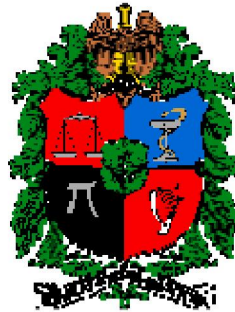


**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA ETAPA DE POTENCIA, CABLEADO E
INSTRUMENTACIÓN PARA UN HORNO AUTOMATICO DE SECADO DE MADERAS.**

JULIAN MONTOYA VILLA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN

FACULTAD DE MINAS

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, MECÁNICA Y CONTROL

MEDELLÍN

2009

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA ETAPA DE POTENCIA, CABLEADO E
INSTRUMENTACIÓN PARA UN HORNO AUTOMATICO DE SECADO DE MADERAS.**

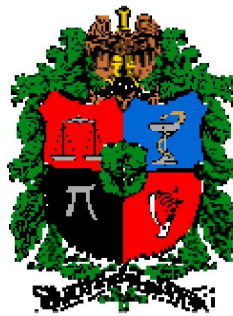
JULIAN MONTOYA VILLA

**Trabajo dirigido de grado para optar al título de
Ingeniero de Control.**

Director

GUILLERMO LEÓN MESA BETANCUR

Ingeniero Electrónico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN

FACULTAD DE MINAS

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, MECÁNICA Y CONTROL

MEDELLÍN

2009

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 7 |
| 2. DISEÑO | 8 |
| 3. PROCESO DE SECADO | 10 |
| 4. CONSIDERACIONES INICIALES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS..... | 18 |
| 5. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE POTENCIA E INSTRUMENTACION. | 36 |
| 6. CONCLUSIONES. | 50 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA..... | 51 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 0. Secuencia del ciclo PHVA | 9 |
| Figura 1. Partes del Tronco..... | 11 |
| Figura 2. Cortes de la madera..... | 11 |
| Figura 3. Horno para secado de Maderas – Laboratorio de Productos Forestales UN..... | 13 |
| Figura 4. Pila del Horno – Laboratorio de Productos Forestales UN. | 14 |
| Figura 5. Componentes Externos - Horno para Secado de Maderas. | 19 |
| Figura 6. Componentes Internos - Horno para Secado de Maderas..... | 20 |
| Figura 7. Montaje de medición y Prueba de Resistencias..... | 21 |
| Figura 8. Comportamiento de la Resistencia vs. Temperatura. | 21 |
| Figura 9. Disposición interna de las Resistencias de Calentamiento. | 22 |
| Figura 10. Ventilador para flujo constante de Aire..... | 23 |
| Figura 11. Detalle Motor 1. | 24 |
| Figura 12. Esquema Fuente de Pruebas para Motores..... | 25 |
| Figura 13. Esquema Motores..... | 25 |
| Figura 14. Triangulo de Impedancia..... | 27 |
| Figura 15. Esquema Control de Nivel en Tanques de vaporización..... | 29 |
| Figura 16. Vista Lateral del Horno - Tanques de vaporización. | 29 |
| Figura 17. Tanque de vaporización. | 30 |
| Figura 18. Vistas Interna y Externa – Tanque Control de Nivel. | 30 |
| Figura 19. Resistencias de Vaporización. | 31 |
| Figura 20. Borneras - Resistencias de Vaporización. | 32 |
| Figura 21. Resistencia de Vaporización en Tanque..... | 32 |
| Figura 22. Actuador y Compresor Neumático sin acoples. | 33 |
| Figura 23. Instrumentación Antigua del Horno. | 34 |

| | |
|---|----|
| Figura 23. Instrumentación comprada por el Laboratorio..... | 34 |
| Figura 24. Circuito interconexión Resistencias de calentamiento..... | 36 |
| Figura 25. Simulación Corrientes Circuito Resistencias de calentamiento. | 37 |
| Figura 26. Simulación Corrientes RMS Resistencias de calentamiento. | 37 |
| Figura 27. Relé VCP – TRP 69-220 y distribución de pines..... | 38 |
| Figura 28. Relé de Estado Sólido TA48A40 Optec..... | 39 |
| Figura 29. Circuito simulación Motor 1..... | 40 |
| Figura 30. Resultado simulación Motor 1..... | 40 |
| Figura 31. Circuito simulación Motor 2..... | 41 |
| Figura 32. Resultado simulación Motor 2. | 41 |
| Figura 33. Circuit-Breaker Trifásico Merlin Gerin Multi 9..... | 42 |
| Figura 34. Contactor CHINT NC1-2510..... | 42 |
| Figura 35. Circuito simulación Resistencias Vaporización..... | 43 |
| Figura 36. Relé VCP – TRP 68-220 y distribución de pines..... | 43 |
| Figura 37. Esquema circuital Accionamiento Compuertas..... | 44 |
| Figura 39. Sistema accionamiento de compuertas..... | 44 |
| Figura 40. PLC Siemens S7-222..... | 45 |
| Figura 41. PLC Siemens S7-222 en montaje y Display Táctil en tablero..... | 47 |
| Figura 42. Red de Petri programa Horno. | 47 |
| Figura 44. Circuito Eléctrico del tablero..... | 49 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Estado de la Madera según la humedad y el lugar de ubicación. | 12 |
| Tabla 2. Definición de los ciclos de secado según la JUNAC..... | 16 |
| Tabla 3. Recomendación de ciclos de secado según la especie de madera..... | 17 |
| Tabla 4. Mediciones de Resistencia vs. Temperatura..... | 21 |
| Tabla 5. Medidas DC Motores. | 26 |
| Tabla 6. Medidas AC Motores. | 27 |
| Tabla 7. Resultados Inductancias..... | 27 |
| Tabla 8. Resultados Resistencias Tanques. | 31 |
| Tabla 9. Inventario de Materiales..... | 35 |
| Tabla 10. Características técnicas Relé VCP – TRP 69-220. | 38 |
| Tabla 11. Medidas Sensor de Humedad Relativa. | 48 |

