Una válvula de vapor con accionamiento electro-neumático ON/OFF, en la entrada de vapor. Además se adicionaron tres válvulas para vapor de agua tipo esfera, con la finalidad de permitir realizar mantenimiento a la válvula controlada automáticamente.

- Una válvula solenoide controlada eléctricamente, para accionamiento de la válvula electro-neumática ON/OFF a la entrada del sistema de humidificación.

Gráfico N° 4.5
SISTEMA DE HUMEDECIMIENTO
ESQUEMA DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE HUMEDECIMIENTO



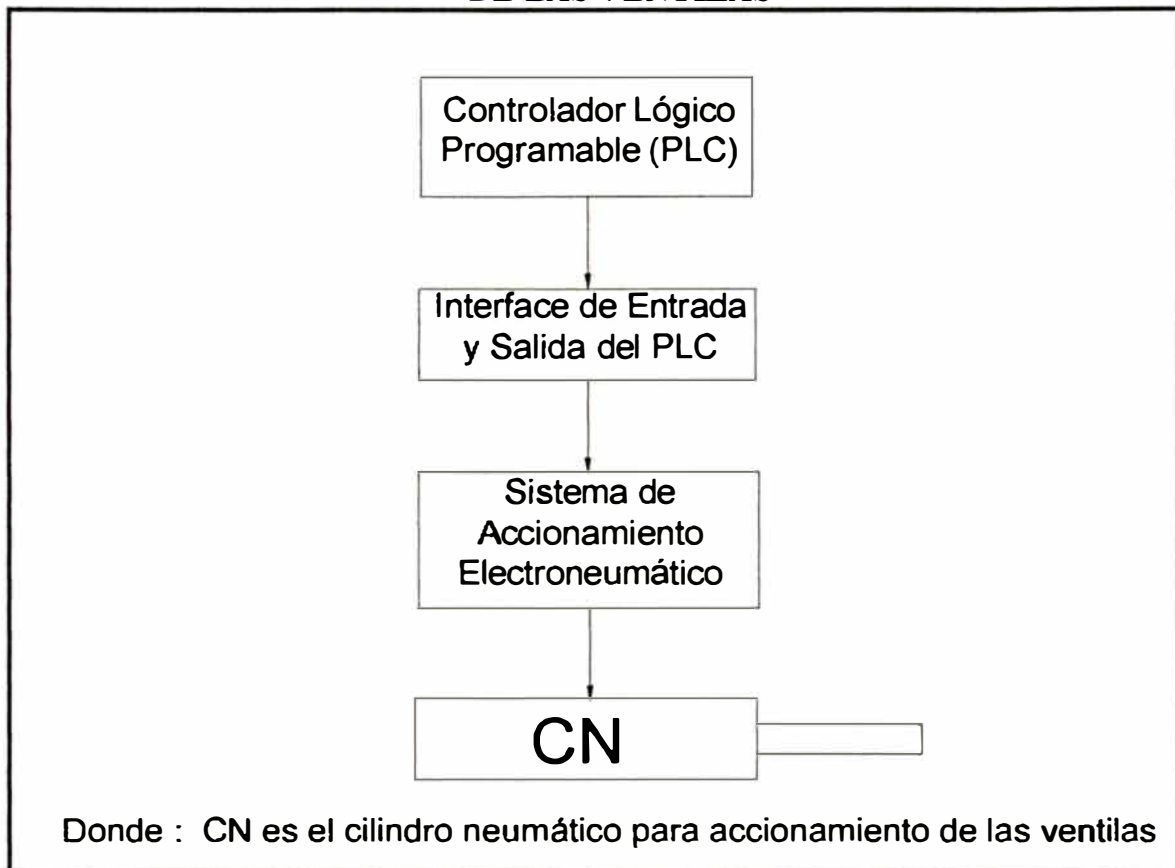
Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

4.1.6. Materiales para el Sistema de Accionamiento de las Ventiladores

En primer lugar se encontró que las tres ventilas de entrada de aire fresco y las tres ventilas de salida de aire húmedo se accionaban en forma independiente. Entonces, se procedió a unirlos en forma mecánica, para lo cual se emplearon los siguientes materiales:

- Tramos de eje de fierro liso para unir los ejes de las ventilas superiores (salida de aire húmedo), los cuales estaban acoplados mediante bridas y pernos, las bridas eran soldadas en los ejes de fierro. En forma similar se emplearon tramos de fierro liso para unir los ejes de las ventilas inferiores. El material empleado fue 35 metros de varilla de fierro liso de $\frac{3}{4}$ " de diámetro.
- Tramos de platina de fierro de 2" x $\frac{1}{8}$ " para unir el eje de las ventilas superiores con el eje de las ventilas inferiores.
- Ocho soportes de pie (chumaceras) de $\frac{3}{4}$ " de diámetro para ser fijadas en la pared para soporte tanto para el eje de las ventilas superiores como el eje de las ventilas inferiores.
- Un cilindro neumático de 50 mm de diámetro del émbolo y 250 mm de longitud de carrera, para hacer girar el eje superior y por consiguiente el eje inferior que se encuentran unidos. Este cilindro tiene un control electro-neumático que permite abrir las ventilas superiores e inferiores, en cierto porcentaje, tanto como sea necesario para mantener las condiciones de humedad deseadas en la cámara de secado.
- Dos válvulas solenoide controladas eléctricamente, para accionamiento del cilindro neumático de accionamiento de las ventilas.

Gráfico N° 4.6
SISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE LAS VENTILAS
ESQUEMA DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO
DE LAS VENTILAS



Fuente Consultada : Elaboración Propia
 Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

4.1.7. Materiales empleados como Controlador e Interface

A continuación se presentan los materiales eléctricos empleados como controlador e interface:

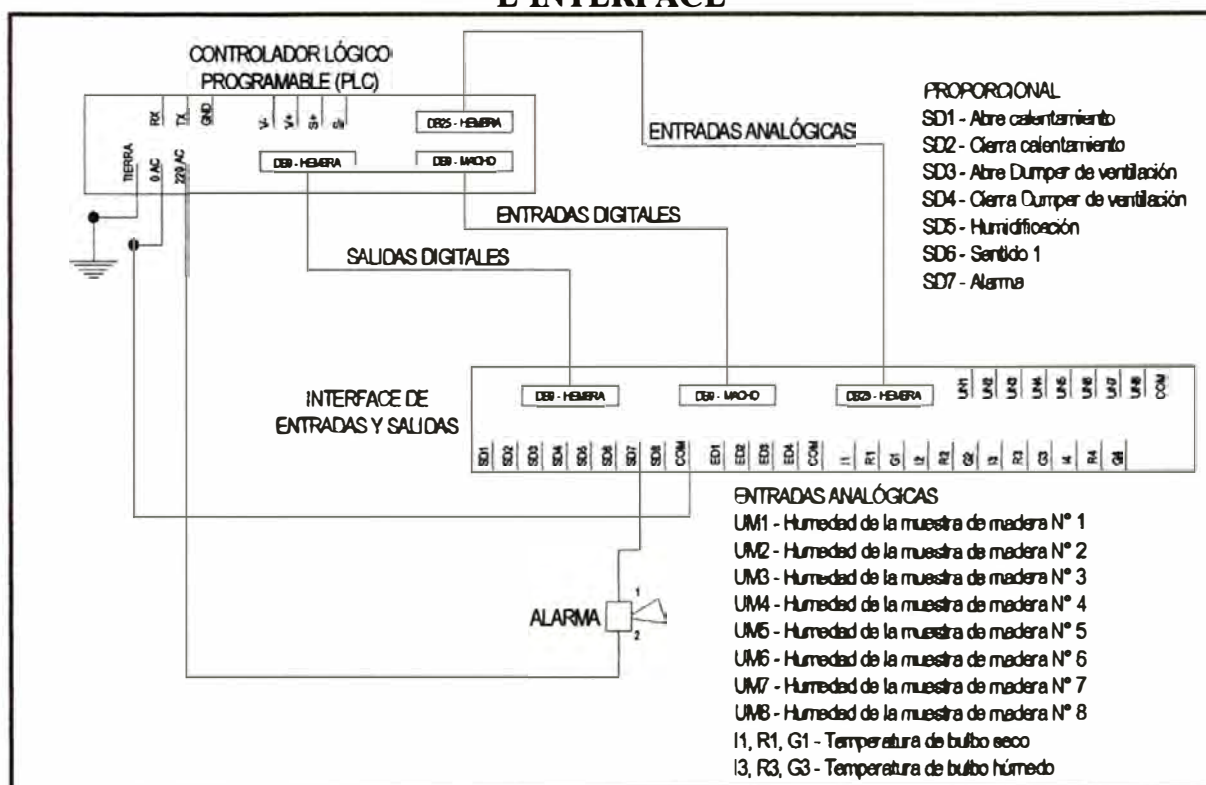
- Un PLC (Controlador Lógico Programable) que se encuentra en un tablero eléctrico donde se encuentra su respectiva fuente de alimentación de 12 VDC.
- Una tarjeta de interface de entradas y salidas del PLC.
- Los tipos de cables empleados en el sistema de automatización de la cámara de secado son:

50 metros de cable blindado 6Px26 AWG, para unir los puntos del panel de conexiones de puntos de humedad de la madera y la interface de entradas y salidas del PLC.

200 metros de cable blindado 4x26 AWG (AF-F), para realizar la conexión entre las válvulas solenoide del cilindro neumático, el solenoide de la válvula de humidificación, los puntos de conexión de la válvula eléctrica de calefacción, los detectores de temperatura Pt100 de bulbo seco y bulbo húmedo y la interface de entradas y salidas del PLC.

150 metros de cable 2x0.75 mm² para alta temperatura, para unir los ocho puntos de medición del contenido de humedad de la madera ubicados en la pila de madera y el panel de conexiones ubicado en la parte exterior del secador.

Gráfico N° 4.7
SISTEMA DE CONTROL
ESQUEMA DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DEL CONTROLADOR
E INTERFACE



Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

4.2. Procesos de Manufactura

Aquí se presenta dos aspectos, el primero correspondiente al secado y el segundo correspondiente a la clasificación de la madera seca.

En el proceso de secado se consideran diez etapas cada una de las cuales será descrita.

En el proceso de clasificación se describe detalladamente como se realiza el proceso de medición de la superficie de la madera y la determinación del número de cortes libres de defecto a fin de determinar su calidad.

El proceso de secado consta de diez etapas que se describen a continuación:

4.2.1. Proceso de Secado de la Madera en una Cámara de Secado

En la operación normal de un horno secador, es necesario tomar ciertas precauciones para conseguir resultados satisfactorios. La madera debe ser apropiadamente apilada, se deben incluir en la pila suficientes muestras de secado, para verificar el contenido de humedad de la carga a un determinado tiempo y las condiciones de secado requieren ser cuidadosamente controladas a través del proceso.

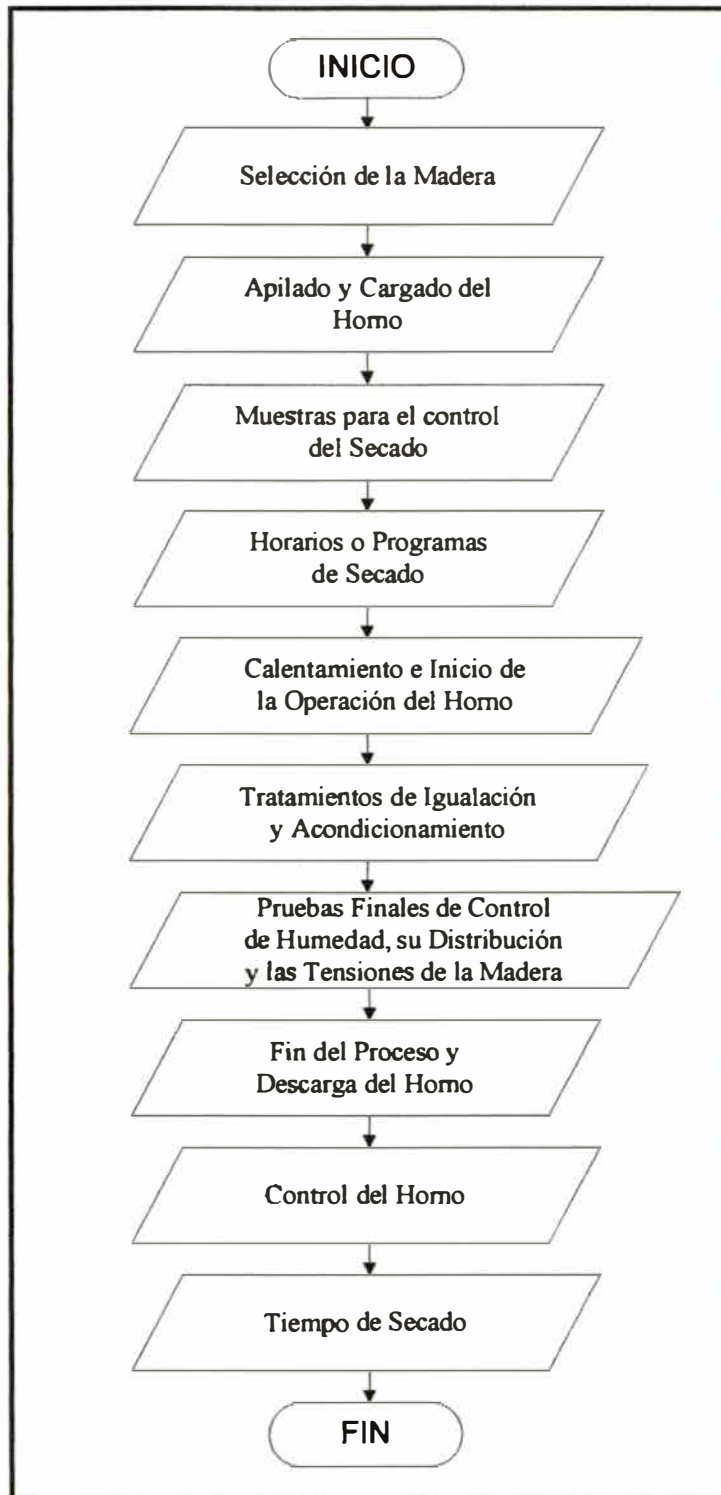
Los hornos convencionales son cámaras o compartimientos cerrados, dotados de ventiladores que dan lugar a una circulación forzada del aire dentro de la cámara, también tienen un sistema de calentamiento controlado que permite elevar la temperatura del horno y dispositivos reguladores para conseguir la variación deseada de la humedad relativa en el ambiente interior del horno.

Un horno, para secar madera, debe tener un buen aislamiento térmico, ser de construcción hermética, fabricarse de materiales resistentes a la corrosión y a elevadas temperaturas, y disponer de puertas de fácil manejo de cierre hermético.

El secado convencional se verifica a temperaturas entre 40 y 100 °C y se diferencia del secado a alta temperatura porque éste opera por encima de los 100 °C.

Las etapas a seguir para una operación normal de Secado en Horno son los siguientes : (ver Gráfico N° 4.8)

Gráfico N° 4.8
Proceso del Secado de la Madera en una Cámara
Etapas del Proceso de Secado de Madera en una Cámara



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Madera

4.2.1.1. Selección de la Madera

La homogeneización de la carga de madera facilita el secado en hornos. Tal uniformidad del material se logra seleccionándolo por:

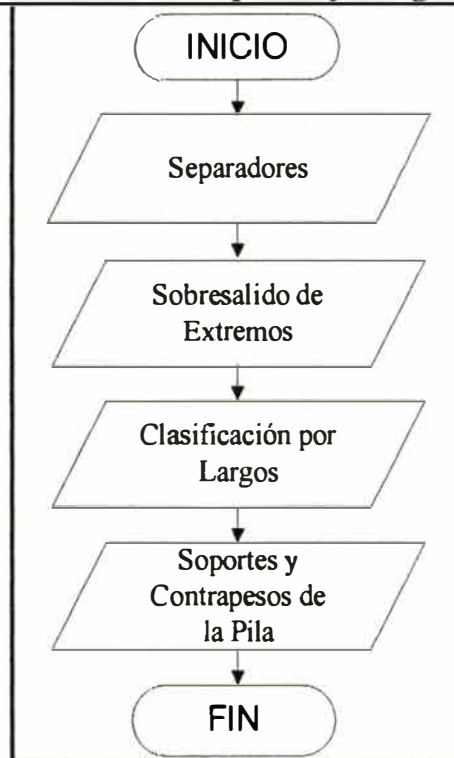
- Especie
- Espesor
- Nivel de humedad
- Tipo de madera
- Cortes radiales y tangenciales

Aunque en nuestro medio no se aplican todos los procedimientos de selección citados, es aconsejable su implementación para el mejor desempeño del trabajo, ya que los programas de secado se conducen según las condiciones del material más difícil de secar o el que limite la aceleración del proceso.

4.2.1.2. Apilado y Cargado del Horno

La construcción de la pila del horno es de importancia primordial. Aún si todos los demás factores son perfectos, su falla representará, con seguridad, la degradación del material en forma de combaduras, revirado o torceduras, rajaduras en extremos y desigual contenido de humedad en las piezas. La pila debe estar bien alineada vertical y horizontalmente. El tamaño de la carga dependerá de la capacidad y tipo de horno a ser empleado. Hay muchas precauciones que deben ser rígidamente observadas para asegurar la máxima tasa de secado con el mínimo daño del material que se indican a continuación: (ver Gráfico N° 4.9)

Gráfico N° 4.9
Apilado y Cargado del Horno
Precauciones durante el Apilado y Cargado del Horno



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Madera

4.2.1.2.1. Separadores

Los separadores de madera deben ser de un espesor uniforme, entre 12 mm (½") y 25 mm (1"), los más delgados se usan cuando se quiere disminuir la tasa de secado de la madera. Se prefieren anchos entre 25 mm (1") y 37 mm (1½"). Los separadores deben estar exactamente alineados en dirección vertical y espaciados 40 cm para tablas delgadas, 60 cm para tablas entre 20 y 30 mm y de 80 a 100 cm para madera más gruesa, uno del otro en la misma fila.

Estas precauciones son necesarias para evitar el combado y revirado de las piezas, que ocurren si los separadores no están correctamente colocados a lo largo de la carga, o los bloqueos al paso del aire entre las filas de la carga cuando los separadores tienen espesor irregular.

La primera y la última fila de separadores deben estar lo más cerca posible de los extremos de las tablas para evitar el voladizo, que ocasiona el agrietamiento y rajado de los extremos.

4.2.1.2.2. Sobresalido de Extremos

Los extremos de las piezas deben quedar alineados porque los que sobresalgan, al no estar soportados, se curvarán bajo su propio peso y se deformarán. Esto afecta a la tabla en particular y al resto de la pila, pudiendo causar distorsión en toda la carga. Por otro lado, con el sobresalido de los extremos, el secado de esas piezas es más rápido con respecto al resto de la pila y puede presentarse un severo agrietamiento de los extremos.

4.2.1.2.3. Clasificación por Largos

El problema antes mencionado se puede evitar clasificando los largos de la madera a secar antes de armar la pila. Las tablas largas pueden ser usadas para las hileras exteriores de la carga y dos cortas, que juntas sumen el largo de la carga, una tras otra para llenar el resto de las filas. Si una combinación de dos tablas no ajusta la longitud de la carga, se traslapan entre ellas de modo que los extremos de la carga sean cuadrados. Si el largo de esas piezas es tal que sus extremos no caben dentro del espaciamiento normal de los listones, puede ser útil colocar un pequeño listón del ancho de la pieza para apoyarla.

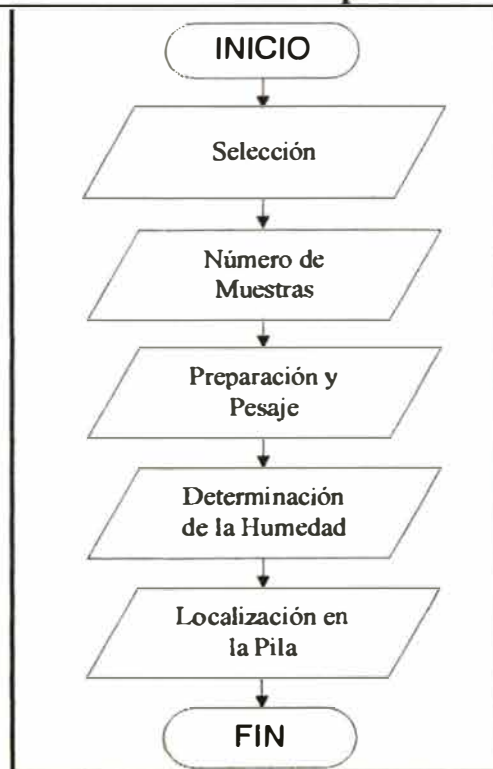
4.2.1.2.4. Soportes y Contrapesos de la Pila

Cuando la madera es muy susceptible al alabeo, como es el caso del palo maría y otras especies nacionales, se pueden colocar contrapesos encima de la capa superior de la pila, consistentes en prensas de resortes, piezas de durmientes en desuso o moldes de hormigón que apliquen una presión entre 250 y 1000 kg/m², dependiendo

de la especie de madera, el espesor del material y el grado de reducción de la deformación deseada. Estos contrapesos ayudan a estabilizar la carga, especialmente de las hileras superiores de madera, que es donde se presentan las torceduras.

4.2.1.3. Muestras para el control del Secado

Gráfico N° 4.10
Muestras para el Control del Secado
Pasos en la Selección de las Muestras para el Control del Secado



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Madera

4.2.1.3.1. Selección

Por lo general, las muestras se eligen durante la fase del apilado de la madera. La mayoría de los tablonces, de los cuales se toman las muestras, deberán representar la madera más húmeda y lenta de secar; algunas muestras deben corresponder a los tablonces de madera más seca o de mayor velocidad de pérdida de humedad.

4.2.1.3.2. Número de Muestras

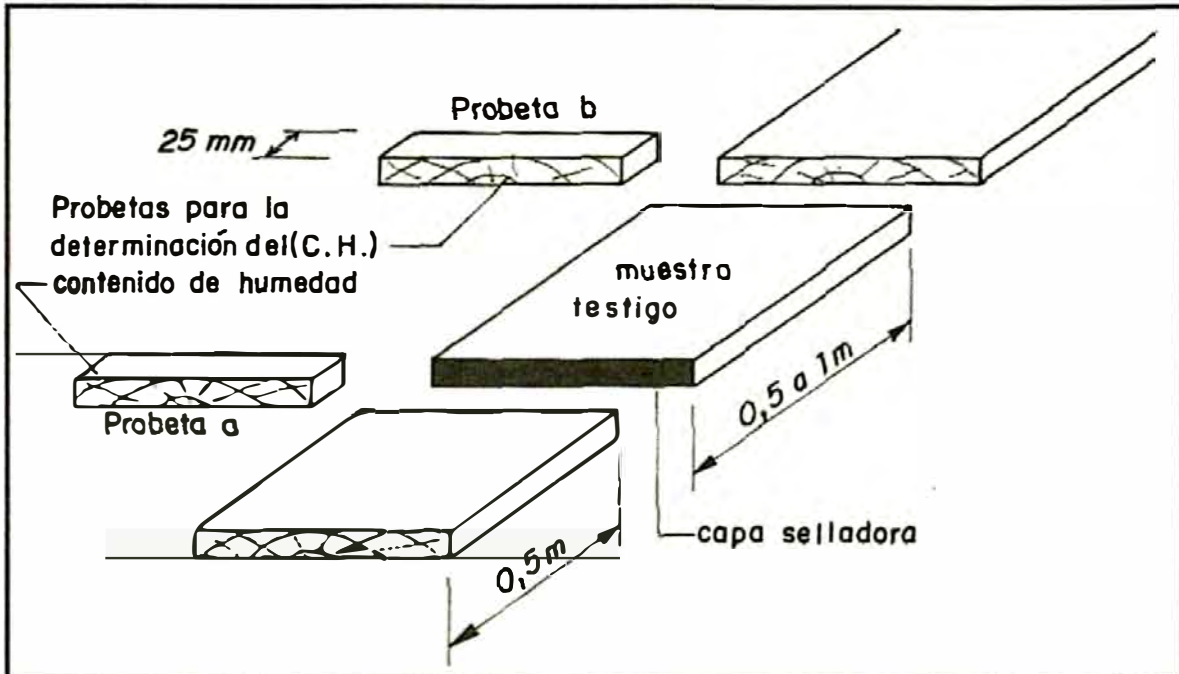
El número de muestras de secado a tomar es como mínimo cuatro por cada 20 m³ (8.500 pies tablares), y de 10 a 12 muestras por cada carga de 100 m³ (42.000 pies-taba) o más, del horno secador.

4.2.1.3.3. Preparación y Pesaje

El método para determinar el contenido de humedad por pesadas de toda la carga es difícil de usar cada vez que se necesita. Por ello, se incluyen muestras de secado en cada pila del horno de modo que el contenido de humedad pueda ser rápidamente encontrado, como se verá más adelante.

- El primer paso en la preparación de las muestras de secado es cortar y marcar las tablas de las cuales éstas proceden y numerar claramente cada probeta. Las muestras de secado se cortarán de tablas representativas de la pila y deben ser al menos de 76 cm de largo. En la mayoría de los casos, de cada tabla elegida se obtiene una muestra pero se pueden tomar más. El contenido de humedad de la tabla elegida es, entonces, el promedio de las probetas de la misma tabla. Para evitar el efecto de algún secado de los extremos que hubiese ocurrido en la tabla antes del corte, las muestras de secado deben ser tomadas, al menos, a 50 cm de los extremos, ver gráfico N° 4.11.

Gráfico N° 4.11
HORARIOS O PROGRAMAS DE SECADO
PASOS EN LA ELABORACIÓN DE LOS HORARIOS O PROGRAMAS DE
SECADO



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

- Inmediatamente después del corte de las muestras se cubren los extremos con un impermeabilizante y se pesan; el peso se debe anotar en la muestra que corresponda. Se emplea para este fin balanzas de hasta 20 kg de capacidad con la mayor precisión posible. La cobertura de los extremos de las muestras tiene por finalidad retardar el secado de los extremos y hacer que la tasa de pérdida de humedad de la muestra sea comparable a la de tablas largas. Se pueden utilizar para este propósito lacas, parafinas o pinturas al aceite.
- Las probetas para determinación del contenido de humedad deben ser pesadas rápidamente, previa eliminación de las rebabas y astillas producto del corte, antes del pesaje. No hay necesidad de sellar los extremos. Cuando se cortan dos probetas para determinación de la humedad correspondiente a los lados de la muestra de secado, se pueden pesar juntas o por separado y se debe marcar el peso en las probetas. Se emplea una balanza de hasta 1 kg de capacidad y de 0,1 gr de precisión o mejor.

4.2.1.3.4. Determinación de la Humedad

El contenido de humedad se expresa siempre como el porcentaje del peso seco de la muestra y por ello, es necesario calcular dicho peso en la muestra de secado.

Las probetas obtenidas para calcular el contenido de humedad de las muestras de secado, según lo descrito en el inciso anterior sobre preparación y pesaje, son secadas en una estufa de laboratorio a una temperatura de 103 °C a 105 °C, hasta alcanzar un peso constante. Esto normalmente toma de 12 a 24 horas. El contenido de humedad se determina como el porcentaje del peso anhidro, según la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{(Ph - Ps) \times 100\%}{Ps}$$

Donde:

CH: Contenido de humedad

Ph : Peso de la madera húmeda.

Ps : Peso de la madera en estado anhidro.

4.2.1.3.5. Localización en la Pila

El número de muestras de secado y su localización dentro del horno varían con el tamaño, tipo y eficiencia de la cámara. Es importante que las muestras no impidan el flujo de aire y que éstas se ubiquen de modo que el aire circule en igual forma que en el resto de la pila.

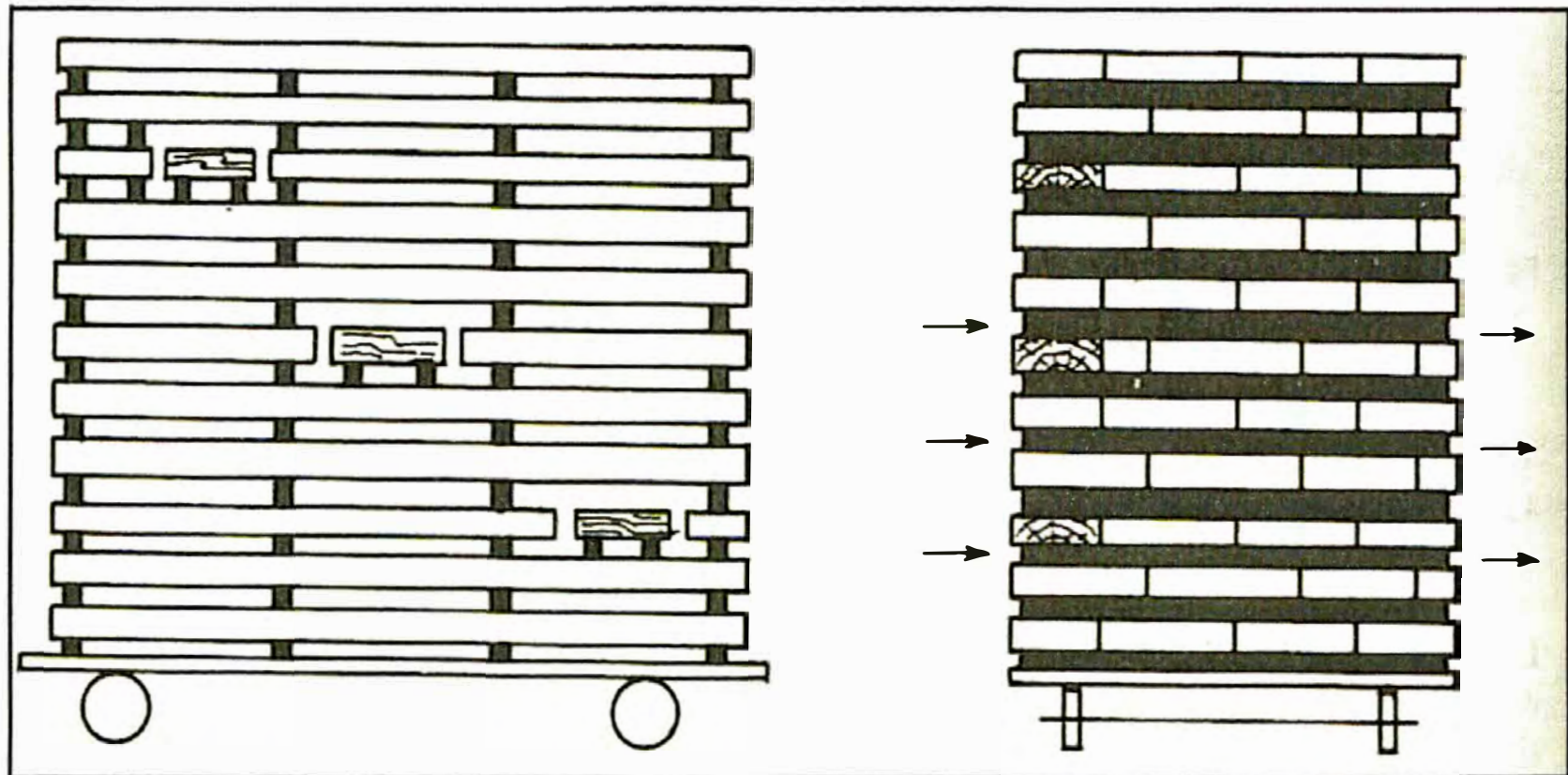
En un horno eficiente debería haber poca o ninguna variación en la tasa de secado en dos lugares cualesquiera en el horno, pero, es recomendable que al menos una muestra de secado esté instalada en ambos lados de la carga y una en cada extremo, tan cerca del centro de la carga como sea posible.

En vez de ubicar todas las muestras de secado en los extremos, es conveniente localizar en una o dos hileras al menos dos muestras, en frente y los lados, llenar el espacio entre el lado de la pila y las muestras de secado con piezas de relleno cortadas al mismo largo, de un material de rechazo que esté disponible (ver gráficos N° 4.12 y 4.13). De este modo, se puede revisar la tasa de secado cerca del centro de la pila. Las cargas secadas en hornos que tienen una puerta de inspección en el extremo, llevan una o varias muestras colocadas en el extremo y los lados. Algunas cámaras disponen de

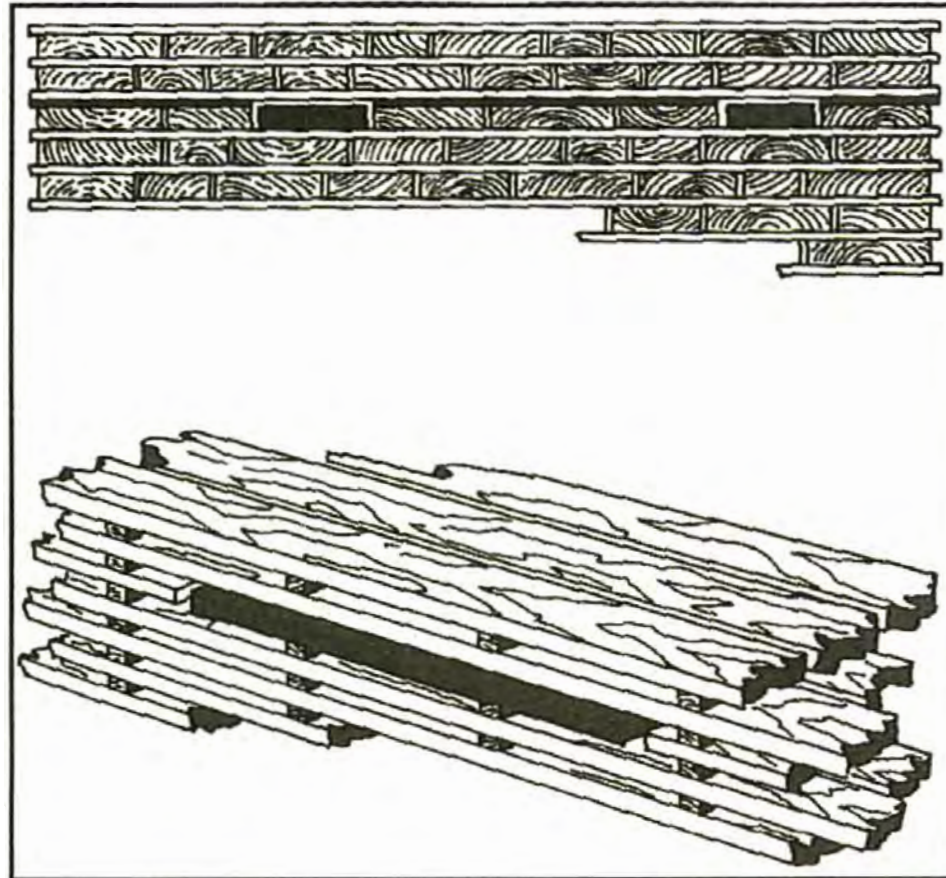
puertas para el ingreso a los hornos durante su operación. Casi nunca se colocan muestras a los costados de las cargas. En un sistema de control de humedad se dispone de sistemas de control de humedad que conectan electrodos fijados en las tablas, con una unidad de lectura ubicada fuera del horno.

LOCALIZACIÓN EN LA PILA

COLOCACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SECADO EN UNA PILA DE MADERA (Vistas Perpendiculares)



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

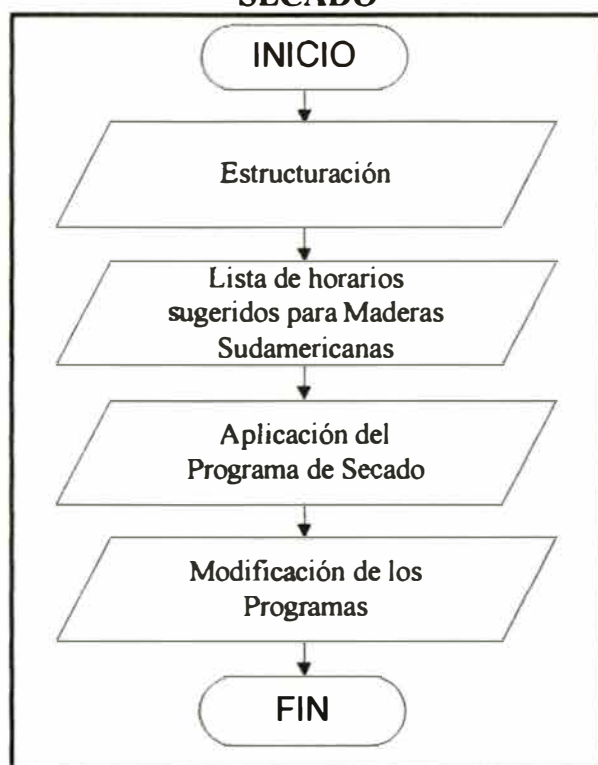


Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

4.2.1.4. Horarios o Programas de Secado

Después de tener las muestras de secado ubicadas en la pila y determinados sus contenidos de humedad, se procede a seleccionar un programa de secado para el material.

Gráfico N° 4.14
HORARIOS O PROGRAMAS DE SECADO
PASOS EN LA ELABORACIÓN DE LOS HORARIOS O PROGRAMAS DE SECADO



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

Los programas u horarios de secado consisten en una tabla de temperaturas y depresiones psicrométricas que sirven de guía al operador para secar una madera dada, con rapidez razonable y con el menor deterioro posible.

En vista de los múltiples factores que intervienen en el secado de la madera y la variedad existente de diseños de hornos en funcionamiento, ningún programa u horario se considera como ideal.

Existen también programas en base a tiempo que se establecen después de muchos experimentos realizados con la misma especie.

4.2.1.4.1. Estructuración

Los horarios se plantean para secar madera verde pero, pueden aplicarse a maderas previamente secadas al aire, con algunas indicaciones que se mencionan más adelante.

De acuerdo con experiencias realizadas en Norteamérica, las condiciones de temperatura y depresión psicrométrica se han tabulado por separado a fin de hacer más flexible cualquier combinación entre ellas y las de la depresión han sido divididas en clases progresivas de A a la F, de acuerdo con el contenido de humedad verde de cada especie, según el cuadro siguiente:

Clases de Madera según su Contenido de Humedad Verde

A	B	C	D	E	F
Hasta 40%	De 40 a 60%	De 60 a 80%	De 80 a 100%	De 100 a 120%	Más de 120%

El control de defectos durante el secado requiere de condiciones benignas al principio. La humedad relativa debe ser lo suficientemente elevada (pequeña depresión psicrométrica) para evitar grietas en las caras y extremidades. En este caso, la temperatura debe ser lo suficientemente baja para evitar el colapso y el encorvado. La madera pierde rápidamente humedad al principio, y para mantener esa rapidez se debe agrandar la depresión tanto como su contenido de humedad lo permita.

La depresión se incrementa gradualmente cuando la madera ha perdido la tercera parte de su contenido de humedad en estado verde, punto en que los esfuerzos comienzan a invertirse y la temperatura puede aumentarse progresivamente cuando el contenido de humedad promedio ha bajado a 30% o sea el PSF (punto de saturación de las fibras). Una vez que el contenido de humedad ha llegado a ese valor en el centro de la madera o en la parte más húmeda de ésta, la temperatura puede elevarse bruscamente al máximo sin peligro de deterioro.

4.2.1.4.2. Lista de horarios sugeridos para Maderas Sudamericanas

La lista ha sido tomada de experiencias realizadas en el Laboratorio de Productos Forestales de Madison (Estados Unidos de Norteamérica), desde hace casi seis décadas y las del Pacto Andino (ensayos realizados entre 1976 y 1981). Para mayor información consultar el "Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas".

4.2.1.4.3. Aplicación del Programa de Secado

Los horarios se aplican de acuerdo al contenido de humedad de las muestras de secado ubicadas dentro de la carga de madera. Para decidir cuándo deben cambiarse las condiciones del horno, se determina el contenido de humedad de la mitad más húmeda de las muestras; ese valor guía en todo momento los pasos del programa. Algunos operadores se guían por la muestra más húmeda y realizan los cambios cuando el nivel de humedad se acerca a uno o dos por ciento del valor de contenido de humedad especificado por el paso del programa.

4.2.1.4.4. Modificación de los Programas

Una vez que el operador ha secado con un programa una serie de cargas de una especie, sin causar deterioro, puede proceder a modificarlo en forma sistemática para reducir el tiempo empleado en el secado.

4.2.1.5. Proceso para calentar el horno

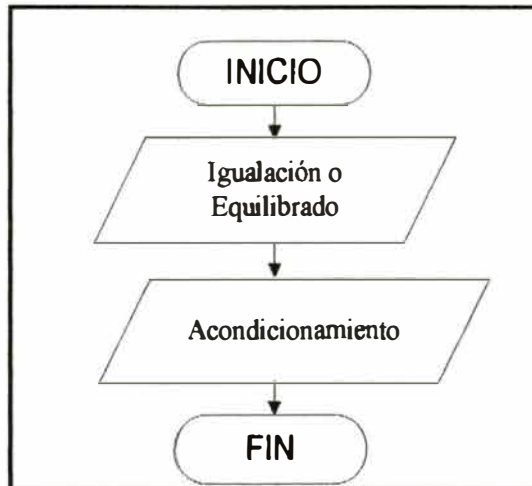
En el proceso del calentamiento del horno se contemplan los siguientes puntos:

- El calentamiento del horno se realiza con vapor saturado a una tasa de 5 °C por hora para maderas livianas de 2" de espesor y 2 °C por hora para maderas pesadas del mismo espesor o maderas más gruesas; en caso de madera de 1" de grosor, las tasas son 6 °C por hora (maderas livianas) y 3 °C por hora (maderas pesadas). La elevación se aplica hasta alcanzar la temperatura del primer paso del programa; para ello se fija el termostato al mismo nivel de temperatura del termómetro de bulbo seco y bulbo húmedo.
- Seguidamente se acciona el paso del vapor a las principales cañerías de distribución que alimentan los vaporizadores y radiadores.
- Abrir las ventanillas de inspección y accionar los ventiladores por 5 a 10 minutos, luego cerrar las ventanillas.
- Operar los instrumentos de control eléctricos.
- Purgar las cañerías de vapor para remover el agua y la suciedad acumulada.
- Las chimeneas o ventilas se mantienen cerradas durante el calentamiento del horno.

- Estas chimeneas se van abriendo progresivamente hasta su totalidad en las etapas más avanzadas del secado.
- Una hora después de que el TBS alcanzó la temperatura inicial del programa se fija la TBH al valor que corresponda, según el inicio del programa se prosigue con éste, controlando las muestras de secado hasta el momento de ejecutar el equilibrado.

4.2.1.6. Tratamientos de Igualación y Acondicionamiento

Gráfico N° 4.15
TRATAMIENTO DE IGUALACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO
ETAPAS DE LA IGUALACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MADERA



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

4.2.1.6.1. Igualación o Equilibrado

El igualado se realiza de la siguiente manera:

Se inicia cuando el contenido de humedad de la muestra más seca del horno es un 2% más bajo que el contenido de humedad promedio que se busca al final del secado.

Cuando se desea un contenido de humedad final de 10%, el tratamiento de igualado empieza cuando la muestra más seca llegue a 8%.

Se establece una temperatura y humedad relativa dentro del horno que corresponda al contenido de humedad de la muestra más seca. En el caso del ejemplo, se emplea la temperatura más alta que permita el programa, fijando una depresión psicrométrica que corresponda a un 8% de humedad en la madera. En este caso, la TBS = 82 °C y para un CHE = 8%, la depresión psicrométrica es 10 °C o sea, la TBH se fija en 72 °C. Ello permite elevar la HR dentro del horno de 25% a 64%. Se continúa el tratamiento de igualado hasta que la muestra más húmeda alcanza el promedio final buscado de contenido de humedad del material. En el ejemplo es el 10%.

4.2.1.6.2. Acondicionamiento

Logrado el tercer paso del igualado, el tratamiento de acondicionado se aplica de la siguiente forma:

- Mantener la temperatura del horno como en el paso final del programa a menos que la depresión psicrométrica buscada no pueda establecerse a esa temperatura. En ese caso, se disminuye la temperatura del bulbo seco al valor que tenía el horno unas 12 horas antes de iniciado el acondicionamiento.
- Establecer una humedad relativa que proporcione un contenido de humedad de equilibrio de la madera de aproximadamente un 4% por encima del promedio final buscado de contenido de humedad. En el caso del ejemplo, para un nivel de humedad del 10% que se pretende conseguir en las piezas, a una temperatura de 82 °C la madera será acondicionada a un contenido de humedad de 14%. La

humedad relativa necesaria es aproximadamente 87%, que se alcanza con una depresión psicrométrica de 3,5 °C.

- El tratamiento de acondicionado continúa hasta que las tensiones se hayan liberado.

4.2.1.7. Pruebas Finales de Control de Humedad, su Distribución y las Tensiones de la Madera

Después de que se ha secado en el horno una determinada carga de madera, se cortan tres secciones de 1" de cada muestra del horno secador y 6 a 9 secciones de otros tablones en una carga completa del horno, para comprobación definitiva. Estas muestras se destinan a las pruebas finales de contenido de humedad promedio, para la distribución de la humedad periférica y del centro de la tabla, y para las pruebas de tensión en la madera (pruebas de tenedor). Las secciones deben ser cortadas a una distancia de por lo menos 15 cm del extremo en caso de las muestras de secado y a 60 cm del extremo de las tablas y tablones. Los detalles de tipo de corte y tamaño de la sección son mostradas en el gráfico N° 4.16.

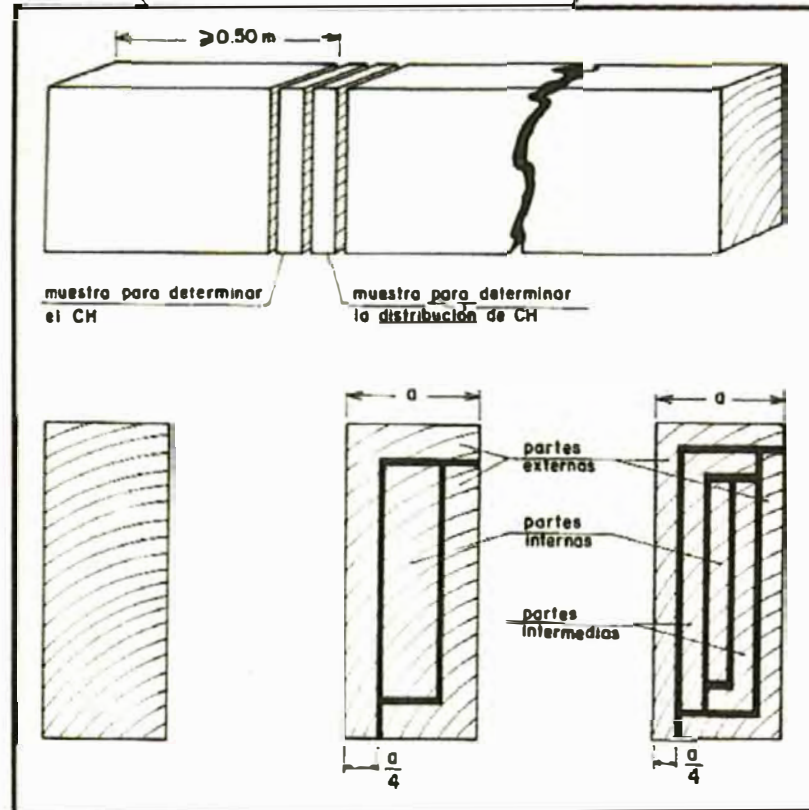
Una guía para la evaluación preliminar de las pruebas de esfuerzos o tensiones de la madera, se presenta en el gráfico N° 4.17.

- Si al momento del corte, las pinzas externas del tenedor se curvan hacia adentro esto es una indicación de que la madera tiene esfuerzos de compresión en la superficie de la pieza y de tracción en el interior. El tratamiento de acondicionado debe continuar.

Gráfico N° 4.16

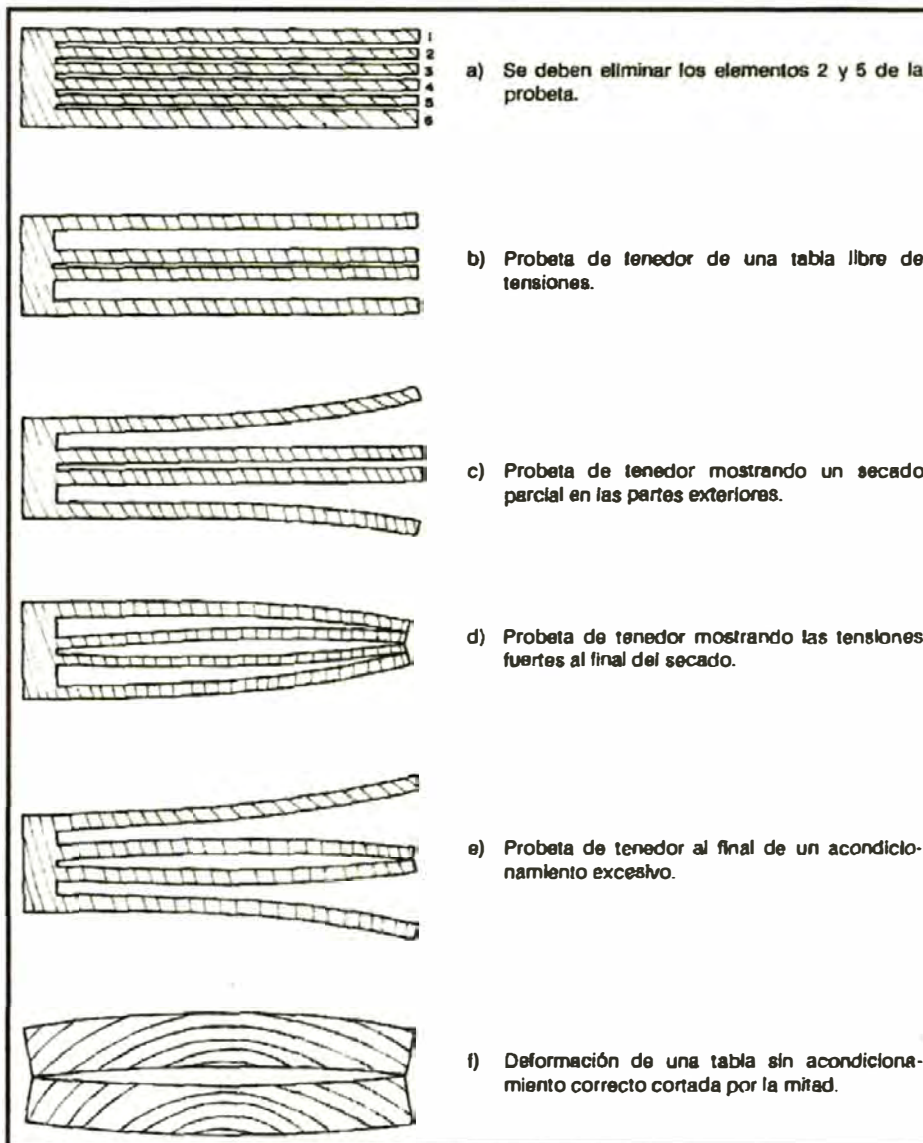
**PRUEBAS FINALES DE CONTROL DE HUMEDAD, SU DISTRIBUCIÓN Y LAS TENSIONES DE LA MADERA
CORTE DE UNA MUESTRA PARA DETERMINAR :**

- 1) EL PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (CH EN %) DE UNA TABLA (SECCIÓN TRANSVERSAL.**
- 2) LA DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (CH EN %) A TRAVÉS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA TABLA (GRADIENTE DE HUMEDAD)**



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

Gráfico N° 4.17
PRUEBAS FINALES DE CONTROL DE HUMEDAD, SU DISTRIBUCIÓN Y
LAS TENSIONES DE LA MADERA
PRUEBA DE TENEDOR



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

- Si las pinzas se mantienen rectas o muy ligeramente curvadas hacia afuera, la madera está prácticamente libre de esfuerzos y el secado se da por concluido.
- Finalmente, si las pinzas del tenedor se curvan visiblemente hacia afuera, los esfuerzos se han invertido, la superficie de la pieza está bajo tracción y el interior en compresión. Esto indica un exceso de humedad de la madera durante el acondicionamiento.