1. INTRODUCCIÓN

En el mercado nacional e internacional es cada vez mayor el requerimiento de productos elaborados con madera con un contenido de humedad ajustado según las diferentes aplicaciones y condiciones de uso y sitio que se destinarán a cada tipo particular de madera.

Es importante además tener en cuenta el alto valor agregado que se otorga a la madera mediante procesos, tales como el secado, esto contribuye a la valorización de los recursos naturales y una mejora en la economía del sector. Los productos procesados adquieren una mejor cotización en el mercado, convirtiendo así al manejo sostenible en una alternativa más atractiva desde el punto de vista económico.

Es por esto que se hace tan importante para el Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad Nacional de Colombia la necesidad de obtener la funcionalidad del Horno para Secado de Maderas del cual se dispone.

Es entonces el objetivo general de este trabajo lograr poner en marcha el Horno que en la actualidad se encuentra en desuso debido a la falla de muchos de sus componentes, implementando técnicas y tecnologías que hagan posible su instrumentación y automatización para optimizar el proceso de ajuste de humedad.

Durante el proceso de remoción del agua, la madera puede sufrir cambios no deseados en su forma, color o estructura tales como grietas superficiales e internas, rajaduras, torceduras y defectos causados por infección de hongos o insectos, como manchas químicas entre otros. Si estos defectos no pueden ser controlados, es posible que la madera se convierta en un material no apropiado para los diversos usos a los que podría destinarse y causar importantes pérdidas económicas.

El proceso de secado puede lograrse a base de aire natural (secado al aire libre) o por métodos artificiales que estimulan la salida del agua en forma más rápida. En todos los métodos es muy importante tener en cuenta factores críticos como la humedad relativa, la velocidad del aire y la temperatura para asegurar el nivel de humedad determinado para cada madera según el uso para el cual haya sido destinada. Con los procesos tradicionales o el secado al aire libre es muy difícil controlar tales factores debido a que esto dependerá estrictamente del medio ambiente en que sea dispuesta la madera. Es por esto que la implementación del Horno es mucho mejor en cuanto a rapidez y calidad del producto terminado ya que es posible mediante la instrumentación y automatización controlar las variables críticas del proceso y asegurar así los resultados deseados sin depender de cambios ambientales aleatorios a los que se expone la madera al aire libre.

2. DISEÑO

El Laboratorio de Productos Forestales dispone de un Horno para secado de madera, este ha permanecido en sus instalaciones desde hace varios años pero en la actualidad se encuentra completamente inoperable, debido que muchos de sus componentes se han dañado por diferentes razones y tiene partes con alto grado de deterioro causados por la corrosión y el ambiente del Laboratorio.

Se dispondrá de esta manera de los componentes que hacían parte del Horno, tales como resistencias de calentamiento, compuertas de aireación, tanques de vaporización, tuberías, ventiladores, entre otros. Se realizará un mantenimiento exhaustivo y caracterización de los componentes que aun sean funcionales y se diseñarán e implementarán dentro la limitación de los recursos disponibles las etapas que sean necesarias para poder instrumentar, automatizar y controlar las variables y potencia eléctrica del horno.

Logrando así no solo la recuperación, sino también, una significativa mejoría mediante la actualización de los sistemas instrumentación y control de potencia eléctrica de modo que pueda ser aprovechado nuevamente y proveer al Laboratorio de no solo una nueva herramienta académica si no también un elemento de competencia en el mercado maderero local.

Se pretende además el control y automatización del proceso para permitir la operación del mismo con mínima intervención humana y con excelentes resultados en el producto final y un óptimo consumo de potencia eléctrica velando por el bienestar de cada uno de los componentes, la madera a procesar y los recursos económicos del laboratorio.

Partiendo entonces de los recursos y requerimientos para plantear una opción que permita dar solución a los problemas del Horno del laboratorio, revisar y tomar las acciones correctivas del caso hasta conseguir la conformidad de los requerimientos planteados. Se propone un enfoque del problema basado en procesos lo cual proporciona un control continuo entre los procesos individuales dentro del sistema, así como sobre su combinación e interacción.

Un enfoque de este tipo enfatiza la importancia de:

- a) La comprensión y el cumplimiento de los requisitos.
- b) La necesidad de considerar los procesos en términos que aporten valor.
- c) La obtención de resultados del desempeño y eficacia del proceso.
- d) La mejora continua de los procesos con base en mediciones objetivas.

Se aplica entonces la metodología conocida como “Planificar-Hacer-Verificar-Actuar” o ciclo PHVA, que puede describirse brevemente como:

Planificar: Establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con los requisitos del cliente, los recursos y las políticas establecidas.

Hacer: Implementar los procesos que darán los resultados planteados como objetivos.

Verificar: Realizar el seguimiento y la medición de los procesos y los productos respecto a las políticas, los objetivos y los requisitos para el producto, e informar los resultados.

Actuar: Tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño de los procesos.

La secuencia del ciclo PHVA se muestra en la figura 1.

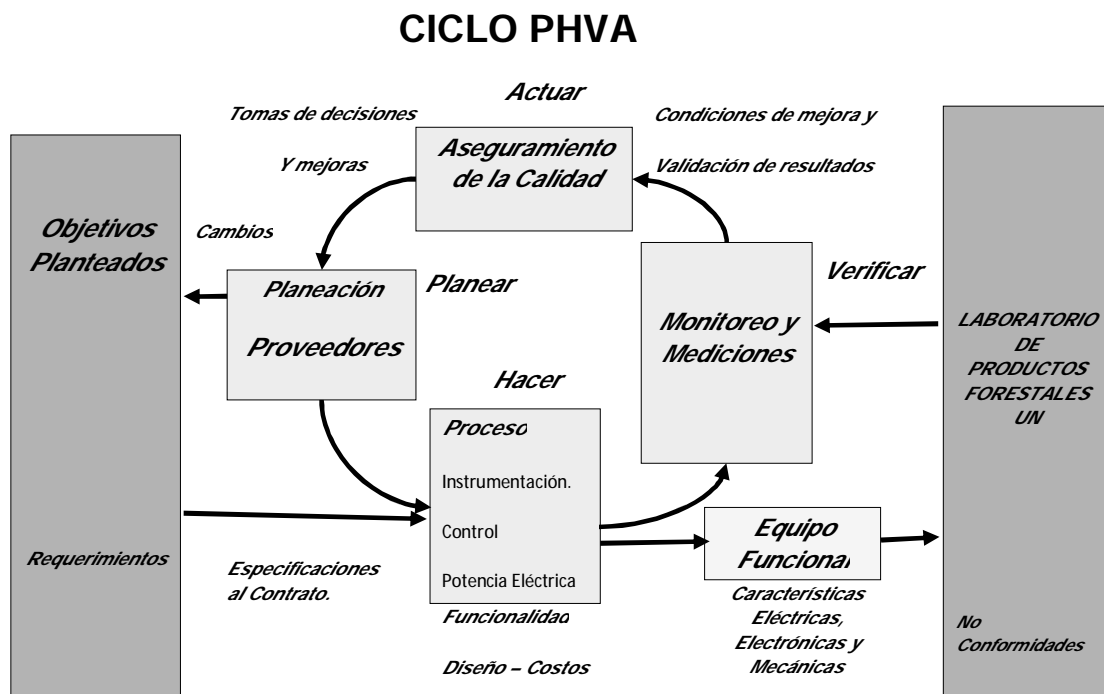


Figura 0. Secuencia del ciclo PHVA

3. PROCESO DE SECADO

El proceso de secado se puede definir como la eliminación del exceso de agua en el material recién cortado. Este proceso se aplica con el propósito de optimizar su posterior procesamiento y transporte para usos específicos.

La madera puede ser secada por uno de los tres métodos siguientes:

1. Secado completo al aire libre (secado natural).
2. Secado completo en hornos o cámaras.
3. Secado al aire hasta cerca del punto de saturación de las fibras y completando el proceso en un horno.

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. En este trabajo se hará énfasis en el segundo método ya que es para este que se proyecta la implementación del Horno.

3.1. Estructura de la Madera

A continuación se procede a realizar una descripción general de la materia prima en cuestión, la madera, como parte fundamental y razón principal de diseño del Horno.

La madera en estado natural como parte fundamental del tronco de los árboles tiene funciones de sostén de ramas y transporte de alimentos. Esto le confiere al material, porosidad, una elevada resistencia mecánica en relación con su peso, entre otras características. Las propiedades generales del material varían según la dirección en la cual la madera sea cortada.