Las conclusiones finales de las pruebas de tensiones o esfuerzos de la madera se dan después de 24 horas que los tenedores y las tablas se han mantenido bajo techo o en un cuarto y se puede observar que:

- Las pinzas exteriores del tenedor se han torcido considerablemente hacia adentro; lo que indica que el material todavía presenta tensiones por distribución irregular de la humedad y el tratamiento de acondicionamiento de la próxima carga del mismo tipo de material debe prolongarse por más tiempo.
- Las pinzas exteriores del tenedor están rectas; la madera está libre de tensiones. El secado fue correctamente ejecutado y las próximas cargas deben tener el mismo tiempo de acondicionamiento.
- Las pinzas exteriores del tenedor se han torcido hacia afuera; el material ha tenido una inversión de tensiones. La próxima carga de un material similar deberá ser acondicionada a una humedad relativa más baja o durante un tiempo más corto.

4.2.1.8. Fin del Proceso y Descarga del Horno

Después de que se ha constatado la liberación de esfuerzos en la madera y el fin del período de acondicionamiento, se corta el ingreso del vapor a los serpentines de calentamiento y cañerías de vaporización y se apaga el horno dejando las puertas cerradas hasta que la temperatura de bulbo seco al interior registre un valor no mayor a unos 10 °C que la temperatura ambiente exterior. En ese momento se pueden abrir las puertas del horno y descargar la madera.

4.2.1.9. Control del Horno

Las condiciones de temperatura y humedad dentro del horno deben ser manipuladas frecuentemente según los requerimientos del horario particular en uso y por ello, es esencial disponer de un control exacto de las condiciones de secado en todo momento.

El control de las condiciones de la cámara de secado puede ser realizado por equipo automatizado o manual. Estos principalmente se dirigen a la medición de la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire. Para ello, se emplean termómetros de mercurio o termocuplas, psicrómetros manuales y anemómetros, en diferentes lugares del horno.

La velocidad del aire a través de la carga varía entre 1,2 y 2,2 metros por segundo. Para asegurar que tal circulación sea uniforme a través del horno, es esencial que:

- Las puertas sean tan herméticas como sea posible de modo que tanto el revestimiento interior como el exterior estén colocados de forma que se eviten pérdidas de aire.

- Los ventiladores funcionen a una velocidad constante predeterminada y sin patinar.
- La pila esté correctamente edificada y que no hayan listones en posición de impedir la circulación de aire.
- Las chimeneas estén correctamente construidas para prevenir cortocircuitos de aire, de modo que éste circule a través de la carga.
- Los cortocircuitos de aire se pueden evitar obstruyendo el paso del aire en espacios mayores dejados en el horno durante el apilado (por ejemplo, entre los paquetes), en las partes superior, inferior y los extremos de la carga. Para ello, se emplean trozos de venesta (madera terciada) perforada, tablas y tablonés de grados inferiores.

4.2.1.10. Tiempo de Secado

El tiempo requerido para secar una carga de tablas depende de:

- Las características de la madera
- El programa de secado empleado.

El operador del horno ajusta el programa de secado según el tipo de madera. Respecto al segundo factor, se puede mejorar el desempeño de los hornos optimizando algunas características de éste (caso del aislamiento térmico y sistema de ventilación), que pueden resultar en una disminución del tiempo de secado. Pero, la mayor reducción de ese tiempo se puede conseguir a través de los ajustes de los programas de secado.

4.2.2. Proceso de Clasificación por Calidad de la Madera

El Proceso de Clasificación por Calidad de la Madera se fundamenta en las reglas de clasificación por calidades de la madera aserrada de frondosas estadounidenses, ya que la empresa Forestal Industrial Yavarí S.A., donde se implementó el sistema de secado automático, exporta su madera al mercado norteamericano. Estas reglas pertenecen a la asociación denominada National Hardwood Lumber Association (NHLA)

4.2.2.1. Conceptos Preliminares :

4.2.2.1.1. Medición

Las reglas de la NHLA para la clasificación por calidades de la madera aserrada adoptadas por la industria de frondosas estadounidense, están basadas en el sistema americano de medida que utiliza como unidades la "pulgada" y el "pie", en contraste con los sistemas utilizados en la mayoría de los mercados de exportación que están más familiarizados con el sistema métrico decimal. Además, las reglas de clasificación se desarrollaron para largos y anchos corridos. Debido a todo ello, previamente a la realización de un pedido, comprador y vendedor deben haber acordado claramente toda especificación que suponga algún tipo de demanda especial.

4.2.2.1.2. Pie tablar (BF)

Un pie tablar (Board Foot BF) es la unidad de medida para la madera aserrada de frondosas. Un pie tablar es 1 pie de largo x 1 pie de ancho x 1 pulgada de grueso (1 pie = 0,305 metros. 1 pulgada = 25,4 mm).

La fórmula para determinar cuántos pies tablares mide una tabla es la siguiente: (ancho en pulgadas x largo en pies x grueso en pulgadas) dividido entre 12.

Los porcentajes de madera sin defectos que requiere cada calidad están basados en este sistema que utiliza los 12' como unidad de medida.

4.2.2.1.3. Medida de la superficie (SM)

La medida de la superficie (Surface Measure SM) es el área de una tabla expresada en pies cuadrados. Para calcular la medida de la superficie se multiplica el ancho de la tabla en pulgadas por su longitud en pies. El resultado se divide entre 12 y se redondea, hacia arriba o hacia abajo, al número entero más cercano.

El porcentaje de madera sin defectos que se requiere en cada calidad está basado en la medida de la superficie, no en los pies tablares, por lo que todas las tablas, independientemente de su grosor, se clasifican de la misma forma.

A continuación se muestran algunos ejemplos de cálculo de la medida de la superficie:

$$6 \frac{1}{2}'' \times 8' \div 12 = 4 \frac{1}{3} = 4' \text{ SM}$$

$$8'' \times 12' \div 12 = 8' \text{ SM}$$

$$10'' \times 13' \div 12 = 10 \frac{10}{12} = 11' \text{ SM}$$

Ejemplos para calcular la SM y el BF : La tabla que tiene 2" de grueso, 6 1/4" de ancho y 8' de largo. $6 \frac{1}{4}'' \times 8' / 12 = 4 \frac{1}{6}$, por tanto la SM es igual a 4'. Si se multiplica la SM por el grueso (2"), se obtiene que el BF es 8'. Cuando se prepara un paquete para la exportación, se hace un conteo de cada una de las tablas que contiene, midiéndose el ancho y el largo de cada una de ellas. Los diferentes anchos por encima o por debajo de media pulgada se redondean a la pulgada entera más próxima y, para aquellos anchos cuya medida cae exactamente sobre la media pulgada, se redondea alternativamente hacia la pulgada entera superior y hacia la pulgada entera inferior. Los largos que caen

entre divisiones que pueden suponer el aumento de un pie entero, se redondean siempre al entero inferior más próximo. Por ejemplo, una tabla de 51/4" de ancho y de 81/2' de largo, se cuenta como 5" y 8'.

4.2.2.1.4. Gruesos standard para madera sin cepillar

El grueso nominal o standard para madera sin cepillar se expresa en cuartos de pulgada. Por ejemplo: 1" = 4/4. La mayor parte de la producción de madera aserrada de frondosas se obtiene entre 1 y 2 pulgadas, aunque hay también otros gruesos disponibles en cantidades más limitadas.

A continuación se muestran los gruesos standard y su equivalente exacto en el sistema métrico: 3/4(3/4" = 19,0mm), 8/4(2" = 50,8mm), 4/4(1" = 25,4mm), 10/4(2 1/2" = 63,5mm), 5/4(1 1/4" = 31,8mm), 12/4(3" = 76,2mm), 6/4(1 1/2" = 38,1mm), 16/4(4" = 101,6mm).

4.2.2.1.5. Gruesos standard para madera cepillada

Cuando la madera se va a cepillar hasta un grosor determinado, en la determinación de su calidad, no se consideran defectos las fendas, manchas superficiales y/o curvaturas siempre y cuando se vayan a poder eliminar en el proceso de cepillado. El grueso final para tablas de 1 1/2" de grueso o inferior, se determina restando 3/16" al grueso nominal. Para tablas de 1 3/4" de grueso y superior, se resta 1/4".

4.2.2.1.6. Medición de la madera seca

Conteo neto (Net tally): Es el número de BF (pies tablares) de madera aserrada seca medidos después del secado.

Conteo en verde (Green tally): Es el número de BF (pies tablares) de madera aserrada medidos antes del secado. Cuando la madera aserrada seca se vende de esta forma, el comprador debe esperar recibir alrededor de un 7 % menos de BF debido a la contracción que tiene lugar durante el proceso de secado.

4.2.2.1.7. Estimación de los BF (pies tablares) de un paquete de madera

Para calcular los pies tablares de una tabla, se multiplica su medida de la superficie (SM) por su grueso. Para un paquete de madera, se puede estimar procediendo en gran medida de la misma forma. En primer lugar se calcula el valor de la medida de la superficie de una capa de madera del paquete. Este valor se obtiene multiplicando el ancho del paquete (descontando los huecos) por la longitud y dividiendo el resultado entre 12. Si hay diferentes longitudes de tablas en el paquete, se debe utilizar una longitud media. Una vez que se ha estimado una capa, se multiplica el resultado por el número de capas del paquete.

Ejemplo:

Anchura media del paquete: 40" sólo de madera, después de haber descontado los huecos entre tablas)

Longitud de la pila: 10'

$$40" \times 10' = 400 \div 12 = 33,33$$

$$\text{Grosor de la madera: } 8/4 \times 2 = 66,66$$

$$\text{N}^\circ \text{ de capas } \times 1 = 666,67$$

Número total de pies tablares estimados en el paquete: 667 BF

Factores de conversión

1" : 25,4 milímetros (mm) $1\text{m}^3 = 424$ pies tablares (BF)

1 m : 3,281 pies $1\text{m}^3 = 35,315$ pies cúbicos (cu.ft)

1,000BF: (1MBF) = 2,36 metros cúbicos (m^3)

4.2.2.2. Calidades de Madera Aserrada según la NHLA :

Tabla N° 4.2
CALIDADES DE MADERA ASERRADA SEGÚN LA NHLA
TABLA RESUMEN PARA SELECCIÓN DE CALIDAD DE LA MADERA

CALIDAD DE LA MADERA	FAS	FASIF	SELECTS	N°1 COMÚN	N°2A Y 2B COMÚN
Tamaño mínimo de la tabla	6" x 8'	Igual que FAS	4" x 6'	3" x 4'	3" x 4'
Tamaño mínimo del corte	4" x 5' 3" x 7'	La mejor cara de la tabla debe ser calidad FAS	La mejor cara de la tabla debe ser calidad FAS	4" x 2' 3" x 3'	3" x 2'
Rendimiento mínimo	Medida de la superficie x10 83-1/3%	La peor cara de la tabla debe ser de calidad N° 1 Común	La peor cara de la tabla debe ser de calidad N° 1 Común	Medida de la Superficie x 8 66-2/3%	Medida de la Superficie x 6 50%
Fórmula para determinar el número de cortes libres de defectos	(Medida de Superficie) / 4			(Medida de Superficie + 1) / 3	(Medida de la Superficie) / 2

Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Clasificación de Maderas

Notas:

- Esta tabla resume las principales especificaciones de las calidades standard. Para tener una información completa por favor, consulte la sección apropiada del manual de las reglas de la NHLA.
- Para madera aserrada secada en cámara, se permite una contracción del tamaño mínimo de la tabla en cada calidad de 1/2".
- N° 2A Común requiere cortes limpios.
- N° 2B Común es una calidad muy utilizada en el mercado doméstico estadounidense y que requiere cortes para su saneado.
- Cuando se especifica para la exportación, se puede hacer una comparación entre las calidades de exportación PRIME y COMSEL, con las calidades FAS y N° 1 Común de la NHLA. Es necesario consultar con su suministrador para conocer cual es la especificación exacta que aplica a estas calidades para la exportación.

4.2.2.2.1. Calidad FAS :

La denominación FAS deriva de la calidad originalmente llamada "First and Second". Esta calidad proporciona piezas largas y sin defectos, ideales para mobiliario de alta calidad, carpintería interior y molduras de madera maciza. Las medidas mínimas de la tabla son 6 pulgadas de ancho y 8 pies de largo. Con la calidad FAS se puede obtener un rendimiento entre un 83-1/3 % (10/12) y un 100 % de la superficie de la madera libre de defectos y con unas dimensiones mínimas de estos cortes sin defectos de 3" de ancho por 7' de largo o 4" de ancho por 5' de largo. El número de cortes permitidos depende del

tamaño de la tabla, siendo en la mayoría de los casos uno o dos. El largo y ancho mínimos varían con la especie y si la madera está verde o seca. Las dos caras de la tabla deben cumplir estos requerimientos para incluirla en la calidad FAS.

Nota: Debe haber un rendimiento mínimo del 83-1/3 % de madera libre de defectos en la cara de peor calidad de la tabla.

4.2.2.2.2. Calidad FAS una cara (F1F) :

Esta calidad se exporta casi siempre junto con la calidad FAS. En ella, la mejor cara de la tabla debe cumplir todas las especificaciones de la calidad FAS y la cara peor debe alcanzar todas las especificaciones correspondientes a la calidad Número 1

Común, asegurando de esta forma al comprador, al menos, una cara con calidad FAS.

Muy a menudo, las exportaciones contienen una mezcla en una proporción del 80-20 siendo el 80 % el porcentaje de madera de calidad FAS y el 20 % de calidad F1F. Estos porcentajes responden únicamente a acuerdos entre comprador y vendedor.

4.2.2.2.3. Calidad Selects :

Esta calidad es prácticamente igual que la F1F a excepción del tamaño mínimo de las piezas libres de defectos que se pueden obtener. Selects permite piezas de 4" de ancho y superior y 6' de largo y superior. La calidad Selects se asocia generalmente a la región norte de los Estados Unidos y también se exporta en combinación con la calidad FAS.

A menudo las exportaciones de madera de las calidades superiores se referencian únicamente como FAS. La práctica habitual en el mercado de frondosas estadounidenses es exportar estas calidades superiores combinadas de alguna forma. El contacto directo con el suministrador permite al comprador estar seguro de recibir la calidad esperada.

Tanto si FAS está combinada con FIF o con Selects, cada tabla exportada tendrá al menos, una cara FAS.

4.2.2.2.4. Calidad Prime :

Esta calidad se ha desarrollado para los mercados de exportación a partir de la calidad FAS de la NHLA. La madera aserrada se presenta escuadrada y prácticamente libre de corteza. El rendimiento mínimo de los cortes (piezas libres de defectos) es el correspondiente a la calidad Selects siendo además la apariencia de dichas piezas un factor principal. El tamaño mínimo de las piezas varía dependiendo de la especie, la región de suministro y el suministrador.

4.2.2.2.5. Calidad Comsel :

Esta calidad se ha desarrollado a partir de la calidad Número 1 Común y Selects. Para los mercados de exportación el rendimiento mínimo debe ser el correspondiente a la calidad Número 1 Común o ligeramente superior siendo la apariencia de las piezas obtenibles un factor principal. Los requerimientos mínimos son, al menos, los de la N° 1 Común o mejor, siendo el aspecto general un factor de importancia. El tamaño mínimo de las piezas varía dependiendo de la especie, la región de suministro y el suministrador.

Nota: Los términos Prime y Comsel no pertenecen a aquellos definidos por la NHLA y, por tanto, se salen fuera de las reglas oficiales de la NHLA para la clasificación por calidades de la madera aserrada de frondosas estadounidenses.

4.2.2.2.6. Número 1 Común (N° 1C) :

A esta calidad se la suele llamar en Estados Unidos "Cabinet" en referencia al nombre que se le da en inglés a los muebles de cocina (cabinets). Ello es debido a que esta

calidad se adapta perfectamente a la fabricación de puertas de muebles de cocina de los tamaños standard utilizados en todo Estados Unidos. La calidad Número 1 Común por la misma razón, también se utiliza ampliamente para la fabricación de partes de muebles. Con la calidad N° 1 se pueden obtener piezas de madera libres de defectos de unas dimensiones mínimas de 3" de ancho y 4' de largo proporcionando un rendimiento que va desde un 66-2/3% (8/12) hasta, pero no incluyendo, las especificaciones mínimas de la calidad FAS (83-1/3%). Los cortes (piezas libres de defectos) permitidos más pequeños son de 3" por 3' y de 4" por 2'. El número de cortes limpios que se pueden obtener depende del tamaño de la tabla. Ambas caras de la tabla deben cumplir las especificaciones mínimas de la calidad Número 1 Común.

Nota: Si la cara mejor cumple las especificaciones de la calidad FAS y la cara peor alcanza las de la calidad Número 1 Común, la calidad de la tabla podría ser F1F o Selects.

4.2.2.2.7. Número 2A Común (N° 2AC) :

Para referirse a la calidad Número 2A Común se suele utilizar el término "calidad económica" debido a su precio y a su aplicabilidad para una amplia variedad de componentes de mobiliario. También es la calidad escogida por la industria norteamericana de suelos de madera de frondosas. La calidad Número 2A Común proporciona cortes libres de defectos cuyas dimensiones mínimas son 3" de ancho y 4' de largo suministrando un rendimiento que va desde el 50 % (6/12) hasta, pero no incluyendo, las especificaciones mínimas de la calidad Número 1 Común (66-2/3 %). Las piezas libres de defectos más pequeñas permitidas son de 3" por 2' y el número de

piezas limpias que se pueden obtener depende del tamaño de la tabla. Si la peor cara de la tabla tiene las especificaciones mínimas de la calidad Número 2A Común, entonces es irrelevante que calidad sea la de la cara mejor.

Nota: Si la cara mejor alcanza las especificaciones de la calidad FAS o Número 1 Común y la calidad de la cara peor es Número 2A Común, la calidad de la tabla es Número 2A Común.

Hay calidades definidas por la NHLA inferiores a la Número 2A Común pero las tablas de estas calidades se suelen transformar en productos dimensionados, partes para suelos o consumidos en el mercado doméstico estadounidense.

Estas calidades standard constituyen el marco sobre el que se sostiene todo el comercio de frondosas estadounidenses. Es importante reseñar que, en el trato directo entre comprador y vendedor, está permitida e incluso potenciada, cualquier excepción a estas reglas. Para una completa descripción de las calidades de la NHLA, por favor consulte la publicación de la NHLA "Rules for the Measurement and Inspection of Hardwoods and Cypress" ("Reglas para la medición e inspección de frondosas y cipreses").

4.3. Mediciones (Estándares)

En el presente proyecto se emplearon normas para la medición de la temperatura de los sensores Pt100.

4.3.1. Norma para la Medición de la Temperatura de los Sensores Pt100

Los valores y tolerancias para termómetros de resistencia PT100 se definen en la norma EN 60751 (antes DIN IEC 751), las cuales vamos a describir a continuación:

Tabla N° 4.3
NORMAS PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DE LOS
SENSORES PT100
RANGO Y TOLERANCIAS DE LOS TERMÓMETROS DE RESISTENCIA
PT100

SENSOR	CLASE	RANGO DE TEMPERATURA	TOLERANCIAS MÁXIMAS REFERIDO A LAS TEMPERATURAS MEDIDAS
Pt100	B	-100 a 200 °C	$\pm (0.3 + 0.005 * t)$
Pt100	A	-200 a 600 °C	$\pm (0.15 + 0.002 * t)$

donde : t es la temperatura medida en grados centígrados.

Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

4.4. Criterios de Diseño

Se van a describir los criterios empleados para la selección de los dispositivos de control empleados en la automatización de la cámara de secado de madera convencional.

4.4.1. Criterios de selección de un Sistema de Medición de Temperatura

Para determinar el sistema de medición de temperatura más adecuado, se toman en cuenta los siguientes criterios:

- Es necesario saber si se trata de una medición con o sin contacto.
- Seleccionar la sonda correcta.

4.4.1.1. Es necesario saber si se trata de una medición con o sin contacto

Se usan básicamente dos métodos importantes para medir la temperatura de los objetos. Las sondas de contacto sólo pueden utilizarse para:

- Mediciones de penetración / inmersión
- Mediciones de temperatura ambiente.

Existen algunas aplicaciones en las que la medición por contacto es el método más aconsejable para medir temperaturas de superficie, mientras que existen otras aplicaciones en las que se ha demostrado que la medición de temperatura sin contacto es la más aconsejable. Un instrumento con la combinación de los dos métodos normalmente es lo ideal.

4.4.1.2. Seleccionar la sonda correcta

El trabajo de medición determina el tipo de sonda. Según los siguientes criterios se debe seleccionar el sensor de temperatura más idóneo considerando los siguientes aspectos:

- Rango
- Exactitud
- Tiempo de respuesta

Se dispone de una variedad de elementos sensores para medir temperaturas. A continuación estudiaremos tres tipos de sensores:

- Sensor termopar
- Termoresistencias (PT 100)
- Termistores (NTC)

a) Termopares

La medición de temperatura utilizando termopares se basa en el efecto termoeléctrico. Los termopares consisten en dos hilos soldados. Los hilos son de distintos metales o aleaciones. Las normas DIN IEC 584 definen los valores básicos de voltaje termoeléctrico y tolerancias máximas de los termopares.

b) Termoresistencias (Pt100)

Es un transductor que basa su funcionamiento en la variación de la resistencia por efecto de la temperatura. La resistencia de medición se aprecia con una corriente constante y una caída de voltaje, que varían con el valor de resistencia vía la temperatura que es lo que se mide. Valores y tolerancias básicas para termómetros de resistencia se definen en la norma DIN IEC 751.

c) Termistores (NTC)

La medición de temperatura con termistores también se basa en una variación sensible de la temperatura en la resistencia del elemento sensor. Los termómetros de resistencia, termistores, tienen un coeficiente de temperatura negativo (la resistencia disminuye al aumentar la temperatura). Las propiedades y tolerancias no están estandarizadas.

A continuación se presentan aspectos relativos a los sensores mencionados:

Tabla N° 4.4
TIPOS DE SENSORES DE TEMPERATURA

Tipo	Característica	Salida	Ventaja	Desventaja
Termistor	Cambios del número de electrones en el semiconductor	Resistencia	Alta sensibilidad , variedad de formas, total producción	Características no lineales, poca capacidad y exactitud de intercambio
Termocupla	Cambio de la velocidad de transmisión de electrones en la mezcla de los diferentes metales	Fuerza Electromotriz	Buena capacidad de intercambio . Ancho rango de medición de temperatura. Salida casi lineal	Compensación necesaria. Salida baja. Requerida compensación cableada
Medidor de temperatura de platino	Cambio de resistencia eléctrica debido al movimiento térmico	Resistencia	Buena capacidad de intercambio. Buena estabilidad. Salida casi lineal	Baja resistencia mecánica. Dificultad para producirse pequeño. Baja sensibilidad.

Fuente Consultada : Sensors (1ª Edición) de Julio César Casquero Zaidman

Gráfico N° 4.18
RANGO DE MEDICIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA

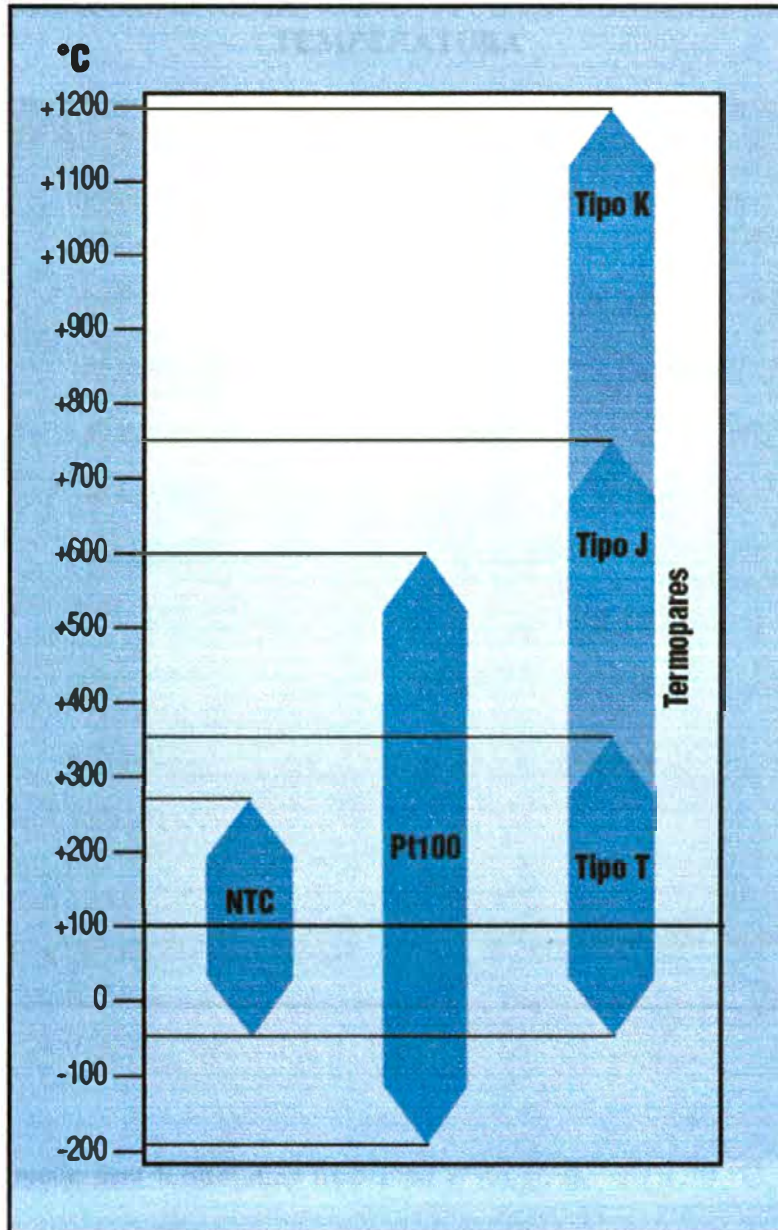


Tabla N° 4.5
RANGO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA
ESPECIFICACIONES DE EXACTITUD DE LOS SENSORES DE
TEMPERATURA

Especificaciones de exactitud				
Sensor	Rango de temperatura	Clase	Tolerancias máximas	
			Valor fijo	Referido a temperatura
Termopar Tipo K (NiCr-Ni)	-40 a +1200 °C	2	±2.5 °C	±0.0075 x <i>l</i> _l
	-40 a +1000 °C	1	±1.5 °C	±0.004 x <i>l</i> _l
Tipo T	-40 a +350 °C	1	±0.5 °C	±0.001 x <i>l</i> _l
Tipo J	-40 a +750 °C	1	±1.5 °C	±0.004 x <i>l</i> _l
Pt100	-100 a +200 °C	B	± (0.3 + 0.005 • <i>l</i> _l)	
	-200 a +600 °C	A	± (0.15 + 0.002 • <i>l</i> _l)	
NTC (Estándar)	-50 a -25.1 °C	-	±0.4 °C	
	-25 a +74.9 °C		±0.2 °C	
	+75 a +150 °C		±0.5 % del valor medido	
NTC (Temperatura alta)	-30 a -20.1 °C	-	±1 °C	
	-20 a 0 °C		±0.6 °C	
	+0.1 a +75 °C	- °C	±0.5 °C	
	+75.1 a +275 °C		±0.5 °C ±0.5 % del valor medido	

l = temperatura medida

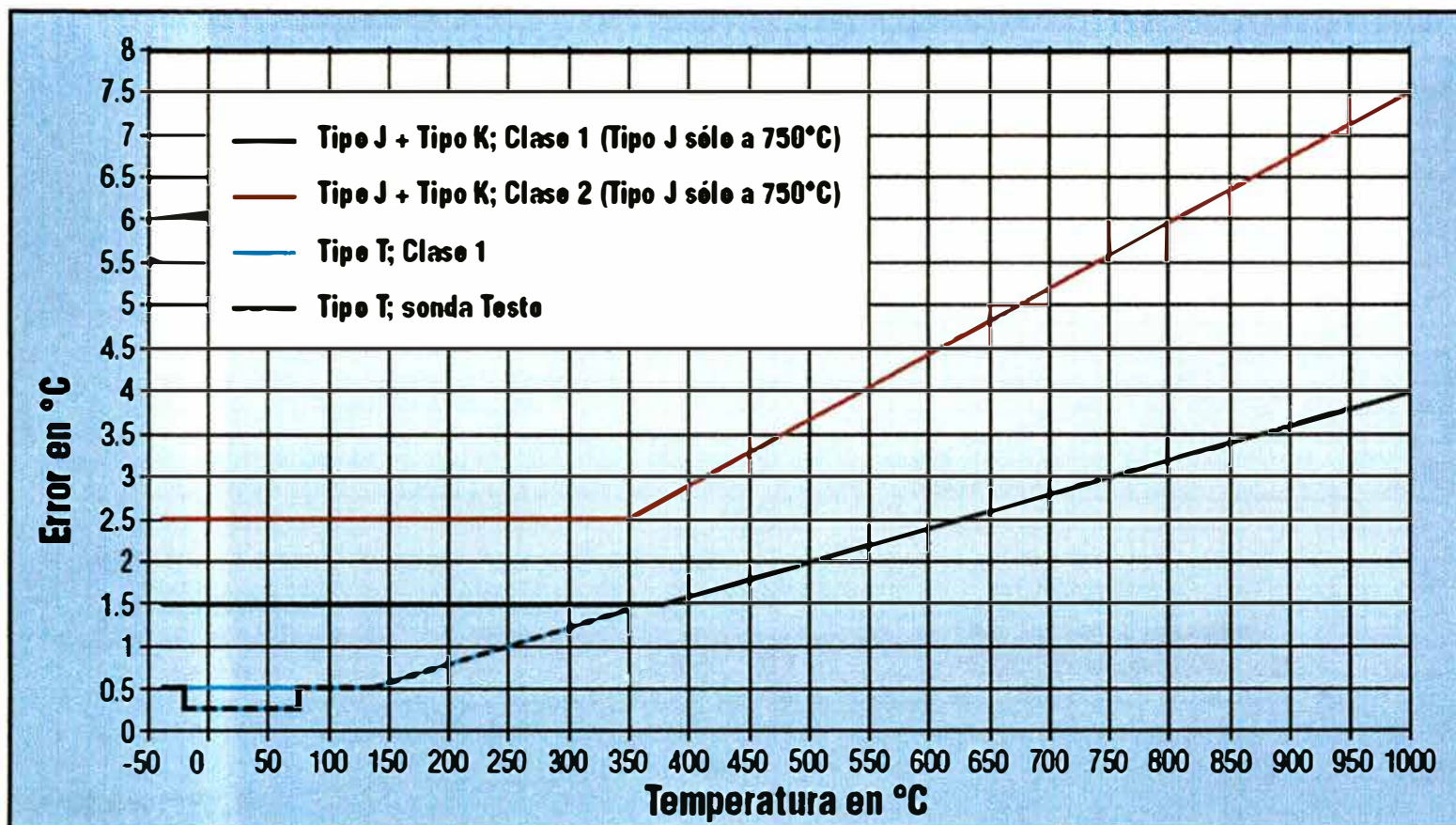
También se puede usar termopares tipo T en el rango de -20 a 70 °C, para conseguir una exactitud de ± 0.2 °C en este rango. Ver gráfico N° 4.19.

Para seleccionar el tipo de sensor se puede usar como referencia el gráfico N° 4.20.

Gráfico N° 4.19

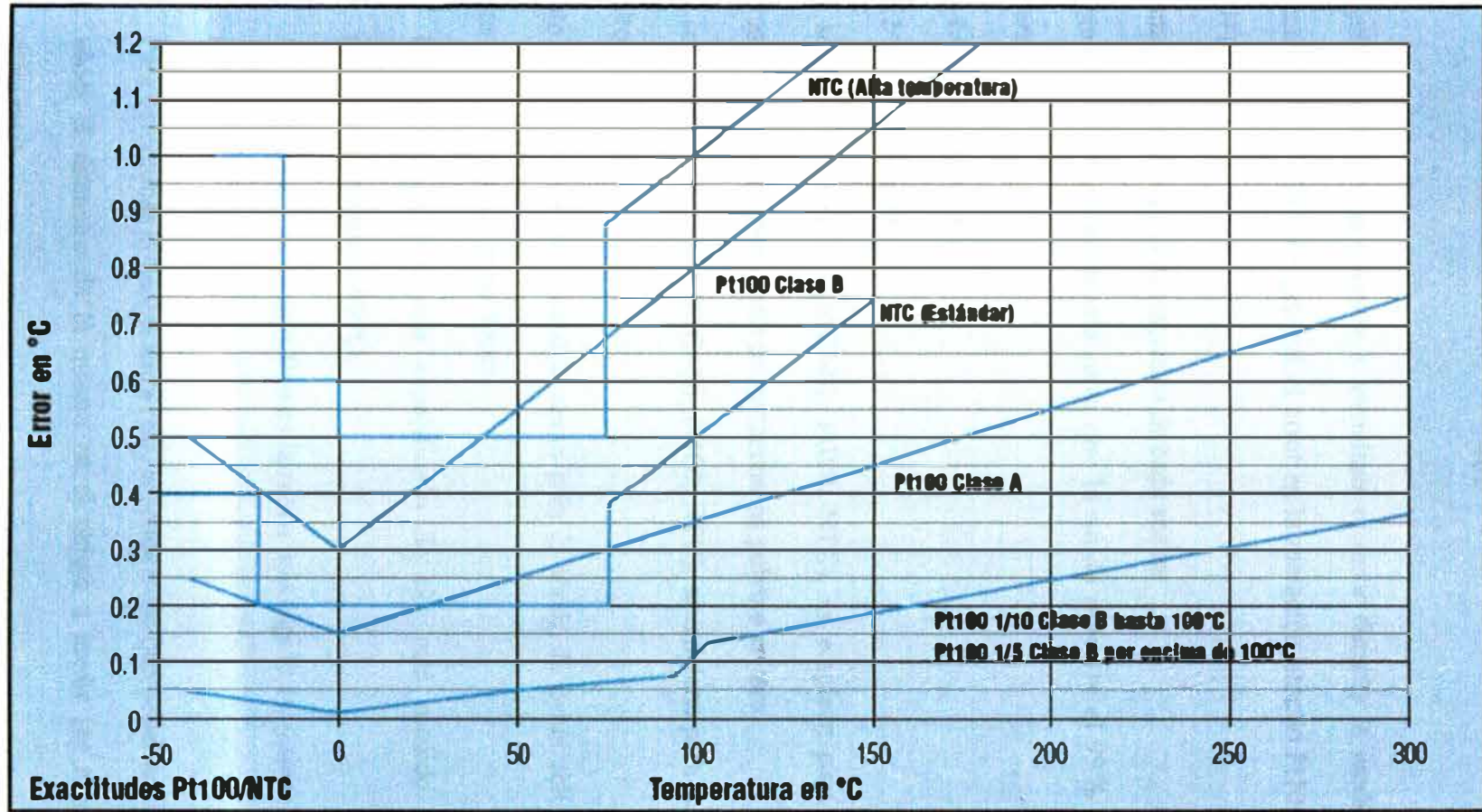
ELEVADA EXACTITUD DE LOS TERMOPARES

ERROR DE LOS DIFERENTES TIPO DE TERMOPARES EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA (°C)



ELEVADA EXACTITUD CON TERMOPARES

CRITERIOS PARA SELECCIONAR EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA CORRECTO



El gráfico N° 4.20 nos ayuda a visualizar el error durante la medición tanto con elemento Pt100 y NTC. En general el error en la medición usando Pt100 es menor que en el NTC.

Veamos ahora el tiempo de respuesta de cada sonda:

Tiempo t99 =Tiempo necesario para que la sonda muestre el 99% del cambio en temperatura

t99 = 4.6 x t 63 - Tiempo

t99 = 2 x t 90 - Tiempo

Las sondas de inmersión (NiCr-Ni, Pt100, NTC), se emplean para mediciones en líquidos pero también para medir en sustancias en polvo o en aire.

Las sondas de penetración (NiCr-Ni, Pt100, NTC), se emplean para medir en plástico o medio pastoso.

Tanto para la sonda de inmersión como para la sonda de penetración, se toman en cuentas las siguientes características:

- El tiempo de respuesta especificado de t99 está medido en líquido en movimiento (agua) a 60 °C.
- Normalmente, cuanto más fina es la sonda más rápida es, y tiene que sumergirse menos en el objeto a medir.
- Para determinar la temperatura real, la sonda tiene que penetrar como mínimo 10 veces el diámetro de la misma en el objeto a medir (es mejor 15 veces el diámetro).

- No obstante, cuanto más delgada es una sonda, más cuidado se debe tener con ella.
- Las sondas termopar pueden fabricarse con un diámetro muy pequeño (0.25mm) y por tanto son ideales para mediciones rápidas y en objetos pequeños.
- Sólo sensores de resistencia con un diámetro de 2 mm pueden fabricarse a un bajo coste. Son normalmente más precisos que las sondas termopar.

La funda del termopar en las sondas de inmersión es de Inconel (2.4816). En el resto de diseños se utiliza acero inoxidable V4A (1.4571). La resistencia frente a medios corrosivos es normalmente suficiente debido al elevado estándar del material utilizado. Existen sondas recubiertas de vidrio para su uso en medios muy corrosivos.

Las sondas ambiente (NiCr-Ni, Pt100, NTC), están fabricadas para facilitar una medición rápida, el sensor está normalmente al descubierto.

Se puede mencionar lo siguiente respecto a este tipo de sondas:

- El tiempo de respuesta especificado de t_{99} se mide en un túnel de viento a 2 m/s y 60 °C.
- Las sondas de inmersión / penetración pueden utilizarse para mediciones ambiente. El tiempo de respuesta es de 40 a 60 veces superior al valor especificado medido en agua.

Las sondas de superficie (Diseño en NiCr-Ni, Cu-CuNi; PT100; sondas NTC) con punta de medición amplia sirven para medir en superficies lisas. Para una óptima transmisión de calor recomendamos pasta de silicona (T_{max} 260°C).

Las ventajas que ofrecen estas sondas son:

- Diseño resistente
- Sensor de elevada exactitud

Los inconvenientes que presentan son:

- Tiempo de respuesta lento
- Precisa un manejo preciso

Sólo es adecuada para superficies lisas y objetos con una capacidad de calor elevada, por ejemplo objetos grandes de metal.

Adicionalmente, se tienen las siguientes características para las sondas de superficie:

- Los tiempos de respuesta dados de t_{99} se miden en láminas pulidas de acero a 60 °C.
- Las exactitudes especificadas son las exactitudes del sensor
- La exactitud en su aplicación depende de la condición de la superficie (rugosidad), material del objeto a medir (capacidad de calor así como transmisión de calor) así como la exactitud del sensor.

Los sensores de Platino (Pt) son sensores de temperatura que operan basados en el principio de variación de resistividad eléctrica de un metal en función de la temperatura, siendo confeccionados con alambres altamente purificados de platino. Sus principales características son la alta estabilidad mecánica y térmica, resistencia a la contaminación, relación resistencia / temperatura prácticamente lineal, desvío con el uso y envejecimiento prácticamente despreciable, además de la alta señal eléctrica de salida.

La resistencia específica del elemento sensor está internacionalmente definida en 100 Ohms a 0°C para los PT-100 (aunque en algunos casos se utilizan valores de 500 Ohms, 1000 Ohms, etc.).

El campo de medición para los sensores de Platino se extiende desde -250°C hasta +850°C. Los arrollamientos pueden estar montados en cápsulas de vidrio o cerámicas.

Debido a que la resistencia de aislamiento del vidrio decrece aceleradamente al superar los 600°C, es que se limita su utilización a ese valor. En algunos casos, las cápsulas son normalmente de cerámica por lo cual es posible utilizar el sensor en todo el rango de funcionamiento.

Los valores básicos de resistencia y las tolerancias en función de la temperatura para arrollamientos de Platino están dados por la norma DIN 43760 así como las tolerancias correspondientes.

Los chicotes de conexión de las termorresistencias con temperatura de trabajo hasta 600°C son de Cobre o Plata debido a la baja resistencia eléctrica de estos metales.

Los sensores de temperatura pueden fabricarse con las distintas variantes de conexión: 2, 3 o 4 hilos. A la vez estos pueden proveerse simple o doble arrollamiento, es decir, con dos sensores termorresistivos insertados en la misma vana.

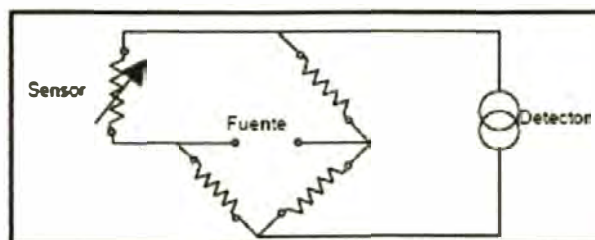
Respecto a los tipos de conexiones se puede mencionar lo siguiente:

Normalmente se utilizan tres tipos de configuraciones distintas. Cada tipo de conexión da como resultado una mayor o menor precisión en la medición de acuerdo a las compensaciones en resistencia de cables de conexión y variaciones en temperatura que se logren. En el caso de las resistencias PT-1000, la única conexión utilizada es la de dos

hilos, ya que las desviaciones en la medición introducidas por los cables de conexión y las variaciones en temperatura ambiente, resultan despreciables frente a la alta resistencia del elemento sensor.

La conexión 2 hilos (PT-100) es la construcción más simple y se limita su uso a distancias menores a 10 metros entre sensor e instrumento, ya que en este rango la resistencia del cable puede ser considerada una constante aditiva y el cambio de resistencia debido a variaciones en la temperatura ambiente puede ser ignorado. Ver gráfico N° 4.21.

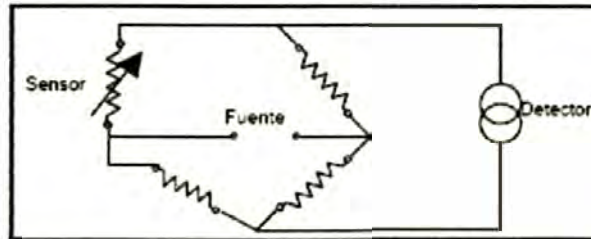
**Gráfico N° 4.21
SENSOR PT100 DE 2 HILOS**



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

La conexión 3 hilos (PT-100) es la configuración más utilizada y se conecta con instrumentos diseñados para recibir una entrada de tres hilos. Se obtiene una compensación de la resistencia del cable y los efectos de variación de temperatura sobre ella. Ver gráfico N° 4.22.

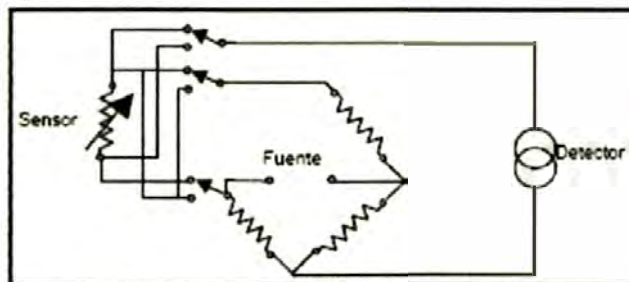
Gráfico N° 4.22
SENSOR PT100 DE 3 HILOS



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

La Conexión 4 hilos (PT-100) emplea dos hilos en cada extremo del sensor. Es utilizada en mediciones de alta precisión como por ejemplo medidas de laboratorios. Ver gráfico N° 4.23.

Gráfico N° 4.23
SENSOR PT100 DE 4 HILOS



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

El montaje de los PT-100 se hace conectado al terminal a través de alambres de Cobre o Plata y montado en un tubo metálico con una extremidad cerrada compactada internamente con óxido de Magnesio, de manera de permitir una buena transferencia de calor y protegiendo al sensor de choques mecánicos. La extremidad abierta del tubo es sellada con resina epoxi, resistente a temperaturas de hasta 200°C (régimen no continuo)

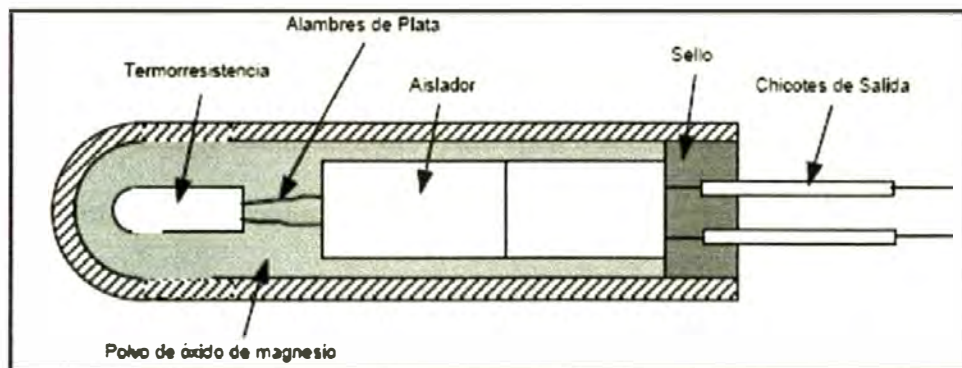
protegiendo así al sensor del ambiente de utilización. Los chicotes que salen de esta extremidad pueden ser rígidos y flexibles.

En los rígidos la extensión del alambre de conexión (diámetro 0,50 mm) es aislada con espaguetis de fibra de vidrio o teflón.

En los flexibles se usa un cable de extensión de cobre aislado con PVC o silicona.

Para una mayor comprensión del montaje, ver gráfico N° 4.24.

Gráfico N° 4.24
MONTAJE DE UN SENSOR DE TEMPERATURA PT100



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

4.4.2. Criterios de selección de un Sistema de Medición del Contenido de Humedad de la Madera

La determinación del contenido de humedad de la madera se hace considerando sólo valores del agua libre y de saturación higroscópica. Es decir que, en la práctica, la madera se considera totalmente seca cuando al secarla en estufa a 103 ± 2 grados centígrados alcanza peso constante.

El contenido de humedad (CH) se define como el peso de la cantidad de agua presente en una pieza de madera, expresado en función del peso de esa pieza en condición seca al horno o anhidra. Su valor numérico se expresa en porcentaje y se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{(Ph - Ps)}{Ps} \times 100 \%$$

donde:

CH = Humedad de la madera expresada como un porcentaje de su peso anhidro.

Ph = Peso de la madera en estado húmedo o peso inicial

Ps = Peso de madera en estado anhidro; peso final o constante

Para determinar el contenido de humedad de la madera existen numerosos procedimientos, siendo los más aceptados el método de secado en estufa y los métodos eléctricos que utilizan detectores de humedad y que a nivel industrial se conocen como métodos rápidos.

Otros procedimientos, como desecación al vacío mediante sustancias higroscópicas, destilación de la madera, expulsión directa del agua por presión, centrifugación, uso de alcohol y sustancias azucaradas, son métodos muy especializados empleados en la investigación, pero de poca utilidad práctica.

4.4.2.1. Método de Secado en Estufa

Es el método más exacto y el único científicamente satisfactorio para determinar el agua contenida en la madera.

El éxito en la aplicación de este método depende de la correcta selección de muestras o probetas para desecación, las cuales deben ser representativas del lote de madera objeto de evaluación. El procedimiento a seguir consta de los siguientes cuatro puntos:

- a) **Obtención de las probetas o muestras de control:** De la pieza o tabla se corta un listón transversal de unos 15 a 20 cm de espesor en la dirección del **grano** y a una distancia de por lo menos 50 cm del extremo de la pieza, ya que allí el contenido de humedad puede ser menor. Las muestras deberán estar sanas y libres de defectos y las herramientas para el corte bien afiladas para evitar pérdidas de humedad por recalentamiento de las superficies de corte.
- b) **Determinación del peso húmedo o peso inicial:** Inmediatamente después de cortadas, las probetas deben pesarse en balanzas con una precisión de 0.1 g para aquellas que pesan 100 g o más y de mayor sensibilidad para probetas más pequeñas.
- c) **Secado de las probetas hasta peso constante:** Luego se introducen las probetas en la estufa para proceder con el secado. Se recomienda el uso de estufas con termostato regulable para mantener la temperatura a 103 ± 2 grados centígrados y con buena circulación de aire. Debe tenerse mucho cuidado en el control del nivel superior de la temperatura ya que si ésta sobrepasa los 105 grados centígrados es posible que la muestra pierda peso, no sólo por la pérdida del agua sino también por la evaporación de otras sustancias constitutivas de la madera (extractivos).

d) **Determinación del peso seco (peso constante):** Para determinar el momento en que las probetas alcanzan peso constante, se hacen pesadas intermedias con el fin de observar la disminución del peso. Después del secamiento, las probetas deben sacarse lo más rápidamente posible para evitar que absorban humedad del aire. De igual manera, para eliminar cualquier variación deben enfriarse en un ambiente absolutamente seco, que puede ser un desecador con cloruro de calcio o pentóxido de fósforo.

Veamos un ejemplo de cálculo del contenido de humedad:

Peso húmedo o inicial de probeta : 70 g

Peso seco o anhidro : 30 g

$$CH = \frac{70 - 30}{30} \times 100 = 133\%$$

En algunas ocasiones se toman dos probetas por pieza de madera. En tal caso se calcula separadamente el contenido de humedad de cada probeta y posteriormente se promedian los valores para obtener el CH de la pieza.

Las principales desventajas del método de secado en estufa convencional son el largo período de tiempo necesario para obtener el peso constante, de 20 a 60 horas para probetas de 100 gr y que la pieza debe ser parcialmente destruida para obtener las muestras.

Existen hoy en día sistemas avanzados para la determinación del contenido de humedad según el método de estufa, reduciendo el tiempo requerido de días a pocos minutos (de 10 a 20). Estos métodos rápidos permiten determinar, en forma segura,

sobre todo el contenido de humedad inicial de la tabla a secar. La determinación exacta del contenido de humedad es el punto clave para el correcto secado de la madera.

4.4.2.2. Métodos Eléctricos

La medición del contenido de humedad de la madera por métodos eléctricos tiene su base en las diferentes propiedades eléctricas de la madera seca y de la madera húmeda, tanto en relación a la conductividad eléctrica, como a la constante dieléctrica y a la pérdida de resistencia.