3.1.1. Partes del Tronco

Corteza: Está conformada por tejidos muertos. Es la cubierta protectora exterior que sirve para proteger al árbol de agentes externos de daño y evitar la evaporación del agua del tronco.

Cámbium: Es el tejido generatriz ubicado entre la corteza interna y el sámbago, produce la corteza hacia afuera y la madera hacia adentro. El Cámbium es una parte de vital importancia en el tronco debido a que si esta superficie se daña causará la muerte de la parte afectada.

Anillos de crecimiento: son capas concéntricas de engrosamiento diametral, visibles en muchas especies, formadas por acción del cámbium.

Sámbago: También conocido como Jane, situada entre el cámbium y el duramen, es la parte viva de la madera. Su contenido de humedad es mayor que el del duramen pero seca más rápidamente que éste debido a su alta porosidad.

El duramen o madera de corazón: parte interna del tronco conformada por tejido muerto. Por lo general su delimitación no siempre está bien definida.

Médula: es el núcleo central de un tronco. La madera cercana a la médula tiende a secar con más defectos que el resto del leño.

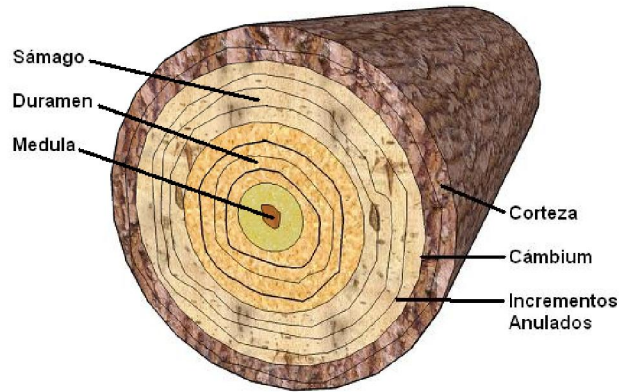


Figura 1. Partes del Tronco

3.1.2. Cortes de la Madera

Según los cortes en la madera se pueden apreciar a nivel microscópico los siguientes tejidos básicos:

Poros: corte transversal de los vasos.

Parénquima: Tejido de reserva que puede ser de dos tipos: longitudinal, un tejido blando y claro, y los radios que se dirigen al centro del tronco. Constituyen zonas de fallas donde se originan las grietas y rajaduras de la madera, durante el secado.

Fibras: Tejido que cumple la función de sostén del árbol; sus extremos son finos y el interior es hueco. Las paredes son de grosor variable según la densidad de la madera.

Los cortes en un tronco pueden ser de cuatro tipos.

- Corte transversal: Perpendicular al eje del tronco.
- Corte tangencial: Tangencial a los anillos de crecimiento.
- Corte radial: Paralelo a los radios.
- Corte oblicuo: Forma intermedia entre Radial y Tangencial.

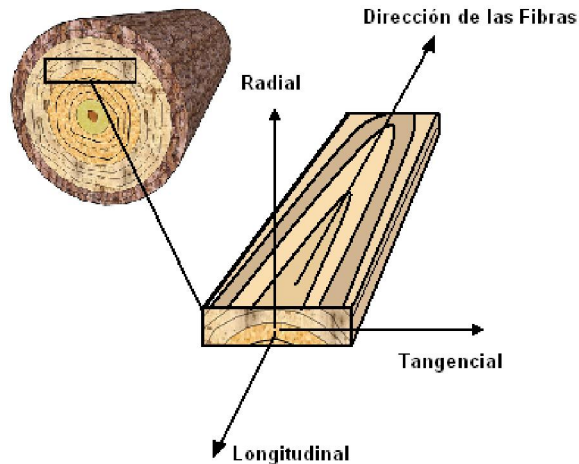


Figura 2. Cortes de la madera.

3.1.3. Humedad de la Madera

El árbol en pie contiene un elevado nivel de agua. Algunas especies livianas como la Balsa y el Mapajo pueden contener hasta 300% ó 400% de contenido de humedad; otras muy pesadas como el Quebracho colorado llegan hasta un 50% a 60% como máximo.

Lo que indica que el contenido de agua en un árbol puede ser hasta **4 veces mayor** que el de madera.

El agua en la madera está presente en dos formas:

Agua libre o capilar:

Se encuentra en el interior de las cavidades celulares. Es el agua de más fácil extracción. Al eliminarla no se presentan modificaciones apreciables en las propiedades físicas y mecánicas del leño y se llega a un nivel de humedad de aproximadamente 30% en la madera. A este contenido de humedad se denomina **Punto de Saturación de la Fibras (PSF)**.