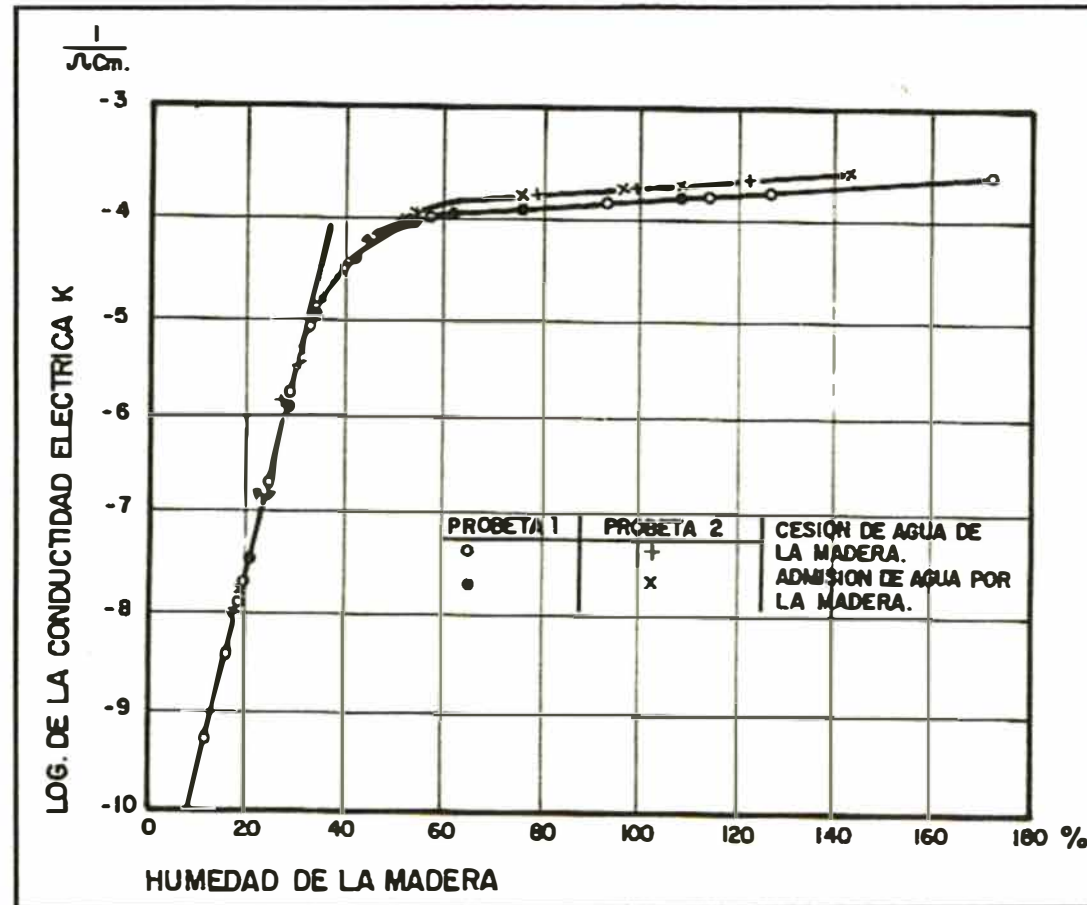
Específicamente la resistencia eléctrica y las propiedades dieléctricas de la madera dependen, en forma bien definida, de su contenido de humedad, sobre todo en el rango de 6 a 25% de CH. Existe una relación casi lineal entre el logaritmo de la resistencia eléctrica y el contenido de humedad de la madera en el rango del estado anhidro hasta el punto de saturación de las fibras (PSF).

Secando la madera del 30 al 0%, la resistencia eléctrica aumenta en un millón de veces, mientras que por encima del PSF, un aumento en el CH hasta la saturación completa de la madera ocasionaría una disminución de la resistencia eléctrica de sólo cinco veces.

Las relaciones que existen entre las propiedades dieléctricas de la madera y su CH son equivalentes a las existentes entre la resistencia eléctrica y dicho contenido de humedad; por tal razón, el CH se puede medir con detectores eléctricos (ver Gráficos N° 4.25 y 4.26).

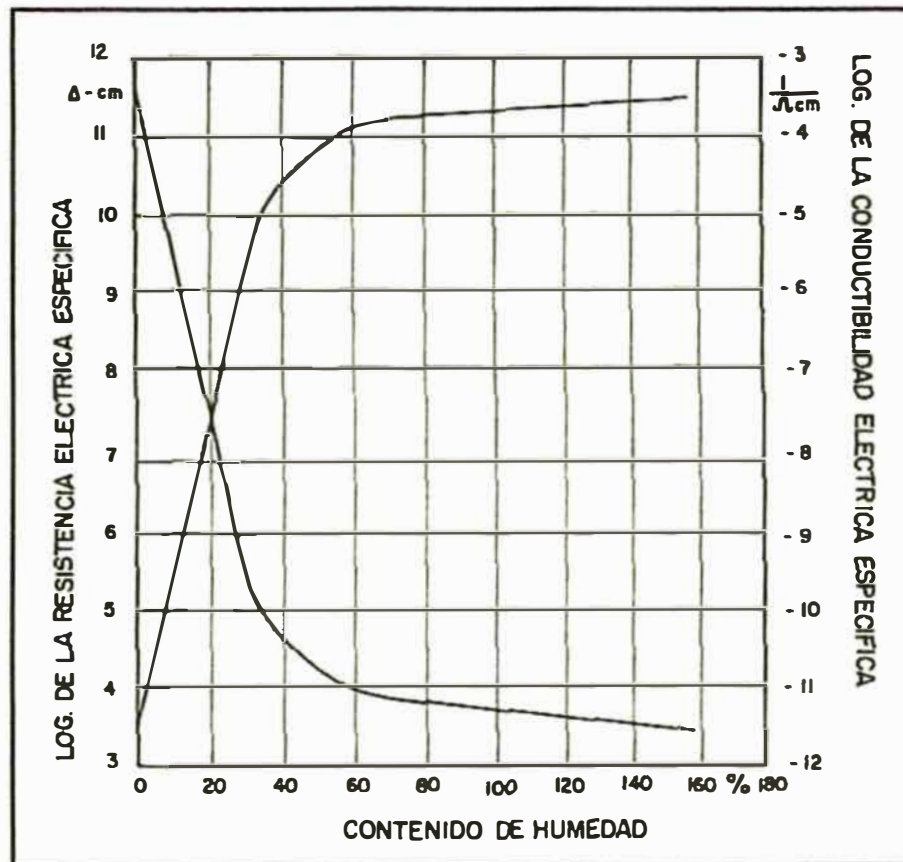
Gráfico N° 4.25
MÉTODOS ELÉCTRICOS

LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD EN UNA CIERTA ESPECIE DE MADERA



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

Gráfico N° 4.26
MÉTODOS ELÉCTRICOS
RESISTENCIA Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICAS ESPECÍFICAS DE UNA CIERTA ESPECIE DE MADERA



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

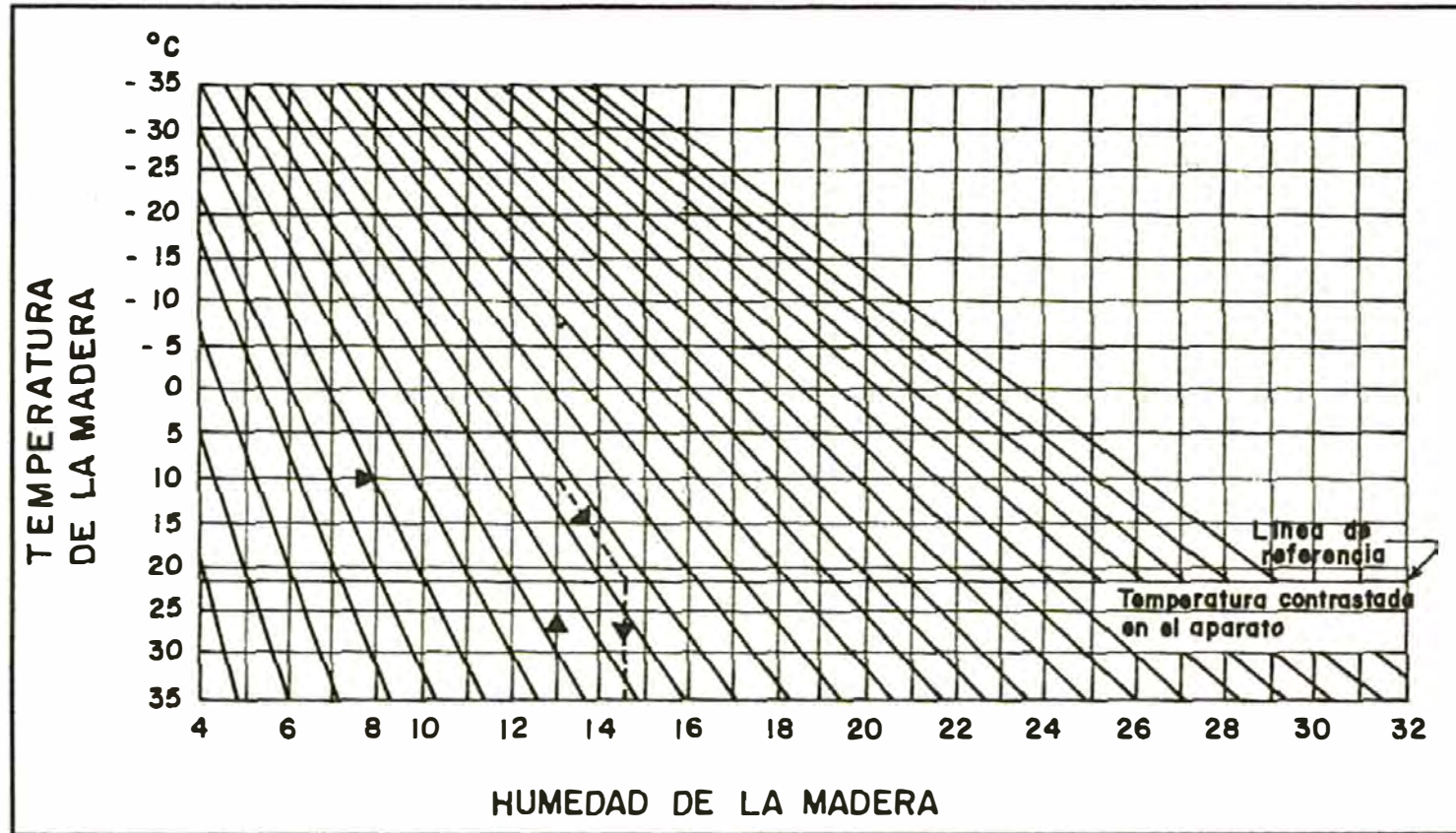
Se distinguen dos tipos de medidores eléctricos para determinar el CH de la madera en uno de ellos se deduce el CH por su resistencia eléctrica y en el otro por sus propiedades dieléctricas.

Las constantes dieléctricas diferentes del material leñoso seco y del agua ocasionan una variación de las propiedades en función del contenido de agua de la madera, que puede ser captada por los electrodos del detector, a los que se les aplica una tensión alterna de alta frecuencia. El amperímetro que señala la mayor o menor intensidad de la corriente alterna circulante se calibra para que directamente indique el CH de la madera.

La temperatura de la madera afecta los valores de la resistencia eléctrica, por lo que la lectura efectuada con aparatos eléctricos debe ser corregida tal como se muestra en el Gráfico N° 4.27.

Gráfico N° 4.27
MÉTODOS ELÉCTRICOS

DIAGRAMA PARA REALIZAR LAS CORRECCIONES DE LOS VALORES LEÍDOS EN LOS
XILOHIGRÓMETROS ELÉCTRICOS DE RESISTENCIA



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

Entre la resistencia eléctrica y el contenido de humedad de la madera existe una relación funcional de carácter aproximado, pero no lineal. Entre el 6 y 25% de humedad, esta relación está representada de modo aproximado por la siguiente ecuación logarítmica:

$$\text{Log } r = 13.25 - 0.32 \text{ CH}$$

donde:

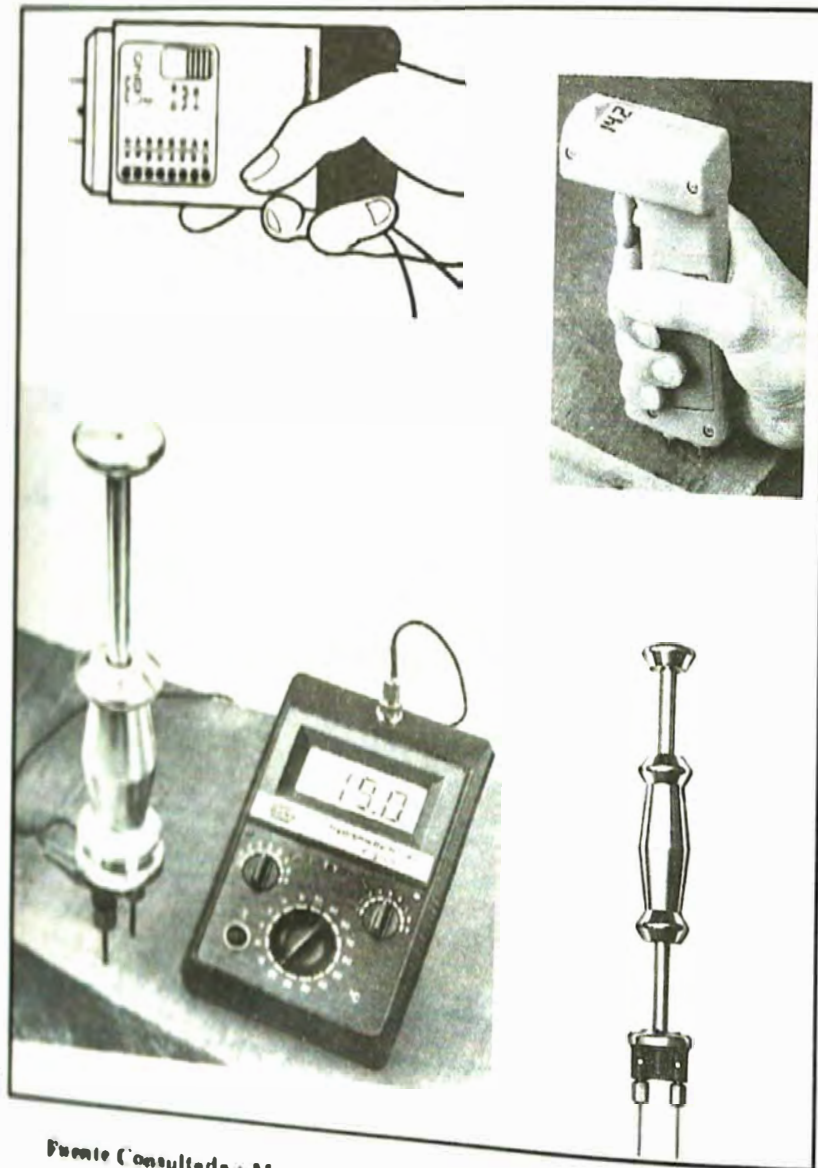
Log r = Logaritmo decimal de la resistencia eléctrica a través del grano, expresada en ohmios.

CH = Contenido de humedad de la madera, expresado en porcentaje.

Por debajo del 6% de humedad, esta resistencia se eleva de un modo tal que no es posible su determinación con este tipo de aparatos. Por encima del 25% de CH, la relación disminuye debido a la dispersión natural de los valores medios y por lo tanto los valores no son precisos. Con buenos detectores, la exactitud para el rango entre 6 y 25% de humedad es de $\pm 2\%$, desviación aceptable en todos los casos.

Los detectores de humedad pueden ser del tipo resistencia (Gráfico N° 3.26) y de radio frecuencia por pérdida de potencia (Gráfico N° 3.27). Los de resistencia se fabrican con electrodos cortos o largos, del tipo de aguja, aislados en toda su longitud menos en las puntas. Los medidores por pérdida de potencia son fabricados con electrodos de contacto que se aplican a la superficie de madera sin perforarla; se utilizan para chapas o madera muy delgada.

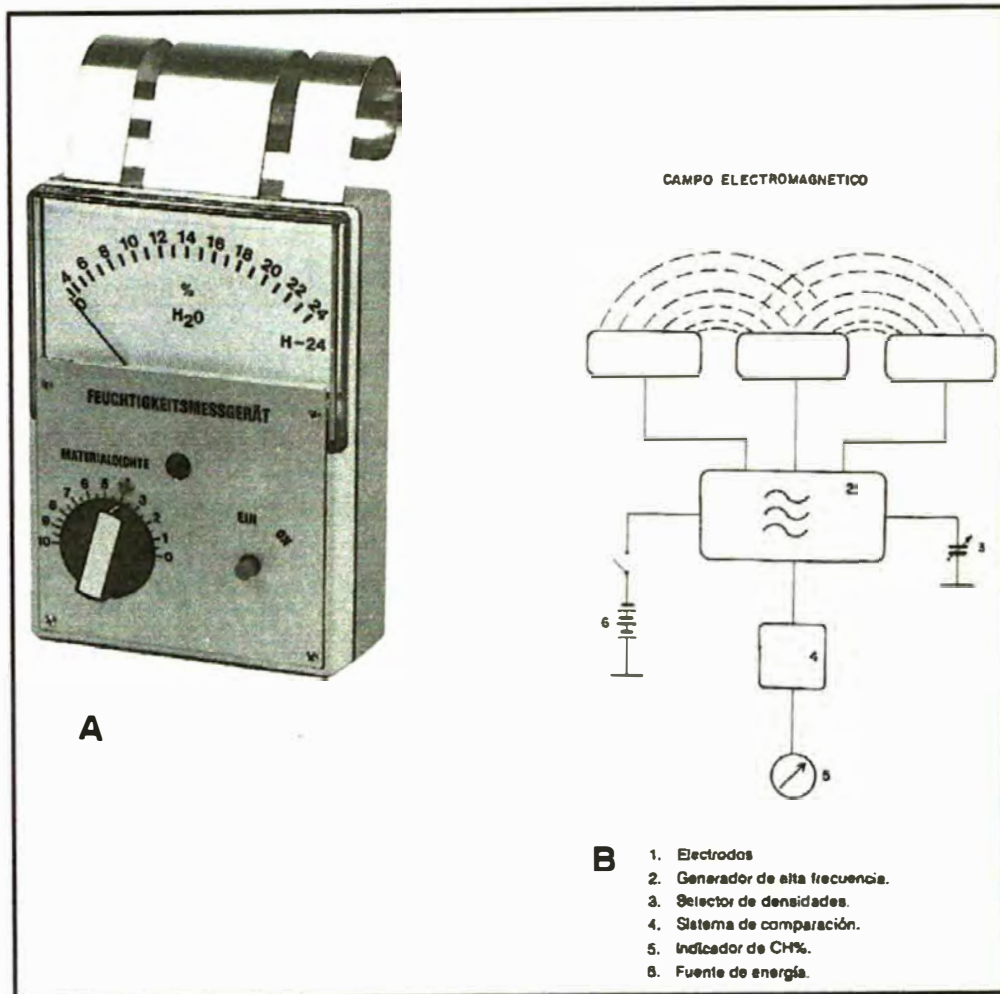
Gráfico N° 4.28
MÉTODOS ELÉCTRICOS
MEDIDOR DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE MADERA DEL TIPO DE
RESISTENCIA



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

Gráfico N° 4.29
MÉTODOS ELÉCTRICOS

A) MEDIDOR CORRESPONDIENTE DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA, B) ESQUEMA DE UN MEDIDOR DE CONTENIDO DE HUMEDAD PARA MADERA, TIPO RADIOFRECUENCIA



Fuente Consultada : Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas

4.4.3. Criterios de selección de las Válvulas de Control del Sistema de Calefacción y del Sistema de Humidificación

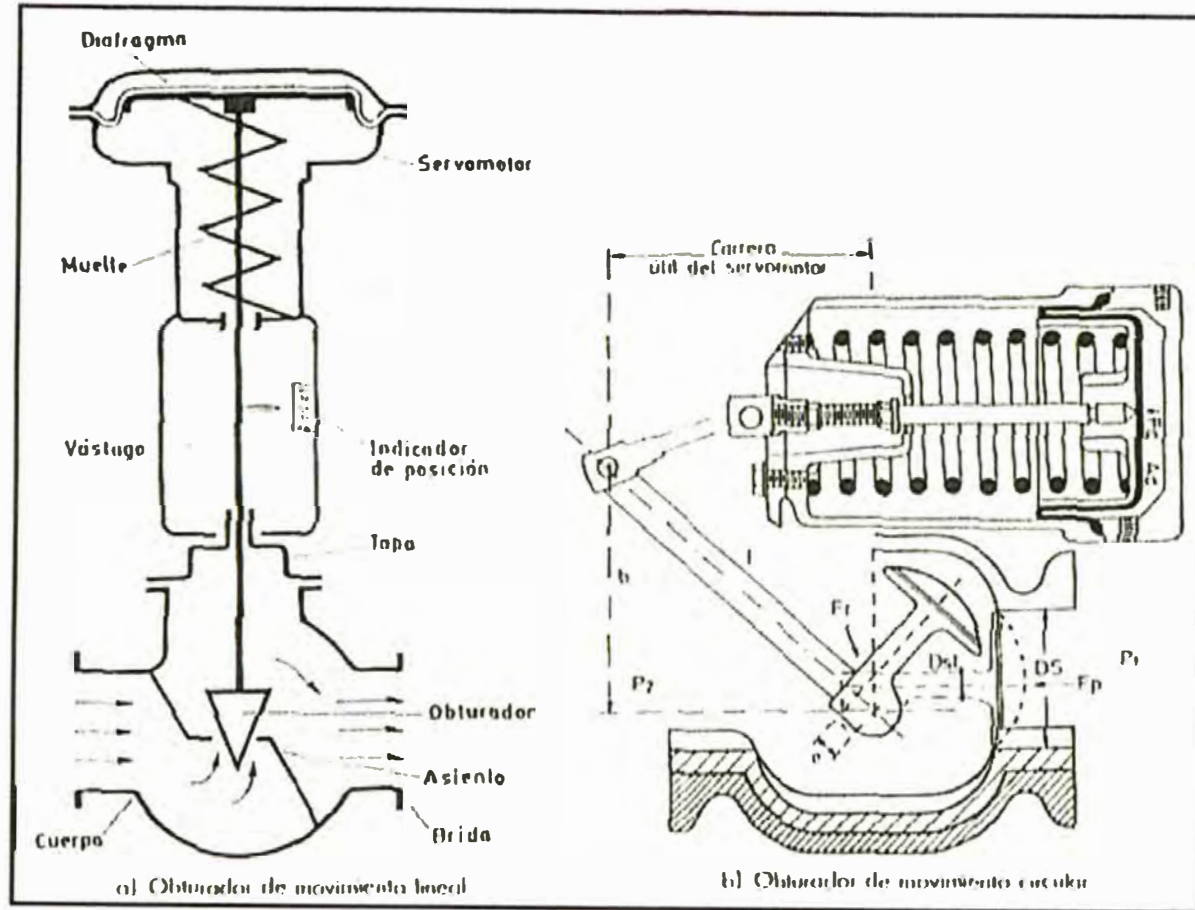
Veamos, los criterios para la selección de las válvulas de control. En primer lugar veamos el concepto de válvula de control y los tipos de válvula de control, luego los componentes que conforman la válvula de control, los tipos de servomotores para accionar las válvulas de control y finalmente el dimensionamiento de las válvulas de control.

4.4.3.1. Concepto de Válvula de Control y Tipos de Válvulas de Control

En el control automático de los procesos industriales la válvula de control realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable. En el gráfico 4.30 puede verse una válvula de control típica. Se compone básicamente del cuerpo y del servomotor.

El cuerpo de la válvula contiene en su interior el obturador y los asientos y está provisto de rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador es quien realiza la función de control de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo. Está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor.

CONCEPTO DE VÁLVULA DE CONTROL Y TIPOS DE VÁLVULAS DE CONTROL
VÁLVULA DE CONTROL REPRESENTATIVA



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Tipos de Válvulas :

Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador. Para efectos de la presentación de las válvulas se han dividido en Válvulas de Movimiento Lineal y Válvulas de Movimiento Circular.

a) Válvulas de Movimiento Lineal :

Las válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje se clasifican de la siguiente manera:

- Válvula de globo.
- Válvula en ángulo.
- Válvula de tres vías.
- Válvula de jaula.
- Válvula de compuerta.
- Válvula en Y.
- Válvula de cuerpo partido.
- Válvula Saunders.
- Válvula de compresión.

La válvula de globo, puede verse en los gráficos 4.31 a, b, c que pueden ser de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado respectivamente. Las válvulas de simple efecto precisan de un actuador de mayor tamaño para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso. Por lo tanto, se emplea cuando la presión del fluido es baja y se precisa que las fugas en posición de cierre sean mínimas. El cierre

estanco se logra con obturadores provistos de una arandela de teflón. En la válvula de doble asiento o de obturador equilibrado la fuerza de desequilibrio desarrollada por la presión diferencial a través del obturador es menor que en la válvula de simple asiento. Por este motivo se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. En posición de cierre las fugas son mayores que en una válvula de simple asiento. Como dato orientativo puede señalarse que según la norma ANSI B 16.104-1976, las fugas admisibles son de 0,1% del caudal máximo en la válvula de simple asiento y de 0,5% en la válvula de doble asiento. Las válvulas con obturador dotado de anillo de teflón admiten un caudal de fuga de 1 a 40 burbujas de aire por minuto.

La válvula en ángulo, está representada en el gráfico 4.31 d , permite obtener un flujo de caudal regular sin excesivas turbulencias y es adecuada para disminuir la erosión cuando ésta es considerable por las características del fluido o por la excesiva presión diferencial. El diseño de la válvula es idóneo para el control de fluidos que vaporizan (flashing), para trabajar con grandes presiones diferenciales y para fluidos que contienen sólidos en suspensión.

La válvula de tres vías, este tipo de válvula se emplea generalmente para mezclar fluidos (válvulas mezcladoras, ver gráfico 4.31 e) o bien para derivar de un flujo de entrada dos de salida (válvulas divisoras, ver gráfico 4.31 f). Las válvulas de tres vías intervienen típicamente en el control de temperatura de intercambiadores de calor.

La válvula de jaula consiste en un obturador cilíndrico que desliza en una jaula con orificios adecuados a las características de caudal deseadas en la válvula (gráfico 4.31

g). Se caracteriza porque el obturador puede incorporar orificios que permiten eliminar prácticamente el desequilibrio de fuerzas producido por la presión diferencial favoreciendo la estabilidad del funcionamiento. Por este motivo, este tipo de obturador equilibrado se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. El obturador puede disponer de aros de teflón que con, la válvula en posición cerrada, asientan contra la jaula y permiten lograr así un cierre hermético.

La válvula de compuerta, esta válvula realiza su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición es adecuada generalmente para control todo-nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo del fluido cuando está en posición de apertura total (ver gráfico 4.31 h).

La válvula en Y, en el gráfico 4.31 i puede verse su forma. Es adecuada como válvula de cierre y de control. Como válvula todo-nada se caracteriza por su baja pérdida de carga y como válvula de control presenta una gran capacidad de caudal. Posee una característica de autodrenaje cuando está instalada inclinada con un cierto ángulo.

La válvula de cuerpo partido, esta válvula (ver gráfico 4.31 j) es una modificación de la válvula de globo de simple asiento teniendo el cuerpo partido en dos partes entre las cuales está presionando el asiento. Esta disposición permite una fácil sustitución del asiento y facilita un flujo suave del fluido sin espacios muertos en el cuerpo. Se emplea principalmente para fluidos viscosos y en la industria alimentaria.

La válvula Saunders, en la válvula Saunders (ver gráfico 4.31 k), el obturador es una membrana flexible que a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra un resalte del cuerpo cerrando así el paso del fluido.

La válvula se caracteriza porque el cuerpo puede revestirse fácilmente de goma o plástico para trabajar con fluidos agresivos.

Tiene la desventaja de que el servomotor de accionamiento debe ser muy potente. Se utiliza principalmente en procesos químicos difíciles, en particular en el manejo de fluidos negros o agresivos o bien en el control de fluidos conteniendo sólidos en suspensión.

La válvula de compresión, esta válvula funciona mediante el pinzamiento de dos o más elementos flexibles, por ejemplo : un tubo de goma. Igual que las válvulas de diafragma se caracterizan porque proporcionan un óptimo control en posición de cierre parcial y se aplican fundamentalmente en el manejo de fluidos negros corrosivos, viscosos o conteniendo partículas sólidas en suspensión (ver gráfico 4.31 l)

b) Válvulas de Movimiento Circular :

Las válvulas en las que el obturador tiene un movimiento circular se clasifican de la siguiente manera:

- Válvula de obturador excéntrico rotativo.
- Válvula de obturador cilíndrico excéntrico.
- Válvula de mariposa.
- Válvula de bola.

- Válvula de orificio ajustable.
- Válvula de flujo axial.

La válvula de obturador excéntrico rotativo, consiste en un obturador de superficie esférica que tiene un movimiento rotativo excéntrico y que está unido al eje de giro por uno o dos brazos flexibles (gráfico 4.31 m).

El eje de giro sale al exterior del cuerpo y es accionado por el vástago de un servomotor. El par de éste es reducido gracias al movimiento excéntrico de la cara esférica del obturador.

La válvula puede tener un cierre estanco mediante aros de teflón dispuestos en el asiento y se caracteriza por su gran capacidad de caudal, comparable a las válvulas mariposa y a las de bola y por elevada pérdida de carga admisible.

La válvula de obturador cilíndrico excéntrico, esta válvula (gráfico 4.31 n) tiene un obturador cilíndrico excéntrico que asienta contra un cuerpo cilíndrico. El cierre hermético se consigue con un revestimiento de goma o teflón en la cara del cuerpo donde asienta el obturador. La válvula es de bajo coste y tiene una capacidad relativamente alta. Es adecuada para fluidos corrosivos y líquidos viscosos o conteniendo sólidos en suspensión.

La válvula de mariposa, el cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular (gráfico 4.31 o). La válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo. Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión.

La válvula de bola, el cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola (gráfico 4.31 p). La bola tiene un corte adecuado (usualmente en V) que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. La válvula de bola se emplea principalmente en fluidos negros, o bien fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

Una válvula de bola típica es la válvula de macho (gráfico 4.31 q) que consisten en un macho de forma cilíndrica o troncocónica con un orificio transversal igual al diámetro interior de la tubería. El macho ajusta en el cuerpo de la válvula y tiene un movimiento de 90°. Se utiliza generalmente en el control manual todo-nada de líquidos o gases y en regulación de caudal.

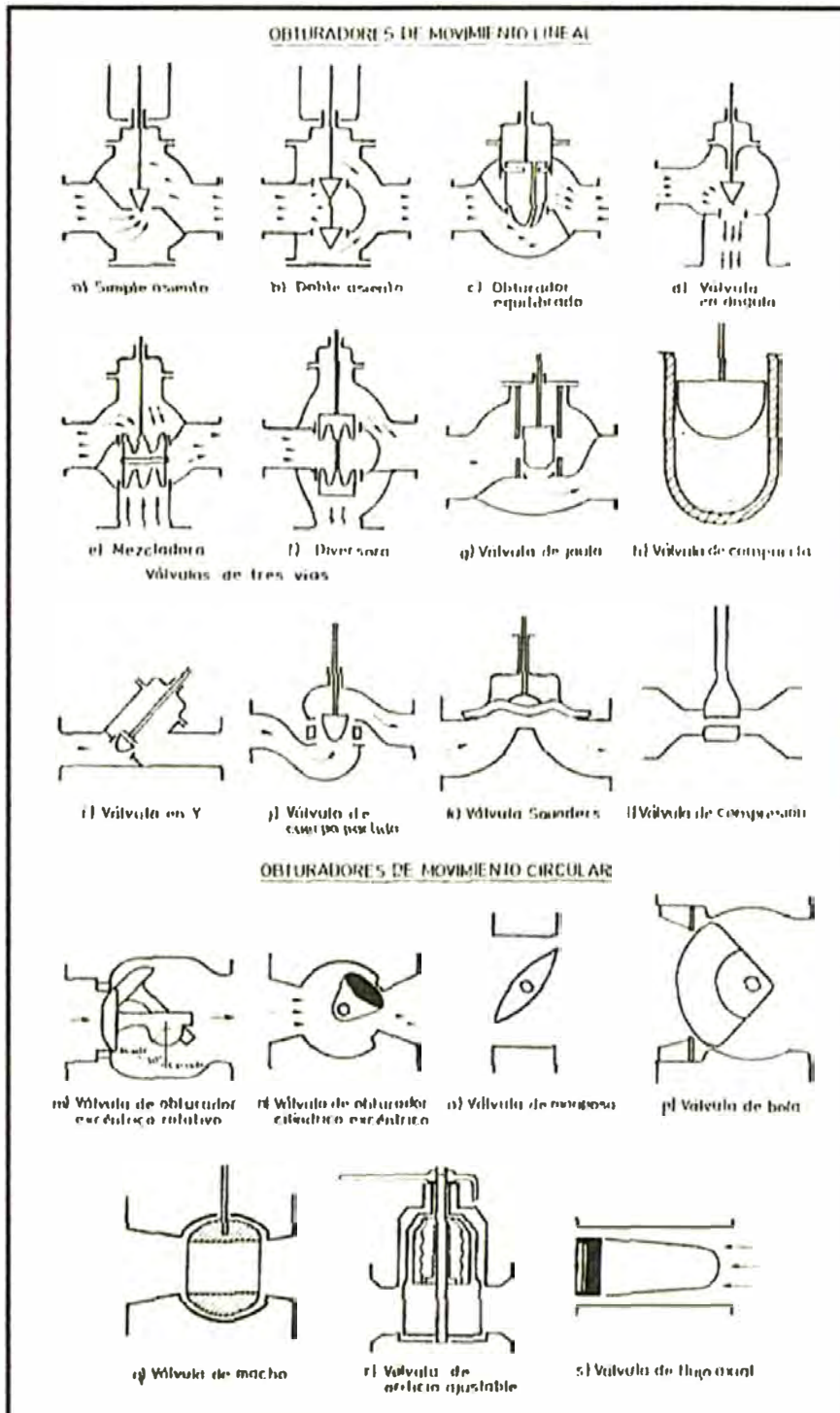
La válvula de orificio ajustable, el obturador de esta válvula consiste en una camisa de forma cilíndrica que está perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida y que gira mediante una palanca exterior accionada manualmente o por medio de un servomotor. El giro del obturador tapa parcial o totalmente las entradas y salidas de la válvula controlando así el caudal. La válvula incorpora además una tajadera cilíndrica que puede deslizarse dentro de la camisa gracias a un macho roscado de accionamiento exterior. La tajadera puede así fijarse manualmente en una posición determinada para fijar un caudal máximo (ver gráfico 4.31 r)

La válvula es adecuada en los casos en que es necesario ajustar manualmente el caudal máximo del fluido, cuando el caudal puede variar entre límites amplios de forma

intermitente o continua y cuando no se requiere un cierre estanco. Se utiliza para combustibles gaseosos o líquidos, vapor, aire comprimido y líquidos en general.

La válvula de flujo axial, las válvulas de flujo axial consisten en un diafragma accionado neumáticamente que mueve un pistón, el cual a su vez comprime un fluido hidráulico contra un obturador formado por un material elastómero. De este modo, el obturador se expande para cerrar el flujo anular del fluido. Este tipo de válvulas se emplea para gases y es especialmente silencioso. Otra variedad de la válvula de flujo axial es la válvula de manguito, que es accionada por compresión exterior del manguito a través de un fluido auxiliar a una presión superior a la del mismo fluido. Se utiliza también para gases (ver gráfico 4.31 s).

Gráfico N° 4.31
TIPOS DE VÁLVULAS DE CONTROL



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

4.4.3.2. Componentes que conforman la Válvula de Control

Dentro de los componentes que conforman la válvula de control tenemos el cuerpo de la válvula, la tapa de la válvula y las partes internas de la válvula (obturador y asientos).

El Cuerpo de la Válvula debe resistir la temperatura y la presión del fluido sin pérdidas, tener un tamaño adecuado para el caudal que debe controlar y ser resistente a la erosión o a la corrosión producidas por el fluido.

El cuerpo y las conexiones a la tubería (bridas o roscadas) están normalizados de acuerdo con las presiones y temperaturas de trabajo en las normas DIN y ANSI, según puede verse en los gráficos 4.32 y 4.33.

Cabe señalar los puntos siguientes:

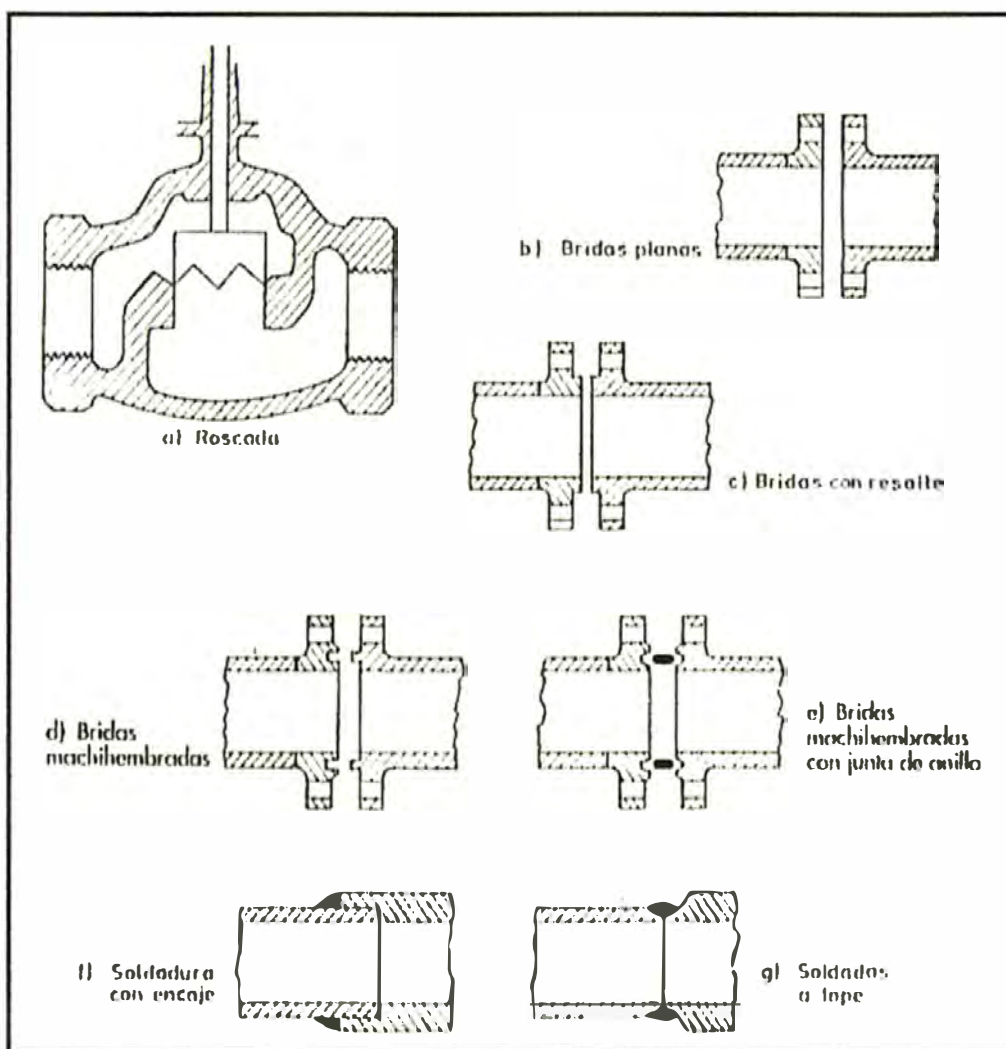
- Las conexiones roscadas se utilizan hasta 2”.
- Las bridas pueden ser planas, con resalte, machihembradas, machihembradas con junta de anillo.
- Las conexiones soldadas pueden ser con encaje o con soldadura a tope. Las primeras se emplean para tamaños de válvula hasta 2” y las segundas desde 2-1/2” a tamaños mayores.

El cuerpo suele ser de hierro, acero y acero inoxidable y en casos especiales pueden ser de monel, hastelloy B o C, etc. En las tablas N° 4.6, 4.7, y 4.8 figuran los materiales más empleados con su composición principal.

Empiezan a utilizarse materiales termoplásticos para el cuerpo de las válvulas, que sobre todo se emplean en aplicaciones químicas hasta 140°C y 10 bar, por su resistencia

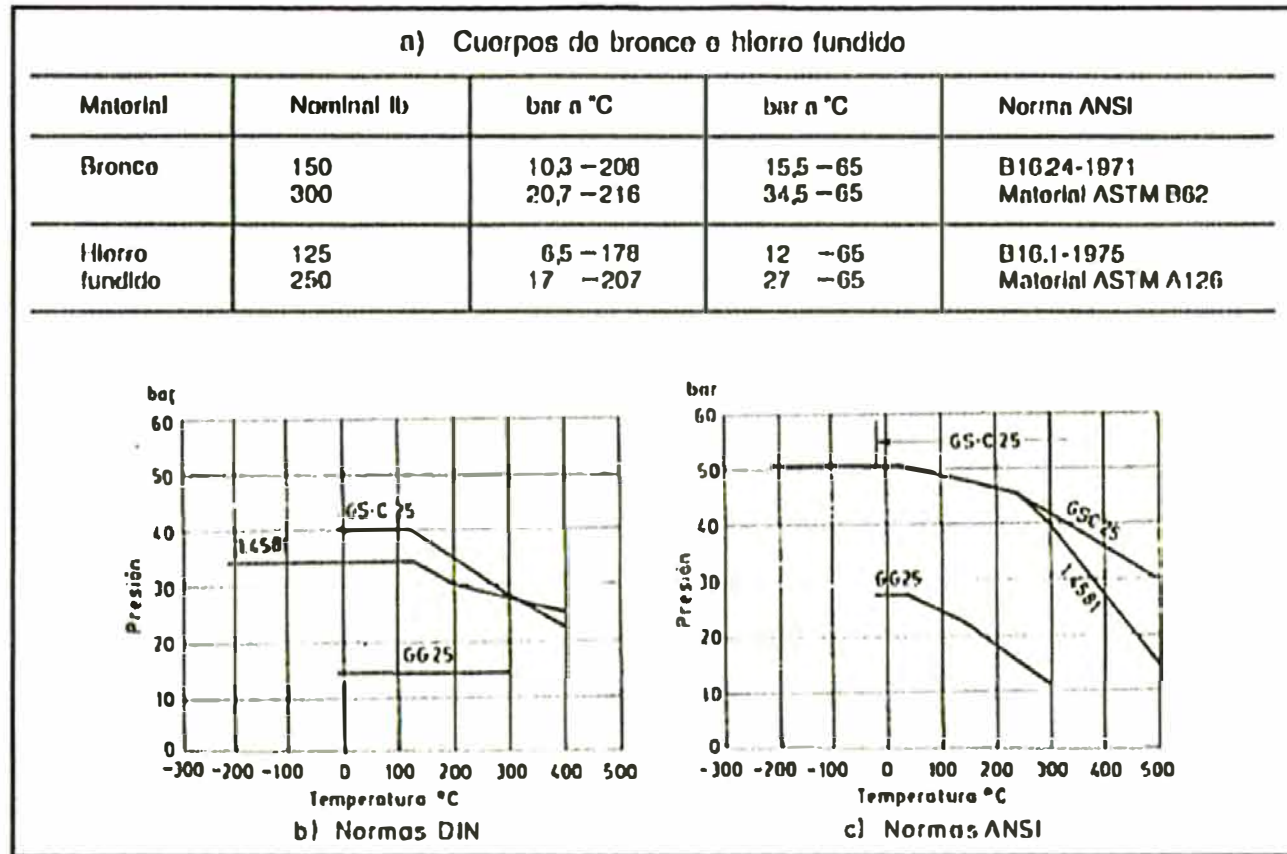
a la corrosión, abrasión y congelación y por su bajo coste. No son adecuados en casos de fuerte vibración.

Gráfico N° 4.32
CUERPO DE LA VÁLVULA DE CONTROL
TIPOS DE CONEXIONES DEL CUERPO DE LA VÁLVULA A LA TUBERÍA



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

CUERPO DE LA VÁLVULA DE CONTROL
NORMAS DIN, ANSI DE CUERPOS DE VÁLVULAS DE CONTROL



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Tabla N° 4.6
CUERPO DE LA VÁLVULA DE CONTROL
MATERIALES ESTÁNDAR PARA EL CUERPO DE LA VÁLVULA

Tipo	Especificación DIN • ASTM	Composición %								
		C máx.	Mn máx.	Si máx.	P máx.	S máx.	Cr	Ni	Mn	Otros
Hierro fundido	GG 25									
	A 126-clase B*									
Acero al carbono	GB-C 25	0,25	0,8	0,5	0,05	0,05	3 máx			
	A 210-WCII*	0,3	1,0	0,8	0,05	0,08				
Acero inox. 18/8/3	1.4581	0,08	1,5	1,5	0,05	0,03	17-19,5	10,5-12,5	2-2,5	Ni > 8 X % C
	A 351-CF 10 Mc*	0,10	1,5	1,5	0,04	0,04	15-18	13-16	1,75-2,5	Ni > 10 X % C 1,2 % máx.

Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Tabla N° 4.7
CUERPO DE LA VÁLVULA DE CONTROL
MATERIALES ESPECIALES PARA EL CUERPO DE LA VÁLVULA

Tipo	Especificación DIN • ASTM	Composición %								
		C máx.	Mn máx.	Si máx.	P máx.	S máx.	Cr	Ni	Mn	Otros
Acero CrMn	7357	0,20	0,8	0,5	0,04	0,04	1-1,5		0,45-0,55	
	A 217-WC 6*	0,20	0,8	0,6	0,05	0,05	1-1,6		0,45-0,65	
Acero CrMn 8%	7362	0,12	0,6	0,4	0,04	0,04	4-6,5		0,45-0,65	
	A 217-C 6*	0,20	0,7	0,75	0,05	0,06	4-6,5		0,45-0,65	
Acero Ni 3,5%	5638	0,12	0,8	0,5	0,025	0,025		3,3-3,8		
	A 362-LC 3*	0,15	0,8	0,6		0,05		3-4		
Inox. 18/8	4652	0,10	2	1,5	0,04	0,04	17,5-20	0-11		Nb > 8 X % C
	A 351-CF 8 C*	0,08	1,5	2	0,04	0,04	18-21	0-12		Nb > 10 X % C 1,2 % máx.
Inox. 18/8	4308	0,08	2	2	0,04	0,04	17,5-20	0-11		
	A 351-CF 8*	0,08	1,5	2	0,04	0,04	18-21	8-11		
Acero 1,2	4404	0,03	2	1	0,04	0,04	16,5-18,5	11-13	2-2,5	
	A 351-CF 3 M*	0,03	1,5	1,5	0,04	0,04	17-21	0-13	2-3	
Instelloy B	Kuznit 70	0,03						62-65	28-32	Fe 1 máx.
	Instelloy B	0,05						62-65	26-30	Fe 4-7 Co 2,5
Instelloy C	Kuznit 60	0,02					17	60	20	Fe 1 máx.
	Instelloy C	0,06					15-17	54	15-17	Fe 7 W 3-4,5 Cu 2,5 V 0,35
Monel	C-NiCu30Ni2	0,35	1,5	2				62-68		Cu 26-33 Fe 3,5
	Monel	0,3	1,5	1,5				62-68		Cu 28-32 Fe 3
Bronce (Oikunil)	C-CuZn10Ni4									Cu 80 Ni 4 Zn 16
	B 106-13 B									Cu 80 Ni 4 Zn 16

Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

**CUERPO DE LA VÁLVULA DE CONTROL
MATERIALES TERMOPLÁSTICOS PARA EL CUERPO DE LA VÁLVULA**

<i>Tipo</i>	<i>Resistencia a la tensión</i>	<i>Resistencia a la flexión</i>	<i>Resistencia a compresión</i>	<i>Dureza Rockwell</i>	<i>Temperatura máxima (° C)</i>	<i>Presión máx (bar)</i>
Cloruro Polivinilo (PVC)	480	1030	890	115	77	10
Cloruro Polivinilo Clorinado (CPVC)	620	1100	1030	118	107	10
Polipropileno (PP)	340	620	620	95	107	10
Polipropileno fibra vidrio (PPG)	690	—	—	107	122	10
Fluoruro Polivinilideno (PVDF)	510	960	960	110	137	10

Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

La Tapa de la Válvula de control tiene por objeto unir el cuerpo al servomotor. A su través desliza el vástago del obturador accionado por el motor. Este vástago dispone generalmente de un índice que señala en una escala la posición de apertura o cierre de la válvula.

Para que el fluido no se escape a través de la tapa es necesario disponer una caja de empaquetadura entre la tapa y el vástago. La empaquetadura ideal debe ser elástica, tener un bajo coeficiente de rozamiento, ser químicamente inerte y ser un aislante eléctrico, con el fin de no formar un puente galvánico con el vástago que de lugar a la corrosión de partes de la válvula. La empaquetadura que se utiliza normalmente es de teflón cuya temperatura máxima de servicio es de 220°C.

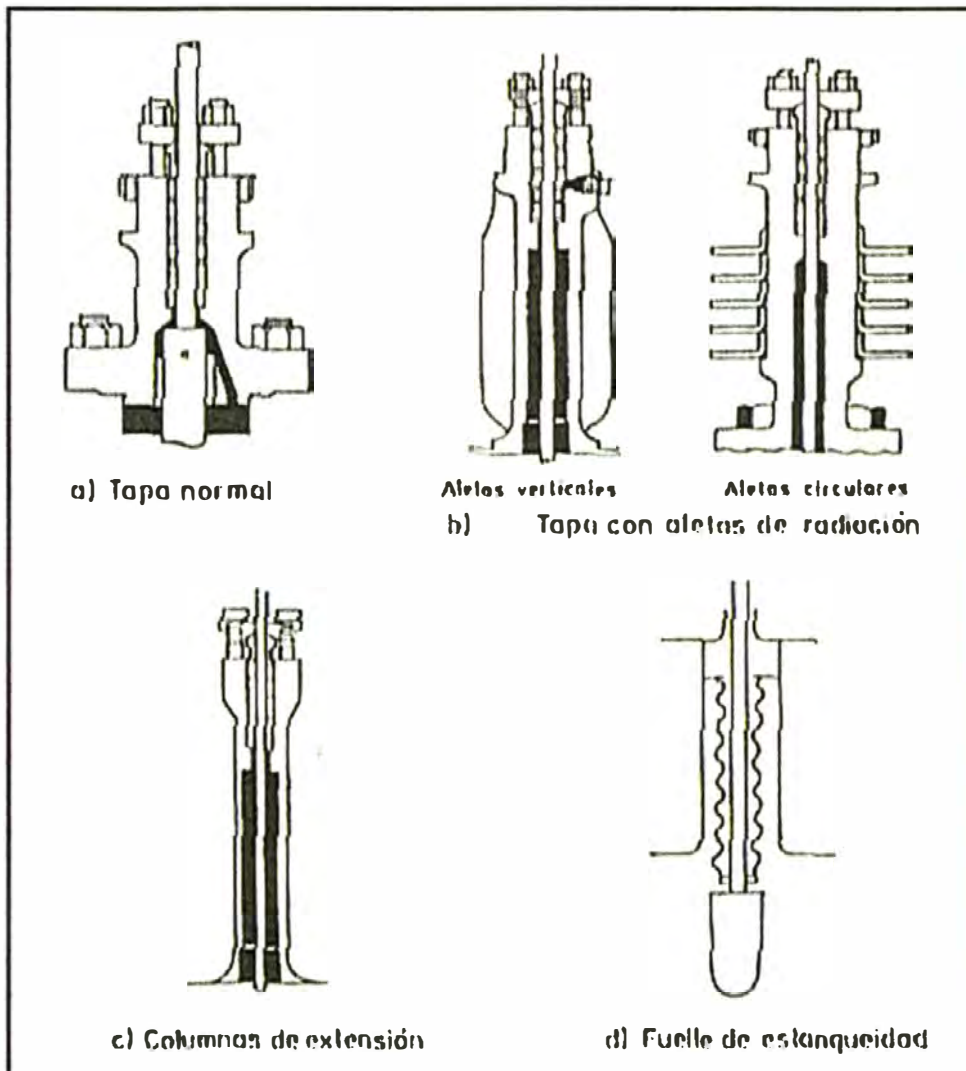
Según las temperaturas de trabajo de los fluidos y el grado de estanqueidad deseada existen los siguientes tipos de tapa:

- Tapa normal (gráfico 4.34 a) adecuada para trabajar a temperaturas del fluido variables entre 0 y 220°C.
- Tapa con aletas de radiación (gráfico 4.34 b) circulares o verticales que pueden trabajar entre -20 a 450°C.
- Tapa con columnas de extensión (gráfico 4.34 c). Las columnas son adecuadas cuando el fluido está a temperaturas muy bajas. Como guía en su selección se recomiendan las longitudes en la tabla 4.9.
- Tapa con fuelle de estanqueidad (gráfico 4.34 d) para temperaturas de servicio entre -20 y 450°C.

La caja de empaquetadura de la válvula consiste en unos anillos de estopada comprimidos por medio de una tuerca (gráfico 4.35 a) o bien mediante una brida de presión regulable con dos tuercas (gráfico 4.35 b). La empaquetadura puede ser apretada manualmente de modo periódico o bien ser presionada elásticamente con un muelle apoyado interiormente en la tapa (gráfico 4.35 c).

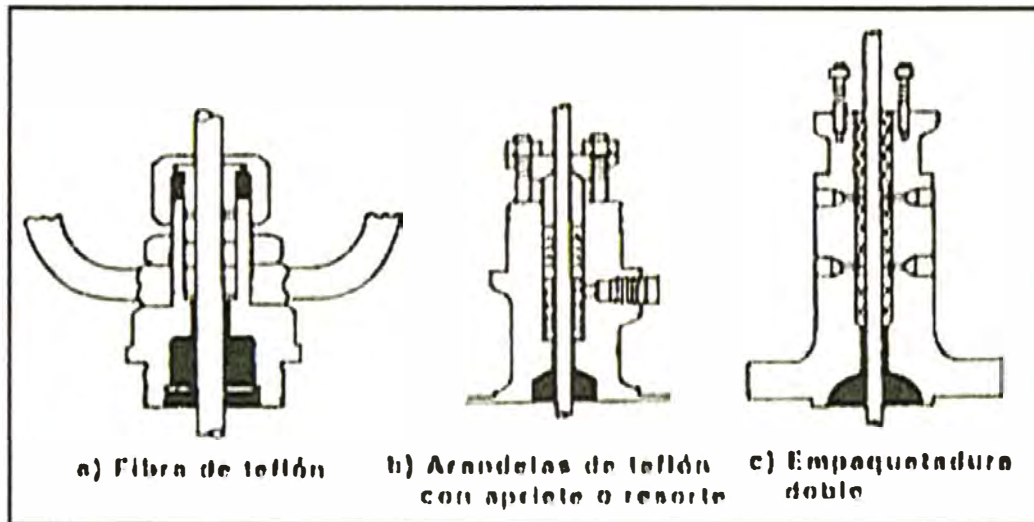
Existen diversos tipos de empaquetaduras según sean las presiones y temperaturas de trabajo y el tipo de fluido. En la tabla 4.10 puede verse una guía de selección.

Gráfico N° 4.34
TAPA DE LA VÁLVULA DE CONTROL
TIPOS DE TAPAS DE LA VÁLVULA DE CONTROL



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Gráfico N° 4.35
TAPA DE LA VÁLVULA DE CONTROL
TIPOS DE EMPAQUETADURAS



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Tabla N° 4.9
TAPA DE LA VÁLVULA DE CONTROL
SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA VÁLVULA DE CONTROL

Tamaño de la válvula en pulgadas	Temperaturas de trabajo	
	- 21 a - 80° C	- 81 a - 150° C
½ a 2 ½	400 mm	600 mm
3 a 6	600 mm	800 mm
8 a 12	800 mm	1000 mm

Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Tabla N° 4.10
TAPA DE LA VÁLVULA DE CONTROL
TIPOS DE EMPAQUETADURAS

<i>Descripción</i>	<i>Presión máx. (bar)</i>	<i>Campo de temperaturas ° C</i>	<i>Observaciones</i>
Teflón en V (anticorrosión)	40	- 180 a 200	Adecuado en general para todo tipo de productos Inadecuado para aceite y para productos que precipitan cristales o que contienen lodos
Perfluoroelastómero con anillos de teflón rellenos con fibras de grafito	---	0-250	Bajo nivel de fugas, bajo rozamiento, bajo mantenimiento
Grafito en filamento o laminado o en cinta		650-1650	Fluidos no oxidantes 650-1650° C

Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Las Partes internas de la válvula (Obturador y asientos) se consideran generalmente las piezas metálicas internas desmontables que están en contacto directo con el fluido. Estas piezas son el vástago, la empaquetadura, el collarín de lubricación en la empaquetadura (si se emplea), los anillos de guía del vástago, el obturador y el asiento o los asientos. Hay que señalar que el obturador y el asiento constituyen el “corazón de la válvula” al controlar el caudal gracias al orificio de paso variable que forman al variar su posición relativa, y además tiene la misión de cerrar el paso del fluido.

Para la selección del obturador y los asientos intervienen tres puntos principales:

- a) Materiales para contrarrestar la corrosión, la erosión y el desgaste producidos por el fluido.
- b) Características de caudal en función de la carrera.
- c) Tamaño normal o reducido que permite obtener varias capacidades de caudal de la válvula con el mismo tamaño del cuerpo.

Los materiales del obturador y los asientos se fabrican normalmente en acero inoxidable porque este material es muy resistente a la corrosión y a la erosión del fluido. En las tablas 4.11 y 4.12 se muestran los materiales estándar y los especiales utilizados en los obturadores y asientos.

Cuando la velocidad del fluido es baja, pueden utilizarse PVC, fluorocarbonos y otros materiales blandos, solos o reforzados con fibras de vidrio o grafito. En algunas válvulas pueden utilizarse obturadores y asientos de cerámica.

Tabla N° 4.11

MATERIALES ESTÁNDAR DE LA PARTE INTERNA DE LA VÁLVULA DE CONTROL

Tipo	Especificación DIN • ASTM	Composición %								
		C máx.	Mn máx.	Si máx.	P máx.	S máx.	Cr	Ni	Mo	Otros
Acero Inoxidable	4000	0,1	1	1	0,05	0,03	12-14			
	A 270 tipo 410*	0,15	1	1	0,04	0,03	11,5-13,5			
	4059	0,25	1	1	0,05	0,04	15,5-17,5	1-2		
	A 200-CII 300*	0,2	1	1,5	0,04	0,03	18-21	2 máx.		
	4027	0,25	1	1	0,05	0,04	12,5-14,5			
	A 206 CA 15*	0,15	1	1,5	0,05	0,05	11,5-14	1	0,5	
Acero Inox. 18/8/3	4580	0,1	2	1	0,05	0,03	10,5-12,5	10,5-13,5	2-2,5	Nb \geq 8 X % C
	A 276 tipo 316*	0,08	2	1	0,05	0,03	10-12	10-14	2-3	
	4581	0,08	1,5	1,5	0,05	0,03	17-19,5	10,5-12,5	2-2,5	Nb \geq 8 X % C
	A 351-CF 10Mc*	0,10	1,5	1,5	0,04	0,04	15-18	13-16	1,75-2,5	Nb \geq 10 X % C 1,2 % máx.

* Norma ASTM, resto norma DIN.

Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

MATERIALES ESPECIALES DE LA PARTE INTERNA DE LA VÁLVULA DE

Tipo	Especificación DIN • ASTM	Composición %									
		C máx.	Mn máx.	Si máx.	P máx.	S máx.	Cr	Ni	Mo	Otros	
Hastelloy B	Hastelloy B	0,03							02-05	20-32	Fe 1 máx.
	Hastelloy B	0,05							02-05	20-30	Fe 4-7 Co 2,5
Hastelloy C	Hastelloy C	0,02					17	00	20		Fe 1 máx.
	Hastelloy C	0,08					15-17	54	15-17		Fe 7 W 3-4,5 Co 2,5 V 0,35
Monel	C1-NiCu30312	0,35	1,5	2					02-08		Cu 20-33 Fe 2,5
	Monel	0,3	1,5	1,5					02-08		Cu 20-32 Fe 3
Stellite	8877	1					20				Co rest W 4,5
	Stellite, n.º 6	1,3					20				Co rest W 4,5
17-4PH endurecido	4640	0,07	1	1	0,04	0,03	17	4			Cu 4 Nb 0,3
	17-4 PH	0,05	1	1	0,04	0,03	17	4			Cu 4 Nb 0,3

Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

El obturador determina la característica de caudal de la válvula, es decir, la relación que existe entre la posición del obturador y el caudal de paso del fluido.

La característica de un fluido incompresible fluyendo en condiciones de presión diferencial constante a través de la válvula se denomina **característica de caudal inherente** y se representa usualmente considerando como abscisas la carrera del obturador de la válvula y como ordenadas el porcentaje de caudal máximo bajo una presión diferencial constante.

Las curvas características más significativas son la de apertura rápida, la lineal y la isoporcentual, siendo las más importantes estas dos últimas. Otras curvas son las parabólicas y las correspondientes a las válvulas de tajadera, mariposa, Saunders y con obturador excéntrico rotativo.

Las curvas características se obtienen mecanizando el obturador para que al variar la carrera el orificio de paso variable existente entre el contorno del obturador y el asiento configure la característica de la válvula. En el gráfico 4.36 pueden verse varios tipos de obturadores cuya forma y mecanización determina esta característica.

El **obturador con característica de apertura rápida** (gráfico 4.36) tiene la forma de un disco plano. En el gráfico 4.37 a puede verse que el caudal aumenta mucho al principio de la carrera llegando rápidamente al máximo.

En el **obturador con característica lineal** (gráficos 4.36 b, f, g, i), el caudal es directamente proporcional a la carrera según la ecuación:

$$Q = KL$$

donde: Q = caudal a pérdida de carga constante
 K = constante
 L = carrera de la válvula

Gráficamente se representa por la línea recta del gráfico 4.37 a. El rango o campo de control de caudales que la válvula es capaz de regular manteniendo la curva característica inherente es en la válvula lineal de 15 a 1 o de 30 a 1. Si bien teóricamente podría ser infinita, las dificultades de fabricación la limitan a este valor.

En el obturador con característica isoporcentual (gráficos 4.36 c, d, f, g) cada incremento de carrera del obturador produce un cambio en el caudal que es proporcional al caudal que fluía antes de la variación. La ecuación correspondiente es:

$$\frac{dq}{dl} = a \cdot q$$

en la que: q = caudal a pérdida de carga constante
 l = carrera
 a = constante

de aquí : $\frac{dq}{q} = a \cdot dl$ e integrando : $\int \frac{dq}{q} = a \int dl$

$$q = b e^{al}$$

en la que: a y b son constantes
 e = base de los logaritmos neperianos

Esta expresión está representada en el gráfico 4.37.

Si suponemos los valores siguientes:

$$l = 0 \quad q = q_{\text{mínimo}} = b$$

$$l = 1 \quad q = q_{\text{máximo}} = q_{\text{mínimo}} e^a$$

luego:
$$q = q_{\text{mínimo}} \left(\frac{q_{\text{máximo}}}{q_{\text{mínimo}}} \right)^1$$

y
$$q = \frac{1}{\left(\frac{q_{\text{máximo}}}{q_{\text{mínimo}}} \right)} \left(\frac{q_{\text{máximo}}}{q_{\text{mínimo}}} \right)^1 = \frac{1}{R} \cdot R^1$$

que da el porcentaje de caudal en función del campo de control de la válvula.

y si $R = 50$
$$q / q_{\text{máximo}} = 0,02 \cdot 50^1$$

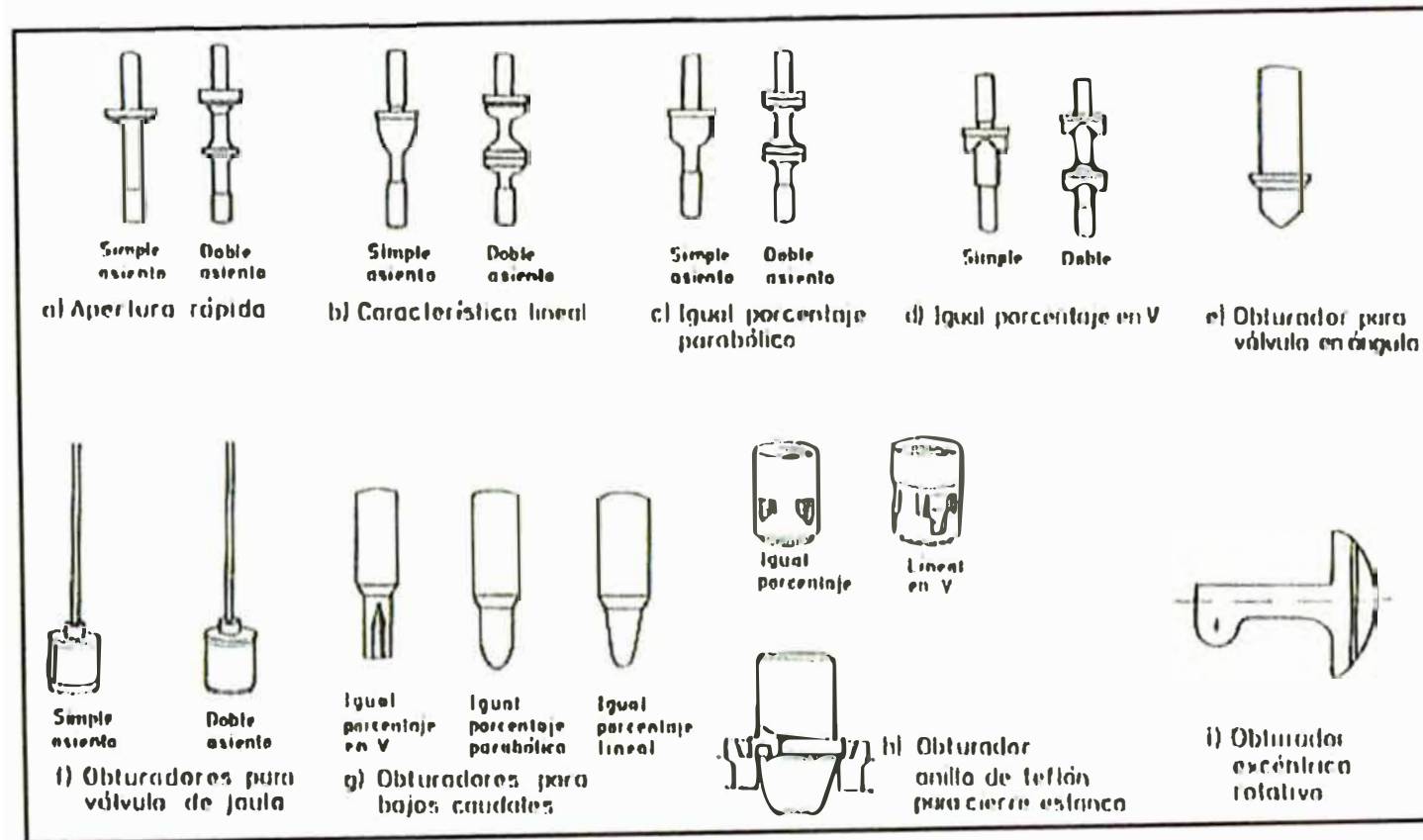
En el gráfico 4.37 puede verse la representación gráfica de la curva isoporcentual que se caracteriza porque al principio de la carrera de la válvula, la variación del caudal es pequeña, y al final, pequeños incrementos en la carrera se traducen en grandes variaciones de caudal.

Las **curva característica parabólica** (gráfico 4.37 c) corresponde a la ecuación:

$$q = K l^2$$

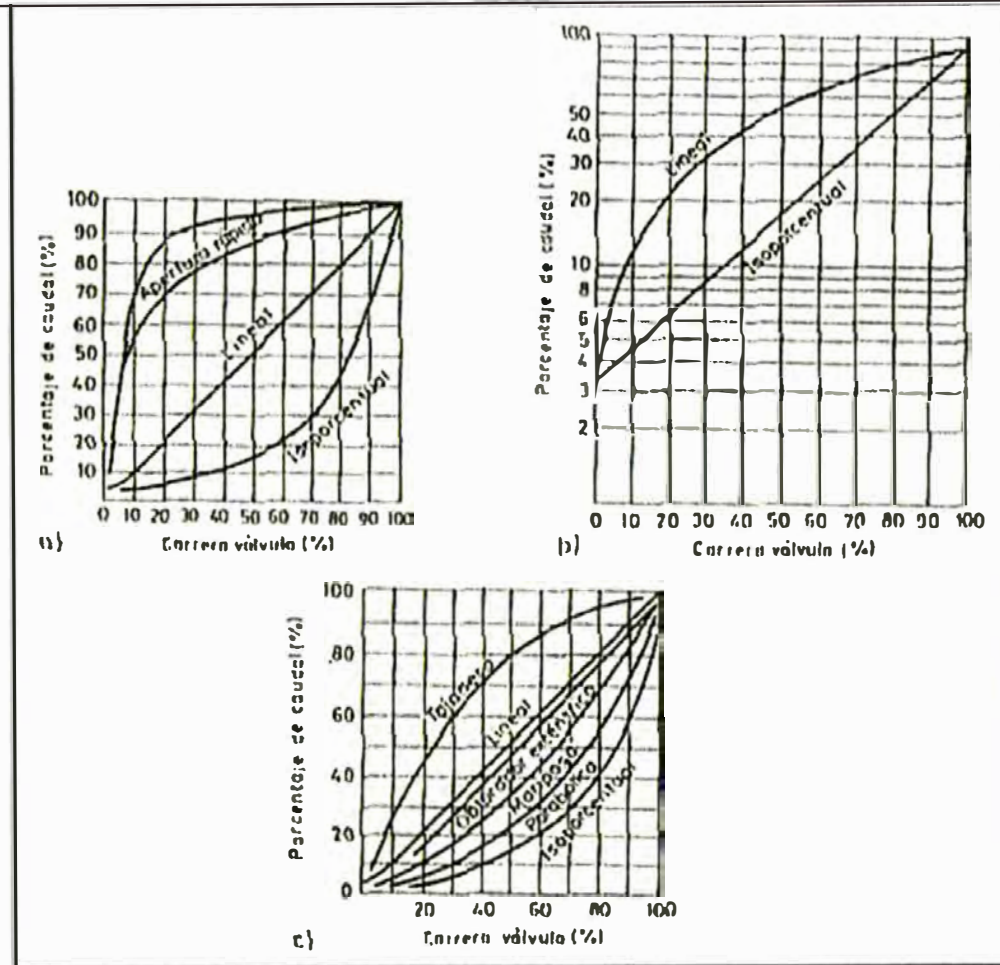
Esta curva característica corresponde a las válvulas de tajadera y mariposa.

**CARACTERÍSTICAS DE CAUDAL INHERENTE A LA VÁLVULA DE CONTROL
TIPOS DE OBTURADORES**



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

TIPOS DE CARACTERÍSTICAS INHERENTES A LA VÁLVULA DE CONTROL



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

La elección de la característica de una válvula se centra principalmente en la válvula lineal o en la isoporcentual. En general, podemos afirmar que la válvula más empleada es la isoporcentual, en particular cuando el comportamiento dinámico del proceso no es bien conocido o bien se sospecha que la válvula está mal calculada por no ser fiables los datos del proceso que han servido de base de cálculo, o bien existen cambios de carga importantes.

En la siguiente tabla se expone un resumen de criterios de selección de la curva característica de la válvula de control.

Tabla N° 4.13
SELECCIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULAS DE CONTROL

Variable	Aplicaciones	Características
Presión	Líquidos y gases en general	Isoporcentual
	Gas con retardo considerable entre la toma de presión y la válvula de control y con alta pérdida de carga de la válvula de control	Lineal
Caudal	Margen de caudal amplio	Lineal
	Margen de caudal estrecho y alta pérdida de carga de la válvula de control	Isoporcentual
Nivel	Pérdida de carga constante	Lineal
	Aumento de la pérdida de carga de la válvula con la carga del sistema sobrepasando el doble la pérdida de carga mínima de la válvula	Apertura rápida
Temperatura	En general	Isoporcentual

Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

4.4.3.3. Tipos de Servomotores para accionar las Válvulas de Control

Los servomotores pueden ser neumáticos, eléctricos, hidráulicos y digitales, si bien se emplean generalmente los dos primeros por ser más simples, de actuación rápida y tener una gran capacidad de esfuerzo. Puede afirmarse que el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente.

El servomotor neumático (gráfico 4.38 a) consiste en un diafragma con resorte que trabaja (con algunas excepciones) entre 3 y 15 psi (0,2 – 1 bar), es decir, que las posiciones extremas de la válvula corresponden a 3 y 15 psi respectivamente.

Al aplicar una cierta presión sobre el diafragma, el resorte se comprime de tal modo que el mecanismo empieza a moverse y sigue moviéndose hasta que se llega a un equilibrio entre la fuerza ejercida por la presión del aire sobre el diafragma y la fuerza ejercida por el resorte.

Idealmente, con una señal de 3 psi (0,2 bar) la válvula debe estar en la posición 0 de su carrera y para una señal de 15 psi (1 bar) en la posición 100. Asimismo debe existir una proporcionalidad entre las señales intermedias y sus correspondientes posiciones. En la práctica las válvulas de control se desvían de este comportamiento debido a las causas siguientes:

- Rozamientos en la estopada.
- Histéresis y falta de linealidad del resorte
- Área efectiva del obturador que varía con la carrera del vástago de la válvula
- Esfuerzo en el obturador de la válvula creado por la presión diferencial del fluido

- Fuerza adicional del servomotor necesaria para conseguir un cierre efectivo entre el obturador y el asiento.

En la válvula existe un equilibrio entre estas diversas fuerzas que viene dado por la siguiente fórmula (gráfico 4.39)

$$F_a \geq F_r + F_s + F_w + F_{b1} \pm F_{b2} + F_p$$

en la que :

F_a = Fuerza resultante obtenida por el servomotor, en kg

F_r = Fuerza de rozamiento, en kg

F_s = Fuerza de asentamiento, en kg

F_w = Peso del obturador, en kg

F_{b1} = Fuerza elástica del fuelle de estanqueidad, en kg

F_{b2} = Fuerza de desequilibrio del fuelle de estanqueidad, en kg

F_p = Fuerza estática y dinámica sobre el obturador, en kg

La fuerza resultante F_a obtenida por el actuador depende de la acción de la válvula (aire cierra, aire abre). En una acción directa (aire cierra) vale:

$$F_a = A_d \times P_a \times 1,02 - F_{sr} = A_d (P_a - F_2) \times 1,02$$

$$F_{sr} = A_d \times F_2 \times 1,02$$

en la que :

A_d = área efectiva del diafragma, en cm^2

P_a = presión de aire sobre el diafragma, en bar

F_{sr} = fuerza debida a la compresión final del muelle a carrera total, en kg

F_2 = compresión final del muelle a carrera total, en bar

En una válvula de acción inversa (aire abre) es:

$$F_d = A_d \times F_1 \times 1,02$$

en la que :

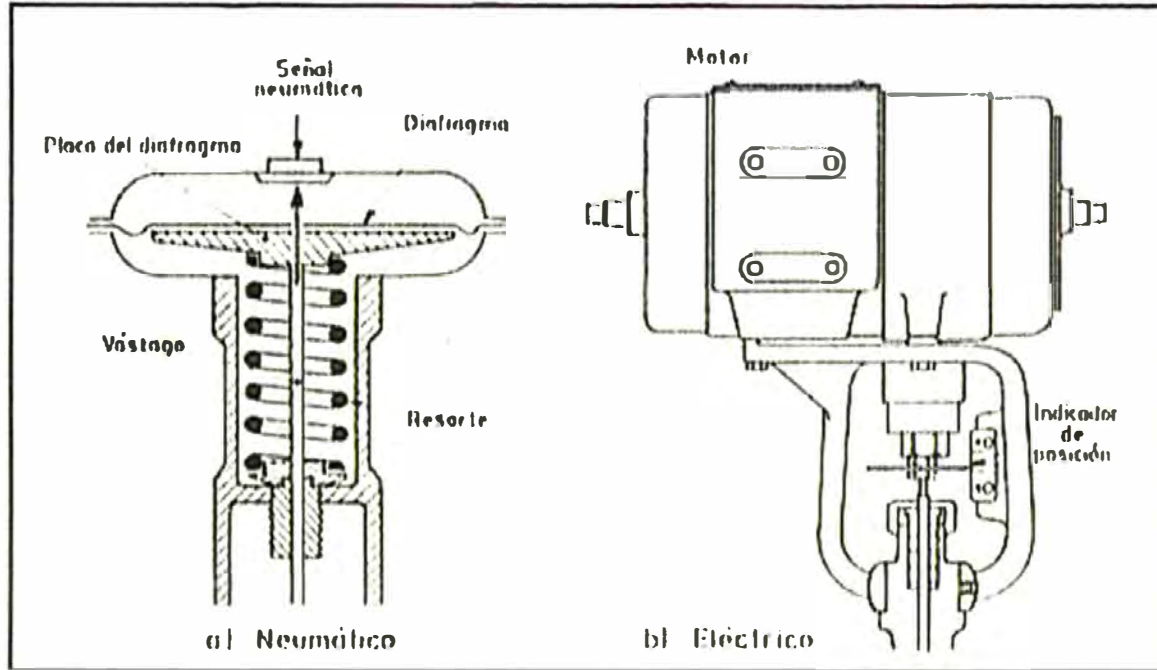
F_1 = compresión inicial del muelle a carrera cero, en bar.

Los fabricantes de válvulas normalizan los tamaños de los servomotores de acuerdo al tamaño de los cuerpos de las válvulas donde van montados.

El servomotor eléctrico es un motor eléctrico acoplado al vástago de la válvula a través de un tren de engranajes tal como se muestra en el gráfico 4.38 b. El motor se caracteriza fundamentalmente por su par y por el tiempo requerido, usualmente 1 minuto, para hacer pasar la válvula de la posición abierta a la cerrada o viceversa. Existen básicamente tres tipos de circuitos eléctricos de control capaces de actuar sobre el motor :

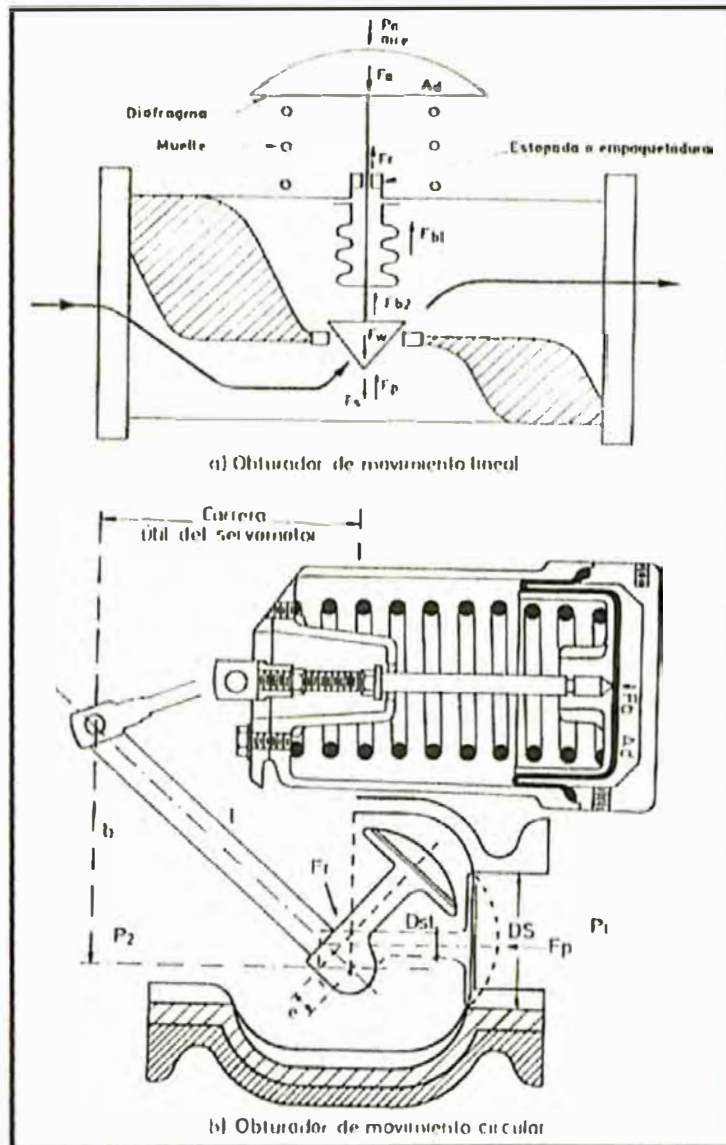
- a) Todo-nada.
- b) Flotante
- c) Proporcional.

TIPOS DE SERVOMOTORES O ACTUADORES



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Gráfico N° 4.39
FUERZAS QUE ACTÚAN EN UNA VÁLVULA DE CONTROL



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

El **circuito todo-nada** representado en el gráfico 4.40 consiste en un motor eléctrico unidireccional acoplado al vástago de la válvula con una leva que fija el principio y el final de la rotación del motor gracias a dos interruptores de final de carrera S_1 y S_2 .

Según la posición del elemento de control (cierre entre los contactos 1-2 o entre 1-3) se excita el devanado de la derecha o el de la izquierda y el motor gira en uno u otro sentido hasta el final de su carrera.

El **circuito flotante** del gráfico 4.41 consiste en un motor eléctrico bidireccional con interruptores de fin de carrera, acoplado al vástago de la válvula. El interruptor del controlador “flota” entre los dos contactos de accionamiento de disparo lento. El motor gira a derechas o a izquierdas según que el controlador cierre el contacto correspondiente y se para si el contacto móvil no toca ninguno de los fijos o bien cuando llega al final de su carrera.

El **circuito proporcional** del gráfico 4.42 está formado por un motor bidireccional, un relé de equilibrio y un potenciómetro de equilibrio. El controlador es un potenciómetro cuyo brazo móvil se mueve de acuerdo con el valor de la variable del proceso.

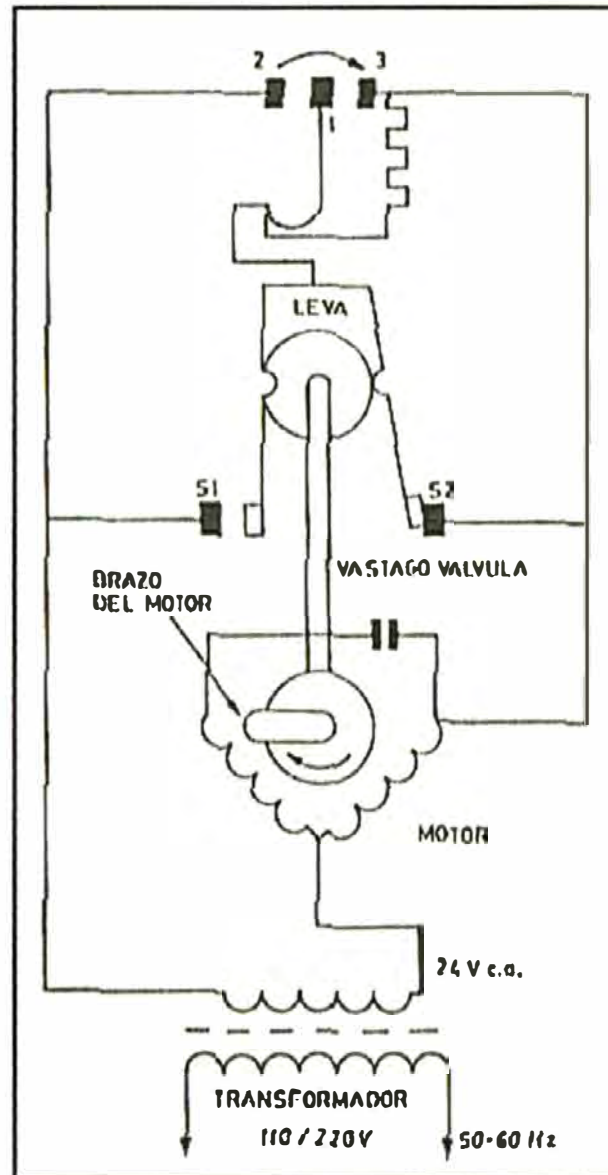
El corazón del circuito es el relé de equilibrio. Consiste en una armadura ligera en forma de U que pivota en su centro entre dos bobinados de control; posee una lámina con un contacto móvil que flota entre dos contactos fijos conectados a las bobinas del motor a través de dos interruptores de final de carrera.

El tiempo de recorrido del vástago varía de 15 segundos hasta 4 minutos y el par normal suele ser de 125 cm kg.

El motor eléctrico descrito es perfectamente adecuado para servicio intermitente. Sin embargo, cuando las características de control exigen una modulación continua en la posición de la servoválvula, el conjunto motor-relé de equilibrio está sometido a un trabajo demasiado duro, y su vida útil de servicio queda considerablemente acortada.

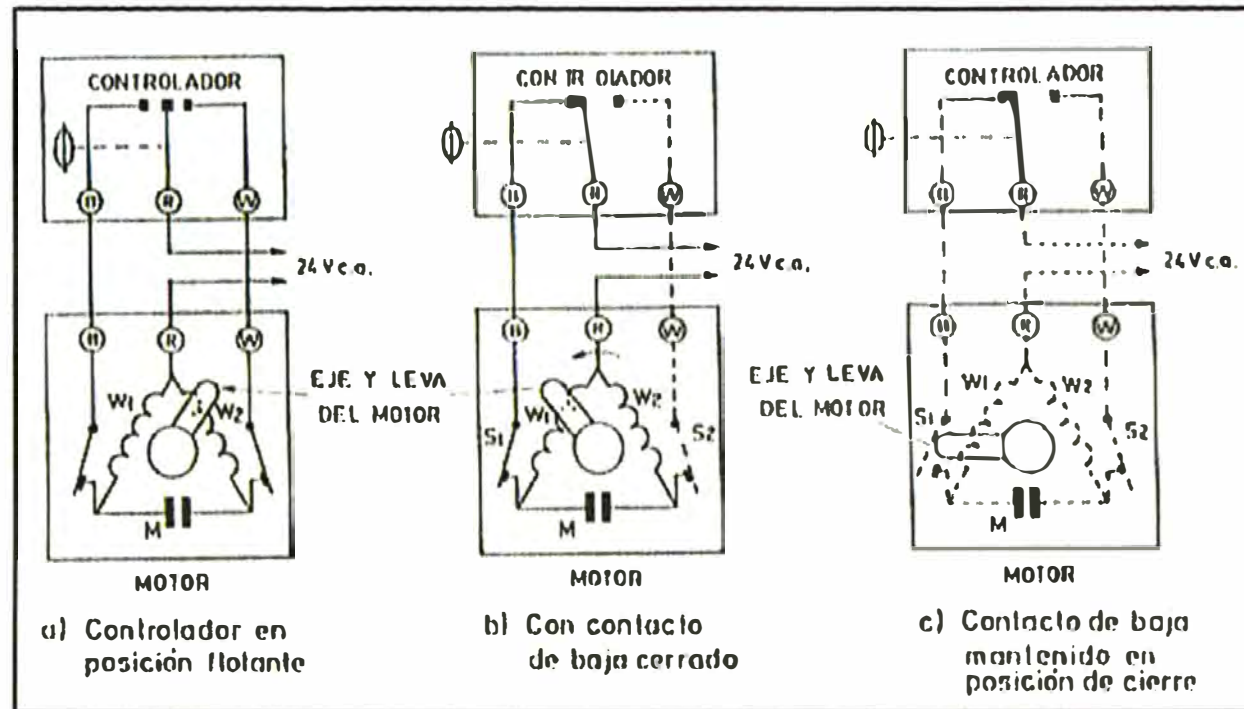
En estas condiciones, sistema más idóneo es el circuito de estado sólido a base de tiristores, a pesar de presentar los inconvenientes de su mayor coste y de la necesidad de disponer de dispositivos de protección adecuados contra las tensiones transitorias y los encendidos casuales.

Gráfico N° 4.40
SERVOMOTOR ELÉCTRICO PARA CIRCUITO TODO-NADA



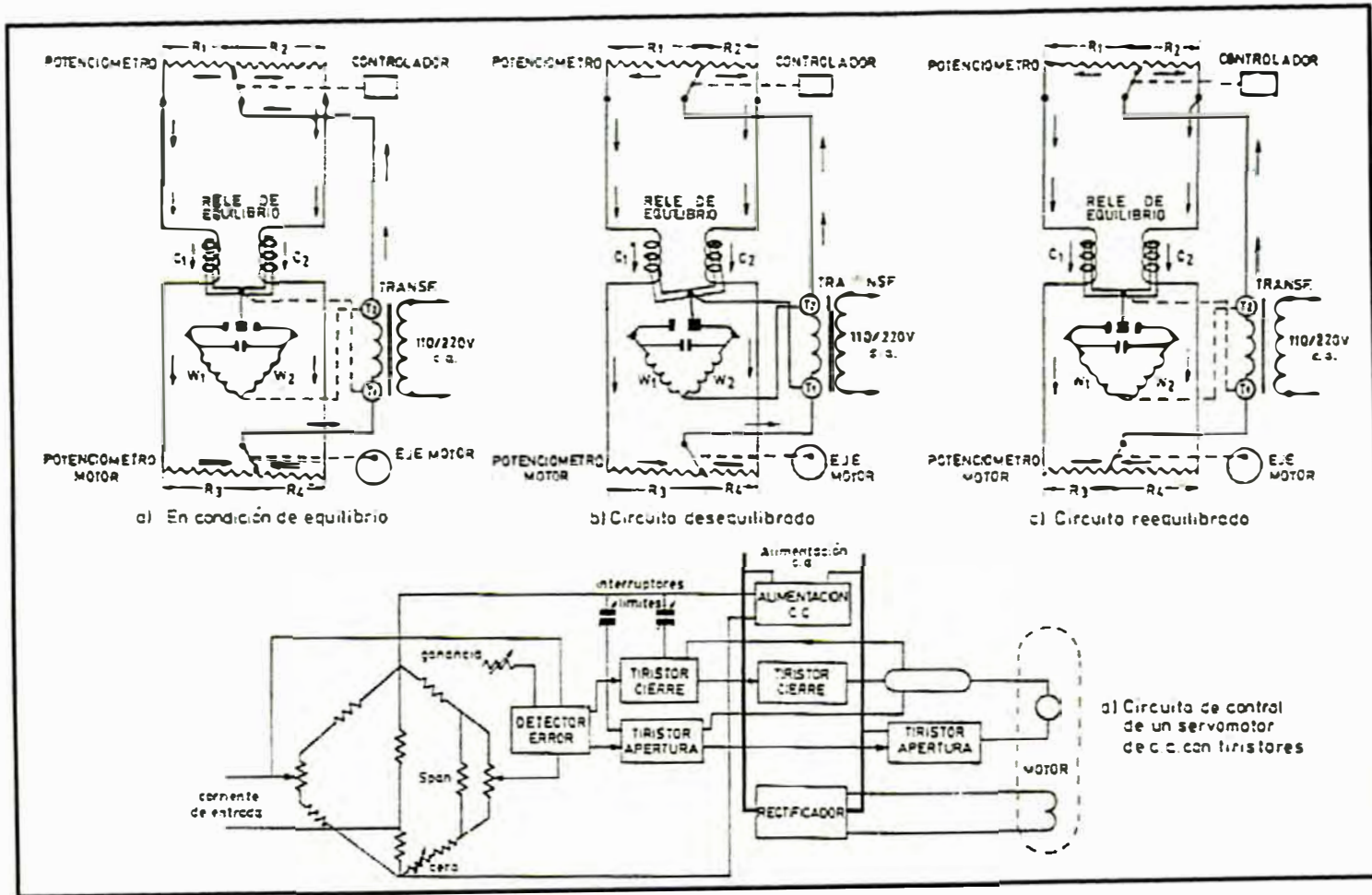
Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Gráfico N° 4.41 SERVOMOTOR ELÉCTRICO FLOTANTE



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Gráfico Nº 4.42
SERVOMOTOR ELÉCTRICO PROPORCIONAL



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

4.4.3.4. Dimensionamiento de las Válvulas de Control

La necesidad universal de normalizar el cálculo de dimensiones de las válvulas, no sólo en cuanto a tamaño sino también en cuanto a capacidad de paso del fluido ha llevado a los fabricantes y a los usuarios a adoptar un coeficiente que refleja y representa la capacidad de las válvulas de control.

El primer coeficiente de dimensionamiento de válvula que se utilizó fue el denominado C_v , que empleado inicialmente en Estados Unidos, se define como : “Caudal de agua en galones USA por minuto que pasa a través de la válvula en posición completamente abierta y con una pérdida de carga de una libra por pulgada cuadrada (psi)”.

En los países que emplean unidades métricas se suelen utilizar además el coeficiente K_v , que la norma internacional IEC-534-1987 sobre Válvulas de Control de Procesos Industriales define del siguiente modo : “Caudal de agua (de 5 a 40 °C) en m^3/h que pasa a través de la válvula a una apertura dada y con una pérdida de carga de 1 bar (10^5 Pa) (1,02 bar).

El coeficiente K_v para la válvula totalmente abierta se denomina K_{vs} mientras que el mínimo valor recibe el nombre de K_{v0} . Por lo tanto, la relación K_{vs} / K_{v0} es la denominada “rangeability” o “campo de control” que expresa la relación de caudales que la válvula puede controlar. En las válvulas de control isoporcentuales, esta relación suele valer 30 a 1 o bien 50 a 1 y en las lineales 15 a 1 o 30 a 1. La equivalencia entre los coeficientes K_v y C_v , para válvula totalmente abierta es:

$$K_v = 0,86 C_v \text{ (m}^3\text{/h)}$$

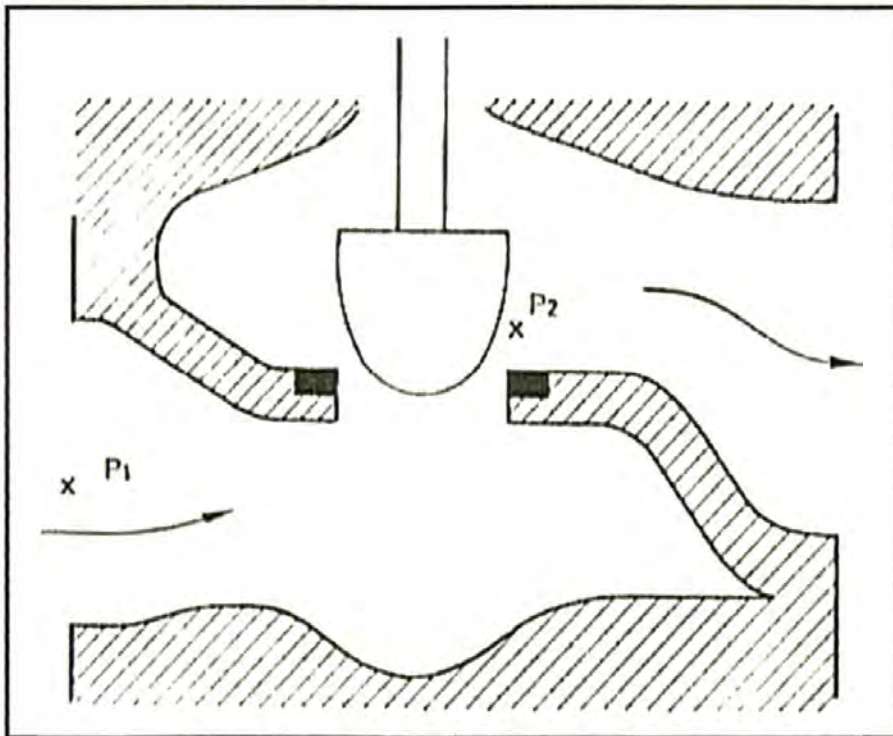
$$C_v = 1,16 K_v \text{ (galones por minuto)}$$

La válvula se comporta esencialmente como un orificio de paso variable que permite la circulación de un cierto caudal con una determinada pérdida de carga.

Aplicando el teorema de Bernoulli en los puntos 1 y 2 del gráfico 4.43 resulta:

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2}$$

Gráfico N° 4.43
VÁLVULA DE CONTROL
APLICACIÓN DEL TEOREMA DE BERNOULLI



Fuente Consultada : Instrumentación Industrial (6ª Edición) de Antonio Creus Solé

Suponiendo fluidos incomprensibles $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ luego:

$$V_2^2 - V_1^2 = \frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}$$

y como V_2 es mucho mayor que V_1 queda:

$$V_2 = \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}} = \sqrt{2h}$$

Por otro lado, la forma de la válvula da lugar a una resistencia que disminuye la velocidad. Luego ésta es:

$$V = \beta \sqrt{2h}$$

en la que:

β = coeficiente de resistencia (sin dimensiones)

V = velocidad del fluido, en m/s

h = altura de presión entre la entrada y salida de la válvula en m

y como :

$$q = FV$$

siendo q = caudal a través de la válvula, en m³/s

F = sección del orificio de paso, en m²

resulta

$$q = F\beta\sqrt{2h} = F\beta\sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}} \cdot 10^2 \text{ m}^3 / \text{s} \dots\dots\dots(1)$$

en la que:

Δp = pérdida de carga en bar a través de la válvula (1 bar = 10⁵ Pascal)

ρ = densidad del fluido, en kg/dm³

Como por definición el coeficiente de la válvula K_v , corresponde al caudal en m³/h para una pérdida de carga $\Delta p = 1$ bar y la densidad del agua entre 5 y 40°C es de 1000 kg/m³ o 1 kg/dm³, resulta:

$$K_v = 3600F\beta\sqrt{200} \text{ m}^3 / \text{h} = 50.911F\beta \text{ m}^3 / \text{h} \dots\dots\dots(2)$$

fórmula que permite determinar el contorno del obturador ya que relaciona el caudal en función del área de paso.

Después de sustituir la fórmula anterior en la fórmula (1) se tiene:

$$Q = K_v \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \text{ m}^3 / \text{h}$$

y de aquí:

$$K_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \text{ m}^3 / \text{h}$$

donde:

Q = caudal máximo en m³/h

ρ = densidad en kg/dm³ o g/cm³

Δp = pérdida de carga, en bar para el caudal máximo

Analizando fórmula (2) vemos que el coeficiente de la válvula depende del área de paso y de la resistencia al paso del fluido, es decir, de la configuración hidráulica, del estado de las superficies interiores, del tipo de válvula, etc. Son tantas esas variables y tan compleja su variación que es prácticamente imposible fijar los valores de K_v sin recurrir a la experimentación.

Las normas VDI / VDE describen los procedimientos de ensayo para la determinación práctica del coeficiente de la válvula.

4.4.4. Criterios de selección de un Cilindro Neumático para el Sistema de Accionamiento de las Ventilás

La selección del cilindro dependerá de la fuerza y velocidad que se requieren para desplazar la carga. Los cilindros hidráulicos tienen mayor capacidad de fuerza que los neumáticos; sin embargo, estos últimos son más veloces. La fuerza que produce un cilindro es igual al área transversal del cilindro multiplicada por la presión de trabajo, es decir, la diferencia entre ambos lados del pistón del cilindro. Si se utiliza un cilindro con presión neumática de trabajo de 500 kPa y un diámetro de 50 mm, se obtiene una fuerza de 982 N. Un cilindro del mismo diámetro con presión de trabajo de 15 000 kPa produce una fuerza de 29.5 kN.

Si el gasto de un líquido hidráulico que fluye por un cilindro tiene un volumen Q por segundo, el volumen que abarca el pistón en un tiempo de 1 s debe ser igual a Q . Sin embargo, un pistón con área transversal A , se trata de un movimiento que recorre una distancia igual a v en un 1 s, por lo que $Q = Av$. Por lo tanto, la velocidad v de un cilindro hidráulico es igual al gasto del líquido Q que pasa por el cilindro dividido entre el área transversal A del cilindro. Si un cilindro hidráulico tiene un diámetro de 50 mm y un flujo hidráulico de $7.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, la velocidad es de 3.8 m/s. No es posible calcular de esta manera la velocidad de un cilindro neumático dado que esta velocidad depende de la velocidad de desfogue del aire que precede al pistón que desplaza. Para regular la velocidad se puede utilizar una válvula.

Un cilindro lineal provisto de las conexiones necesarias se usa para producir movimientos rotatorios con ángulos de menos de 360° , que es caso de este proyecto ya que es necesario producir un giro en las ventilas de entrada de aire fresco y salida de aire húmedo del secador.

4.4.5. Criterios de selección del Controlador Lógico Programable (PLC) del Sistema de Control Automático del Secador de Madera Convencional

Para la selección de un Controlador Lógico Programable (PLC) es necesario evaluar su capacidad y tipo de PLC, los factores que se deben tener en cuenta son:

- ¿Qué capacidad de entradas / salidas se requiere? Es decir, la cantidad de entradas / salidas, la capacidad de expansión para necesidades futuras.
- ¿Qué tipo de entradas / salidas se requieren? Es decir, tipo de entradas / salidas analógicas o discretas, tipo de aislamiento, fuente de alimentación incluida para entradas / salidas, acondicionamiento de señal, etc.

- ¿Qué capacidad de memoria se necesita? Esto tiene relación con la cantidad de entradas / salidas y la complejidad del programa utilizado.
- ¿Qué velocidad y capacidad debe tener la CPU? Esto tiene relación con cuántos tipos de instrucciones manejará el PLC. Cuanto más tipos haya, más rápida deberá ser la CPU. Asimismo, cuanto mayor sea la cantidad de entradas / salidas que se manejen, más rápida tendrá que ser la CPU requerida.

4.4.6. Criterios de selección de la Puesta a Tierra

En toda instalación eléctrica es necesario garantizar la seguridad de las personas que harán uso de ella. Para tal efecto es necesario dotarlas de los mecanismos de protección que corresponda.

Toda instalación eléctrica debe contar con un sistema de protección; el método más efectivo y el que presenta la mayor seguridad para las personas es el sistema de puestas a tierra de protección.