Agua de impregnación:

Es la que se encuentra adherida a las paredes celulares. Una vez iniciada la eliminación de esta forma de humedad a partir del PSF, se inician las modificaciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

La madera recibe varias denominaciones en función a su contenido de humedad como se describe en la Tabla 1.

| DENOMINACIÓN DEL ESTADO DE LA MADERA | NIVEL DE HUMEDAD | LUGAR DE UBICACIÓN |
|---|-------------------------|--|
| Madera verde | de 80 a + 200% | Bajo cubierta en el bosque |
| Madera húmeda | 25 a 80 % | Recién cortada, en patio de trozas o a la intemperie |
| Madera poco seca | de 20 a 25% | Aire libre |
| Madera seca al aire | de 15 a 20% | Bajo techo |
| Madera muy seca | de 8 a 15% | Interiores |
| Madera Anhidre | 0% | En laboratorio |

Tabla 1. Estado de la Madera según la humedad y el lugar de ubicación.

3.2. Etapas Del Proceso

En la operación normal de un horno para secado de madera es necesario tomar ciertas precauciones para conseguir resultados satisfactorios. La madera debe ser apilada apropiadamente, 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.

En nuestro caso y en general los hornos convencionales son cámaras o compartimientos cerrados, dotados de ventiladores que dan lugar a una circulación forzada del aire dentro de la cámara. Además el horno cuenta con un sistema de calentamiento controlado que permite elevar la temperatura del horno y dispositivos regulables 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 elevadas temperaturas, y disponer de puertas de fácil manejo y cierre hermético.



Figura 3. Horno para secado de Maderas – Laboratorio de Productos Forestales UNV.

El Horno, objeto de este trabajo es un Horno para *secado convencional* ya que este se lleva a cabo a temperaturas entre 40 y 100 °C y se diferencia del secado a alta temperatura porque éste opera por encima de 100 °C.

En las bibliografías tenidas en cuenta para este trabajo se encontró que en cuanto a los pasos a seguir para una operación normal de secado pueden existir pequeñas diferencias según la fuente de consulta, pero en general el proceso puede describirse como se muestra a continuación:

A. 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 (sámago y duramen).

- Cortes radiales y tangenciales.

Aunque no siempre se aplicaran 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.

B. 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.



Figura 4. Pila del Horno – Laboratorio de Productos Forestales UN.

C. Calentamiento de la carga

Después de cargar el Horno y realizar correctamente la pila de madera en su interior, se procede al calentamiento de la carga que puede definirse como el tiempo necesario para subir la temperatura de la madera a la inicial del programa y calentar todo el espesor de la pieza, sin iniciar el proceso de secado, lo cual se logra con una humedad relativa alta.

Los detalles de esta parte del proceso dependen del tipo de madera y del espesor de las piezas y la alta humedad relativa puede tener como consecuencia una rehumidificación superficial.

D. Secado por encima del punto de saturación de las fibras

El punto de saturación de las fibras (P.S.F.) es el punto en que el volumen de la madera permanece prácticamente constante, a pesar de incrementar la humedad que posea.

Como se describió en el numeral 3.1.3 se habla de un nivel aproximado al 30% de humedad en la madera.

Esta parte del proceso consiste en la evaporación del agua libre de la madera, bajo temperaturas no muy elevadas y altas humedades relativas, para evitar defectos de secado como el endurecimiento superficial, grietas superficiales y el colapso.

E. Secado por debajo del P.S.F

La temperatura se eleva a la máxima permitida del programa y la madera se seca hasta el contenido de humedad final.

F. Homogeneizado

Tiene por objeto lograr que todas las piezas de madera de la carga de secado, alcancen un contenido de humedad cercano al final deseado.

G. Acondicionado

Tiene por objeto lograr una madera sin endurecimiento superficial (sin tensiones de secado) y con una distribución uniforme del contenido de humedad en el espesor (gradiente de humedad <3%).

H. Muestras para el control del Secado

H.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.

H.2. Número de Muestras

Se recomienda que el número de muestras de secado a tomar debe ser como mínimo cuatro por cada 20 m³ y de 10 a 12 muestras por cada carga de 100 m³.

H.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.
- En la mayoría de los casos, de cada tabla elegida se obtiene una muestra pero se pueden tomar más.
- 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 60 cm de los extremos.
- 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.

3.3. Tablas de la JUNAC para Secado de Madera

Los detalles de los parámetros de secado dependen del tipo de madera, de modo que, de acuerdo a la especie, debe hacerse una consulta para ver si existen recomendaciones para su secado. Si estas recomendaciones no existen, se debe optar por un programa suave de acuerdo a la JUNAC.