Los objetivos de instalar la puesta a tierra en conductores eléctricos, materiales y partes de equipo que no deben transportar corrientes eléctricas indeseables en forma permanente son:

- Conducir a tierra todas las corrientes de fuga, producidas por una falla de aislamiento que haya energizado las carcazas de los equipos.
- Evitar que en las carcazas de los equipos eléctricos aparezcan tensiones que resulten peligrosas para la vida humana.
- Permitir que la protección del circuito eléctrico (disyuntor magnético térmico), despeje la falla, en un tiempo no superior a 5 segundos.

- Limitar sobre tensiones debidas a descargas atmosféricas y fenómenos transitorios.
- Limitar la diferencia de potencial a tierra en un circuito, durante su operación normal.

De acuerdo con las dimensiones de terreno disponible para la ejecución de una puesta a tierra, se usan los siguientes tipos de elementos para su construcción:

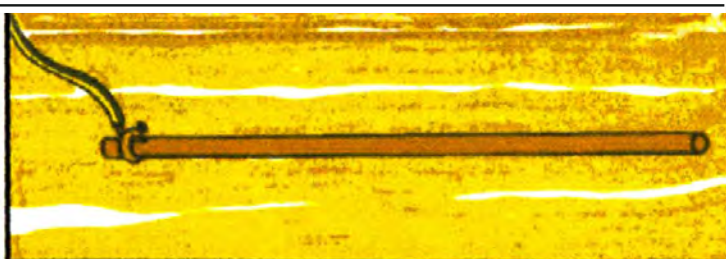
- Electrodo verticales (barras), ver gráfico 4.44.
- Conductores horizontales, ver gráfico 4.45.
- Malla o reticulado, ver gráfico 4.46.

Gráfico N° 4.44
ELECTRODO VERTICAL (BARRA) EN UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA



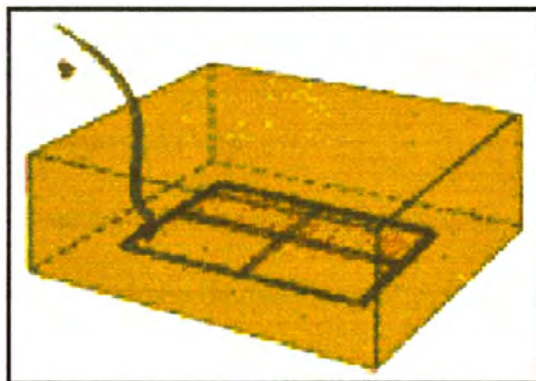
Fuente Consultada : Manual de Instalación de Sistema de Puesta a Tierra

Gráfico N° 4.45
CONDUCTOR HORIZONTAL EN UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA



Fuente Consultada : Manual de Instalación de Sistema de Puesta a Tierra

Gráfico N° 4.46
MALLA O RETICULADO EN UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA



Fuente Consultada : Manual de Instalación de Sistema de Puesta a Tierra

Para lograr valores óptimos de resistencia a tierra en una instalación de puesta a tierra, se deben considerar los siguientes factores:

- Es necesario conocer que tan buen conductor de la electricidad es el suelo y para esto es necesario saber su resistencia eléctrica, la cual es determinada por el tipo de suelo, el contenido de humedad del suelo y su composición química.
- Alternativas para la disposición de un sistema a tierra.

No todos los terrenos resultan ser buenos conductores de la electricidad, por ejemplo: la tierra orgánica húmeda es 10 veces mejor conductora que la tierra húmeda y 100 veces mejor conductora en comparación con la tierra seca.

El agregar aditivos al terreno para mejorar la conductividad de los mismos, es un método para obtener una mejor puesta a tierra. En terrenos de muy baja conductividad se puede rebajar el valor de una puesta a tierra hasta en un 40% por uso de aditivos.

Ahora veamos los requisitos para el cálculo de una puesta a tierra:

Tensión de seguridad (V_s), que es la tensión que alcanza una carcasa energizada producto de una falla de aislamiento no debe superar los niveles de tensión que resultan no ser peligrosos para la vida de las personas; a estos niveles de tensión se les denomina tensión de seguridad (V_s).

$V_s = 65 \text{ V}$, en ambientes secos o de bajo riesgo eléctrico.

$V_s = 24 \text{ V}$, en ambientes húmedos o de alto riesgo eléctrico.

Para que una puesta a tierra controle estos potenciales eléctricos de seguridad, es decir, que la tensión que aparece entre una carcasa energizada y la tierra, no supere los niveles de peligro para la vida de las personas. La puesta a tierra debe tener el óptimo valor de resistencia a tierra.

Para el cálculo de esta resistencia a tierra, se aplica la siguiente fórmula:

$$\mathbf{RTP = \frac{V_s}{2.5 I_n}}$$

V_s : tensión de seguridad (V)

RTP : resistencia de la puesta a tierra (Ohms)

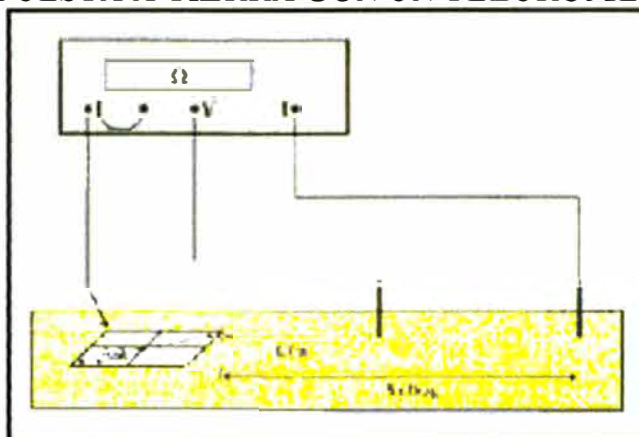
I_n : Corriente nominal del protector del circuito (A)

Para realizar la medición de la puesta a tierra se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La instalación debe estar desenergizada.
- Se deben retirar todas las conexiones de la puesta a tierra.
- La medición se efectúa con un instrumento especial para la evaluación de puestas a tierra llamado Telurómetro.
- Uno de los electrodos de corriente del instrumento se conecta a la puesta a tierra.
- El otro electrodo de corriente del instrumento se conecta al terreno a través de un electrodo auxiliar a una distancia no inferior a los 20 m. en el caso de una malla y una distancia de 10 veces la longitud de un electrodo vertical.

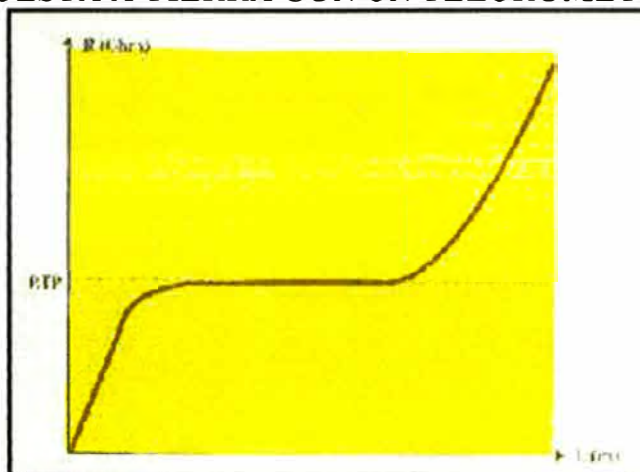
- El tercer electrodo del instrumento (potencial), se conecta a través de un electrodo auxiliar al terreno y se desplaza sucesivamente entre los electrodos de corriente.
- Cada medición se grafica y finalmente se concluye el valor de la puesta a tierra con la curva del gráfico, ver gráficos 4.47 y 4.48.

Gráfico N° 4.47
DISPOSICIÓN PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA PUESTA A TIERRA CON UN TELURÓMETRO



Fuente Consultada : Manual de Instalación de Sistema de Puesta a Tierra

Gráfico N° 4.48
DISPOSICIÓN PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA PUESTA A TIERRA CON UN TELURÓMETRO



Fuente Consultada : Manual de Instalación de Sistema de Puesta a Tierra

Para poder decidir la cantidad de dosis de aditivo Thor-gel que se adicionará al terreno, se tiene en cuenta la tabla N° 4.14:

Tabla N° 4.14
SELECCIÓN DE LA CANTIDAD DE DOSIS DE THOR-GEL

Naturaleza del terreno	Resistividad (Ω-m)	Dosis de Thor-gel de 5 kg x m³
Terrenos cultivables fértiles, terraplenes compactos húmedos.	50	1
Terrenos cultivables poco fértiles, terraplenes fofos secos.	500	1 a 2
Suelos pedregosos desnudos, arena seca permeable	3000	2
Suelos rocosos fraccionados	6000	2 a 3
Suelos rocosos compactos	14000	3

Fuente Consultada : Manual de Instalación de Sistema de Puesta a Tierra

CAPÍTULO 5

DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y MEDICIONES

En este capítulo se describe en forma detallada el diseño del sistema de control automático propuesto, que tiene por objetivo incrementar la eficiencia de un sistema de secado convencional. La implementación del nuevo sistema permitió demostrar la veracidad de la hipótesis, quedando comprobado que el sistema de control propuesto permite incrementar la eficiencia del secado.

5.1. Diseño

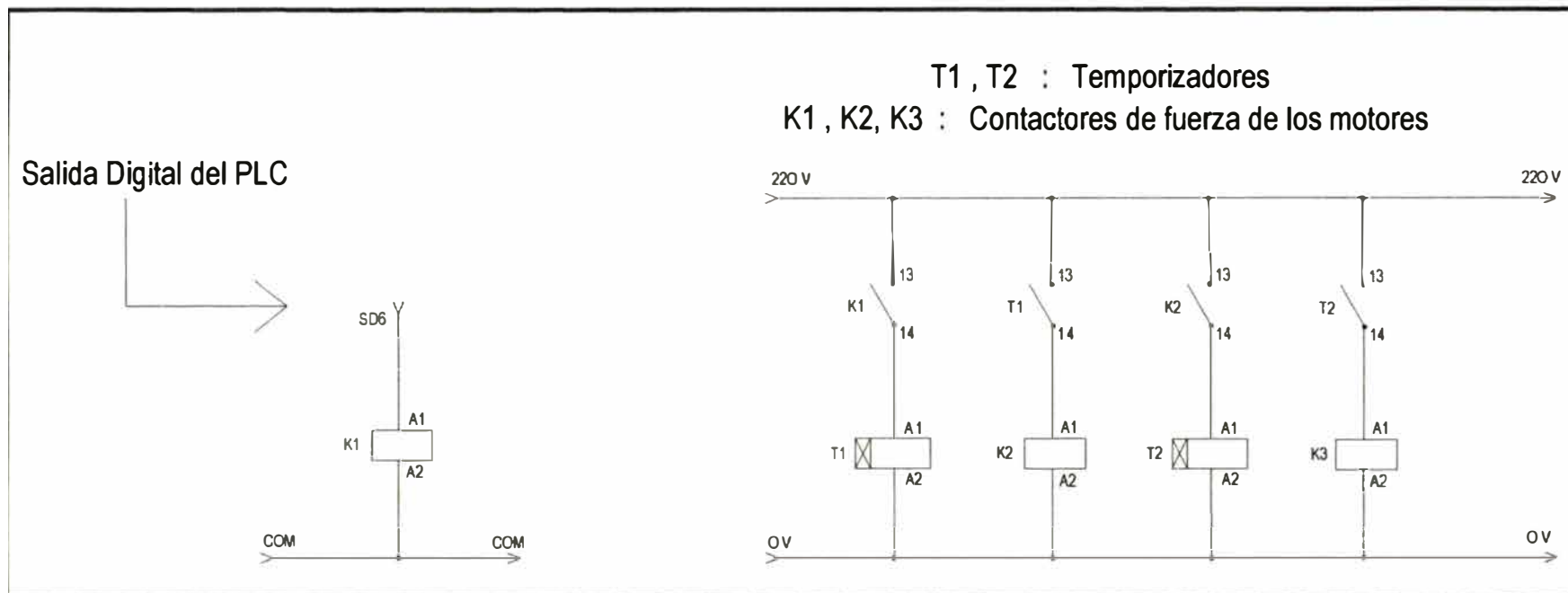
5.1.1. Diagramas

A continuación veamos los diagramas de conexión de componentes del nuevo sistema de control de secado de madera propuesto. Para efectos de presentación, se ha diagramado la conexión de componentes del sistema en 7 diagramas, que se describen a continuación:

5.1.1.1. Diagrama Eléctrico de Instalación del Tablero de Arranque Automático de los Motores Eléctricos de los Ventiladores del Secador

Una de las salidas digitales del PLC se encarga de accionar la bobina del contactor de fuerza K1 que se encarga de arrancar el motor N° 01, entonces se activa el contacto normalmente abierto de K1 (13 – 14) que permite el paso de la corriente hacia la bobina del temporizador T1, iniciándose la cuenta del tiempo T1 (el temporizador T1 está regulado para 12 segundos) , después de transcurrido el tiempo del temporizador T1, se activa el contacto normalmente abierto de T1 (13 - 14) que permite el paso de la corriente hacia la bobina del contactor de fuerza K2 que se encarga de arrancar el motor N° 02, entonces se activa el contacto normalmente abierto de K2 (13 – 14) que permite el paso de la corriente hacia la bobina del temporizador T2, iniciándose la cuenta del tiempo T2 (el temporizador T2 está regulado para 12 segundos) , después de transcurrido el tiempo del temporizador T2, se activa el contacto normalmente abierto de T2 (13 - 14) que permite el paso de la corriente hacia la bobina del contactor de fuerza K3, que se encarga de arrancar el motor N° 03.

Diagrama N° 5.1
DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL CIRCUITO DE MANDO AUTOMÁTICO DE ARRANQUE DE LOS TRES MOTORES ELÉCTRICOS DE LOS VENTILADORES DEL SECADOR

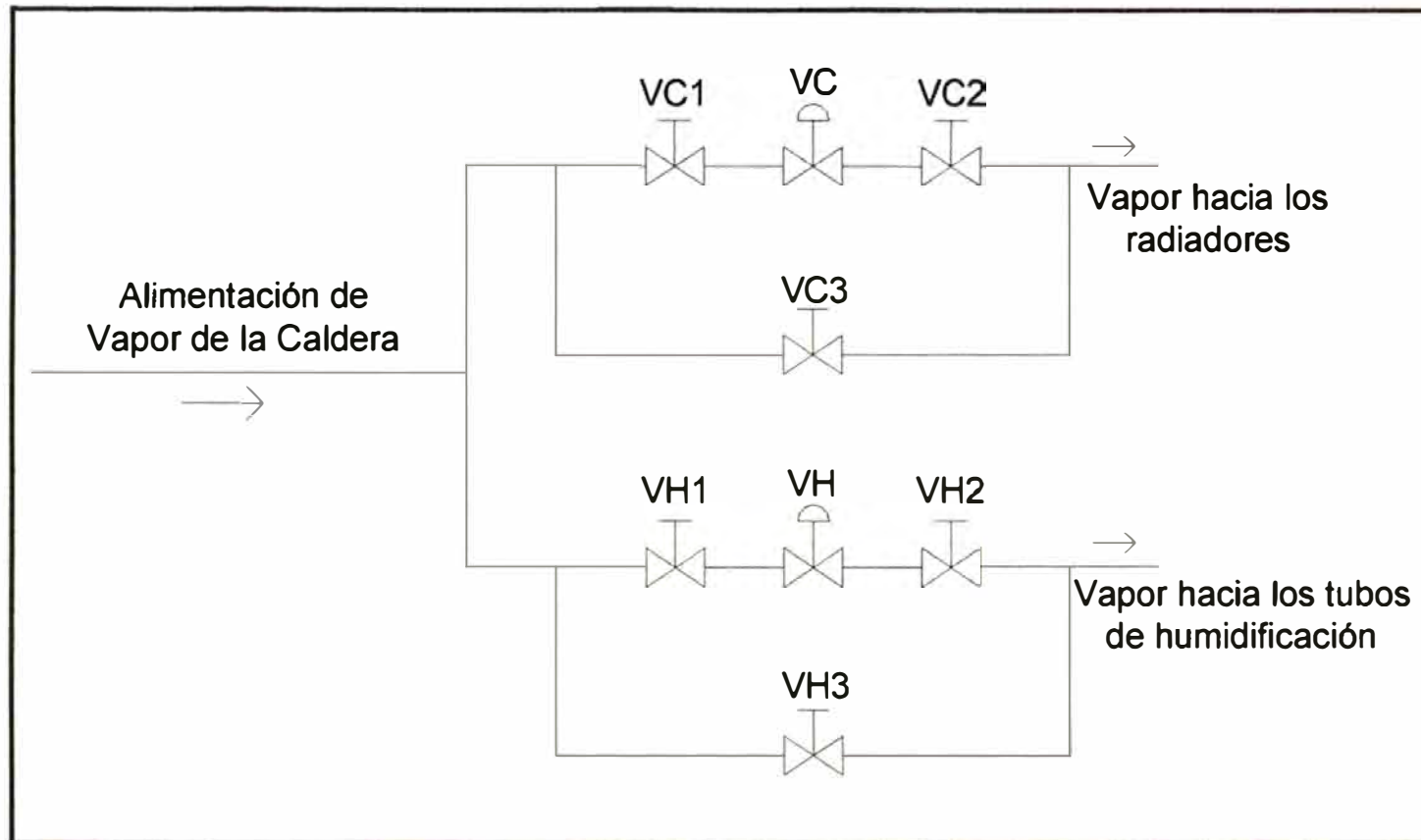


Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

5.1.1.2. Diagrama Mecánico de Instalación de la Válvula de Vapor con Control Proporcional del Sistema de Calefacción y de la Válvula con Control ON/OFF del Sistema de Humidificación

En este diagrama, primero vemos el sistema de alimentación de vapor de los radiadores, en donde la válvula de control VC, es una válvula de control de 1-1/2” con actuador eléctrico proporcional, que se instala entre dos válvulas de vapor de accionamiento manual VC1 y VC2, que trabajan totalmente abiertas y cuya finalidad es cerrarlas en el caso de que sea necesario reparar la válvula de control VC. La válvula VC3 trabaja normalmente cerrada y tiene por finalidad ser una válvula para controlar el flujo de vapor a los radiadores en forma manual, cuando la válvula de control VC entra en mantenimiento o reparación.

En segundo lugar, vemos el sistema de alimentación de vapor de los tubos de humidificación del secador, en donde la válvula de control VH, es una válvula de control de 3/4” con actuador neumático ON/OFF, que se instala entre dos válvulas de vapor de accionamiento manual VH1 y VH2, que trabajan totalmente abiertas y cuya finalidad es cerrarlas en el caso de que sea necesario reparar la válvula de control VH. La válvula VH3 trabaja normalmente cerrada y tiene por finalidad ser una válvula para controlar el flujo de vapor a los tubos de humidificación en forma manual, cuando la válvula de control VH entra en mantenimiento o reparación.

DIAGRAMA MECÁNICO DE INSTALACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL DEL SISTEMA DE SECADO AUTOMÁTICO

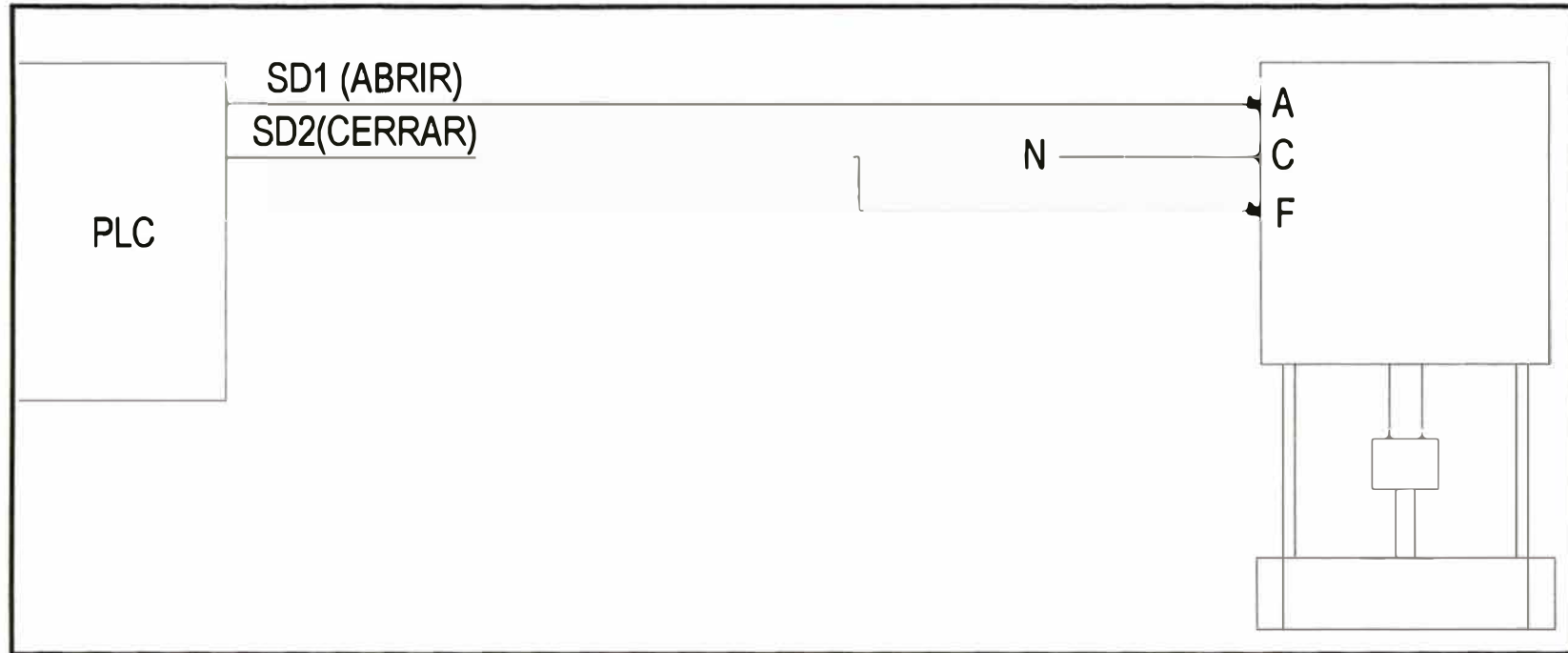
Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

5.1.1.3. Diagrama Eléctrico de la Válvula de Vapor con Control Proporcional del Sistema de Calefacción

Una de las salidas digitales del PLC (SD1) es la encargada de enviar una señal del tipo PI (Proporcional, integral) para que el motor gire en el sentido que el vástago de la válvula de control se desplace hacia arriba y permita el paso de vapor hacia los tres radiadores del Secador, dependiendo de las condiciones en que se encuentra la temperatura de bulbo seco en el secador.

La salida digital del PLC (SD2) es la encargada de enviar una señal del tipo PI (Proporcional, integral) para que el motor gire en el sentido que el vástago de la válvula de control se desplace hacia abajo y obstruya el paso de vapor hacia los tres radiadores del Secador, dependiendo de las condiciones en que se encuentra la temperatura de bulbo seco en el secador.

Diagrama N° 5.3
DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA ENTRE EL PLC Y LA VÁLVULA DE CONTROL PROPORCIONAL CON
SERVOMOTOR ELÉCTRICO



Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

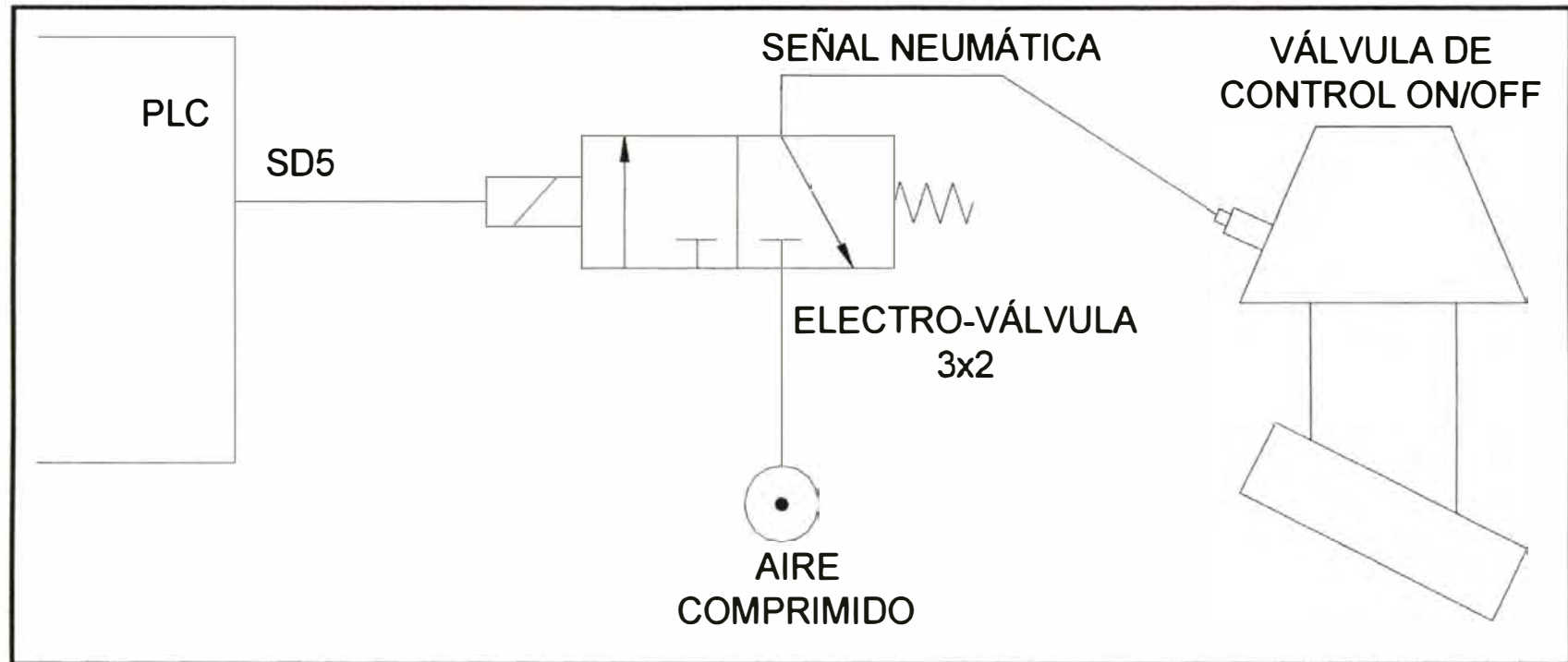
5.1.1.4. Diagrama Electro-neumático de la Válvula de Control con Actuador

Neumático ON/OFF del Sistema de Humidificación

En este diagrama, se observa que la válvula de control es accionada neumáticamente por la electroválvula 3x2 (3 vías, 2 posiciones). Esta electroválvula es accionada por la salida digital SD5 del PLC.

La válvula de control se encuentra inicialmente en posición normalmente cerrada entonces el actuador neumático permite que la válvula se abra para permitir el paso de vapor hacia los tres tubos con agujeros que se encuentran distribuidos en el secador, para humidificar el ambiente del interior de la cámara.

Diagrama N° 5.4
DIAGRAMA ELECTRONEUMÁTICO DE LA VÁLVULA DE CONTROL DEL SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN DEL SECADOR

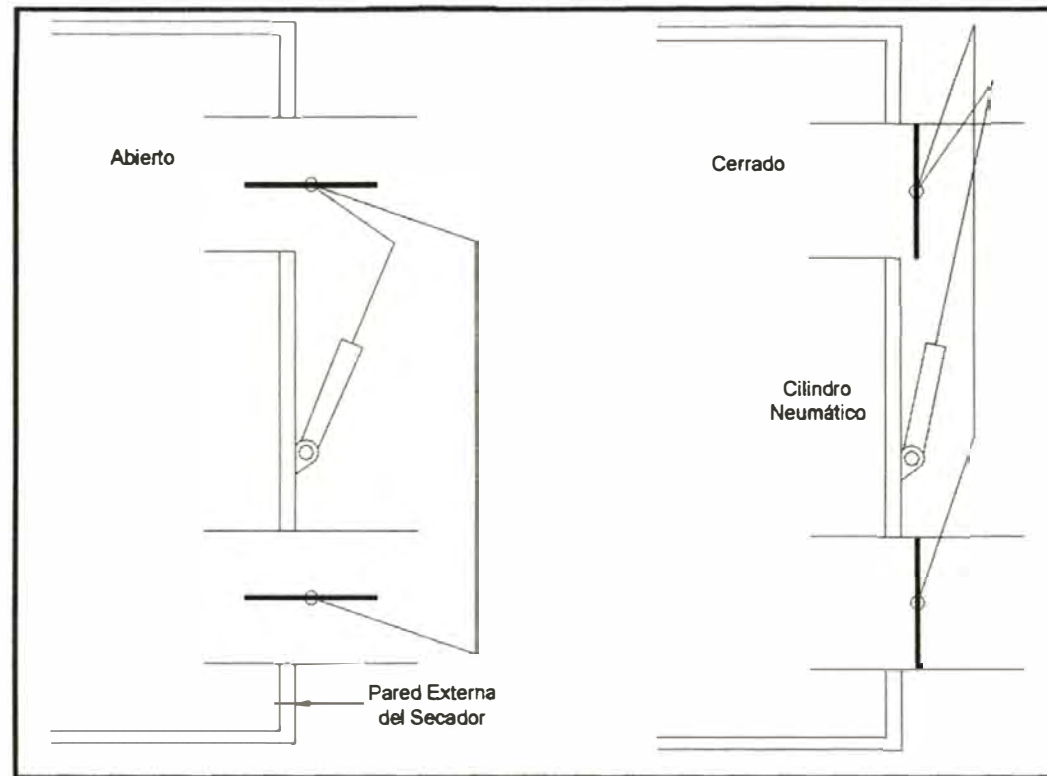


Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

5.1.1.5. Diagrama Mecánico de Instalación del Cilindro Neumático para el Accionamiento de las Ventiladas

Se tiene un diagrama de vista de perfil de la instalación del cilindro neumático que acciona las seis ventiladas (dumpers de ventilación). Estas ventiladas están unidas mecánicamente por ejes de fierro y platinas de fierro, de tal forma que el vástago del cilindro neumático se encuentra unido al eje superior de las ventiladas, mediante conexiones mecánicas con platinas de fierro.

Entonces, cuando el vástago del cilindro está en posición retorno los dumpers están en posición abierto y cuando el vástago ha salido completamente, los dumpers están posición cerrado.

Diagrama N° 5.5**DIAGRAMA MECÁNICO DE INSTALACIÓN DEL CILINDRO NEUMÁTICO EN LA CÁMARA DE SECADO**

Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

5.1.1.6. Diagrama Electro-neumático del Cilindro Neumático para el Accionamiento de las Ventiladas

A continuación explicamos el funcionamiento de este circuito electro-neumático:

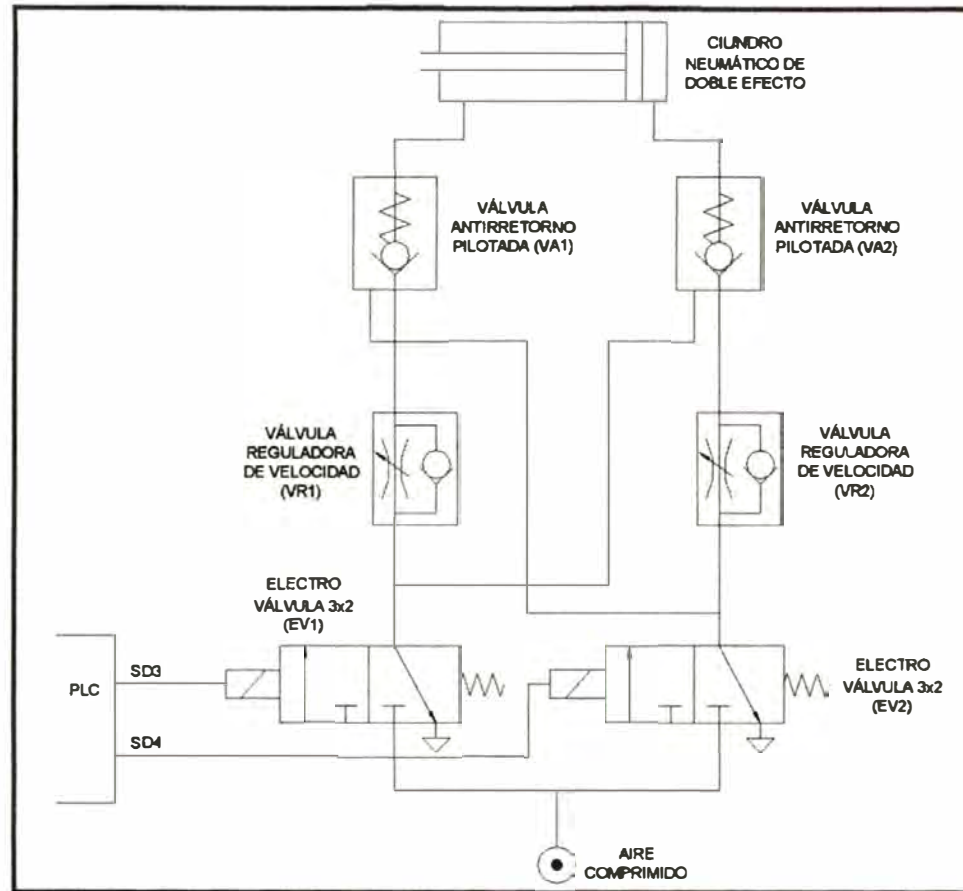
Cuando la salida digital SD3 del PLC se activa, se acciona la electroválvula 3x2 EV1, dejando pasar el aire comprimido hacia la válvula reguladora de velocidad VR1 que deja pasar el aire en ese sentido, luego el aire pasa por la válvula antirretorno pilotada VA1 que deja pasar el aire en ese sentido, el aire que está al otro lado del émbolo del cilindro neumático pasa por la válvula antirretorno pilotada VA2 ya que recibe una señal neumática de pilotaje de la salida de la electroválvula EV1, lo que permite que el aire pase en ambos sentidos, entonces el aire pasa por la válvula reguladora de velocidad VR2 que se encarga de regular la velocidad de retorno del vástago del cilindro neumático (en el caso específico de este sistema lo regulamos de tal manera que la carrera de retorno se efectúe en 60 segundos), a continuación el aire sale por la purga de la electroválvula 3x2 EV2. Cuando cesa la señal discreta SD3 del PLC, automáticamente cesa la señal de pilotaje de la válvula antirretorno pilotada VA2, lo cual origina que esta válvula evite la descarga de aire y se detenga el movimiento del cilindro a una posición deseada.

Cuando la salida discreta SD4 del PLC se activa, se acciona la electroválvula 3x2 EV2, dejando pasar el aire comprimido hacia la válvula reguladora de velocidad VR2 que deja pasar el aire en ese sentido, luego el aire pasa por la válvula antirretorno pilotada VA2 que deja pasar el aire en ese sentido, el aire que está al otro lado del émbolo del cilindro neumático pasa por la válvula antirretorno pilotada VA1 ya que recibe una señal neumática de pilotaje de la salida de la electroválvula EV2, lo que permite que el aire pase en ambos sentidos, entonces el aire pasa por la válvula

reguladora de velocidad VR1 que se encarga de regular la velocidad de salida del vástago del cilindro neumático (en el caso específico de este sistema lo regulamos de tal manera que la carrera de salida se efectúe en 60 segundos), a continuación el aire sale por la purga de la electroválvula 3x2 EV1. Cuando cesa la señal discreta SD4 del PLC, automáticamente cesa la señal de pilotaje de la válvula antirretorno pilotada VA1, lo cual origina que esta válvula evite la descarga de aire y se detenga el movimiento del cilindro a una posición deseada.

Diagrama N° 5.6

DIAGRAMA ELECTRO-NEUMÁTICO DE ACCIONAMIENTO DEL CILINDRO NEUMÁTICO DE LOS DUMPERS DE VENTILACIÓN



Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

5.1.1.7. Diagrama Eléctrico de Instalación del Tablero del PLC (Controlador Lógico Programable)

En este diagrama detallamos la conexión eléctrica entre el Controlador Lógico Programable (PLC) y la Tarjeta Electrónica de Interface de Entradas y Salidas, donde especificamos que se conectan en total : dos entradas digitales, siete salidas digitales y catorce entradas analógica.

Entradas Digitales :

ED1 : Entrada que indica que el selector del tipo de secado está en modo automático o en modo manual.

ED2 : entrada que indica si alguno de los relés térmicos de los tres motores está activado, porque alguno de los motores eléctricos está sobrecargado.

Salidas Digitales :

SD1 : Acciona el actuador eléctrico para que gire en sentido de apertura de la válvula de control para el paso de vapor por los radiadores, con una señal PI (Proporcional, Integral).

SD2 : Acciona el actuador eléctrico para que gire en sentido de cierre de la válvula de control para el paso de vapor por los radiadores, con una señal PI.

SD3 : Acciona la bobina electromagnética para la salida del vástago del cilindro neumático y se abran los dumpers de ventilación, con una señal PI.

SD4 : Acciona la bobina electromagnética para el retorno del vástago del cilindro neumático y se cierran los dumpers de ventilación, con una señal PI.

SD5 : Envía una señal digital para el accionamiento de la bobina electromagnética para el retorno del vástago del actuador neumático de la válvula de control para humidificación del secador, que normalmente está cerrada, con una señal modulante.

SD6 : Envía una señal digital para el accionamiento de la bobina electromagnética del contactor eléctrico de fuerza del primer motor eléctrico de los ventiladores del secador.

SD7 : Envía una señal digital para el accionamiento de la alarma, que indica la presencia de una situación de falla en el funcionamiento del secador, tal como la activación del relé térmico de uno de los motores eléctricos, una excesiva diferencia entre la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo, o una excesiva diferencia entre la medición de la humedad de la maderas en los diferentes puntos de la cámara de secado.

Entradas Analógicas :

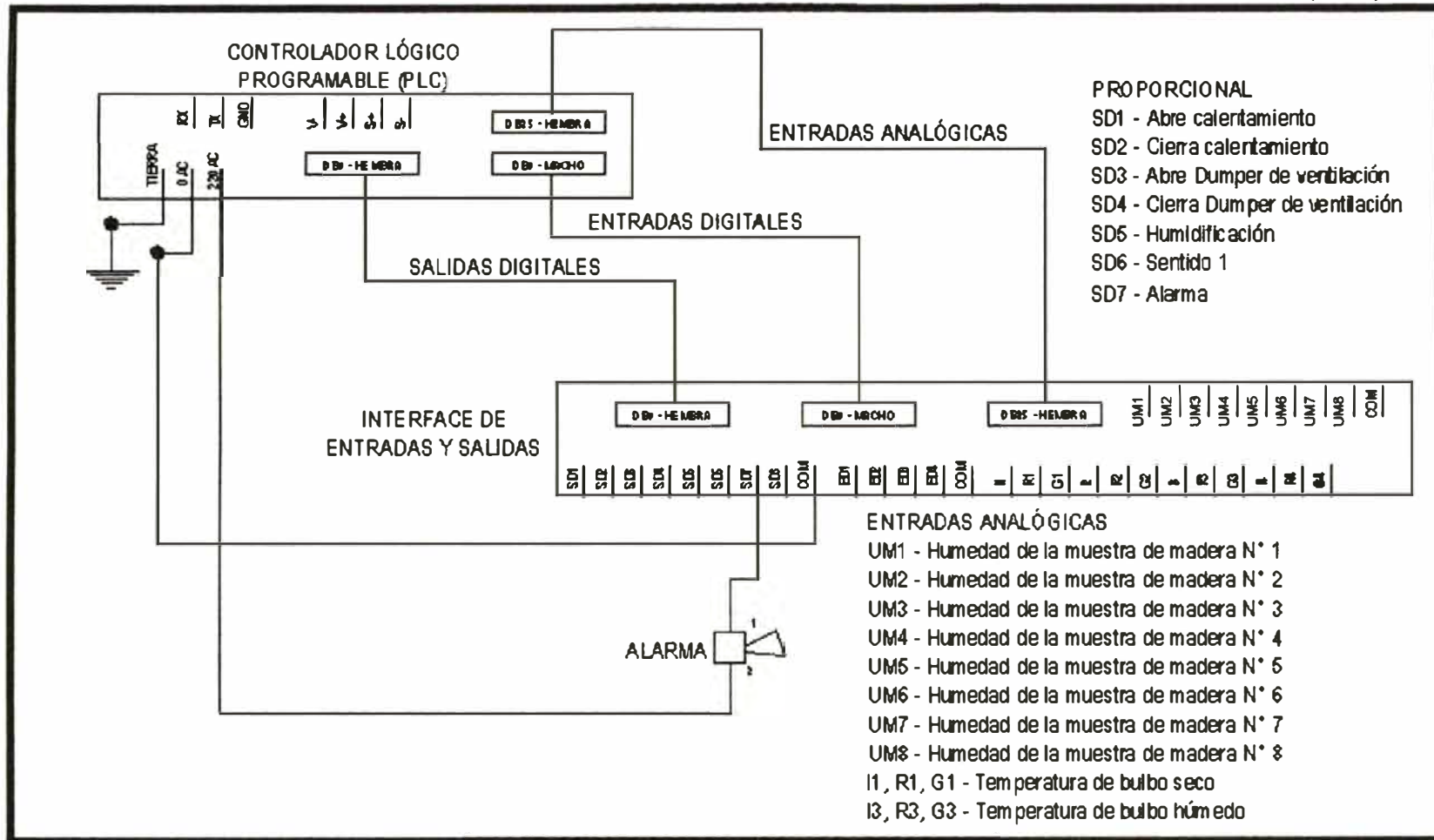
UM1, UM2, UM3, UM4, UM5, UM6, UM7 y UM8 : Puntos de medición del contenido de humedad de la madera a lo largo de la cámara de secado, que permiten obtener un contenido de humedad de la madera promedio, que sirve como referencia para el proceso de secado.

I1, R1 y G1 : Entradas para la toma de datos del sensor Pt100 de 3 hilos, para la medición de la Temperatura de Bulbo Seco.

I3, R3 y G3 : Entradas para la toma de datos del sensor Pt100 de 3 hilos, para la medición de la Temperatura de Bulbo Húmedo.

Diagrama N° 5.7

DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONEXIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)



Fuente Consultada : Elaboración Propia
 Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

5.1.2. Justificación del Diseño Propuesto

A continuación se mencionan los criterios para la selección de cada uno de los equipos del sistema de control de la cámara de secado.

5.1.2.1. Justificación de la Selección de los Sensores de Temperatura Pt100 de 3 hilos para la medición de la temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo

En primer lugar, se tomó en cuenta que las etapas del proceso de secado convencional de madera se realizan entre 40°C y 100°C. De acuerdo al gráfico 4.18 (página 97) los sensores adecuados serían del tipo NTC, Pt100 o termopar tipo T.

En segundo lugar, se observó aquellos sistemas de medición en los que la variación de temperatura se refleja en una variación de resistencia eléctrica. De acuerdo a la tabla 4.4 (página 96) los sensores idóneos serían del tipo NTC o Pt100.

En tercer lugar, se consideró sensores de comportamiento lineal y buena estabilidad. De acuerdo a la tabla 4.4 (página 96) los sensores ideales serían del tipo Pt100.

En cuarto lugar, de acuerdo al gráfico 4.22 (página 106), se escogió sensores Pt100 de 3 hilos, ya que la distancia entre los sensores y la interface de entradas y salidas del PLC es mayor de 10 metros.

Finalmente, se seleccionó dos sensores Pt100 de 3 hilos del catálogo “Danfoss” del Anexo N° 01 de la página 243.

5.1.2.2. Justificación de la Selección de los Sensores de Humedad de la Madera

En primer lugar, se seleccionó el método de medición de humedad de la madera que es un transductor de la humedad de madera en una señal eléctrica, entonces el método de secado de estufa no es adecuado, por lo tanto, puede ser el método de

medición de humedad por resistencia eléctrica y de radio frecuencia por pérdida de potencia.

En segundo lugar, observamos que el espesor de la madera es de 6/4", entonces es conveniente usar el método de contacto que es la medición de humedad por resistencia, ya que el método de radio frecuencia se emplea para los casos en que la madera es muy delgada o en el caso de chapas.

Por lo tanto, se utilizó el método por resistencia eléctrica, el cual se encuentra descrito en el Gráfico 4.25 (página 112).

Finalmente, en el sistema de control automático que se implementó, se emplearon ocho pares de electrodos para medir el contenido de humedad de madera de ocho muestras de madera, ubicadas a lo largo del secador de madera en los puntos más críticos de secado. De estos valores medidos se toma un contenido de humedad promedio, que se considera como la media aritmética de los cuatros puntos más húmedos, que va a ser la base para el cambio de fase, durante el proceso de secado de la madera. Estos electrodos fueron mandados a fabricar en acero inoxidable.

5.1.2.3. Justificación de la Selección de la Válvula de Control para el Calentamiento de la Cámara de Secado

En primer lugar, tomamos en cuenta que se requiere controlar la temperatura en el interior del secador, para lo cual se necesita una válvula de control que haga la función de dejar pasar mayor o menor caudal de vapor de agua proveniente de una Caldera, el cual va a pasar por seis radiadores ubicados a lo largo del secador, entonces a mayor caudal de vapor se incrementa la temperatura en el interior de la cámara de secado y cuando se reduce el caudal de vapor, decrece la temperatura en el

interior del secador. Entonces lo que se necesita es una válvula de control proporcional que nos permita incrementar o decrementar progresivamente la temperatura en el interior del horno de secado, para garantizar una condición de control en estado estable de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ que es lo que se desea. En conclusión necesitamos un actuador que controle en forma proporcional el movimiento lineal del obturador de la válvula, entonces seleccionamos el servomotor de tipo eléctrico proporcional.

En segundo lugar, el fluido es vapor de agua, la presión del fluido es menor que 5 bar (73.5 psi) lo cual es una presión baja (se considera presiones altas a presiones mayores que 750 psi), entonces es suficiente con una válvula de globo de simple asiento con obturador de movimiento lineal, que además tiene la ventaja de tener fugas admisibles de 0,1% del caudal máximo cuando la válvula está totalmente cerrada, lo cual garantiza reducir la temperatura del secador durante la etapa de enfriamiento en donde no se requiere la presencia de vapor en los radiadores.

En tercer lugar, el cuerpo de la válvula debe resistir la temperatura y la presión del vapor de agua, que según las normas DIN y las normas ANSI para la presión de trabajo menor a 5 bar y la temperatura menor de 100°C nos conviene utilizar como material Hierro Fundido cuya especificación DIN ASTM es GG25.

En cuarto lugar, como la temperatura de trabajo es menor que 100°C entonces nos conviene usar la tapa de válvula normal, claro que con su respectiva empaquetadura de teflón cuya temperatura máxima de servicio es de 220°C .

En quinto lugar, los materiales del obturador y los asientos deben ser de acero inoxidable que es un material muy resistente a la corrosión producida por el vapor de agua en estos elementos que están en contacto directo con el fluido. En cuanto a la característica del caudal de paso de fluido en relación a la carrera del obturador nos

conviene el obturador con característica lineal, que permite un control proporcional del caudal de paso del fluido en función de longitud de carrera del obturador que va a permitir finalmente un control con un error en estado estable de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ que es el deseado para el control de la temperatura del interior de la cámara de secado.

La dimensión de la válvula de control proporcional es de 1-1/2" y reemplaza a una válvula de accionamiento manual de 1-1/2", que se encontraba instalada a la entrada de vapor a los radiadores del secador de madera en forma convencional.

Finalmente se seleccionó la válvula de control proporcional del Catálogo de SPIRAX SARCO del Anexo N° 03 de la página 251.

5.1.2.4. Justificación de la Selección de la Válvula de Control para la Humidificación de la Cámara de Secado

En primer lugar, tomamos en cuenta que se requiere controlar la temperatura de bulbo húmedo en el interior del secador, para lo cual se necesita una válvula de control que haga la función de dejar pasar mayor o menor caudal de vapor de agua proveniente de una Caldera, el cual va a pasar por tres tubos con orificios reducidos con la finalidad de rociar el vapor de agua en el interior del secador, entonces a mayor caudal de vapor se incrementa la temperatura de bulbo húmedo en el interior de la cámara de secado. Entonces se puede emplear una válvula de control on/off que nos permita incrementar progresivamente la temperatura de bulbo húmedo en el interior del horno de secado, para garantizar una condición de control en estado estable de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ que es lo que se desea. En conclusión necesitamos un actuador on/off con control modulante del movimiento lineal del obturador de la válvula, entonces seleccionamos el servomotor de tipo neumático.

En segundo lugar, seleccionamos el tipo de válvula en Y por su baja pérdida de carga como válvula todo-nada.

En tercer lugar, el cuerpo de la válvula debe resistir la temperatura y la presión del vapor de agua, que según las normas DIN y las normas ANSI para la presión de trabajo menor a 5 bar y la temperatura menor de 100°C nos conviene utilizar como material Hierro Fundido cuya especificación DIN ASTM es GG25.

En cuarto lugar, como la temperatura de trabajo es menor que 100°C entonces nos conviene usar la tapa de válvula normal, claro que con su respectiva empaquetadura de teflón cuya temperatura máxima de servicio es de 220°C.

En quinto lugar, los materiales del obturador y los asientos deben ser de acero inoxidable que es un material muy resistente a la corrosión producida por el vapor de agua en estos elementos que están en contacto directo con el fluido. En cuanto a la característica del caudal de paso de fluido en relación a la carrera del obturador nos conviene el obturador con característica lineal, que permite un control proporcional del caudal de paso del fluido en función de longitud de carrera del obturador que va a permitir finalmente un control con un error en estado estable de $\pm 1^\circ\text{C}$ que es el deseado para el control de la temperatura de bulbo húmedo del interior de la cámara de secado.

La dimensión de la válvula de control on-off es de 3/4" y reemplazó a una válvula de accionamiento manual de 3/4", que se encontraba instalada a la entrada de los tubos de humidificación del secador en forma convencional.

Finalmente, la válvula de control on-off se seleccionó del Catálogo de SPIRAX SARCO del Anexo N° 02 de la página 249.

5.1.2.5. Justificación de la Selección del Cilindro Neumático y sus componentes para el Accionamiento de las Ventiladas de la Cámara de Secado

En primer lugar, se necesitó un movimiento giratorio para accionar las ventiladas de la cámara de secado, lo cual se logró con un cilindro neumático lineal de doble efecto provisto de las conexiones necesarias para producir ángulos menores de 360°, además se necesitó que el ángulo de apertura de las ventiladas varíe en forma proporcional al movimiento lineal del cilindro, y que se pueda lograr posiciones intermedias de apertura de las ventiladas, entonces se seleccionaron los siguientes componentes de control electro-neumático del movimiento lineal del cilindro neumático :

- Dos Válvulas Antirretorno Pilotadas neumáticamente, cuya propiedad es que al aplicar una señal de pilotaje, el aire a presión puede circular en ambos sentidos, y al cesar la señal, la válvula antirretorno evita la descarga del aire del cilindro y se detiene el movimiento del cilindro. En nuestro caso específico se utilizaron para ejecutar la función de posicionamiento y de frenado. Estas válvulas fueron instaladas a ambos lados del cilindro neumático de doble efecto.
- Dos Válvulas Reguladoras de Velocidad, fueron montadas a ambos lados del cilindro para regular la velocidad de salida y de retorno de su vástago, y su función es estrangular la salida de aire para regular la velocidad.
- Dos Electroválvulas 3x2 (3 vías y 2 posiciones) accionadas eléctricamente por bobinas electromagnéticas instaladas a ambos lados del cilindro neumático de doble efecto, para permitir o cerrar el paso del aire comprimido al cilindro.

Para seleccionar el cilindro neumático se tuvo en cuenta lo siguiente:

- El cilindro neumático tiene que mover seis placas delgadas circulares, entonces se calculó primero el momento de inercia (I_x) de la placa circular o disco:

$$I_x = m \cdot (a^2) / 4$$

donde $a = d/2$ es el radio del disco, m es la masa del disco

Entonces, reemplazando valores de $a = 0,30$ m y $m = 2$ kg.

$$I_x = 0,1125 \text{ Kg.m}^2$$

- En segundo lugar, se calculó la aceleración angular para mover los seis discos, se parte de una velocidad angular (w_0) = 0 y se llega hasta la velocidad angular (w_f) = 1,57 rad/s, en un tiempo (t) de 1 segundo.

Entonces se aplicó la fórmula de la aceleración angular (α)

$$\alpha = (w_f - w_0) / t$$

Reemplazando valores se obtiene: $\alpha = 1,57 \text{ rad/s}^2$

- En tercer lugar, se calculó el torque (T) necesario para mover los seis discos, aplicando la siguiente fórmula, de las leyes de Newton:

$$T = (I_x \cdot \alpha) \cdot 6$$

Reemplazando valores se obtiene : $T = 1,06 \text{ N.m}$, tenemos que tener en cuenta que este valor no incluye la fricción de las bocinas que son guías para el giro del eje que comunican las tres ventilas superiores y la fricción de las bocinas del eje que comunica las tres ventilas inferiores. Asumiendo que el torque de fricción de cada una de las ocho bocinas instaladas es igual al 50% del torque T , entonces el torque real necesario seria $T = 5,30 \text{ N.m}$

- Finalmente considerando un brazo de palanca (d) de 0.20 metros para el punto de aplicación de la fuerza del cilindro neumático, entonces se obtuvo que la fuerza necesaria en el cilindro (F) se calcula de la siguiente manera:

$$F = T / d$$

Reemplazando valores, se obtuvo : $F = 26,49 \text{ N}$, entonces como la presión de trabajo del aire es 6 bar entonces el diámetro del pistón (D) se calculó de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot p}}$$

Reemplazando valores se obtuvo : $D = 7,50 \text{ mm}$

Por supuesto este es un resultado teórico, pero nos da una idea de que el diámetro del pistón debe ser mayor de 7,50 mm.

- Ahora, observamos que longitud del vástago depende de las dimensiones del lugar donde va ser instalado el cilindro neumático, entonces para este caso específico la distancia entre los dos ejes paralelos superior e inferior de las ventilas (d) es igual a 1,40 metros (1400 mm). Entonces geoméricamente, se tiene que la longitud natural del cilindro (L_0) y longitud de carrera (L_c), cumplen las siguientes restricciones:

$$L_0 + L_c < 1400 \text{ mm}$$

$$L_c - L_0 < 0$$

De estas dos restricciones resulta que : $L_c < 700 \text{ mm}$

Luego debemos tener en cuenta que L_c debe tener un valor tal que nos permita ser más precisos a la hora de realizar el posicionamiento del cilindro, lo cual es muy importante para lograr precisión en el posicionamiento de las

ventilas del secador. Esto se explica de la siguiente manera, necesitamos una precisión de $\pm 1\%$, en el posicionamiento de las ventilas, entonces tenemos que tener en cuenta que el ángulo mínimo que debe girar la ventila debe ser el 1% de 90° , lo cual es $0,9^\circ$. Entonces, como el cilindro neumático es capaz de posicionarse cada 2,5 mm, entonces la longitud que se adecuaría sería $L_c = 2,5 \text{ mm} / 1\% = 250 \text{ mm}$. Y esta longitud de carrera cumple con la condición anterior que es menor que 700 mm.

- En cuanto al tipo de cilindro neumático que más se adecua al proceso es un cilindro de doble efecto modular (que nos permite instalarlo sin ninguna dificultad en posición de actuador giratorio que es lo que se requiere) que según el catálogo FESTO “Automatizar con Neumática” del Anexo N° 04 de la página 255, del tipo DNC y el **diámetro del émbolo del cilindro neumático que se adecua es de 50 mm**, ya que tiene su fuerza de avance es mayor que 1,03 N.

5.1.2.6. Justificación de la Selección del Controlador Lógico Programable (PLC) y sus componentes para el Sistema de Control Automático

Para evaluar la capacidad y tipo de Controlador Lógico Programable (PLC) fue necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- En primer lugar, la cantidad de entradas digitales, entradas analógicas, salidas digitales y salidas analógicas, que se requieren para el control del proceso, para este caso específico se tienen dos entradas digitales, siete salidas digitales, catorce entradas analógicas. Entonces, se requiere un PLC

que se pueda acoplar un módulo para entradas analógicas, ya que por general los PLC pueden soportar entradas y salidas digitales.

- En segundo lugar, se necesita un PLC que cuente un display LCD de 2 x 20 (2 hileras por 20 caracteres) y con un teclado.
- En tercer lugar, evaluación la capacidad de memoria que para nuestro caso es suficiente.
- Finalmente seleccionamos un PLC del Catálogo BCM del Anexo N° 06 de la página 263, de la marca BCM, modelo GP3011, que es modular (se puede incrementar su número de entradas o salidas, aumentando módulos al PLC), soporta hasta 120 entradas y salidas digitales, hasta 48 entradas y salidas analógicas, tiene una memoria de 1.28 Mbits, una alimentación de 220 VCA, y tiene display LCD de 2x20 hileras y teclado. Estos dos últimos componentes son muy importantes ya que permiten la interacción entre el operador de la Cámara de Secado y el programa del PLC. Por otro lado, es un PLC de bajo costo, comparado con otras marcas.

5.2. Implementación

En esta parte del proyecto se describen los criterios para el proceso de instalación y los gráficos de ubicación de componentes del Nuevo Sistema de Control Automático propuesto.

5.2.1. Consideraciones para el Proceso de Instalación

En el proceso de instalación de los equipos del nuevo Sistema de Control Automático del horno de secado de la madera, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

5.2.1.1. Consideraciones para la Instalación de los Sensores Pt100 de 3 hilos para la medición de Temperatura de Bulbo Seco y Bulbo Húmedo:

Cada uno de los sensores de Pt100 tienen tres cables de conexión (3 hilos), estos cables se conectaron a una bornera atornillada en una caja de pase que tiene una tapa con una empaquetadura de jebe que impida el pase de vapor húmedo a la bornera de conexiones.

También se emplearon 20 metros de cable blindado de 4x26 AWG (AF-F) para conectar estos seis cables de los sensores Pt100 hasta la tarjeta Interface de entradas y salidas del tablero eléctrico del PLC. Estos cables se instalaron dentro de tubos conduit de 1" de diámetro para protegerlos contra la humedad del ambiente al exterior del secador.

5.2.1.2. Consideraciones para la instalación de los Sensores de Humedad de la Madera

Los sensores de humedad fueron instalados en los puntos más difíciles de secar, por ser crítica la velocidad del aire en estos puntos. Estos electrodos tienen un tamaño de 3/4" para el caso específico de la madera de 1.5" de espesor que fue secada (lo cual permitió medir la humedad en el centro de la madera). Antes de colocar la pila o carga de madera dentro de la cámara de secado, se clavó un par de electrodos en cada muestra de control. Estos sensores fueron colocados perpendiculares a las fibras de la madera, con una profundidad de penetración entre un tercio y la mitad del espesor de la madera, ubicados hacia el centro de la tabla y con una separación entre electrodos de alrededor de 25 a 30 mm. El otro extremo del cable que sujeta a los electrodos va conectado a una caja de pase en donde se ubican unas borneras. El tipo de cable que se instaló fue cable blindado de 2x0.75 mm² para alta temperatura,

ya que este cable va a permanecer en el interior del horno secador, durante todo el proceso de secado de la madera. Adicionalmente, se empleó cable blindado de 6Px26 AWG, para conectar los puntos de medición de humedad de la madera de las borneras de la caja de pase hacia la tarjeta de interface de entradas y salidas del PLC. Este cable se protegió a través de un tubo conduit de 1" contra la humedad ambiental.

5.2.1.3. Criterios para la Instalación de la Válvula de Control del Calentamiento

Se instaló una válvula de control con actuador eléctrico y con "bypass", para regular el paso del vapor hacia los radiadores. La válvula de vapor de accionamiento manual que cumple la función de "bypass" tiene por finalidad entrar en funcionamiento cuando es necesario reparar la válvula de control automática. La válvula de control tiene tres puntos de conexión, uno es un punto común de voltaje y los otros dos tienen por función hacer girar en uno o en otro sentido el motor eléctrico (actuador de la válvula de control), para aumentar o disminuir el paso de vapor hacia los radiadores. Luego se empleó cable blindado 4x26 AWG (AF-F) para conectar la válvula de control hasta la tarjeta de interface entradas y salidas del PLC. El cable se protegió con tubo conduit de 1" contra la humedad ambiental.

5.2.1.4. Criterios para la Instalación de la Válvula de Control de Humidificación

La humedad del aire dentro de la secadora se controla por medio de tres tubos inyectoros de vapor y por el accionamiento de las ventilas.

Para el control de la humidificación del aire del interior del secador por los tubos inyectoros de vapor, se instaló una válvula de control con actuador neumático on/off y con "bypass". La válvula de vapor de accionamiento manual que cumple la función de "bypass" tiene por finalidad entrar en funcionamiento cuando es necesario reparar

la válvula de control automático. La válvula de control tiene dos puntos de conexión, uno es un punto común de voltaje y el otro acciona la válvula electroneumática que se encarga de permitir el paso de aire hacia el actuador neumático de la válvula de control, para permitir o evitar el paso de vapor hacia los tubos inyectoros de vapor. Luego se empleó cable blindado 4x26 AWG (AF-F) para conectar la válvula de control hasta la tarjeta de interface entradas y salidas del PLC. El cable se protegió con tubo conduit de 1" contra la humedad ambiental.

5.2.1.5. Criterios para la Instalación del Cilindro Neumático de Accionamiento de los Dumpers de Ventilación (Ventilas)

Las ventilas ubicadas en la parte lateral del secador de madera sirven para renovar el aire de la cámara de secado y controlar la humedad relativa del aire en el interior del horno. Estas ventilas se dispusieron de la siguiente forma: las tres ventilas de aspiración de aire fresco en la parte inferior del secador, y las tres ventilas de expulsión de aire húmedo en la parte superior del secador. Las ventilas se construyeron de aluminio puro, que es un material resistente a la corrosión.

Estas ventilas son accionadas por un cilindro neumático, el cual a su vez tiene un circuito electroneumático de accionamiento. Este cilindro tiene tres puntos de conexión, uno es un punto común de voltaje y los otros dos tienen por función mover linealmente en uno o en otro sentido el vástago del cilindro neumático (salida o retorno del vástago), para abrir o cerrar los dumpers de ventilación. Luego se empleó cable blindado 4x26 AWG (AF-F) para conectar el cilindro neumático hasta la tarjeta de interface entradas y salidas del PLC. El cable se protegió con tubo conduit de 1" contra la humedad ambiental.

5.2.1.6. Criterios para la Instalación del Tablero Eléctrico del PLC

El PLC (Controlador Lógico Programable) y la tarjeta de interface de entradas y salidas, fueron montados en un tablero eléctrico de metal con su respectiva puerta con empaquetadura de jebe para evitar el paso de vapor húmedo al interior del tablero donde están estos componentes electrónicos.

Este tablero eléctrico se empotró en la pared a una altura promedio para la operación de una persona (el PLC tiene un display y un teclado que son los medios de interacción entre el operador del secador y este controlador).

En el tablero se perforaron agujeros en su parte inferior para permitir el pase de los cables provenientes de las válvulas de control, de los sensores Pt100, del cilindro neumático, de los sensores de humedad de la madera y el cable del pozo de tierra. En cada uno de estos agujeros se instalaron embones roscados a la tapa inferior del tablero eléctrico, los cuales llevan empaquetaduras de jebe que eviten el paso de vapor húmedo al interior del tablero.

5.2.1.7. Criterios para la Instalación de la Puesta a Tierra

Para la instalación de la puesta a tierra se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Se tiene un metro cuadrado de área de terreno disponible por lo que se ejecutó una puesta a tierra con electrodo vertical, según el gráfico 4.44 (página 165).
- Para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra óptima se tiene como dato que los equipos electrónicos están protegidos por un interruptor de 10 amperios, y además la instalación eléctrica es ejecutada en un ambiente húmedo con $V_s = 24 \text{ V}$ (voltaje de seguridad). Entonces, de acuerdo a la

fórmula de la página 167, para el cálculo de la RTP (resistencia de puesta a tierra), se tiene:

$$RTP = \frac{24}{2.5 \times 10} = 0.96 \text{ ohmios}$$

- El terreno para la puesta a tierra es un terraplén compacto húmedo por lo que según la tabla 4.14 (página 169), se decidió adicionar **una dosis de Thor-gel**. Luego de aplicar la dosis de Thor-gel observamos que la resistencia del terreno disminuyó de 5 ohmios a 2 ohmios, entonces se adicionó otra dosis de Thor-gel con lo cual la resistencia de puesta a tierra llegó a 0.8 ohmios, con lo cual ya tenemos asegurada una protección adecuada del personal operativo del secador y de los equipos electrónicos que se están instalando en el horno de secado.

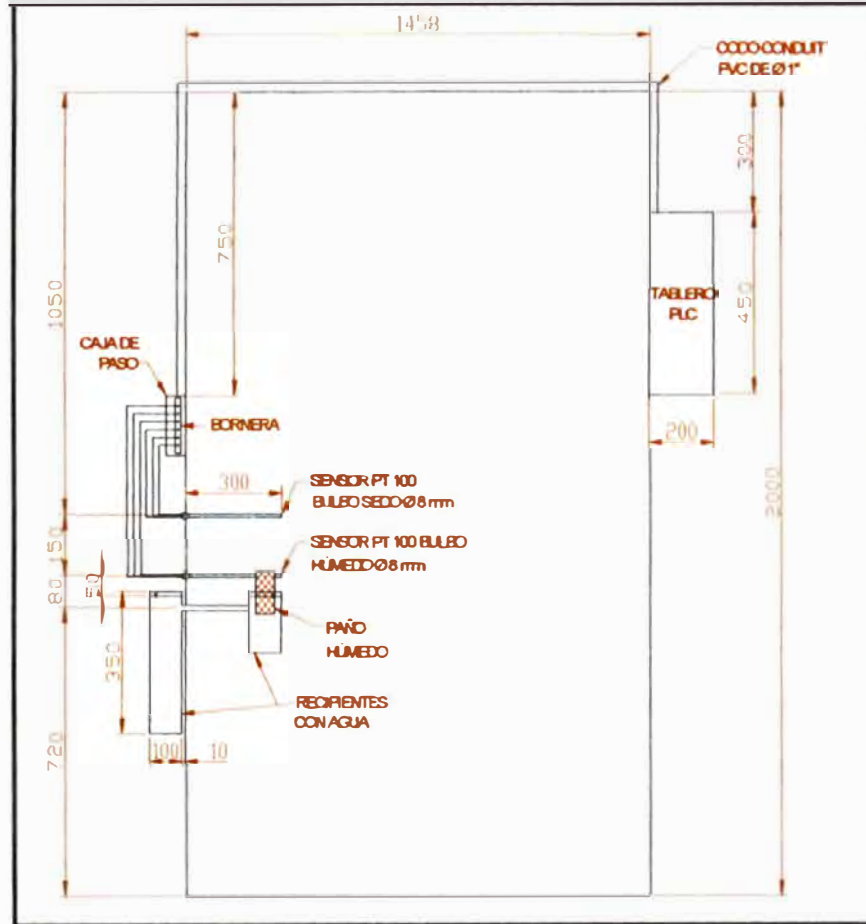
5.2.2. Esquemas de Ubicación de los Componentes

En esta parte del proyecto, se presentan los esquemas de ubicación de los componentes del nuevo sistema de control automático propuesto.

En todos los esquemas de ubicación, las medidas están dadas en milímetros (mm).

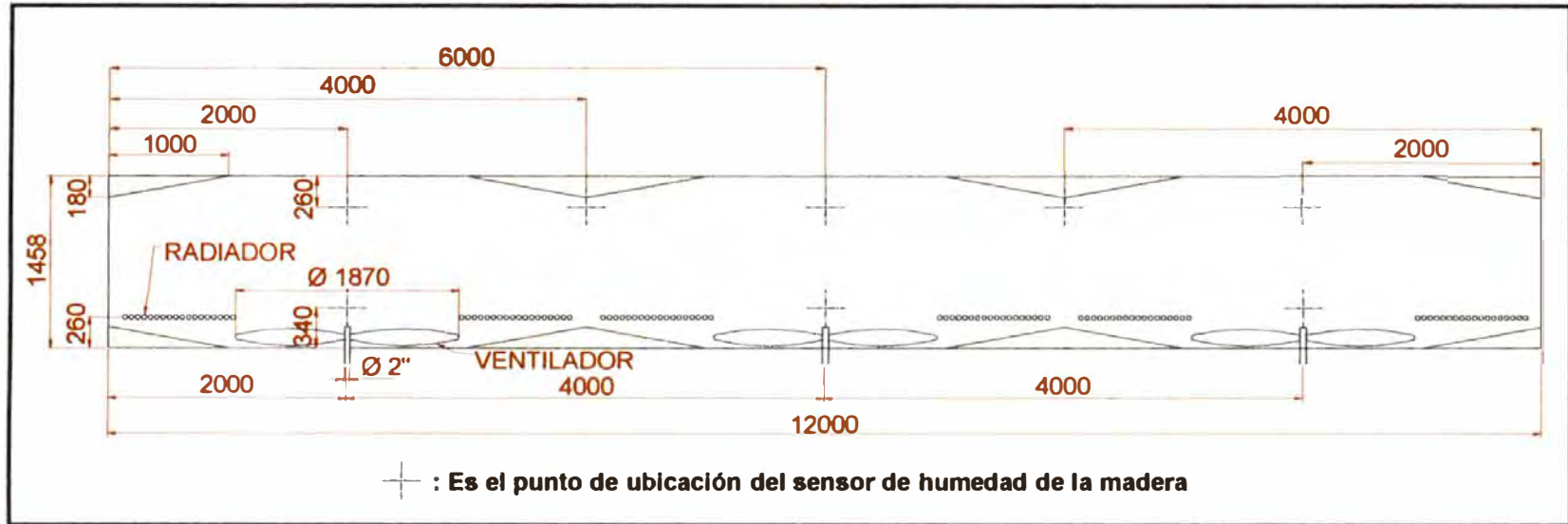
Gráfico N° 5.11

UBICACIÓN DE LOS SENSORES PT100, OBSERVADO DESDE LA VISTA DE PERFIL DEL SECADOR



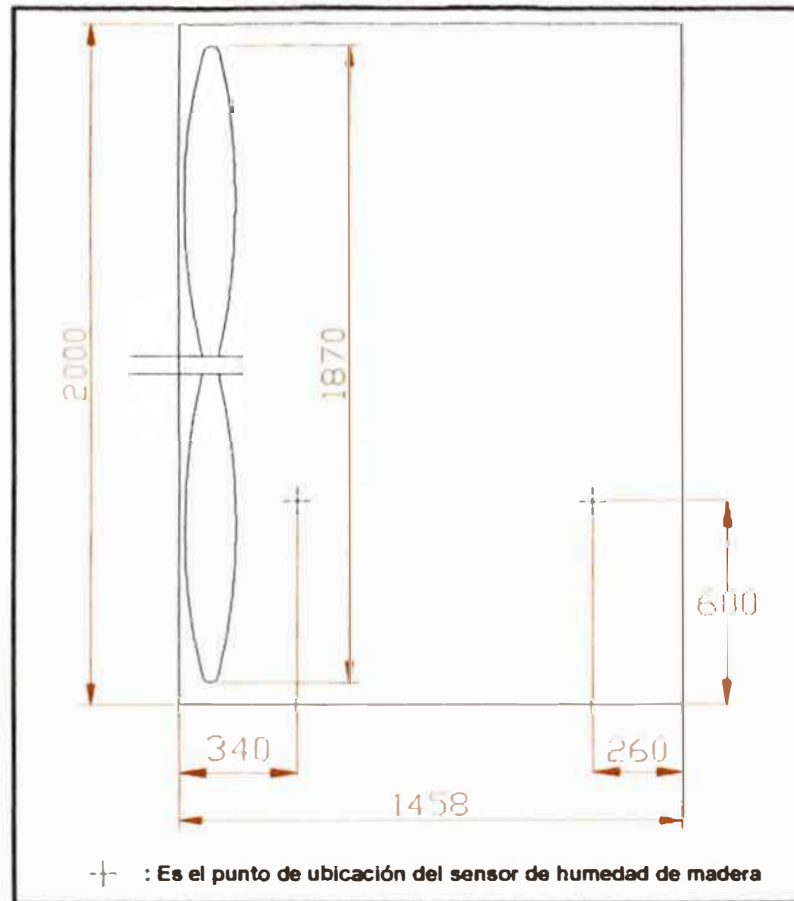
Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

Gráfico N° 5.12
PUNTOS DE UBICACIÓN DE LOS SENSORES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE MADERA, VISTOS DESDE LA PARTE SUPERIOR DEL SECADOR



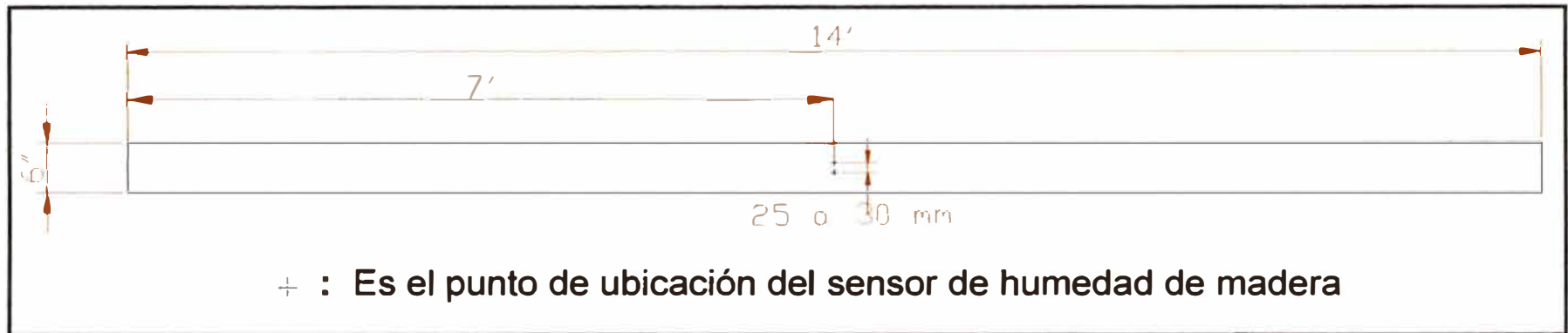
Fuente Consultada : Elaboración Propia
 Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

PUNTOS DE UBICACIÓN DE LOS SENSORES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE MADERA, OBSERVADO DESDE LA VISTA PERFIL DEL SECADOR



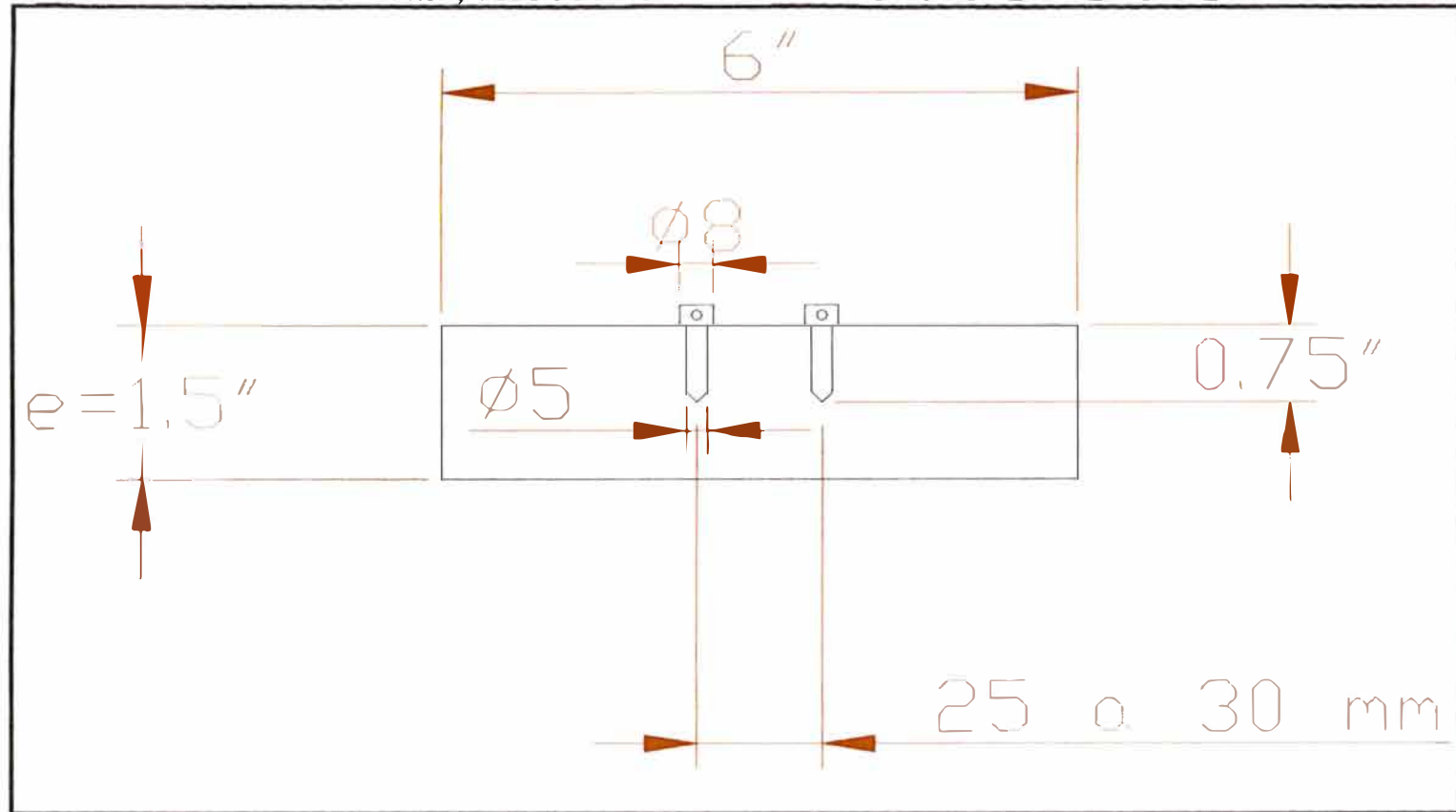
Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

Gráfico N° 5.14
PUNTOS DE UBICACIÓN DE LOS SENSORES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA, EN UNA TABLA DE MADERA DE 14'X6"X1.5", VISTOS DESDE LA PARTE SUPERIOR DE LA TABLA



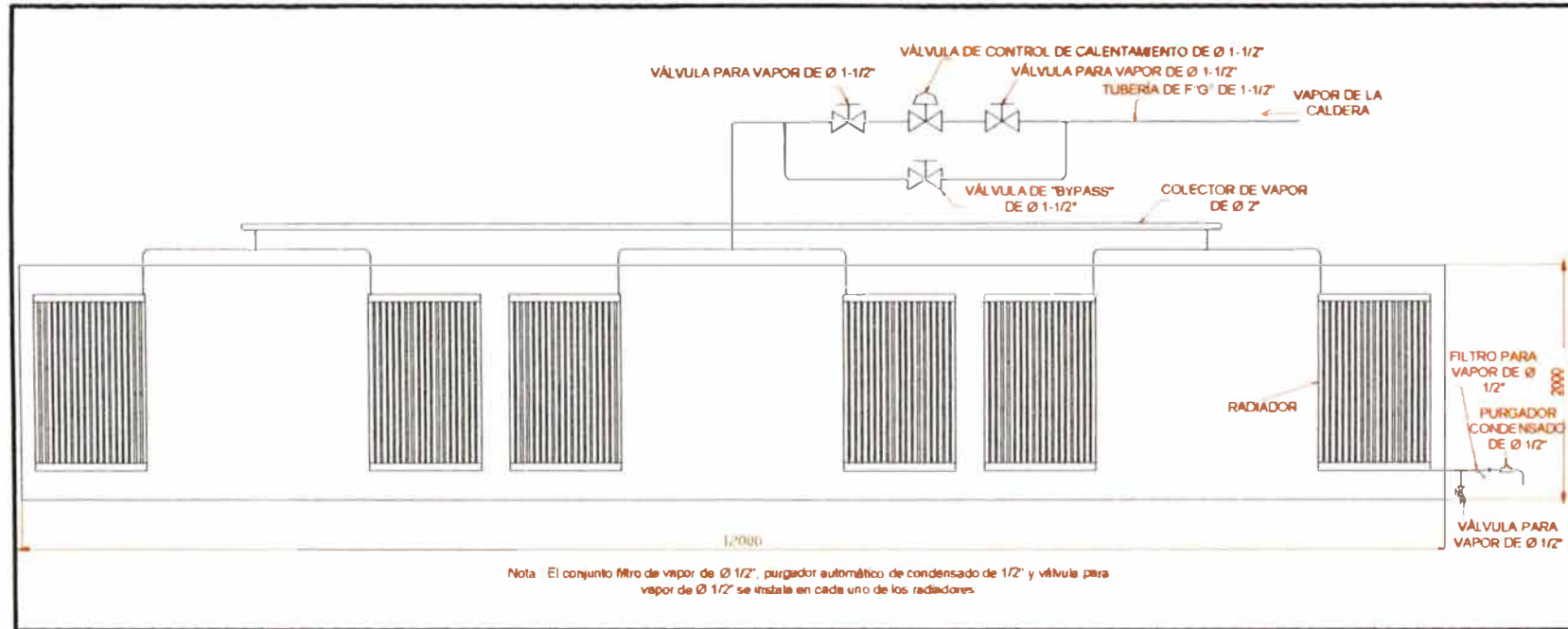
Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

UBICACIÓN DE LOS SENSORES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA, EN UNA TABLA DE MADERA DE 14'X6"X1.5", VISTOS DESDE LA PARTE FRONTAL DE LA TABLA



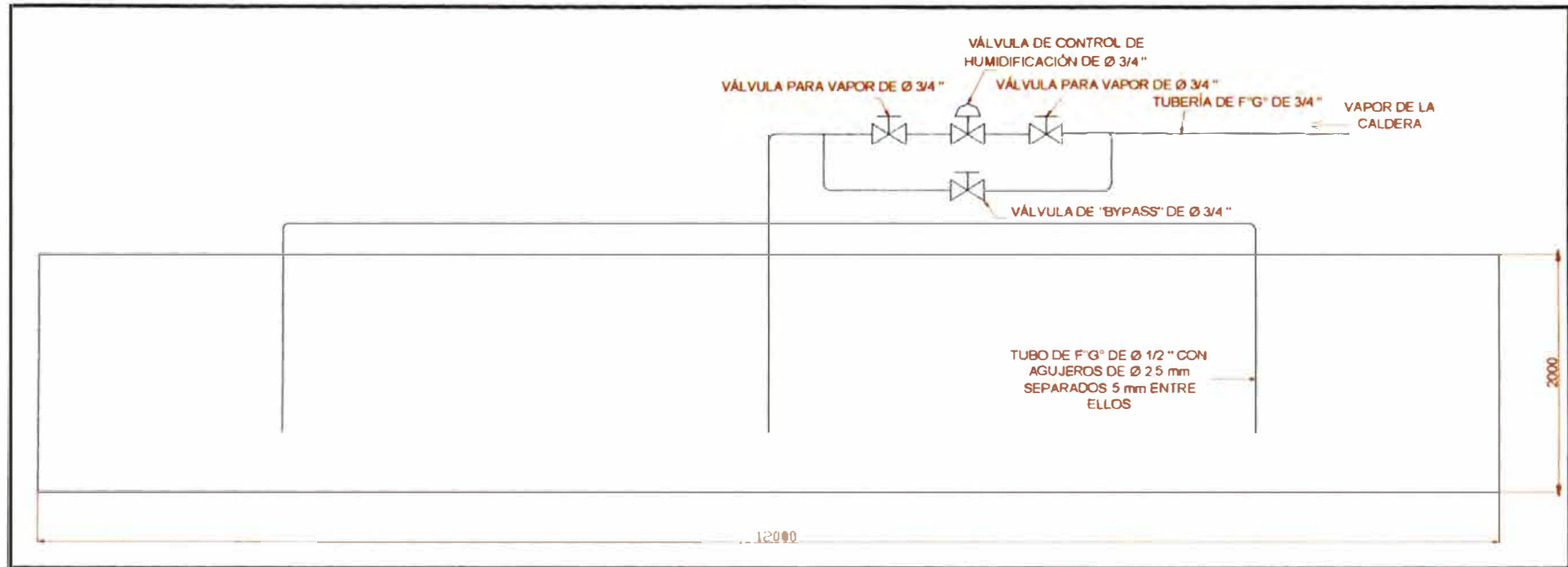
Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

Gráfico N° 5.16
UBICACIÓN DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE CALENTAMIENTO, VISTOS DESDE LA PARTE FRONTAL DEL SECADOR



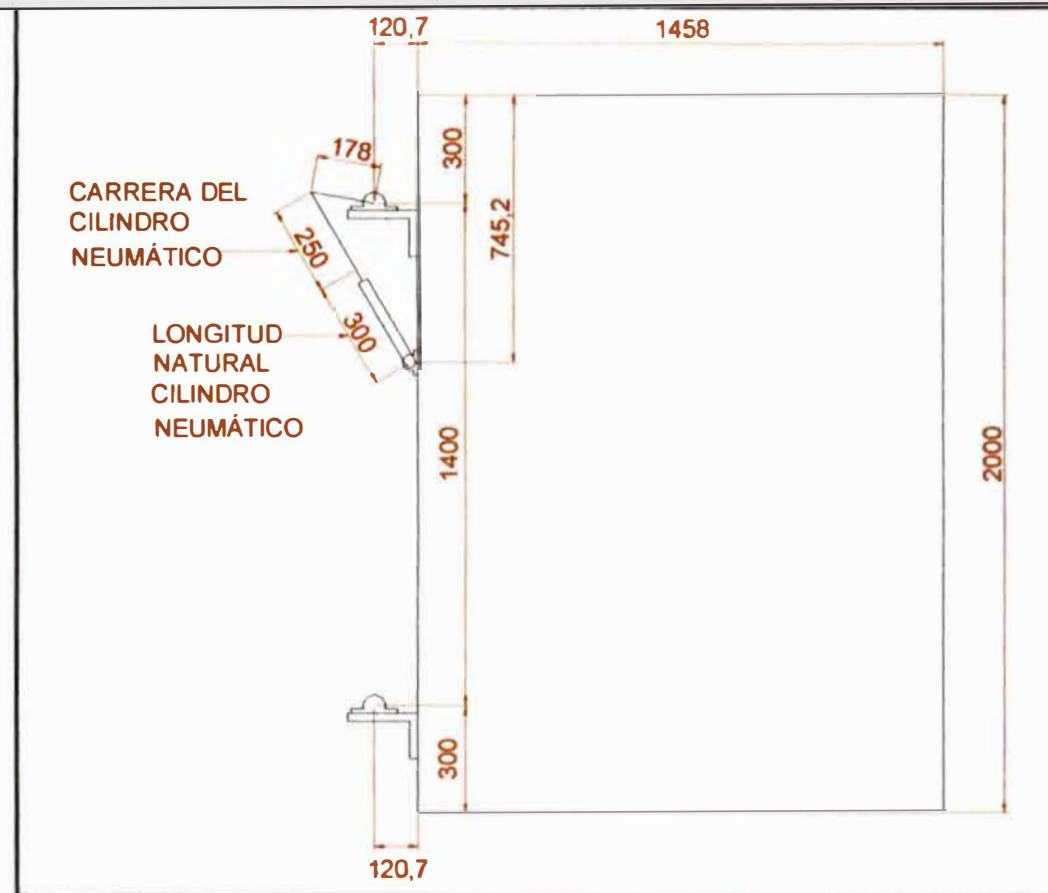
Fuente Consultada : Elaboración Propia
 Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

Gráfico N° 5.17
UBICACIÓN DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE HUMIDIFICACIÓN, VISTOS DESDE LA PARTE FRONTAL DEL SECADOR



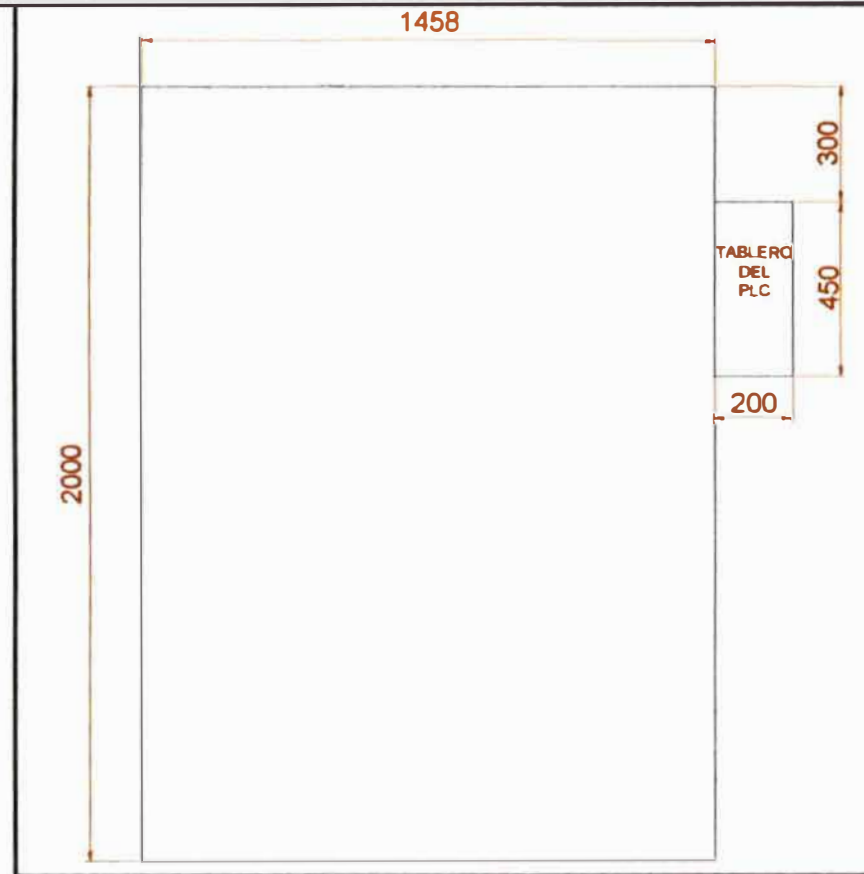
Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

UBICACIÓN DEL CILINDRO NEUMÁTICO, OBSERVADO DESDE LA VISTA PERFIL DEL SECADOR



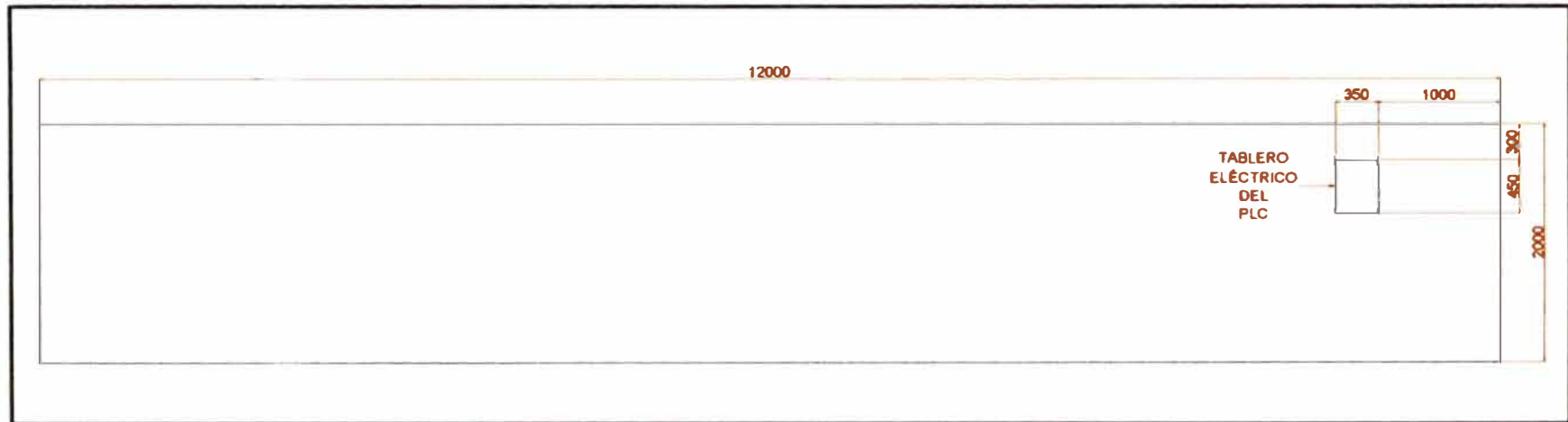
Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

UBICACIÓN DEL TABLERO ELÉCTRICO DEL PLC, OBSERVADO DESDE LA VISTA PERFIL DEL SECADOR



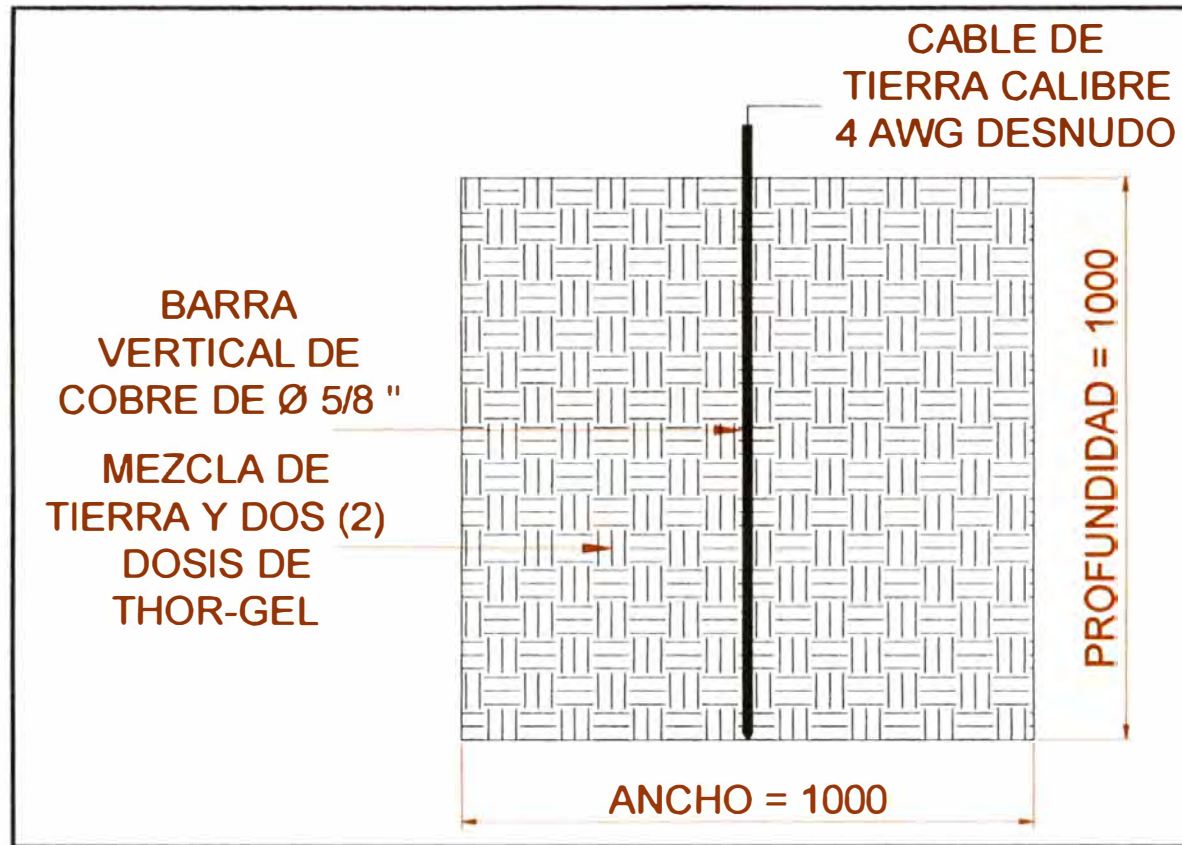
Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

Gráfico N° 5.20
UBICACIÓN DEL TABLERO ELÉCTRICO DEL PLC, OBSERVADO DESDE LA VISTA FRONTAL DEL SECADOR



Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

Gráfico N° 5.21
VISTA FRONTAL DE LA PUESTA A TIERRA PARA PROTECCIÓN DE LOS EQUIPOS ELECTRÓNICOS



Fuente Consultada : Elaboración Propia
Realizado por : Bach. Elmer Javier Córdova Zapata

5.3. Pruebas y Mediciones

En este subcapítulo, se va a comparar las pruebas del secado de varias cargas de madera tipo Virola de espesor de 6/4", cuando se utiliza la forma manual (controlada totalmente por el operador) y utilizando el sistema de control automático (controlado por un PLC), para verificar que se cumple que la eficiencia es mayor en el segundo caso.

5.3.1. Pruebas realizadas con el nuevo Sistema Automático de Secado

En este subcapítulo, se realizó la prueba secar dos cargas de madera húmeda con contenido de humedad promedio de 80% tipo Virola de espesor de 6/4" con el nuevo sistema automático implementado en el secador de madera convencional.

Luego de secar estas dos cargas de madera húmeda con un volumen de 14490 pies tablares, se obtuvieron los siguientes resultados, en el momento de clasificar la madera seca con contenido de humedad promedio de 8%.