A continuación se presentan algunas tablas estándar para secado de madera.

| Programa de Secado | Contenido de Humedad en la Madera % | Temperatura °C | | Humedad Relativa Aproximada % |
|---------------------|-------------------------------------|----------------|--------------|-------------------------------|
| | | Term. Seco | Term. Húmedo | |
| Fuerte (F) | Verde | 60 | 56 | 80 |
| | 60 | 65 | 58 | 70 |
| | 50 | 70 | 60 | 60 |
| | 40 | 75 | 61 | 50 |
| | 30 | 80 | 62 | 40 |
| | 20 | 80 | 60 | 35 |
| Moderado (M) | Verde | 50 | 47 | 80 |
| | 60 | 55 | 49 | 70 |
| | 40 | 60 | 51 | 60 |
| | 30 | 65 | 52 | 50 |
| | 25 | 70 | 54 | 40 |
| | 20 | 70 | 50 | 35 |
| Suave (S) | Verde | 40 | 37 | 80 |
| | 60 | 40 | 35 | 70 |
| | 40 | 45 | 37 | 60 |
| | 25 | 50 | 40 | 50 |
| | 20 | 55 | 42 | 40 |
| | 15 | 55 | 37 | 30 |

Tabla 2. Definición de los ciclos de secado según la JUNAC

| NOMBRE CIENTÍFICO | NOMBRE COMUN | PROGRAMA DE SECADO |
|---------------------------------|-------------------|--------------------|
| <i>Anacardium excelsum</i> | CARACOLI, MIJAO | M |
| <i>Apeaba aspera</i> | MAQUIZAPA ÑAGCHA | F |
| <i>Aspidosperma macrocarpon</i> | PUMAQUIRO | M |
| <i>Bombacopsis quinata</i> | SAQUI SAQUI | F |
| <i>Brosimum alicastrum</i> | CHARO AMARILLO | M |
| <i>Brosimum utie</i> | PANGUANA SANDE | F |
| <i>Calophyllum mariae</i> | ACEITE MARIO | S |
| <i>Camposperma panamensis</i> | SAJO | M |
| <i>Carapa guianensis</i> | CARAPA, TANAGARE | S |
| <i>Cariniana domesticaca</i> | CACHIMBO | F |
| <i>Caryocar coccineum</i> | ALMENDRO | S |
| <i>Catostemma commune</i> | BARAMAN | M |
| <i>Cedrelinga catenaeformis</i> | SEIQUE, TORNILLO | F |
| <i>Ceiba pentrandra</i> | BONGA | M |
| <i>Ceiba samauma</i> | HUIMBA | S |
| <i>Cespedesia spathulata</i> | PACORA | S |
| <i>Chlorophya tinctoria</i> | MORAL FINO | M |
| <i>Chrysophyllum caimito</i> | CAIMITILLO | M |
| <i>Clarisia racemosa</i> | MORA | S |
| <i>Copaifera pubiflora</i> | ACEITE CABIMO | M |
| <i>Copaifera sp.</i> | CANIME | M |
| <i>Copaifera officinalis</i> | COPAIBA | F |
| <i>Dialyanthera gracilipes</i> | CUANGARE | F |
| <i>Didymopanax morototon</i> | SUN SUN | F |
| <i>Erisma uncinatum</i> | MUREILLO | F |
| <i>Eucalyptus globulus</i> | EUCALIPTO | S |
| <i>Goupia glabra</i> | CHAQUITO | M |
| <i>Guarea sp.</i> | PIASTE | M |
| <i>Gustavia speciosa</i> | COQUELO BLANCO | F |
| <i>Hieronyma chocoensis</i> | MASCAREY, PANTANO | S |
| <i>Hieronyma laxiflora</i> | CARNE ASADA | S |
| <i>Huberodrendon patino</i> | CARRA | F |
| <i>Humirastrium procerum</i> | CHANUL | S |
| <i>Hura crepitans</i> | CATAHUA AMARILLA | F |
| <i>Hymenaea courbar</i> | ALGARROBO | M |

Tabla 3. Recomendación de ciclos de secado según la especie de madera.

4. CONSIDERACIONES INICIALES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Para comenzar el trabajo se tienen varias bases consideradas como punto de partida, a saber: el estado físico y funcional del horno, las limitaciones del presupuesto junto con los requerimientos o especificaciones técnicas realizadas por el laboratorio para lograr la funcionalidad e integración a la vida académica e industrial del horno. Además se cuenta con algunos equipos comprados para su mantenimiento y mejoras que fueron propuestos en un trabajo de grado realizado en 2007.

Para una correcta funcionalidad el Laboratorio de Productos Forestales hace los siguientes requerimientos técnicos:

- Hacer un análisis del estado físico del horno y de sus componentes. Basándose en la observación y algunas mediciones técnicas.
- Disponer de los elementos existentes, inventariarlos y hacer un listado de los faltantes según los diseños a realizar y montar.
- Adaptación de la acometida trifásica a 220 V para alimentación del horno.
- Adecuación y puesta en funcionamiento de las compuertas de aireación en la parte superior del horno.
- Diseñar el circuito, montar, cablear y alimentar las resistencias de calentamiento del aire.
- Diseñar el circuito, montar, cablear y alimentar las resistencias de los tanques para humidificación.
- Adecuación de los componentes eléctricos y de control en el tablero disponible en el laboratorio.
- Instalar, cablear y poner en marcha los sensores designados como instrumentación que están disponibles en el laboratorio, específicamente el sensor de humedad relativa y la termocupla.
- Caracterizar, cablear y adecuar eléctricamente los motores que tiene el horno para los ventiladores.
- Diseñar el circuito eléctrico para la puesta en marcha de los motores.
- Implementar la etapa de control compuesta por un PLC Siemens S7-200 con modulo de termocupla, Fuente Power Logo y Display táctil para el monitoreo y configuración del programa de secado.