Para el primer caso se va a describir detalladamente como se realiza el proceso de clasificación de la madera seca, para tener una idea clara de este procedimiento:

Tablas de Calidad I (Primera) :

Nº de Tabla	LONGITUD (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	CALIDAD
1	6	6	1.5	5	22.500	I
2	6	7	1.5	5	26.250	I
3	6	8	1.5	1	6.000	I
4	6	9	1.5	4	27.000	I
5	6	10	1.5	2	15.000	I
6	6	11	1.5	1	8.250	I
7	7	4	1.5	2	7.000	I
8	7	5	1.5	3	13.125	I
9	7	6	1.5	1	5.250	I
10	7	7	1.5	8	49.000	I
11	7	8	1.5	7	49.000	I

Nº de Tabla	LONGITUD (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	CALIDAD
12	7	9	1.5	1	7.875	I
13	7	10	1.5	1	8.750	I
14	8	4	1.5	1	4.000	I
15	8	5	1.5	5	25.000	I
16	8	6	1.5	13	78.000	I
17	8	7	1.5	5	35.000	I
18	8	8	1.5	6	48.000	I
19	8	9	1.5	4	36.000	I
20	8	10	1.5	1	10.000	I
21	8	12	1.5	1	12.000	I
22	8	14	1.5	1	14.000	I
23	9	5	1.5	7	39.375	I
24	9	6	1.5	5	33.750	I
25	9	7	1.5	5	39.375	I
26	9	8	1.5	6	54.000	I
27	9	9	1.5	4	40.500	I
28	9	10	1.5	1	11.250	I
29	10	4	1.5	2	10.000	I
30	10	5	1.5	7	43.750	I
31	10	6	1.5	10	75.000	I
32	10	7	1.5	15	131.250	I
33	10	8	1.5	14	140.000	I
34	10	9	1.5	12	135.000	I
35	10	10	1.5	6	75.000	I
36	10	11	1.5	1	13.750	I
37	10	12	1.5	2	30.000	I
38	11	4	1.5	5	27.500	I
39	11	5	1.5	10	68.750	I
40	11	6	1.5	12	99.000	I
41	11	7	1.5	29	279.125	I
42	11	8	1.5	14	154.000	I
43	11	9	1.5	7	86.625	I
44	11	10	1.5	15	206.250	I
45	11	11	1.5	3	45.375	I
46	11	12	1.5	3	49.500	I
47	12	4	1.5	2	12.000	I
48	12	5	1.5	27	202.500	I
49	12	6	1.5	33	297.000	I
50	12	7	1.5	31	325.500	I
51	12	8	1.5	35	420.000	I
52	12	9	1.5	20	270.000	I
53	12	10	1.5	7	105.000	I
54	12	11	1.5	5	82.500	I

N° de Tabla	LONGITUD (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	CALIDAD
55	12	12	1.5	6	108.000	I
56	13	4	1.5	1	6.500	I
57	13	5	1.5	27	219.375	I
58	13	6	1.5	21	204.750	I
59	13	7	1.5	53	602.875	I
60	13	8	1.5	52	676.000	I
61	13	9	1.5	29	424.125	I
62	13	10	1.5	17	276.250	I
63	13	11	1.5	10	178.750	I
64	13	12	1.5	9	175.500	I
65	13	13	1.5	4	84.500	I
66	14	4	1.5	2	14.000	I
67	14	5	1.5	7	61.250	I
68	14	6	1.5	9	94.500	I
69	14	7	1.5	14	171.500	I
70	14	8	1.5	12	168.000	I
71	14	9	1.5	14	220.500	I
72	14	10	1.5	9	157.500	I
73	14	11	1.5	7	134.750	I
74	14	12	1.5	4	84.000	I
75	15	5	1.5	5	46.875	I
76	15	6	1.5	2	22.500	I
77	15	7	1.5	6	78.750	I
78	15	8	1.5	3	45.000	I
79	15	9	1.5	2	33.750	I
80	15	1	1.5	2	3.750	I
81	15	11	1.5	1	20.625	I
82	15	12	1.5	2	45.000	I
83	15	13	1.5	1	24.375	I
84	16	5	1.5	3	30.000	I
85	16	6	1.5	5	60.000	I
86	16	7	1.5	9	126.000	I
87	16	8	1.5	7	112.000	I
88	16	9	1.5	5	90.000	I
89	16	10	1.5	4	80.000	I
90	16	11	1.5	7	154.000	I
91	16	13	1.5	1	26.000	I
			TOTAL	805	9170.875	

Tablas de Recuperación por Grietas o Colapso :

Nº de Tabla	LONGITUD (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	RECUPERACION
1	8	3	1.5	1	3.000	Grietas o Colapso
2	8	5	1.5	1	5.000	"
3	8	6	1.5	1	6.000	"
4	8	7	1.5	2	14.000	"
5	8	9	1.5	1	9.000	"
6	8	10	1.5	1	10.000	"
7	10	6	1.5	3	22.500	"
8	10	7	1.5	2	17.500	"
9	10	8	1.5	2	20.000	"
10	10	9	1.5	6	67.500	"
11	10	1	1.5	3	3.750	"
12	10	12	1.5	2	30.000	"
13	10	13	1.5	1	16.250	"
14	11	7	1.5	5	48.125	"
15	11	8	1.5	6	66.000	"
16	11	9	1.5	1	12.375	"
17	11	10	1.5	2	27.500	"
18	11	11	1.5	1	15.125	"
19	11	13	1.5	1	17.875	"
20	11	15	1.5	1	20.625	"
21	12	4	1.5	1	6.000	"
22	12	5	1.5	7	52.500	"
23	12	6	1.5	1	9.000	"
24	12	7	1.5	6	63.000	"
25	12	8	1.5	7	84.000	"
26	12	9	1.5	3	40.500	"
27	12	10	1.5	10	150.000	"
28	12	11	1.5	2	33.000	"
29	12	12	1.5	4	72.000	"
30	12	13	1.5	3	58.500	"
31	13	5	1.5	6	48.750	"
32	13	6	1.5	1	9.750	"
33	13	7	1.5	4	45.500	"
34	13	8	1.5	6	78.000	"
35	13	9	1.5	8	117.000	"
36	13	10	1.5	7	113.750	"
37	13	11	1.5	4	71.500	"
38	13	12	1.5	6	117.000	"
39	14	6	1.5	2	21.000	"
40	14	7	1.5	4	49.000	"
41	14	8	1.5	2	28.000	"
42	14	9	1.5	3	47.250	"

N° de Tabla	LONGITUD (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	RECUPERACION
43	14	10	1.5	4	70.000	"
44	14	11	1.5	2	38.500	"
45	14	12	1.5	1	21.000	"
46	16	6	1.5	1	12.000	"
47	16	7	1.5	1	14.000	"
48	16	8	1.5	4	64.000	"
49	16	9	1.5	3	54.000	"
50	16	10	1.5	2	40.000	"
51	16	12	1.5	1	24.000	"
52	16	13	1.5	1	26.000	"
TOTAL				160	2110.625	

Tablas de Calidad II (Segunda) :

N° de Tabla	LONGITUD (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	CALIDAD
1	7	7	1.5	2	12.250	II
2	8	8	1.5	2	16.000	II
3	8	9	1.5	1	9.000	II
4	10	7	1.5	1	8.750	II
5	10	8	1.5	1	10.000	II
6	10	9	1.5	1	11.250	II
7	11	6	1.5	1	8.250	II
8	11	7	1.5	2	19.250	II
9	11	8	1.5	3	33.000	II
10	11	9	1.5	1	12.375	II
11	12	6	1.5	5	45.000	II
12	12	7	1.5	1	10.500	II
13	12	8	1.5	1	12.000	II
14	12	9	1.5	2	27.000	II
15	13	6	1.5	2	19.500	II
16	13	7	1.5	2	22.750	II
17	13	8	1.5	5	65.000	II
18	13	10	1.5	1	16.250	II
19	13	11	1.5	1	17.875	II
20	14	6	1.5	2	21.000	II
21	14	7	1.5	1	12.250	II
TOTAL				38	409.250	

Tablas de Recuperación por Otros (Picaduras, Rajaduras, etc) :

N° de Tabla	LONG. (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	RECUPERACION x Otros
1	6	9	1.5	1	6.750	Picadura,rajadura,betas,etc
2	8	5	1.5	2	10.000	"
3	8	6	1.5	1	6.000	"
4	8	8	1.5	3	24.000	"
5	8	9	1.5	2	18.000	"
6	8	13	1.5	1	13.000	"
7	10	8	1.5	1	10.000	"
8	10	9	1.5	2	22.500	"
9	11	5	1.5	3	20.625	"
10	11	7	1.5	2	19.250	"
11	11	8	1.5	4	44.000	"
12	11	9	1.5	1	12.375	"
13	11	10	1.5	1	13.750	"
14	11	12	1.5	1	16.500	"
15	12	5	1.5	3	22.500	"
16	12	6	1.5	4	36.000	"
17	12	7	1.5	4	42.000	"
18	12	8	1.5	5	60.000	"
19	12	9	1.5	5	67.500	"
20	12	10	1.5	1	15.000	"
21	12	11	1.5	3	49.500	"
22	12	12	1.5	3	54.000	"
23	13	5	1.5	11	89.375	"
24	13	6	1.5	4	39.000	"
25	13	7	1.5	5	56.875	"
26	13	8	1.5	4	52.000	"
27	13	9	1.5	2	29.250	"
28	13	10	1.5	4	65.000	"
29	13	11	1.5	5	89.375	"
30	13	12	1.5	1	19.500	"
31	14	5	1.5	5	43.750	"
32	14	7	1.5	3	36.750	"
33	14	8	1.5	3	42.000	"
34	14	10	1.5	1	17.500	"
35	16	5	1.5	1	10.000	"
36	16	8	1.5	1	16.000	"
37	16	10	1.5	1	20.000	"
38	16	11	1.5	1	22.000	"
TOTAL				106	1231.625	

Tablas para Finger Joint :

N° de Tabla	LONGITUD (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	OBSERVACION
1	6	4	1.5	2	6.000	Finger Joint
2	6	5	1.5	2	7.500	"
3	6	6	1.5	1	4.500	"
4	6	7	1.5	1	5.250	"
5	6	8	1.5	1	6.000	"
6	6	10	1.5	2	15.000	"
7	6	12	1.5	1	9.000	"
8	7	5	1.5	1	4.375	"
9	8	4	1.5	2	8.000	"
10	8	5	1.5	1	5.000	"
11	8	6	1.5	1	6.000	"
12	8	7	1.5	2	14.000	"
13	8	8	1.5	1	8.000	"
14	9	4	1.5	1	4.500	"
15	9	5	1.5	3	16.875	"
16	10	5	1.5	1	6.250	"
17	10	7	1.5	1	8.750	"
18	10	9	1.5	1	11.250	"
19	11	4	1.5	2	11.000	"
20	11	6	1.5	2	16.500	"
21	11	7	1.5	1	9.625	"
22	11	8	1.5	1	11.000	"
23	12	5	1.5	2	15.000	"
24	12	7	1.5	1	10.500	"
25	14	5	1.5	1	8.750	"
			TOTAL	35	228.625	

Tablas Worming (Picados) :

Nº de Tabla	LONGITUD (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	OBSERVACION
1	10	6	1.5	1	7.500	Worming
2	10	8	1.5	2	20.000	"
3	12	9	1.5	2	27.000	"
4	13	6	1.5	2	19.500	"
5	13	9	1.5	2	29.250	"
6	14	7	1.5	2	24.500	"
7	16	7	1.5	5	70.000	"
TOTAL				16	197.750	

En todas las tablas se aplica la siguiente fórmula para hallar su volumen V en PT (pies tablares):

$$V \text{ (PT)} = \text{LONGITUD (PIES)} * \text{ANCHO (PULG.)} * \text{ESPESOR (PULG.)}/12$$

Entonces, se fueron a la zona de recuperación de madera seca, 266 piezas equivalente a 3342.250 PT, de los cuales se recuperaron definitivamente 272 piezas que hacen un total de 2544.000 PT, según la siguiente tabla:

Nº de Tabla	LONGITUD (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	OBSERVACION
1	6	5	1.5	1	3.750	Picaduras/Betas/Grietas/etc.
2	6	7	1.5	3	15.750	"
3	6	9	1.5	1	6.750	"
4	7	3	1.5	3	7.875	"
5	7	4	1.5	2	7.000	"
6	7	5	1.5	6	26.250	"
7	7	6	1.5	4	21.000	"
8	7	7	1.5	5	30.625	"
9	7	8	1.5	3	21.000	"
10	7	9	1.5	2	15.750	"
11	7	12	1.5	1	10.500	"
12	8	3	1.5	3	9.000	"
13	8	4	1.5	5	20.000	"
14	8	5	1.5	12	60.000	"

N° de Tabla	LONGITUD (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	OBSERVACION
15	8	7	1.5	5	35.000	"
16	8	8	1.5	7	56.000	"
17	8	9	1.5	1	9.000	"
18	8	10	1.5	3	30.000	"
19	8	11	1.5	1	11.000	"
20	8	12	1.5	2	24.000	"
21	9	4	1.5	1	4.500	"
22	9	5	1.5	2	11.250	"
23	9	6	1.5	5	33.750	"
24	9	7	1.5	3	23.625	"
25	9	8	1.5	6	54.000	"
26	9	9	1.5	5	50.625	"
27	9	10	1.5	1	11.250	"
28	9	11	1.5	1	12.375	"
29	9	13	1.5	1	14.625	"
30	10	3	1.5	1	3.750	"
31	10	4	1.5	2	10.000	"
32	10	5	1.5	9	56.250	"
33	10	8	1.5	7	70.000	"
34	10	9	1.5	3	33.750	"
35	10	10	1.5	2	25.000	"
36	10	11	1.5	3	41.250	"
37	10	12	1.5	2	30.000	"
38	10	13	1.5	2	32.500	"
39	11	3	1.5	2	8.250	"
40	11	4	1.5	1	5.500	"
41	11	5	1.5	6	41.250	"
42	11	6	1.5	3	24.750	"
43	11	7	1.5	2	19.250	"
44	11	8	1.5	5	55.000	"
45	11	9	1.5	5	61.875	"
46	11	10	1.5	6	82.500	"
47	11	11	1.5	2	30.250	"
48	11	12	1.5	4	66.000	"
49	11	13	1.5	2	35.750	"
50	12	3	1.5	2	9.000	"
51	12	4	1.5	6	36.000	"
52	12	5	1.5	11	82.500	"

N° de Tabla	LONGITUD (Pies)	ANCHO (Pulg.)	ESP. (Pulg.)	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)	OBSERVACION
53	12	6	1.5	7	63.000	"
54	12	7	1.5	7	73.500	"
55	12	8	1.5	4	48.000	"
56	12	9	1.5	3	40.500	"
57	12	10	1.5	4	60.000	"
58	12	12	1.5	1	18.000	"
59	12	13	1.5	1	19.500	"
60	13	3	1.5	1	4.875	"
61	13	4	1.5	8	52.000	"
62	13	5	1.5	7	56.875	"
63	13	6	1.5	3	29.250	"
64	13	7	1.5	6	68.250	"
65	13	8	1.5	5	65.000	"
66	13	9	1.5	4	58.500	"
67	13	10	1.5	8	130.000	"
68	13	11	1.5	1	17.875	"
69	14	4	1.5	2	14.000	"
70	14	5	1.5	4	35.000	"
71	14	8	1.5	2	28.000	"
72	14	9	1.5	1	15.750	"
73	14	10	1.5	1	17.500	"
74	14	11	1.5	1	19.250	"
75	15	6	1.5	1	11.250	"
76	15	8	1.5	2	30.000	"
77	15	10	1.5	2	37.500	"
78	16	3	1.5	2	12.000	"
79	16	11	1.5	1	22.000	"
			TOTAL	272	2544.000	

En conclusión, se tienen los resultados siguientes de cantidad de madera exportable después de realizar el proceso de secado en el nuevo sistema de secado automatizado:

MADERA EXPORTABLE	CANTIDAD	VOLUMEN (PT)
Madera de I	885	9170.875
Madera Recuperada	272	2544.000
Madera de II	38	409.250
TOTAL	1195	12124.125

Por otro lado, el **tiempo total de duración** del secado para esta primera carga fue de **189 horas**.

Ahora, tenemos una segunda carga, que secamos con el nuevo sistema automático, y al clasificar la madera seca se obtuvieron los siguientes resultados:

MADERA CLASIFICADA	PIEZAS	PT	%
PRIMERA	800	9284	72.86%
SEGUNDA	75	652	5.12%
L. ANGOSTA	111	654	5.13%
RECUPERACION	120	1687	13.24%
FINGER	37	266	2.09%
WORMING	3	18	0.14%
HUMEDO	10	182	1.43%
TOTAL	1156	12743	100.00%

Entonces, como el volumen de madera húmeda es de 14490 pies tablares y el volumen de madera seca es de 12743 pies tablares, entonces la contracción de la madera es de 12.06%. Por otro lado el **tiempo de duración** del proceso de secado fue de **183 horas**.

De las 120 piezas de madera para recuperación, se recuperó la siguiente cantidad de madera:

MADERA RECUPERADA	PIEZAS	PT
PRIMERA	106	1055
LARGO ANGOSTA	76	393
SEGUNDA	24	104
TOTAL	182	1448

Luego la cantidad de madera exportable es la siguiente:

MADERA EXPORTABLE	PIEZAS	PT
PRIMERA	800	9284
SEGUNDA	75	652
L. ANGOSTA	111	654
RECUP. PRIMERA	106	1055
RECUP. L. ANGOSTA	76	393
RECUP. SEGUNDA	24	104
TOTAL	1192	12142

5.3.2. Pruebas realizadas en una Cámara de Secado Manual

En este subcapítulo, se va a realiza la prueba de secar dos cargas de madera húmeda con contenido de humedad promedio de 80% tipo Virola de espesor de 6/4” en un secador de madera operado manualmente.

Luego de secar estas dos cargas de madera húmeda con un volumen de 14490 pies tablares, se obtuvieron los siguientes resultados, en el momento de clasificar la madera seca con contenido de humedad promedio de 8%.

Veamos, los resultados que se obtuvieron con la primera carga:

MADERA CLASIFICADA	PIEZAS	PT	%
PRIMERA	693	7577	57.46%
SEGUNDA	48	476	3.61%
L. ANGOSTA	182	1098	8.33%
RECUP. COLAPSO	129	1754	13.30%
RECUP. OTROS	153	1605	12.17%
FINGER	60	442	3.35%
PICADO (Reaserrar)	27	235	1.78%
TOTAL	1292	13187	100.00%

Como el volumen de madera húmeda es de 14490 pies tablares y el volumen de madera seca es de 13187 pies tablares, entonces el porcentaje de contracción es de 8.99%.

De la madera recuperada, se obtiene la siguiente cantidad de madera exportable:

MADERA RECUPERADA	PIEZAS	PT
PRIMERA	95	945.519
LARGO ANGOSTA	66	341.289
SEGUNDA	18	78.000
TOTAL	179	1364.808

Finalmente, la cantidad de madera exportable es la siguiente:

MADERA EXPORTABLE	PIEZAS	PT
PRIMERA	693	7577.000
SEGUNDA	48	476.000
L. ANGOSTA	182	1098.000
RECUP. PRIMERA	95	945.519
RECUP. L. ANGOSTA	66	341.289
RECUP. SEGUNDA	18	78.000
TOTAL	1102	10515.808

El tiempo de duración para el proceso de secado operado manualmente fue de 260 horas.

Para el caso de la segunda carga que es sometida a un proceso de secado de 80% a 8% de contenido de humedad, se obtuvieron los siguientes resultados luego de clasificar la madera seca:

MADERA CLASIFICADA	PIEZAS	PT	%
PRIMERA	710	7762.872	57.73%
SEGUNDA	70	694.167	5.16%
L. ANGOSTA	110	663.626	4.94%
RECUP. COLAPSO	190	2583.411	19.21%
RECUP. OTROS	110	1153.922	8.58%
FINGER	80	589.333	4.38%
TOTAL	1270	13447.33	100.00%

Como el volumen de madera húmeda es de 14490 pies tablares y el volumen de madera seca es de 13447.33 pies tablares, entonces el porcentaje de contracción es de 7.20%.

De la madera recuperada, se obtiene la siguiente cantidad de madera exportable:

MADERA RECUPERADA	PIEZAS	PT
PRIMERA	102	1015.189
LARGO ANGOSTA	80	413.684
SEGUNDA	15	65.000
TOTAL	197	1493.873

Finalmente, la cantidad de madera exportable es la siguiente:

MADERA EXPORTABLE	PIEZAS	PT
PRIMERA	710	7762.872
SEGUNDA	70	694.167
L. ANGOSTA	110	663.626
RECUP. PRIMERA	102	1015.189
RECUP. L. ANGOSTA	80	413.684
RECUP. SEGUNDA	15	65.000
TOTAL	1087	10614.538

El tiempo de duración para el proceso de secado operado manualmente en esta segunda carga fue de 260 horas.

5.3.3. Resultados

Analizamos los resultados obtenidos luego de realizar las pruebas de secar cargas de madera húmeda de madera tipo Virola de espesor de 6/4”:

5.3.3.1. Resultados de las Cargas de Madera con el nuevo Sistema Automático

de Secado :

- **Resultados en la Primera Carga:**

Volumen de madera húmeda = 14490 Pies Tablares

Volumen de madera seca exportable = 12124.125 Pies Tablares

Tiempo total de proceso de secado = 189 horas

- **Resultados en la Segunda Carga:**

Volumen de madera húmeda = 14490 Pies Tablares

Volumen de madera seca exportable = 12142 Pies Tablares

Tiempo total de proceso de secado = 183 horas

Entonces, promediamos los volúmenes de madera seca exportable y los tiempos de secado, para ambas pruebas realizadas y obtenemos:

Volumen de madera húmeda = 14490 Pies Tablares

Volumen de madera seca promedio = 12133.063 Pies Tablares

Tiempo promedio de secado = 186 horas

Ahora calculemos la capacidad del sistema de secado automático:

$$\text{Capacidad} = \frac{12133.063 \text{ PT}}{186 \text{ hora}}$$

$$\text{Capacidad} = 65.23 \text{ PT/hora}$$

5.3.3.2. Resultados de las Cargas de Madera con el Sistema de Secado

Convencional operado manualmente

- **Resultados en la Primera Carga:**

Volumen de madera húmeda = 14490 Pies Tablares

Volumen de madera seca exportable = 10515.808 Pies Tablares

Tiempo total de proceso de secado = 260 horas

- **Resultados en la Segunda Carga:**

Volumen de madera húmeda = 14490 Pies Tablares

Volumen de madera seca exportable = 10614.538 Pies Tablares

Tiempo total de proceso de secado = 260 horas

Entonces, promediamos los volúmenes de madera seca exportable y los tiempos de secado, para ambas pruebas realizadas y obtenemos:

Volumen de madera húmeda = 14490 Pies Tablares

Volumen de madera seca promedio = 10565.173 Pies Tablares

Tiempo promedio de secado = 260 horas

Ahora calculemos la capacidad del sistema de secado automático:

$$\text{Capacidad} = \frac{10565.173 \text{ PT}}{260 \text{ hora}}$$

$$\text{Capacidad} = 40.64 \text{ PT/hora}$$

Finalmente el sistema automático de secado de madera es más eficiente en 60.50 % que el sistema de secado manual.

$$\text{Eficiencia} = (65.23/40.64)*100 = 160.50\%$$

CAPÍTULO 6

ESTUDIO ECONÓMICO

La evaluación económica del Sistema de Control Automático para la infraestructura de la Cámara de Secado ya existente, incluye los siguientes ítems:

Costos

- Controlador : un Controlador Lógico Programable (PLC).
- Sensores : sensores de temperatura, sensores de medición de humedad de la madera, cables de conexión de los sensores de humedad, interfase de señales entre los sensores y el controlador, cable para transmisión de señales entre sensores e interfase, material eléctrico en general para instalación (borneras, cajas de pase, etc.).
- Actuadores: Válvula de control del calentamiento con actuador eléctrico, válvula de control para la humidificación con actuador neumático, cilindro neumático, válvulas solenoide y accesorios para accionamiento de la válvula de vaporización y el cilindro neumático, unidad de mantenimiento de aire comprimido, tablero de arranque automático de motores eléctricos, cable para accionamiento de los actuadores.
- Flete e impuestos, para importar los equipos desde Brasil.

- Elaboración del programa del PLC, en el lenguaje de programación PROCP, para controlar el proceso de secado de la madera.
- Instalación, puesta en marcha del sistema y entrenamiento al operador del equipo.
- Operación y mantenimiento del sistema de control automático.

Ingresos

- Ingresos por concepto de venta de madera seca adicional.

6.1. Criterios para Evaluación Económica

Para la evaluación económica se han considerado los siguientes criterios:

- El criterio central establecido es el de suponer escenarios futuros de tipo conservador. Lo anterior se sustenta en tener un punto base de análisis robusto frente a juicios diferentes sobre los múltiples supuestos necesarios para realizar la evaluación.
- Como caso base se considera un horizonte de evaluación de 12 meses.
- La evaluación económica se realiza según el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el tiempo de recuperación (t_R). Para el caso base se considera una tasa de descuento del 12%.
- Las cifras serán calculadas en dólares.

6.2. Descripción de Inversiones, Costos e Ingresos

La evaluación económica requiere de modelos que permitan establecer los costos de inversiones, costos asociados al funcionamiento y los ingresos adicionales por venta de madera seca, producto de la implementación del sistema de control

automático. En cada uno de los puntos, en la medida que amerite, se especifican las características particulares.

a) Inversiones

Las inversiones han sido evaluadas en el mercado brasilero, considerando los siguientes puntos:

a.1) Controlador

- Un Controlador lógico programable (PLC) del tipo modular, de procedencia brasilera, de la marca BCM, modelo GP3011, con certificación ISO 9001, con un módulo GP3ESM de 8 entradas analógicas para medición de resistencia, 4 entradas analógicas para sensores PT100, 8 entradas digitales aisladas, 6 salidas digitales a relay. El PLC viene montado en caja metálica de 50cm x 30cm x 15cm, con accesorios (botoneras, señalizadores). Estos componentes tienen un costo de US\$ 2,000.

Total Controlador: US\$ 2,000.

a.2) Sensores

- Tres sensores de temperatura del tipo resistencia eléctrica PT-100 de la marca DANFOSS, de ¼" de diámetro y 6" de largo. El costo unitario asciende a US\$ 100, siendo el costo total de US\$ 300.
- Dieciséis clavos de acero inoxidable de 5 mm de diámetro y 19 mm de largo para medición de humedad de la madera. El costo unitario asciende a US\$ 5, siendo el costo total de US\$ 80.
- Cien metros de cable de conexión con aislamiento para 130°C, para los clavos sensores. El costo por metro asciende a US\$ 2.5, siendo el costo total de US\$ 250.

- Una tarjeta electrónica para interfase entre sensores y el controlador. El costo de esta tarjeta es de US\$ 500.
- Cincuenta metros de cable blindado de 20x26AWG, para transmisión de señales entre los sensores y la interfase. El costo por metro asciende a US\$ 5, siendo el costo total de US\$ 250.
- Material eléctrico en general para la instalación (borneras, cajas de pase). El costo de estos componentes es de US\$ 50.

Total Sensores: US\$ 1,430.

a.3) Actuadores

- Una válvula de control para el caudal del vapor de calentamiento de 1-1/2", con actuador eléctrico marca SPIRAX SARCO. El costo de esta válvula es de US\$ 1268.
- Una válvula de control para el caudal del vapor de humidificación de 3/4", con actuador neumático marca SPIRAX SARCO. El costo de esta válvula es de US\$ 635.
- Un cilindro neumático marca FESTO (50mm x 250 mm), para accionamiento de las ventilas. El costo de este cilindro es de US\$ 195.
- Dos electroválvulas neumáticas 5/2 monoestables marca FESTO y accesorios para accionamiento de la válvula de vaporización y el cilindro neumático. Una unidad de mantenimiento de aire comprimido marca FESTO. Estos componentes tienen un costo total de US\$ 720.
- Un tablero de arranque automático de los ventiladores, lo cual incluye una caja metálica de 50cm x 50 cm x 15 cm, con accesorios (botoneras, señalizadores), tres contactores para motor eléctrico de 3 HP con bobina de

220VAC, dos temporizadores electrónicos con un contacto normalmente abierto con bobina de 220 VAC. El costo total del tablero es de US\$ 500.

- Cincuenta metros de cable vulcanizado de $4 \times 0.5 \text{mm}^2$ para accionamiento de los actuadores. El costo por metro asciende a US\$ 2, siendo el costo total de US\$ 100.

Total Actuadores: US\$ 3,418.

a.4) Fletes e impuestos

- Flete : Es el costo del transporte de los equipos desde Brasil hasta la empresa Forestal Industrial Yavari S.A. El costo asciende a US\$ 350.
- Impuestos: Es la suma del costo de nacionalización de los equipos y el costo del IGV (impuesto general a las ventas). El costo de los impuestos es de US\$ 1,600.

Total Fletes e Impuestos: US\$ 1,950.

a.5) Elaboración del programa del PLC

- Este costo incluye la mano de obra, por un mes de trabajo del programador. El costo asciende a US\$ 1,500.

Total Elaboración del programa del PLC: US\$ 1,500.

a.6) Instalación, puesta en marcha y entrenamiento al operador

- El costo de la mano de obra por la instalación y puesta en marcha del sistema de control automático es de US\$ 250.
- El costo de la mano de obra para entrenamiento del operador de los equipos es de US \$100.

Total Instalación, puesta en marcha y entrenamiento al operador: US\$ 350.

En la Tabla N° 6.1 se muestra el resumen de lo descrito anteriormente.

INVERSIONES			
Item	Monto Unitario (US\$)	Cantidad	Total (US\$)
1.- Controlador			
Controlador Lógico Programable (PLC) marca BCM, modelo GP3011, con certificación ISO 9001 montado en caja metálica.	2,000.00	1	2,000.00
Inversión en el Controlador			2,000.00
2.- Sensores			
Sensores de temperatura tipo PT-100 marca DANFOSS	100.00	3	300.00
Clavos sensores de acero inoxidable para medición de humedad de la madera	5.00	16	80.00
Cable de conexión para los clavos sensores con aislamiento para 130°C	2.50	100	250.00
Tarjeta interfase entre sensores y controlador	500.00	1	500.00
Cable blindado para transmisión de señales entre sensores e interfase	5.00	50	250.00
Material eléctrico en general para instalación (borneras, cajas de pase, etc.)	50.00	1	50.00
Inversión en los Sensores			1,430.00
3.- Actuadores			
Válvula de control para el vapor de calentamiento de 1-1/2", con actuador eléctrico marca SPIRAX SARCO	1,268.00	1	1,268.00
Válvula de control para el vapor de humidificación de 3/4", con actuador neumático, marca SPIRAX SARCO	635.00	1	635.00
Cilindro neumático para accionamiento de las ventilas marca FESTO (50mm x 250 mm)	195.00	1	195.00
Válvulas solenoide y accesorios para accionamiento de la válvula de vaporización y el cilindro neumático, unidad de mantenimiento de aire comprimido.	720.00	1	720.00
Tablero de arranque automático de los ventiladores	500.00	1	500.00
Cable vulcanizado de 4x0.5mm ² para accionamiento de actuadores	2.00	50	100.00
Inversión en los Actuadores			3,418.00
4.- Flete e impuestos			1,950.00
5.- Elaboración del programa del PLC			1,500.00
6.- Instalación, puesta en marcha y entrenamiento al operador del equipo			
Instalación y puesta en marcha del sistema	250.00	1	250.00
Entrenamiento del operador del equipo	100.00	1	100.00
Inversión en Instalación, Puesta en Marcha y Entrenamiento			350.00
TOTAL INVERSION (US \$)			10,648.00

Tabla 6.1 RESUMEN DE INVERSIONES

b) Costos

Los costos han sido evaluados de acuerdo al costo de mano de obra promedio en el mercado peruano, considerando los siguientes puntos:

b.1) Operación y mantenimiento

- Personal. Para operar el sistema de secado automático se requiere de un personal capacitado en secado de madera y computación (Ingeniero Forestal de preferencia). El costo mensual de mano de obra es de US\$ 630.
- Mantenimiento mensual. Equivale al 0.125% de la inversión total en el sistema de control automático. Este costo es de US\$ 13.31 mensual.

Total Costo Mensual de Operación y Mantenimiento: US \$ 643.31.

En la Tabla 6.2 se muestra el resumen de lo descrito anteriormente.

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
Personal	630.00
Mantenimiento mensual	13.31
Costo de Operación y Mantenimiento Mensual(US\$)	643.31

Tabla 6.2 RESUMEN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

c) Ingresos

c.1) Ingresos por concepto de venta de madera seca adicional

En el mercado mexicano el precio de un Pie Tablar de madera seca está valorizado en US\$ 1.30. Este precio se supone constante para el período de análisis.

Por otro lado se sabe que el nuevo sistema de secado tiene una capacidad de 65.23 Pies Tablares/hora y el antiguo sistema de secado tiene una capacidad de 40.64 Pies Tablares/hora. Esto implica que con el nuevo sistema de secado se producen 24.59 Pies Tablares / hora adicionales, que en un mes serían 17,704.8 Pies Tablares.

En la Tabla 6.3 se muestra el resumen de lo descrito anteriormente.

INGRESOS ADICIONALES CON EL NUEVO SISTEMA DE SECADO	
Madera seca adicional por día (PT)	590.16
Madera seca adicional por mes (PT)	17,704.80
Precio de Venta del PT (US \$)	1.30
Costo de Producción por PT (US\$)	0.80
Costo de transporte (US \$)	0.10
Ingreso Neto por PT (US \$)	0.40
Ingreso Total Adicional Mensual(US\$)	7,081.92

Tabla 6.3 RESUMEN DE INGRESOS

6.3. Evaluación Económica

A continuación se realiza una breve descripción de conceptos utilizados:

- Inversión

Lista los principales componentes requeridos para la implementación del Sistema de Control Automático, detallando los costos de inversión respectivos.

- Costos

Estima los costos mensuales asociados a la operación y mantenimiento del Sistema de Control Automático.

- Ingresos

Estima los ingresos mensuales relacionados con la venta de madera seca adicional, luego de la implementación del nuevo Sistema de Secado.

- Valor Actual Neto (VAN)

Es la diferencia entre todos los ingresos y los egresos actualizados al período actual. Según el criterio del valor actual neto el proyecto debe aceptarse si su valor es positivo. El tiempo evaluado es de 12 meses y la tasa de descuento mensual es de 3%.

- Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es aquella tasa que hace que el valor actual neto sea igual a cero. El proyecto debe aceptarse cuando la tasa interna de retorno sea mayor a la tasa de descuento. El tiempo a evaluar se mantiene igual.

- Tiempo de recuperación (t_R)

Consiste en determinar el período para la recuperación de la inversión inicial. A menor tiempo se considera al proyecto más rentable.

En la Tabla 6.4 se muestra el flujo de caja de la implementación del nuevo Sistema de Secado, con una tasa de descuento de 3% mensual

MESES	FLUJO DE CAJA (US\$)	VAN (US\$)
1	-10,648.00	-10,337.86
2	0	-10,337.86
3	0	-10,337.86
4	6,438.61	-4,617.24
5	6,438.61	936.76
6	6,438.61	6,328.99
7	6,438.61	11,564.17
8	6,438.61	16,646.87
9	6,438.61	21,581.53
10	6,438.61	26,372.46
11	6,438.61	31,023.85
12	6,438.61	35,539.76

Tabla 6.4 FLUJO DE CAJA

En la Tabla 6.5 se muestra la evaluación económica de la implementación del nuevo Sistema de Secado

EVALUACIÓN ECONÓMICA	
INVERSIONES (US\$)	10,648.00
COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MENSUAL (US\$)	643.31
INGRESO TOTAL ADICIONAL MENSUAL (US \$)	7,081.92
VAN (12 meses) (Tasa de descuento mensual 3%)	35,539.76
TIR (%)	31.88
t_R (meses)	5 meses

Tabla 6.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.4. Comentarios

- El estudio económico revela que la evaluación posee un $VAN > 0$ y un $TIR > 3\%$. Se concluye que para las consideraciones realizadas, el proyecto se presenta como muy atractivo desde el punto de vista de la inversión privada.
- Para evaluar los costos de operación y mantenimiento en el flujo de caja, se ha considerado que el nuevo Sistema de Secado inició sus operaciones en el cuarto mes.
- El precio de venta del Pie Tablar de madera seca en el mercado mexicano se ha considerado constante para realizar la evaluación, con lo cual hemos evaluado un caso conservador.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a las pruebas reales realizadas con el Secador Automatizado, se demuestra que se produce 65.23 pies tablares por hora de madera exportable tipo Virola de espesor de 6/4" (1.5"), con una eficiencia mayor en 60.50% respecto al secador de madera convencional (de operación manual) cuya producción es 40.64 pies tablares por hora. Es decir : "Es factible el diseño e implementación del Sistema de Control Automático".
- La totalidad de componentes del sistema son importados, de procedencia brasilera.
- El tiempo de implementación del sistema es de 60 días.
- El costo de implementación del sistema es US\$ 10,648.00

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda implementar un sistema de seguridad, en el caso que se produzca sobrecarga o cortocircuito en algún motor eléctrico.
- Se recomienda la aplicación de este sistema de control automático, ya que el tiempo de recuperación de la inversión es de 5 meses.

BIBLIOGRAFÍA :

Libros :

- Título del Libro : INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
 Autor : Doctor Antonio Creus Solé
 Edición : 6ª Edición - 1997
- Título del Libro : MECATRÓNICA
 Autor : W. Bolton
 Edición : 2ª Edición - 2001
- Título del Libro : CONTROLADORES LÓGICOS
 PROGRAMABLES
 Autor : Elmer Ramírez Quiroz
 Edición : 1ª Edición – 1997
- Título del Libro : INGENIERÍA DE LA AUTOMATIZACIÓN
 INDUSTRIAL
 Autor : Ramón Piedrafita Moreno
 Edición : 2001
- Título del Libro : EL SECADO
 Autor : Dr. Ing. Friedrich Kneule
 Edición : 1ª Edición - 1976
- Título del Libro : AUTÓMATAS PROGRAMABLES
 Autor : Josep Balcells – Julio Luis Romeral
 Edición : 1998

Manuales :

- Título del Manual AUTOMATIZAR CON NEUMÁTICA
 Autor Festo Pneumatic
- Título del Manual MANUAL DEL GRUPO ANDINO PARA EL
 SECADO DE MADERAS
 Autor Junta del Acuerdo de Cartagena Prid-Madera
- Título del Manual CURSO MODERNO “APLICACIONES
 MODERNAS DE LA NEUMÁTICA EN
 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL”
 Autor Colegio de Ingenieros del Perú – Capítulo de
 Ingeniería Mecánica y Mecánica-Eléctrica

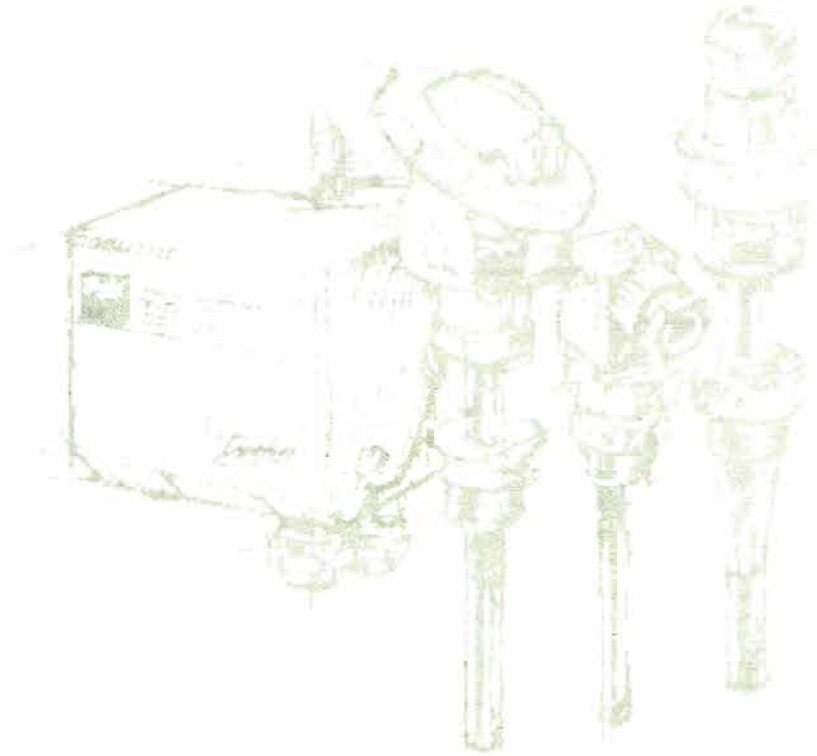
Revistas :

- Título de la Revista BOSQUES AMAZÓNICOS
 Director de la Revista: Juan Mateluna Florián

ANEXOS

Anexo N° 01 : CATÁLOGO SOBRE SENSORES PT-100

Datablad



Temperature sensors
types MBT 153, 5253 and 3260

September 2000

DKACT.PD.P30 A1 02
52060586

Fuente Consultada : Página web www.danfoss.com



Temperatur sensors, types MBT 153, 5253 and 3260

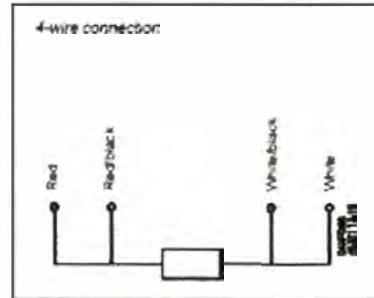
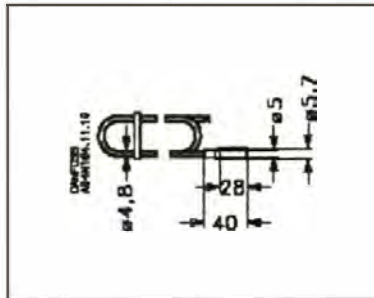
Features and application



Universal cable temperature sensor
Type MBT 153

- For temperature measurement and regulation where reliable, robust and accurate equipment is required
- Temperature range -50 to +200°C
- Short response times
- Pt100 or Pt1000 resistance element
- 2- or 4-wire connection

Dimensions and colour code



Technical data

Response times

indicative response times according to VDI-VDE 3522

Water 0.2 m/s		Air 1 m/s	
t _{0.5}	t _{0.1}	t _{0.5}	t _{0.1}
1 s	5 s	28 s	107 s

Weight approx.

Cable length	Weight approx
3.5 m	88 g
5.5 m	154 g
9.5 m	238 g

Mechanical and environmental specifications

Max. ambient temperature ¹⁾	PVC: → 100°C Silicone: → 200°C
Sensor tolerance	EN 60751 Class B: ± (0.3 + 0.005 × t) t = temperature of medium, numerical value
Vibration stability	Shock: 100 g in 6 ms Vibrations: 4g sine function 5 - 200 Hz, measured acc. to IEC 68-2-8
Enclosure	IP 67
Cable	PVC 2 × 0.25 mm ² Silicone 2 × 0.25 mm ² (2-wire) Silicone 4 × 0.14 mm ² (4-wire)

¹⁾ According to max. allowed temperature for the cable.

Temperatur sensors, types MBT 153, 5253 and 3260

Ordering - Standard programme

Cable	Sensor element	Cable length [m]	Connection	
			2-wire Code no.	4-wire Code no.
PVC max 100°C	Pt100	3.5	084Z6030	
	Pt100	5.5	084Z6031	
	Pt100	8.5	084Z6032	
	Pt1000	3.5	084Z6033	
	Pt1000	5.5	084Z6034	
	Pt1000	8.5	084Z6035	
Silicone max 200°C	Pt100	3.5	084Z6036	084Z6215
	Pt100	5.5	084Z6037	084Z6042
	Pt100	8.5	084Z6038	084Z6216
	Pt1000	3.5	084Z6039	
	Pt1000	5.5	084Z6040	
	Pt1000	8.5	084Z6041	

Other specifications on request



Temperatur sensors, types MBT 153, 5253 and 3260

Features and application

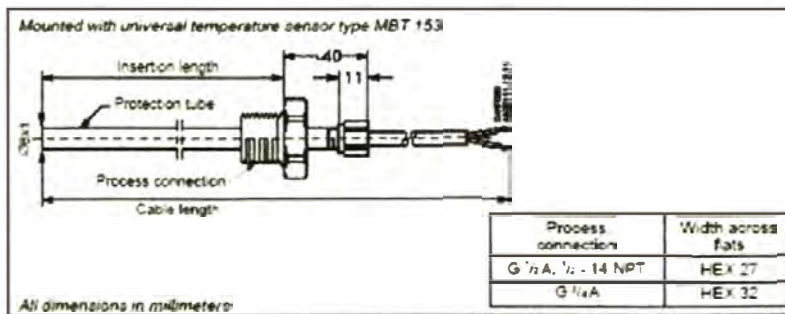


MBT 5253 mounted with MBT 153

Sensor pocket for MBT 153
Type MBT 5253

- For measuring and regulating temperature in piping systems and refrigeration plant on ships - or at all points where reliable, robust and accurate equipment is required
- Gaseous or liquid media, e.g. air, gas vapour, water or oil
- Temperature range -50 to +200°C
- Short response times
- MBT 5253 mounted with MBT 153 is approved by
 - Lloyds Register of Shipping, LR
 - Germanischer Lloyd, GL
 - Bureau Veritas, BV
 - Det Norske Veritas, DNV
 - Nippon Kaiji Kyokai, ClassNK
 - American Bureau of Shipping, ABS
 - Registro Italiano Navale, RINA

Dimensions



Technical data

Response times: MBT 5253 mounted with temperature sensor type MBT 153

Protection tube	Indicative response times according to VDI/VDE 3522			
	Water 0.2 m/s		Air 1 m/s	
	t ₉₅	t ₉₀	t ₉₅	t ₉₀
28 x 1	9 s	33 s	90 s	310 s
28 x 1, filled with heat conductive compound ¹⁾	3 s	10 s	30 s	300 s

¹⁾ The sensor is supplied without heat conductive compound

Weight approx. (excl. MBT 153)

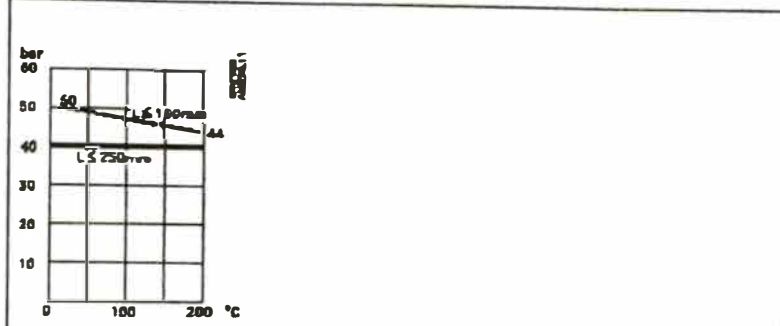
Insertion length	Process connection		
	G 1/2 A	G 3/4 A	1/2 - 14 NPT
50 mm	87 g	128 g	87 g
100 mm	96 g	137 g	96 g
150 mm	105 g	145 g	105 g
200 mm	114 g	155 g	114 g
250 mm	123 g	164 g	123 g

Weight of MBT 153, see page 3



Temperatur sensors, types MBT 153, 5253 and 3260

Max. load on protection tube according to DIN 43763



L = Insertion length

Process connection	G 1/2 A, 1/2 - 14 NPT	G 1/2 A
Max. tightening torque	60 Nm	100 Nm
Permissible media velocity	Air Water	25 m/s 3 m/s

Mechanical and environmental specifications ¹⁾

Max. ambient temperature	100°C (limited by the O-ring sealing at cable entry)	
Sensor tolerance	EN 60751 Class B ± (0.3 + 0.005 · t)	t = temperature of medium, numerical value
Vibration stability	Shock 100 g in 5 ms Vibrations 4g sine function 5 - 200 Hz, measured acc. to IEC 68-2-6	
Enclosure	IP 67	
Cable	PVC 2 × 0.25 mm ² Silicone 2 × 0.25 mm ² (2-wire) Silicone 4 × 0.14 mm ² (4-wire)	
Materials in contact with media	W no. 1 457 ¹⁾ (AISI 316 Ti)	

¹⁾ For MBT 5253 mounted with temperature sensor type MBT 153

Ordering - Standard programme

Insertion length	Process connection		
	G 1/2 A Code no.	G 1/2 A Code no.	1/2 - 14 NPT Code no.
60 mm	084Z6050	084Z6060	084Z6070
100 mm	084Z6051	084Z6061	084Z6071
150 mm	084Z6052	084Z6062	084Z6072
200 mm	084Z6053	084Z6063	084Z6073
250 mm	084Z6054	084Z6064	084Z6074

Note!
Temperature sensor type MBT 153 must also be ordered for use with the MBT 5253 sensor pocket. Please see pages 2 - 3 for technical information and code numbers for MBT 153.



Temperatur sensors, types MBT 153, 5253 and 3260

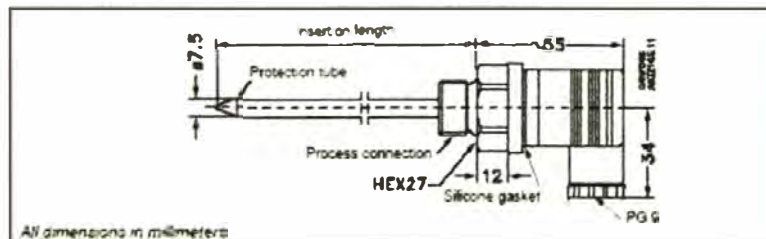
Features and application



Universal temperature sensor for screwing in Type MBT 3260

- For temperature measurement and regulation in piping, and ventilation systems and other light industrial applications
- Pt100 or Pt1000 resistance element
- Temperature range -50 to +120°C
- Copper tube
- Short response times
- G1/4 brass process connection
- Goldplated connectors
- Fixed measuring insert
- Insertion lengths 50, 100 or 250 mm

Dimensions



Technical data

Response times

Protection tube	Indicative response times according to VDI/VDE 3522			
	Water 0.2 m/s		Air 1 m/s	
	t ₉₀	t ₆₃	t ₉₀	t ₆₃
27.5 mm	2 s	2.5 s	5 s	12 s

Weight

Insertion length	Weight approx.
50 mm	116 g
100 mm	125 g
250 mm	143 g

Mechanical and environmental specifications

Max. ambient temperature	120°C	
Max. media pressure	7.5 bar external water pressure at room temperature acc. to DIN 43703	
Sensor tolerance	EN 60751 Class B: $\pm (0.3 + 0.005 \times t)$	t = temperature of medium, numerical value
Enclosure	IP 54 according to IEC 529	
Materials	Protection tube Process connection Plug	Copper Brass PA 6.6 Design according to DIN 43450

Ordering - Standard programme

Insertion length [mm]	Resistance value	
	Pt100 Code no.	Pt1000 Code no.
50	08426055	08426056
100	08428181	08428180
250	08428183	08428182

Anexo N° 02 CATÁLOGO SOBRE VÁLVULAS PARA VAPORIZACIÓN



IM-P373-05
CH Issue 6

Indice

Válvulas con actuador de pistón
Tipo PF51G y PF61G
Instrucciones de instalación y mantenimiento

Aviso de seguridad
Precauciones en el manejo

PTFE

Dentro de su rango de temperatura de trabajo, el PTFE es un material completamente inerte, pero cuando se calienta a su temperatura de entzamiento, produce una descomposición gaseosa del producto o gases que pueden producir un efecto desagradable si se inhala. Se puede evitar la inhalación de estos gases colocando extractores de aire.

El fumar en talleres donde se trabaja con PTFE debería estar prohibido ya que el tabaco contaminado con PTFE desprenderá gases poliméricos al arder. Por tanto, es importante evitar la contaminación de PTFE en la ropa, especialmente en los bolsillos, y mantener un cierto grado de higiene personal lavándose las manos y eliminando cualquier resto de PTFE que pueda haber bajo las uñas.

Descripción

Válvula todo-nada de dos vías con actuador neumático, en acero inoxidable para trabajar en aplicaciones de vapor, agua, aire y gas.

Tipos disponibles

PF61G-NC	Normalmente cerrada, Fluido tiende a cerrar (de 1 a 2)
PF61G-NO	Normalmente abierta, Fluido tiende a abrir (de 2 a 1)
PF61G-BD	Bidireccional normalmente cerrada, Fluido tiende a cerrar (de 1 a 2) o Fluido tiende a abrir (de 2 a 1)

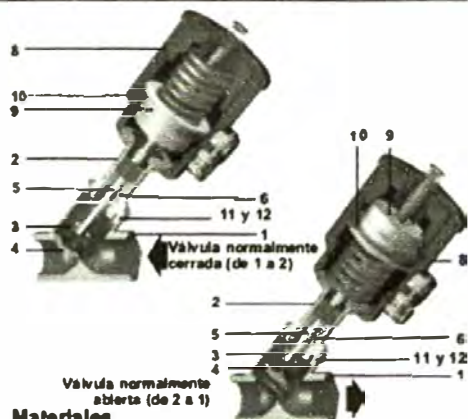
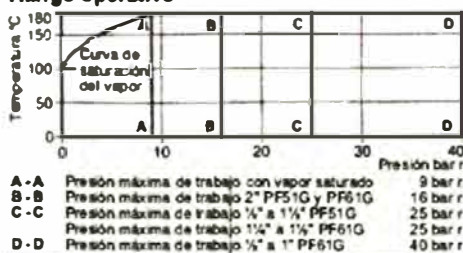
Datos técnicos

Fuga máxima	Asiento blando PTFE ANSI clase VI		
Características de caudal	Apertura rápida todo-nada		
Dirección de flujo, ver tipos disponibles o ver etiqueta de producto			
Anti-golpes de aire	Fluido tiende a abrir conexión 2 a 1		
Ploteaje	Aire o agua (60°C máx.)		
Rotación del actuador	360°		
Tamaño actuador	Conexión piloto	Presión ploteaje máxima	
	Diámetro 45 mm	1/2" BSP	10 bar r
	Diámetro 63 mm	1/2" BSP	10 bar r
	Diámetro 90 mm	1/2" BSP	8 bar r

Condiciones límite

Condiciones de diseño del cuerpo	(1/2" a 1")	PN25
	(1 1/2" a 2")	PN16
Temperatura de diseño máxima	180°C	
Temperatura de diseño mínima	-10°C	
Presión máxima de vapor saturado	9 bar r	
Presión diferencial máxima	Ver TI del producto	

Rango operativo



Materiales

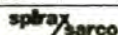
No	Parte	Materiales
1	Cuerpo	PF51G Bronce EN 1982 CC491K PF61G Acero inoxidable AISI 316L
2	Cabezal válvula	PF51G Latón EN 12165 CW617N PF61G Acero inoxidable AISI 316L
3	Obturador	Acero inoxidable AISI 316L
4	Anillo de cierre	PTFE
5	Vástago	Acero inoxidable AISI 316
6	Empaquetadura	PTFE chevron
7	O-ring vástago	Viton
8	Caja actuador	Poliamida
9	Pistón	Poliamida
10	Reten labial pistón	Viton
11	Junta	PTFE

Valores Kvs

Tamaño	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"
Kvs	4,2	7,8	18,6	27	42
Para convertir:		$C_v(UK) = K_v \times 0,97$		$C_v(US) = K_v \times 1,17$	

Instalación

- La línea debe estar soportada para evitar esfuerzos en el cuerpo de la válvula.
- La válvula puede instalarse en cualquier posición. Para facilitar el montaje del piloto, el actuador puede rotar 360° en la dirección que indica su etiqueta.
- Asegure que las tuberías de conexión están aisladas y libres de impurezas, suciedad, etc. Cualquier partícula que entre en el cuerpo de la válvula puede dañar el asiento de PTFE y perder el cierre hermético.
- No exceder el rango de rendimiento de la válvula.
- Remítase a las condiciones límite y los detalles en la etiqueta del producto para las limitaciones de presión de ploteaje y temperatura de trabajo.
- Remítase a las condiciones límite y a las marcas en el cuerpo de la válvula para la limitación de presión de trabajo del cuerpo y temperatura de trabajo.
- Asegúrese de que la válvula está montada correctamente para la dirección del fluido, según se describe en Tipos disponibles y según se indica en la etiqueta de producto.
- Un indicador top aparecerá en la parte superior del actuador cuando la válvula esté totalmente abierta (no en modelos con interruptores final de carrera).



© Copyright 2002

Regulador de caudal

Para regular el caudal máximo en las válvulas NC (normalmente cerradas) o NO (normalmente abiertas). El regulador de caudal se puede utilizar también para accionar manualmente en las válvulas normalmente abiertas.



Regulación de caudal - válvulas normalmente cerradas

1. Aislar las válvulas primarias aguas arriba y aguas abajo.
2. Aflojar la contratuercas del regulador de caudal.
3. Girar el volante manual en sentido de las agujas de reloj hasta que la válvula este completamente cerrada. Un indicador rojo aparecerá en la parte superior de la tuerca de ajuste.
4. Aplicar suficiente presión de pilotaje para vencer la condición de máxima presión diferencial.
5. Abrir las válvulas primarias aguas arriba y aguas abajo.
6. Abrir gradualmente la válvula hasta que se alcance el caudal requerido.
7. Apretar la contratuercas del regulador de caudal.
8. Eliminar la presión de pilotaje para comprobar estanqueidad del cierre.
9. Volver a aplicar presión de pilotaje para comprobar la condición de caudal máximo.

Regulación de caudal - válvulas normalmente abiertas.

1. Compruebe que el regulador de caudal está completamente abierto. Desenroscar la contratuercas del regulador.
2. Cerrar gradualmente la válvula hasta que se alcance el caudal requerido.
3. Apretar la contratuercas del regulador de caudal.
4. Aplicar suficiente presión de pilotaje para comprobar estanqueidad del cierre.
5. Eliminar la presión de pilotaje para comprobar la condición de caudal máximo.

Interruptor final de carrera

Proporciona una señal eléctrica para indicar la posición abierta o cerrada de la válvula. Un sensor magnético y un interruptor sin contactos proporcionan la señal.

Rango máximo:
 Voltaje (V) = 500 V
 Intensidad (I) = 0,5 A
 Consumo (P) = 30 VA



Cableado

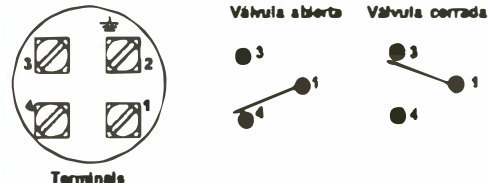


Tabla 1 Pares de apriete cuerpo/cabezal (N m)

Tamaño válvula	Par apriete	Tamaño válvula	Par apriete
1/4"	35	1 1/4"	55
1/2"	45	1 1/2"	60
1"	50	2"	70

Electroválvulas (tipo DM)

Las electroválvulas tipo DM se montan en el actuador de la siguiente manera. Para montar una electroválvula en una válvula normalmente cerrada use la conexión marcada "NC", para válvulas normalmente abiertas use la conexión "NO". Cuando se utilice agua como medio de pilotaje, saque el tapón de escape y conecte una línea de desagüe.



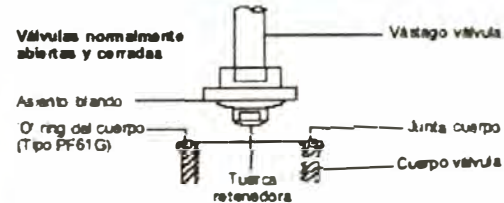
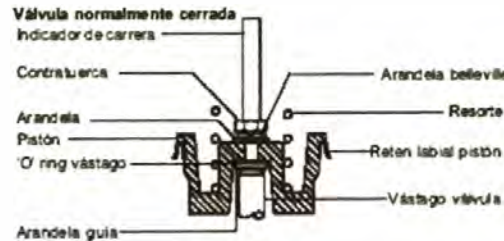
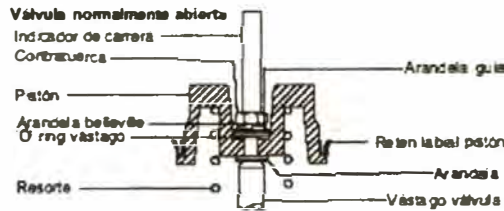
Recambios disponibles

Disponemos de lista de juntas que consta de: asiento, O ring vástago, reten labial del cuerpo junta (y O ring del cuerpo tipo PF61G). Para sustituir estas piezas, proceder como se indica a continuación:

1. Aislar las válvulas aguas arriba y aguas abajo.
2. Eliminar la presión de pilotaje del actuador y desconectar el piloto.
3. Retirar la válvula de la línea.
4. Sacar el cuerpo de la válvula e inspeccionar el asiento de PTFE. Nota: Si la válvula es normalmente cerrada, antes de sacar el cuerpo hay que eliminar la presión que ejerce el resorte en el asiento para evitar dañarlo, se puede hacer de dos formas:
 - I - Sujetar el cuerpo de la válvula, desenroscar la tapa del actuador para eliminar la tensión del resorte o
 - II - Dar un poco presión de pilotaje para eliminar la presión del resorte en el obturador.


Si se ha de sustituir, sacar la tuerca retenedora del anillo de cierre, sujetando el obturador por los dos planos para evitar que gire, colocar el anillo de cierre nuevo y la tuerca retenedora y aplicar Loctite 620 a la rosca del vástago. Apretar la tuerca retenedora con un par de 15 N m. Apretar el cuerpo/cabezal (según Tabla 1).

5. Para inspeccionar o sustituir el O ring del vástago o la junta pistón, sacar la tapa del actuador mientras sujeta firmemente el cuerpo de la válvula. Atención: El resorte interno está comprimido. Tambén sacar el cuerpo de la válvula como está descrito en el punto 4.
6. Mientras se sujeta la tapa del actuador, sacar el indicador de cámara y la contratuercas del vástago y sacar las dos arandelas.
7. Sacar el O ring del vástago y la arandela. Inspeccionar el anillo reten labial sustituir si están dañados.
8. Limpiar la zona de deslizamiento del pistón/actuador y aplicar grasa inerte compatible con las juntas de vitón en el O ring y el anillo reten labial.
9. Volver a montar en orden inverso siguiendo los dibujos para la colocación correcta de los componentes. Mientras sujeta el cabezal de la válvula, apretar la contratuercas del vástago. Volver a colocar el indicador de cámara y apretar.
10. Apertar la tapa del actuador con un par de 50 N m (actuadores de 45 mm y 63 mm de diámetro) y 70 N m (actuadores de 90 mm de diámetro).
11. Volver a montar el cuerpo de la válvula sustituyendo la junta cuerpo (y O ring del cuerpo tipo PF61G) y apretar el par de apriete recomendado en la tabla 1.



Como pasar pedido de KR de juntas
 Al pasar pedido debe especificar el tamaño de la válvula, tipo y código fecha (etiqueta del actuador por ej. 401 = semana 40, año 2001).
 Ejemplo: 1 kt de juntas para válvula PF51G-2NO de 1", código fecha 401.

Anexo N° 03 : CATÁLOGO SOBRE VÁLVULAS PARA CALENTAMIENTO



**spirax
sarco**

TI-P303-01
CH Issue 4

Car. No.: JRO 09A3008

ISO 9001

Válvulas de hierro fundido LE 31 y LE 33

Descripción

Una gama de válvulas de dos vías y simple asiento fabricadas en hierro fundido conforme a las normas DIN, en tamaños de 1/2" a 4" (DN15 a DN100) disponible con conexiones roscadas o con bridas. Con un actuador lineal neumático o eléctrico proporciona un control de característica modulante o todo / nada. Para un control más preciso, con actuadores neumáticos, se debería usar un posicionador.

Tamaños y conexiones

LE31 1/2", 1/2", 1", 1 1/2", 1 1/2" y 2"
BSP Roscadas (BS 21 paralela) NPT bajo pedido.
LE33 DN15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80 y 100
Bridas estándar BS 4504 PN10.
Opcional JIS 10 y KS 10. Ver literatura aparte para más detalles sobre válvulas LEA31 y LEA33 con normativa ANSI.

Opciones

Cierre Equiportentual, paso reducido, apertura rápida (todo / nada) y asiento blando.

Empaquetadura PTFE chevrons o empaquetadura de grafito.
Para más detalles ver TI-P303-02


Datos técnicos

Controlador	DN15 a DN65 (1/2" a 2 1/2")	Perforado
	DN80 y DN100 (3" y 4")	en V
Pérdida	Metal / metal EC 534-4 Clase IV (0,01 % del Kv)	
	Asiento blando EC 534-4 Clase VI	
Característica caudal (estándar)	Equiportentual	
Rango	50 l	
Carrera	DN15 a DN50 (1/2" a 2")	20 mm
	DN65 a DN100 (2 1/2" a 4")	30 mm

Condiciones límite

Condiciones de diseño del cuerpo	PN10
Temperatura diseño máxima	Estándar 250°C
	Alta temperatura 305°C
Temperatura diseño mínima	-10°C
Prueba hidráulica	24 bar r
Presión diferencial máxima	ver TIS del actuador

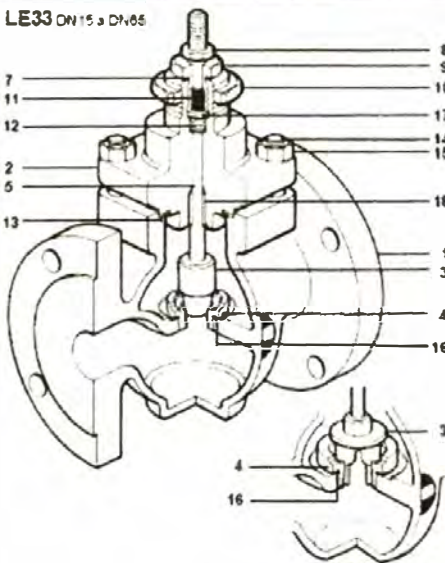
Rango operativo



La válvula no puede trabajar en esta zona

Requiere empaquetadura de grafito para alta temperatura. Ver TI-P303-05.

LE33 DN15 a DN65



LE
Obturador y asiento
DN80 y DN100

Materiales

No Parte	Material	
1 Cuerpo	Hierro fundido	DIN 1691 GG 25
2 Cabeza:	Función nodular	DIN 1693 Gr. GGG 40.3
3 Obturador	Acero inoxidable	BS 679 431 S29
4 Asiento	Acero inoxidable	BS 679 431 S29
5 Vástago	Acero inoxidable	BS 679 431 S29
7 Junta	Grafito laminado semirígido	
8 Contratuerca	Acero inoxidable	BS 610E A4-20
9 Tuerca prendas.	Acero inoxidable	BS 679 431 S29
10 Tuerca montaje	Acero cincado	NFA 35553 xC 185
11 Empaquetadura	PTFE chevrons	
	Aros de grafito	
12 Resete empaq.	Acero inoxidable	BS 2065 316 S42
13 Junta cabezal	Grafito laminado semirígido	
14 Escanagos	Acero	BS 4439 Gr. 8.6
15 Tuercas cabezal	Acero	BS 3692 Gr. 5
	DN15 a DN40 (1/2" a 1 1/2")	M10
	DN50 y DN65 (2" a 2 1/2")	M12
	DN80 y DN100 (3" y 4")	M16
16 Junta asiento	Grafito laminado semirígido	
	PEEK	DN15 - 50
17 Casquillo	PTFE	DN65 - 100
	316L	Aros de grafito
18 Guía de Cabezal	Acero inoxidable	A161 440B Endurecido

En beneficio del desarrollo y mejora del producto, nos reservamos el derecho de cambiar la especificación.

© Copyright 2001

Valores Kvs

Tamaño	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100
Equiporcentual	4	6,3	10	16	25	36	63	100	160
Cierre todo/nada	4	6,3	10	19	28	50	85	117	160

Para el cierre equiporcentual se dispone de tres pasos reducidos, para más detalles ver opciones válvula LE TI-P303-05.

Para convertir C_v (UK) = $K_v \times 0,67$ C_v (US) = $K_v \times 1,17$

Dimensiones / pesos (aproximados) en mm y kg

Tamaño	BS 4504 PN16				Pesos	
	A	B	C	D	LE31	LE33
DN15	85	130	90	38	2,3	3,6
DN20	102	150	90	38	2,9	4,2
DN25	134	160	90	51	4,0	7,0
DN32	144	180	104	51	5,0	9,2
DN40	150	200	104	62	7,0	10,2
DN50	190	230	108	71	8,8	12,6
DN65	-	290	141	-	-	19,5
DN80	-	310	148	-	-	25,3
DN100	-	350	166	-	-	36,4

Instalación

La válvula debe instalarse en una tubería horizontal con la dirección del flujo según la flecha indicada en el cuerpo. La posición del actuador dependerá del tipo montado. Ver instrucciones suministradas con cada válvula.

Cómo pasar pedido

Ejemplo:

1-- Válvula de control LE31 roscada BSP 1 1/2" LE21. Kvs 25.

Recambios

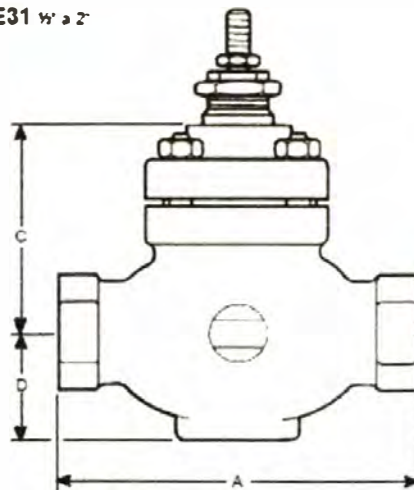
Ver TI-P303-02

Posicionadores y actuadores compatibles

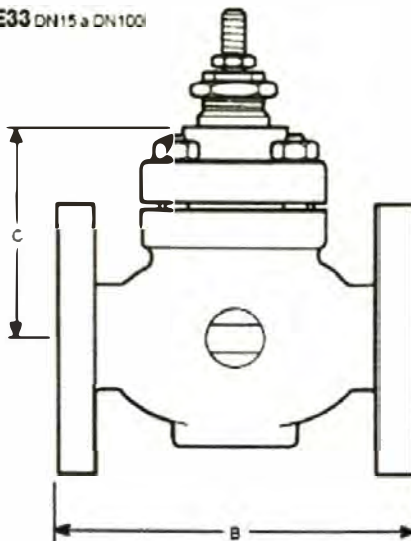
Eléctrico	Serie EL3500 y EL5000
Neumático	Serie PN3000 y PN4000.
Posicionadores	PP5 (neumático), EP5 (electroneumático) y SP1 (smart electroneumático).

Para más detalles referirse a los TI correspondientes.

LE31 1/2" a 2"



LE33 DN15 a DN100



spirax sarco

TI-P358-07
CH Issue 4

Actuador Eléctrico serie EL5600 para Válvulas DN15 a DN100

Descripción

Los actuadores eléctricos EL5600 son actuadores reversibles con salida lineal.

Tipos disponibles

Los actuadores pueden tener una alimentación de 230 Vac, 115 Vac o 24 Vac. La versión estándar está adaptada para VMD (Valve Motor Drive), señal servomotor. Si se desea, se puede montar una tarjeta posicionadora que acepta señales de control 4 - 20 mA o 2 - 10 Vdc para proporcionar un posicionamiento preciso de la válvula.

La versión estándar posee un potenciómetro de 1 k Ω , que puede utilizarse conjuntamente con el posicionador para señales de entrada 2 - 10 V o 4 - 20 mA, o para realimentación para la VDM. Se dispone, también, de interruptores auxiliares y calefactor anti-condensación. Para más detalles sobre los accesorios, ver TI-P358-09. Estos actuadores pueden ser usados con las siguientes válvulas utilizando el kit de montaje.

2-vías LE31, LE33, KE43, KE61, KE93, KE71, y KE73

3-vías CL43 y QL73

Nota: Se precisa la brida de montaje y adaptador de válvula para montar el actuador a la válvula. Ver tabla inferior.

Selección de brida de montaje

Válvula	Actuador EL560_ EL561_ , EL562_ , EL563_ , EL564_	Actuador EL565_
LE, KE, QL DN15 a DN50	EL5670	-
LE DN65 a DN100	EL5671	-
KE, QL DN65 a DN100	EL5671	EL5672

Materiales

No.	Parte	Material
1	Tapa	Polycarbonato
2	Alojamiento	Aluminio

Selección del adaptador a válvula

Tipo de actuador		EL560_	EL561_	EL562_	EL563_	EL564_	EL565_
Tipo de válvula	Vástago válvula	Tipo adaptador					
LE, KE, QL DN15 a DN50	Roscado M9, 60 mm Vástago	EL5601	EL5611	EL5621	EL5631	EL5641	-
LE, KE, QL DN65 a DN100	Roscado M12, 90 mm Vástago	EL5602	EL5612	EL5622	EL5632	EL5642	EL5645

Datos técnicos

Modelo	EL560_	EL561_	EL562_	EL563_	EL564_	EL565_
Alimentación	230 Vac / 115 Vac / 24 Vac \pm 10%					
Frecuencia Hz	50 / 60	50 / 60	50 / 60	50 / 60	50 / 60	50 / 60
Consumo VA*	9,2 / 10,4	10,9 / 12,6	25 / 27	53 / 53 (24 V es 36 VA)	78 / 78	142 / 142
Protección	IP55 (Para instalaciones exteriores proteger de la intemperie)					
Velocidad actuador mm/s	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0
Fuerza máxima del actuador	1 kN	2 kN	4,5 kN	8 kN	12 kN	25 kN
Límites temperatura ambiente	-20 a +50°C (-20 a +50°C con tarjeta posicionadora)					
Motor	Asíncrono - Con condensador					
Terminales	1,5 mm ²					
Accionamiento manual	Volante manual					
Interruptor de transferencia	5 A inductivo 250 Vac 50 Hz					
Premiscables entrada	2 x PG13			3 x PG15		
Consumo posicionador	1,0 VA					

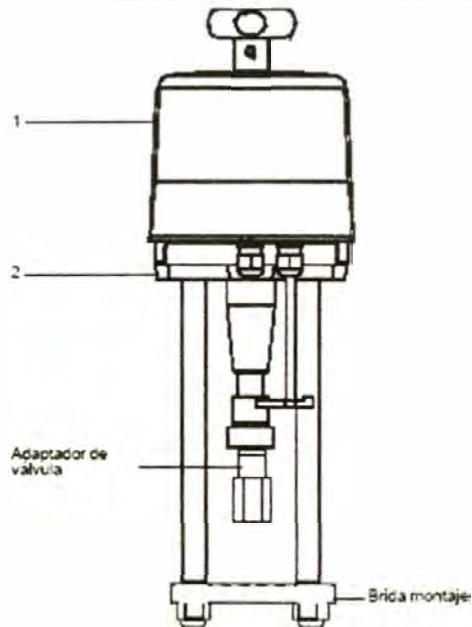
* El consumo de corriente corresponde a 50 / 60 Hz respectivamente.

Certificación

Este equipo lleva la marca CE y cumple con EN 50061-1 y EN 50082-2 (EMC), EN 61010-1/A2 (Seguridad), siguiendo las directivas 89/339/EEC corregida por 92/31/EEC y 93/68/EEC (EMC) y 72/73/EEC corregida por 93/68/EEC (LVD).

En beneficio del desarrollo y mejora del producto, nos reservamos el derecho de cambiar la especificación.

© Copyright 1999



Selección Actuador

Tamaño de válvula	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	
Carerra	20 mm						30 mm			
KE LE estándar Kvs	0.4 1.0 1.6	1.0 4.0	6.3	10	16	25	36	63	100	160
OL Kvs	4	6	10	17	25	36	60	100	130	

Tipo de Válvula	Tipo de Actuador	Voltaje	Presión diferencial (Δbar)								
			DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100
LE 2-vías y KE 2-vías	EL5601	230	40.0 (24.0)	30.3 (13.7)	18.3 (7.7)	9.3 (3.7)	5.4 (1.9)	2.9 (0.9)	1.2 (0.0)	0.6 (0.0)	0.3 (0.0)
	EL5602	115	40.0 (24.0)	30.3 (13.7)	18.3 (7.7)	9.3 (3.7)	5.4 (1.9)	2.9 (0.9)	1.2 (0.0)	0.6 (0.0)	0.3 (0.0)
	EL5603	24	40.0 (24.0)	30.3 (13.7)	18.3 (7.7)	9.3 (3.7)	5.4 (1.9)	2.9 (0.9)	1.2 (0.0)	0.6 (0.0)	0.3 (0.0)
	EL5611	230	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	36.3 (27.7)	19.8 (14.3)	12.0 (8.5)	6.7 (4.7)	3.5 (2.3)	2.2 (1.3)	1.3 (0.7)
	EL5612	115	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	36.3 (27.7)	19.8 (14.3)	12.0 (8.5)	6.7 (4.7)	3.5 (2.3)	2.2 (1.3)	1.3 (0.7)
	EL5613	24	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	36.3 (27.7)	19.8 (14.3)	12.0 (8.5)	6.7 (4.7)	3.5 (2.3)	2.2 (1.3)	1.3 (0.7)
	EL5621	230			40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	26.5 (25.0)	16.3 (14.3)	9.3 (6.1)	6.1 (5.2)	3.2 (3.3)
	EL5622	115			40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	26.5 (25.0)	16.3 (14.3)	9.3 (6.1)	6.1 (5.2)	3.2 (3.3)
	EL5623	24			40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	26.5 (25.0)	16.3 (14.3)	9.3 (6.1)	6.1 (5.2)	3.2 (3.3)
	EL5631	230					40.0 (40.0)	29.7 (27.2)	17.5 (16.2)	11.5 (10.7)	7.4 (6.8)
	EL5632	115					40.0 (40.0)	29.7 (27.2)	17.5 (16.2)	11.5 (10.7)	7.4 (6.8)
	EL5633	24					40.0 (40.0)	29.7 (27.2)	17.5 (16.2)	11.5 (10.7)	7.4 (6.8)
	EL5641	230						40.0 (40.0)	26.7 (25.5)	17.8 (16.9)	11.4 (10.9)
	EL5642	115						40.0 (40.0)	26.7 (25.5)	17.8 (16.9)	11.4 (10.9)
	EL5643	24						40.0 (40.0)	26.7 (25.5)	17.8 (16.9)	11.4 (10.9)
EL5651	230							40.0 (40.0)	35.0 (37.2)	24.6 (24.1)	
EL5652	115							40.0 (40.0)	35.0 (37.2)	24.6 (24.1)	
EL5653	24							40.0 (40.0)	35.0 (37.2)	24.6 (24.1)	
QL 3-vías	EL5601	230	28.6 (12.0)	20.6 (12.0)	15.3 (6.4)	9.2 (3.7)	5.6 (2.0)	3.2 (1.0)	1.1 (0.0)	0.4 (0.0)	0.1 (0.0)
	EL5602	115	28.6 (12.0)	20.6 (12.0)	15.3 (6.4)	9.2 (3.7)	5.6 (2.0)	3.2 (1.0)	1.1 (0.0)	0.4 (0.0)	0.1 (0.0)
	EL5603	24	28.6 (12.0)	20.6 (12.0)	15.3 (6.4)	9.2 (3.7)	5.6 (2.0)	3.2 (1.0)	1.1 (0.0)	0.4 (0.0)	0.1 (0.0)
	EL5611	230	40.0 (30.6)	40.0 (39.6)	32.1 (23.2)	19.9 (14.0)	12.3 (8.8)	7.4 (5.2)	3.7 (2.3)	2.3 (1.3)	1.1 (0.6)
	EL5612	115	40.0 (30.6)	40.0 (39.6)	32.1 (23.2)	19.9 (14.0)	12.3 (8.8)	7.4 (5.2)	3.7 (2.3)	2.3 (1.3)	1.1 (0.6)
	EL5613	24	40.0 (30.6)	40.0 (39.6)	32.1 (23.2)	19.9 (14.0)	12.3 (8.8)	7.4 (5.2)	3.7 (2.3)	2.3 (1.3)	1.1 (0.6)
	EL5621	230	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	26.2 (25.7)	17.9 (15.7)	10.3 (8.2)	7.0 (6.0)	3.7 (3.2)
	EL5622	115	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	26.2 (25.7)	17.9 (15.7)	10.3 (8.2)	7.0 (6.0)	3.7 (3.2)
	EL5623	24	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	26.2 (25.7)	17.9 (15.7)	10.3 (8.2)	7.0 (6.0)	3.7 (3.2)
	EL5631	230					40.0 (40.0)	32.6 (30.3)	19.6 (16.2)	13.5 (12.5)	7.4 (6.9)
	EL5632	115					40.0 (40.0)	32.6 (30.3)	19.6 (16.2)	13.5 (12.5)	7.4 (6.9)
	EL5633	24					40.0 (40.0)	32.6 (30.3)	19.6 (16.2)	13.5 (12.5)	7.4 (6.9)
	EL5641	230						40.0 (40.0)	30.2 (26.8)	20.9 (20.0)	11.6 (11.1)
	EL5642	115						40.0 (40.0)	30.2 (26.8)	20.9 (20.0)	11.6 (11.1)
	EL5643	24						40.0 (40.0)	30.2 (26.8)	20.9 (20.0)	11.6 (11.1)
EL5651	230							40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	25.3 (24.7)	
EL5652	115							40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	25.3 (24.7)	
EL5653	24							40.0 (40.0)	40.0 (40.0)	25.3 (24.7)	

* El ΔP máximo de LE es 16 bar

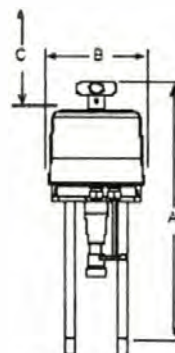
Nota: Las presiones diferenciales entre paréntesis () son para válvulas con estopada de alta temperatura. Se debe dimensionar por Kvs mas que el tamaño de la válvula.

Ejemplo de selección

Válvula	KE43 de 2 vías y DN20
Max ΔP	20 bar
Alimentación	230 Vac
Señal de control	4 - 20 mA
Actuador selección	EL5631P
Adaptador	EL5901
Brida montaje	EL5970

Dimensiones y pesos (aproximados) en mm y kg

Modelo	A	B	C	Peso
EL560	480	177	138	4.5
EL561	480	177	138	4.0
EL562	480	177	138	5.0
EL563	506	177	150	7.0
EL564	586	227	231	10.0
EL565	807	227	280	20.0

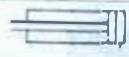


Anexo N° 04 CATÁLOGO SOBRE CILINDRO NEUMÁTICO Y


ACCESORIOS


Normas ISO y VDMA
Versión antigiro


Cilindros estándar ISO




Cilindros de doble efecto



















Estos cilindros corresponden a las normas ISO 6431, VDMA 24562, UNI 10290 y NF E49003.1. Camisa ligera de aluminio extrusionado, con vástago de acero inoxidable, bruñido a rodillo. Este cilindro está disponible en muchas variantes. Las variantes pueden combinarse entre sí salvo alguna excepción.


Accesorios:


-  **Fijación por pies**
Tipo FNC + Ø de embolo
-  **Fijación por brida** (delante o atrás)
Tipo FVC + Ø de embolo
-  **Fijación oscilante**
Tipo SNCI + Ø de embolo
Tipo SNC + Ø de embolo
SNCB - Ø de embolo
-  **Caballete** (para fijación oscilante)
Tipos LSNG + Ø de embolo (SNCI)
LSNSG + Ø de embolo (SNC)
LSN + Ø de embolo (SNCB)
-  **Fijación pivotante**
Tipo ZNCF + Ø de embolo
-  **Caballete**
Tipo LNZC + Ø de embolo
-  **Fijación oscilante intermedia**
Tipo ZNCF + Ø de embolo
-  **Fijación oscilante** con bujinate esférico
Tipo SNCS + Ø de embolo
-  **Caballete** para fijación oscilante
Tipos LSG + Ø de embolo (SNCS)
LNG + Ø de embolo (SNCB)
LGN + Ø de embolo (SGSi)
-  **Conjunto de montaje**
Tipo DPNC
Ver página C 1-48i


- Ø de embolo desde 32 hasta 125 mm
- Carreras estándar desde 20 hasta 500 mm
- Todas otras dimensiones dirigirse a Festo
- Ampliación de las carreras (según el tipo de cilindro)
- Detección magnética
- Fundamentación posible sin lubricación
- Tipo DNC - Ø con vástago anti-gr

Tip.	DNC						
Coverbol (mm)	32	40	50	63	80	100	125
Fuerza (N)	485	754	1178	1871	3018	4712	7263
Fuerza (kg)	416	633	990	1602	2720	4416	6881
CONEXION	G 1/2	G 3/4	G 1	G 1 1/4	G 1 1/2	G 2	G 2 1/2
Carreras estándar	20, 40, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 250						
Carreras	desde 10 hasta 2000						
mm máx. (mm)							

Presión de trabajo máxima admisible: 10 bar
Fuerzas en Newton, referidas a 6 calibrados técnicos
Combinación con unidad de guía tipo FLSG

 **Acoplamiento para vástagos**
Tipos FK, SG, SGS
(ver página C 6-10i)

 **Pieza de acoplamiento**
Tipo KSG - (ver página C 8-12)

 **Detectores de proximidad**
Tipos SME-B, SMT-B, SMTS
(ver página C 3-10i)

Referencia para el pedido:
DNC + Ø de embolo + carrera + amortiguación + detección

Ejemplo de pedido:
63 mm de Ø de embolo, 50 mm de carrera
= DNC 63-50 PPV-A

Para más información, diríjase al teléfono de Festo

Dimensiones: página D.1/28

Montaje directo
Fácil instalación

Racores funcionales para cilindros



Válvulas antirretorno
pilotadas

Reguladores
de velocidad

FESTO
PNEUMATIC

Válvulas de escape
rápido



T005 (6/4)

014A (2)

014Z

011
SE

Serie de cilindros
Feston

Código

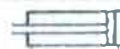
	EMF	ADV J	ADV A	AV	FV	FV7	ED-A	ED-L	ED	pa	pac	pac	pac	pac
020	EMF1	ADV J C	ADV A	AV										
030	EMF2	ADV J C	ADV A	AV										
040	EMF3	ADV J C	ADV A	AV										
050	EMF4	ADV J C	ADV A	AV										
060	EMF5	ADV J C	ADV A	AV										
070	EMF6	ADV J C	ADV A	AV										
080	EMF7	ADV J C	ADV A	AV										
090	EMF8	ADV J C	ADV A	AV										
100	EMF9	ADV J C	ADV A	AV										
110	EMF10	ADV J C	ADV A	AV										
120	EMF11	ADV J C	ADV A	AV										
130	EMF12	ADV J C	ADV A	AV										
140	EMF13	ADV J C	ADV A	AV										
150	EMF14	ADV J C	ADV A	AV										
160	EMF15	ADV J C	ADV A	AV										
170	EMF16	ADV J C	ADV A	AV										
180	EMF17	ADV J C	ADV A	AV										
190	EMF18	ADV J C	ADV A	AV										
200	EMF19	ADV J C	ADV A	AV										
210	EMF20	ADV J C	ADV A	AV										
220	EMF21	ADV J C	ADV A	AV										
230	EMF22	ADV J C	ADV A	AV										
240	EMF23	ADV J C	ADV A	AV										
250	EMF24	ADV J C	ADV A	AV										
260	EMF25	ADV J C	ADV A	AV										
270	EMF26	ADV J C	ADV A	AV										
280	EMF27	ADV J C	ADV A	AV										
290	EMF28	ADV J C	ADV A	AV										
300	EMF29	ADV J C	ADV A	AV										
310	EMF30	ADV J C	ADV A	AV										
320	EMF31	ADV J C	ADV A	AV										
330	EMF32	ADV J C	ADV A	AV										
340	EMF33	ADV J C	ADV A	AV										
350	EMF34	ADV J C	ADV A	AV										
360	EMF35	ADV J C	ADV A	AV										
370	EMF36	ADV J C	ADV A	AV										
380	EMF37	ADV J C	ADV A	AV										
390	EMF38	ADV J C	ADV A	AV										
400	EMF39	ADV J C	ADV A	AV										
410	EMF40	ADV J C	ADV A	AV										
420	EMF41	ADV J C	ADV A	AV										
430	EMF42	ADV J C	ADV A	AV										
440	EMF43	ADV J C	ADV A	AV										
450	EMF44	ADV J C	ADV A	AV										
460	EMF45	ADV J C	ADV A	AV										
470	EMF46	ADV J C	ADV A	AV										
480	EMF47	ADV J C	ADV A	AV										
490	EMF48	ADV J C	ADV A	AV										
500	EMF49	ADV J C	ADV A	AV										
510	EMF50	ADV J C	ADV A	AV										

Para más información, diríjase al teléfono de Festo

Fuente Consultada : Catálogo "Automatizar con Neumática" de FESTO PNEUMATIC

**Montaje directo
Fácil instalación**

Racores funcionales para cilindros



Válvula antirretorno pilotada

**FESTO
PNEUMATIC**

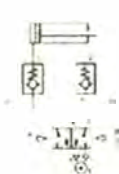


Tipo: HGL

Al aplicar una señal de pilotaje, el aire a presión puede circular en ambos sentidos. Al cesar la señal, la válvula antirretorno evita la descarga del aire del cilindro y se detiene el movimiento del cilindro. Esta válvula puede ser utilizada para ejecutar funciones de posicionamiento y de frenado, en función de la velocidad y la carga.

- Conexión: M hasta G 1/4
- El cuerpo puede girar 360°
- Instalación directa
- Funcionamiento puede ser sin lubricación

Vista en sección



Tipo	HGL-M5	HGL-1/2	HGL-1/4	HGL-1/8	HGL-1/16
Conexión	M5	G 1/2	G 1/4	G 1/8	G 1/16
Caudal nominal (l/min)	100	260	540	900	1540
Presión de trabajo en bar	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2
	hasta 10	hasta 10	hasta 10	hasta 10	hasta 10

Referencia para el pedido:
Seleccionar la válvula en función de la conexión del cilindro.

Ejemplo de pedido:
Conexión del cilindro: G 1/4 - HGL-1/4

Para más información, diríjase al teléfono de Festo

**Poco espacio
Fácil montaje**

Racores funcionales para cilindros



**Válvula reguladora de la velocidad
(válvula de estrangulamiento y antirretorno)**

**FESTO
PNEUMATIC**



Tipo CR A OS 18

Estas válvulas ocupan poco espacio y son montadas directamente en el cilindro para regular la velocidad de su vástago. Tratándose de cilindros de doble efecto, la válvula estrangula la salida de aire.

- Conexiones M3 hasta G 1/4"
- Reducción del aire de escape
- El cuerpo puede girar 360°
- Instalación directa
- Anillo móvil usado para regular la caudal
- Conexión OS para tuberías de plástico (PVC, PU, PE)

Vista en sección



Tipo CR A	M3		G 1/4"		G 3/8"		G 1/2"	
	112338	112339	112340	112341	112342	112343	112344	
Bosca de entrada flexible	4 mm	6 mm	6 mm	8 mm	10 mm	12 mm	16 mm	
Ø exterior de tubo	4,4 (1,73")	6,4 (2,52")	6,4 (2,52")	8,4 (3,31")	10,4 (4,10")	12,4 (4,88")	16,4 (6,46")	
Caudal máximo (l/min)	4		6		8		10	
Características de estrangulamiento	4 mm	Hasta 150 l hasta 150		-		-		
Caudal máximo (l/min) con estrangulamiento	6 mm	Hasta 700	Hasta 700	Hasta 500	Hasta 500	Hasta 500	Hasta 500	
	8 mm	-	Hasta 700	Hasta 900	Hasta 900	Hasta 900	Hasta 900	
Caudal máximo (l/min) con estrangulamiento	4 mm	210/200	280/250	-	-	-	-	
Caudal máximo (l/min) con estrangulamiento	6 mm	240/180	300/250	600/750	800/750	800/750	800/750	
	8 mm	-	220/150	420/1050	420/1050	420/1050	420/1050	
Margen de presión	Desde 0,2 hasta 10 bar							

Referencia para el pedido: Determinar la conexión al cilindro y el Ø exterior de tubo flexible.

Ejemplo de pedido: Conexión de cilindro 6,4 - 5 - tubo 4064 A M3 OS 4 B

Para más información, diríjase al teléfono de Festo

Fuente Consultada : Catálogo "Automatizar con Neumática" de FESTO PNEUMATIC

Poco espacio
Fácil montaje

Racores funcionales para cilindros



Válvulas reguladoras de la velocidad
(válvulas de estrangulamiento y antirretorno)



FESTO
PNEUMATIC

Tipo: GRLA - B
GRLZ - B

GRLA - RS-B
GRLZ - RS-B

Estas válvulas ocupan poco espacio y son montadas directamente en el cilindro para regular la velocidad de su vástago. Tratándose de cilindros de doble efecto, la válvula estrangula la salida de aire; en el caso de cilindros de simple efecto, la válvula estrangula la entrada de aire.

Tipo GRLZ: Regulación de la entrada de aire
GRLA: Regulación de la salida de aire

- Conexión MS hasta G 1/2
- Cuerpo plástico para Ø30
- Instalación directa
- Anillo moleteado para regular el caudal tipo H 1/2
- Conexión con tubo de plástico 1/8"

Ejemplos:



Controlamiento de
p.ej. GRLA MS-B



Con boquilla para enchufar tubo
p.ej. GRLA MS-PK 3/8



Con anillo moleteado para regulación
para MS hasta G 1/2
p.ej. GRLA MS-RS-B

Para cilindros de simple efecto, tipo GRLZ

Tipo	Presión nominal	Caudal nominal en l/min	Velocidad en mm/s	Conexión tubo
GRLZ MS-B	0,5	100	100	M5
GRLZ MS-3/8	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLZ MS-B	0,5	100	100	M5
GRLZ MS-3/8	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLZ MS-1/2	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLZ MS-3/4	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLZ MS-1	0,5	100	100	M5 x 0,5

Para cilindros de doble efecto, tipo GRLA

Tipo	Presión nominal	Caudal nominal en l/min	Velocidad en mm/s	Conexión tubo
GRLA MS-B	0,5	100	100	M5
GRLA MS-PK 3/8	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLA MS-1/2	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLA MS-3/4	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLA MS-1	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLA MS-RS-B	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLA MS-3/8	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLA MS-1/2	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLA MS-3/4	0,5	100	100	M5 x 0,5
GRLA MS-1	0,5	100	100	M5 x 0,5

- ** estrangulación abierta
- ** estrangulación cerrada


Referencia para el pedido: Regulación de la salida de aire para G 1/2 con boquilla para enchufar tubo - GRLA MS-PK 3/8

Ejemplo de pedido: Regulación de la salida de aire para G 1/2 con boquilla para G nominal B - GRLA MS-PK 3/8


Para más información, diríjase al teléfono de Festo


Alta velocidad

Racores funcionales para cilindros




Válvulas de escape rápido







Tipo SEU-1/8




SEU-1/4




SEU-3/8
SEU-1/2






SE-1/8



SE-1/4




SE-3/8
SE-1/2

Con estas válvulas, el aire de escape sale directamente a la atmósfera, en lugar de hacerlo a través de una válvula distribuidora, antepuesta al cilindro. De este modo, el descenso de la presión es más brusco, por lo que el cilindro puede moverse con mayor velocidad.

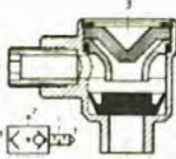
La válvula tipo SEU posee un silenciador integrado para reducir el nivel de ruido.

Accesorios:



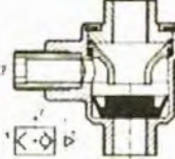
Escuadra de fijación para montar la válvula independiente del cilindro.
Tipo HSE-... - O de embudo

Tipo SEU



1. Escuadra de fijación
2. Válvula
3. Embudo

Tipo SE



1. Válvula
2. Embudo

Tipo SEU

Válvula	SEU-1/8	SEU-1/4	SEU-3/8	SEU-1/2	
Escuadra de fijación	HSE-1/8	HSE-1/4	HSE-3/8	HSE-1/2	
Caudal nominal normal					
cm ³ /s	P - A	300	350	3800	4000
	A - B	300	1100	2200	4000

Tipo SE

Válvula	SE-1/8	SE-1/4	SE-3/8	SE-1/2	SE-3/4
Escuadra de fijación	HSE-1/8	HSE-1/4	HSE-3/8	HSE-1/2	HSE-3/4
Caudal nominal normal					
cm ³ /s	P - A	300	900	2000	2400
	A - B	570	1300	2600	7500

Margen de presión: Desde 0,5 hasta 10 bar









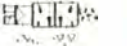



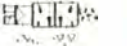



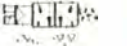



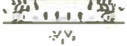


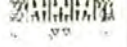

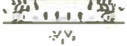


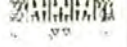

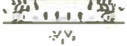


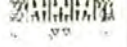
Referencia para el pedido:
Determinar la conexión con el cilindro

Ejemplo de pedido:
Conexión G 1/2, válvula con silenciador integrado = SEU-1/2

Para más información, díjase al teléfono de Festo


Fuente Consultada : Catálogo "Automatizar con Neumática" de FESTO PNEUMATIC

Anexo N° 05 : VÁLVULAS SOLENOIDES

Montaje sencillo Gran rendimiento	Válvulas de accionamiento eléctrico							
<p>Válvulas Tiger 2000 con otras tensiones (serie F)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <div style="text-align: right;">  </div> </div> <p>Tipos MFH-...-B MFH-...-B</p>								
<p>Electroválvulas rápidas y sólidas, de diseño esbelto. Montaje frontal. Tamaños desde G 1/4 hasta G 3/4, versiones de 5/2 y 5/3 vías. Estas válvulas son sumamente versátiles, ya que pueden utilizarse como válvulas individuales o en batería.</p> <p>Observación: Estas válvulas no son intercambiables directamente con la serie de Classic Tiger.</p>		<ul style="list-style-type: none"> ● Tipo de válvula a 5 vías (5/2 y 5/3 vías) ● Tercera salida controlada para la bobina magnética ● Reposición mecánica de neumática (1) ● Opcionalmente con conexión para aire auxiliar de protección (1) para baja presión y vacío 						
<p>Accesorios:</p> <p> Bobinas magnéticas (sin zócalo) (1) (véase también página E 2/351)</p> <p> Zócalo para bobina Tipo MSSD-F</p> <p> Junta luminosa Para indicación del estado operativo. Tipos MF-LD 12-24, 12 hasta 24 V c.c. / MF-LD-220/230-50, 230 V c.a.</p> <p> Zócalo con cable Tipos KMF-1-24-2,5-LED, con cable de 2,5 m, 24 V c.c. KMF-1-24-5-LED, con cable de 5 m, 24 V c.c. KMF-1-220/230-2,5-LED, con cable de 2,5 m, 0 hasta 240 V c.a. KMF-1-220/230-5-LED, con cable de 5 m, 0 hasta 240 V c.a.</p> <p>Placas base y listones distribuidores ver págs. E 2/115, E 2/116. Tensiones y consumo de potencia de las bobinas magnéticas: ver página E 2/351</p>		<p>Válvula de 5/2 vías</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Sin aire de pilotaje</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Con aire de pilotaje</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  Tipo MFH-5-...-B </td> <td style="text-align: center;">  Tipo MFH-5-...-B </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  Tipo MFH-5-...-B </td> <td style="text-align: center;">  Tipo MFH-5-...-B </td> </tr> </table>	Sin aire de pilotaje	Con aire de pilotaje	 Tipo MFH-5-...-B	 Tipo MFH-5-...-B	 Tipo MFH-5-...-B	 Tipo MFH-5-...-B
Sin aire de pilotaje	Con aire de pilotaje							
 Tipo MFH-5-...-B	 Tipo MFH-5-...-B							
 Tipo MFH-5-...-B	 Tipo MFH-5-...-B							
<p>Válvula de 5/3 vías</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Tipo MFH-5/3G...-B Centro a vacío</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">  Tipo MFH-5/3G...-B Centro a vacío </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  Tipo MFH-5/3F...-B Centro a descarga </td> <td style="text-align: center;">  Tipo MFH-5/3F...-B Centro a descarga </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  Tipo MFH-5/3B...-B Centro a presión </td> <td style="text-align: center;">  Tipo MFH-5/3B...-B Centro a presión </td> </tr> </table>		Tipo MFH-5/3G...-B Centro a vacío	 Tipo MFH-5/3G...-B Centro a vacío	 Tipo MFH-5/3F...-B Centro a descarga	 Tipo MFH-5/3F...-B Centro a descarga	 Tipo MFH-5/3B...-B Centro a presión	 Tipo MFH-5/3B...-B Centro a presión	<p>Observación: Los tipos -S disponen de una conexión adicional para un auxiliar de protección para uso con baja presión y vacío.</p>
Tipo MFH-5/3G...-B Centro a vacío	 Tipo MFH-5/3G...-B Centro a vacío							
 Tipo MFH-5/3F...-B Centro a descarga	 Tipo MFH-5/3F...-B Centro a descarga							
 Tipo MFH-5/3B...-B Centro a presión	 Tipo MFH-5/3B...-B Centro a presión							
<p>Referencia para el pedido: Determinar la función y el tamaño de la conexión. Elegir la tensión, el zócalo y los accesorios.</p>		<p>Ejemplo de pedido: Válvula de 5/2 vías con reposición mecánica en reposición y conexión G 1/4 para el aire de protección, bobina de 230 V c.a. y zócalo = MFH-5-1/2-S-B + MSSW-230-50/30-00 + MSSD-F</p>						
<p>Para más información, diríjase al teléfono de Festo</p>								

Montaje sencillo
Gran rendimiento

Válvulas de accionamiento eléctrico



Serie de válvulas Tiger 2000
Válvulas de 2/2 vías

Tipo	Conexión	Presión de funcionamiento		Cantidad mínima (unidad)
		Sin aire de pilotaje	Con aire de pilotaje	
Bobina magnética - Muelle mecánico				
MFH 5-7-B	G 1/4"	2 hasta 10 bar	-	750
MFH 5-7-S-B		2 hasta 10 bar	0 hasta 10 bar	1300
MFH 5-7-B	G 1/2"	2 hasta 10 bar	0 hasta 10 bar	1300
MFH 5-7-S-B		2 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	2000
Bobina magnética - Muelle neumático				
MFH 5-7-B	G 1/4"	3 hasta 10 bar	0 hasta +10 bar	1300
MFH 5-7-S-B		3 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	1600
MFH 5-7-L-B	G 1/2"	2 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	2000
MFH 5-7-L-S-B		2 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	2000

Válvulas de 2/2 vías con 2 bobinas magnéticas

Tipo	Conexión	Presión de funcionamiento		Cantidad mínima (unidad)
		Sin aire de pilotaje	Con aire de pilotaje	
JMF 5-7-B	G 1/4"	2 hasta 10 bar	0 hasta +10 bar	1000
JMF 5-7-S-B		2 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	1600
JMF 5-7-B	G 1/2"	2 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	2000
JMF 5-7-S-B		2 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	2000

Válvulas de 2/2 vías con 2 bobinas magnéticas

Tipo	Conexión	Presión de funcionamiento		Cantidad mínima (unidad)
		Sin aire de pilotaje	Con aire de pilotaje	
MH 5-3G-7-B	G 1/4"	3 hasta 10 bar	-	1000
MH 5-3G-7-S-B		3 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	1600
MH 5-3G-7-B	G 1/2"	3 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	2000
MH 5-3G-7-S-B		3 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	2000
MH 5-3E-7-B	G 1/4"	3 hasta 10 bar	0 hasta +10 bar	1000
MH 5-3E-7-S-B		3 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	1600
MH 5-3E-7-B	G 1/2"	3 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	2000
MH 5-3E-7-S-B		3 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	2000
MH 5-3D-7-B	G 1/4"	3 hasta 10 bar	-	1000
MH 5-3D-7-S-B		3 hasta 10 bar	0 hasta +10 bar	1600
MH 5-3D-7-B	G 1/2"	3 hasta 10 bar	0 hasta +10 bar	1600
MH 5-3D-7-S-B		3 hasta 10 bar	-0,9 hasta +10 bar	2000

Conexión de aire auxiliar de pilotaje: G 1/4" Presión de funcionamiento de pilotaje: 2 hasta 10 bar
Espesor del envoltorio: M5

Para más información, diríjase al teléfono de Festo

Fuente Consultada : Catálogo "Automatizar con Neumática" de FESTO PNEUMATIC

Anexo N° 06 : CATÁLOGO SOBRE EL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Controlador Programável GP 3000



CP genérico para múltiplas aplicações

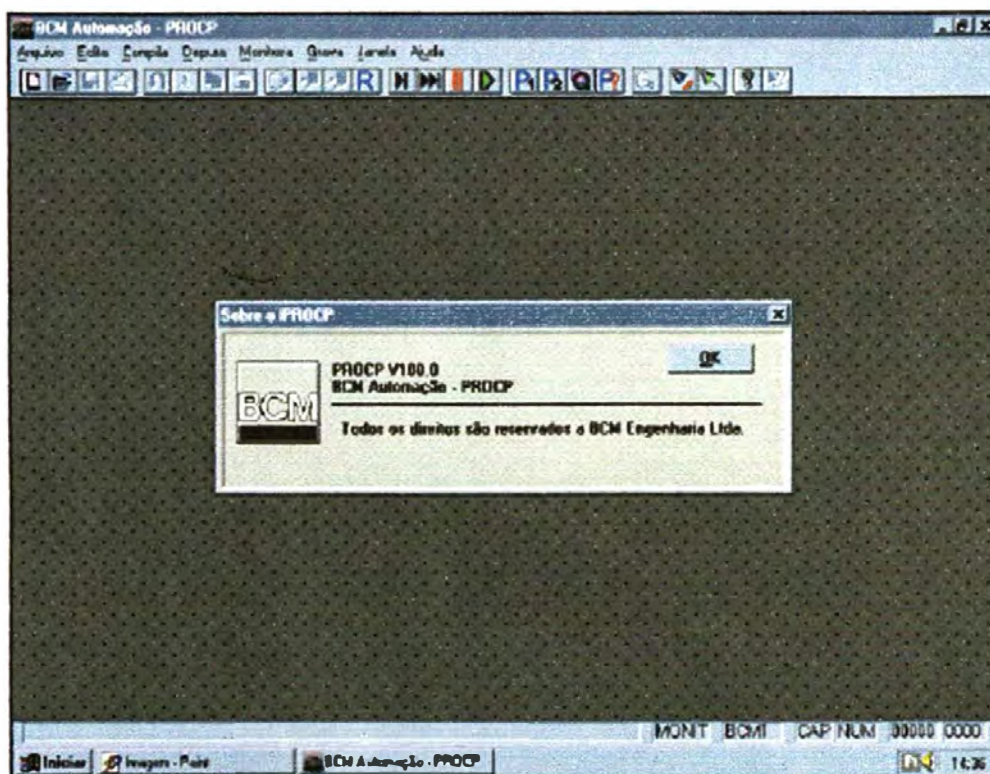
<p>Automação Industrial Controle de velocidade Controle de temperatura Controle de posição Controle de torque Controle de energia Controle de pressão Controle de frequência</p>	<p>Automação Industrial Controle de velocidade Controle de temperatura Controle de posição Controle de torque Controle de energia Controle de pressão Controle de frequência</p>
---	---




www.bcmautomacao.com.br



Fuente consultada : Página web www.bcmautomacao.com.br

Anexo N° 07 : SOFTWARE PARA PROGRAMACIÓN DEL PLC BCM

Fuente consultada : Página web www.bcmautomação.com.br