Según lo propuesto se procede a realizar un diagnóstico del estado físico del Horno y de sus componentes existentes. Realizando varias visitas al Laboratorio de Productos Forestales y con la guía de los encargados del Horno se realiza una caracterización para una descripción general.

Se levantó entonces un plano en 3D del Horno para poder apreciar con más claridad la ubicación y el estado de sus partes.

Suprimiendo el ambiente del laboratorio de Productos Forestales el siguiente gráfico muestra los componentes externos con los que se encontró el Horno al comienzo del proyecto.

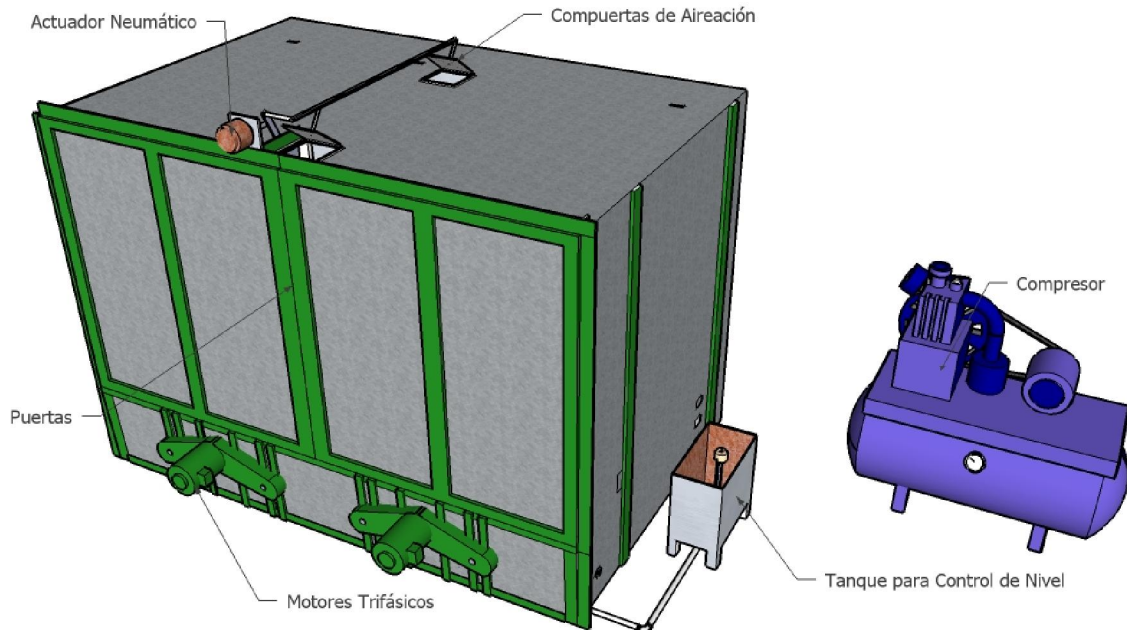


Figura 5. Componentes Externos - Horno para Secado de Maderas.

El levantamiento Tridimensional del Horno fue realizado con medidas reales de cada una de las partes, aunque en este modelo no se puede apreciar el desgaste físico con detalle, la gráfica permite apreciar con más claridad la ubicación de cada uno de sus componentes.

El recubrimiento externo del horno tiene algunas partes corroídas y despintadas como son las láminas de color gris que se observan en la gráfica y las vigas de color verde. Pero en general se encuentra en buen estado por lo que simplemente se recomienda dar una mano de pintura al exterior. Esta labor fue realizada por funcionarios del Laboratorio con recursos del mismo.

Las Puertas del horno cuyo eje se encuentra a cada extremo de la parte frontal abren y cierran si mayor dificultad, la cerradura que disponen funciona perfectamente por lo cual la única recomendación que se hace es engrasar las bisagras de las puertas para que abran y cierren más fácilmente ya que será usadas con mas frecuencia cuando el Horno sea puesto en funcionamiento nuevamente. Esta tarea también fue llevada a cabo por los funcionarios del Laboratorio

Con la ayuda del software de dibujo *Google SketchUp* se realiza el siguiente gráfico donde se muestran los componentes internos del Horno en una vista de "Rayos X".

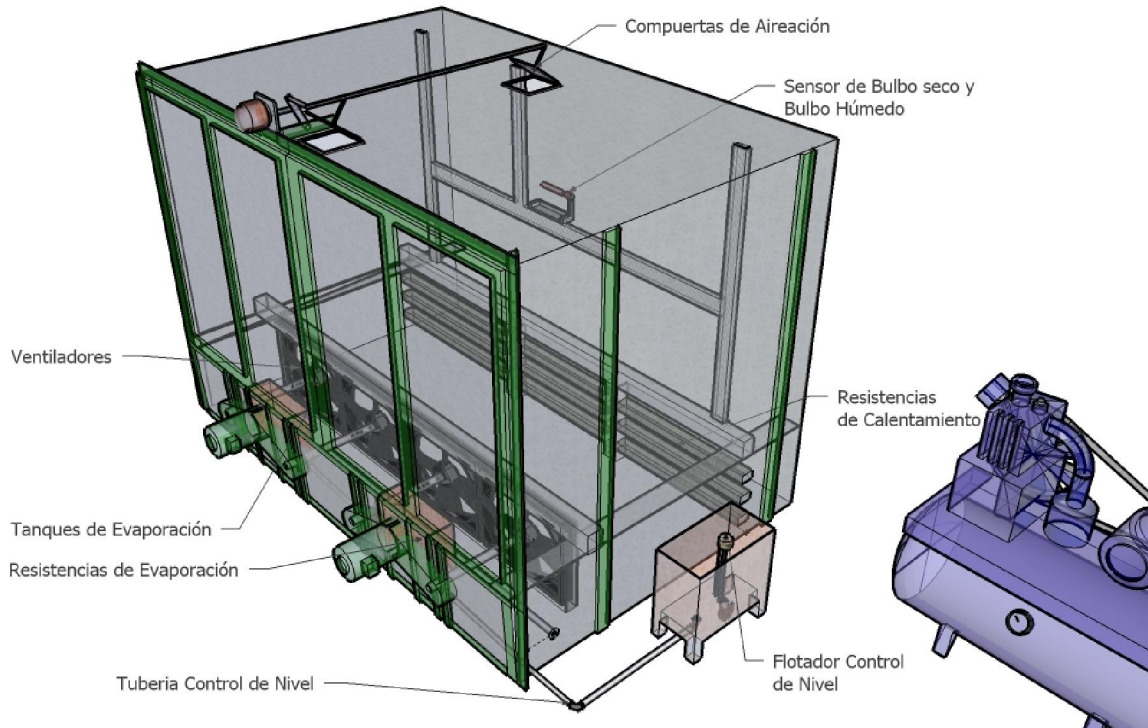


Figura 6. Componentes Internos - Horno para Secado de Maderas.

Esta vista nos permite apreciar de una forma global el interior del horno suprimiendo además la cantidad de basura y residuos que se encontraron allí además del estado de deterioro de algunas partes.

El Sistema completo del Horno puede dividirse en subsistemas con el fin de caracterizarlo de una forma más simple.

Se propone la siguiente división para poder estudiar con más detalle el estado y disponibilidad de todos los componentes y partes funcionales:

Subsistemas:

- 1. Resistencias de Calentamiento:** Están compuestas por 9 Resistencias de aletas para calentamiento del Aire dispuestas en res bloques de tres (3). Incluyendo además el cableado y control de la potencia eléctrica para la activación de las resistencias.

Las resistencias se encuentran desgastadas por el uso normal y el paso del tiempo. Para comprobar su estado se realizan mediciones y pruebas.

Se retiró lo quedaba del cableado anterior que estaba en muy mal estado, despejando todas las terminales de cada resistencia, de esta forma fue posible realizar mediciones independientes de Impedancia a cada una.

Para la medición y prueba de las Resistencias se realizó el siguiente montaje.

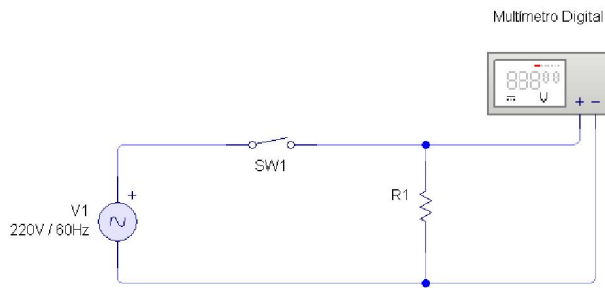


Figura 7. Montaje de medición y Prueba de Resistencias.

Inicialmente se midió cada resistencia en vacío. Encontrando un valor promedio de 17 Ω . Pero después de Energizar una de ellas para probar su funcionamiento durante un tiempo, esta se volvió a medir y se encontró que la resistencia aumentó. Por esto decidió hacer la prueba como se describe a continuación:

- Se energizan las Resistencias con 220VAC
- Se realizan mediciones de Temperatura y Resistencia en periodos determinados por valores de temperatura alcanzados en la superficie de las resistencias.
- En el Diagrama de la Figura 8, SW1 representa la conexión y desconexión manual que se realizó del voltaje aplicado para poder realizar las mediciones.
- Tanto Resistencia como Temperatura fueron medidas con un Multímetro Digital.

Los resultados de estas mediciones se resumen en la siguiente tabla.

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|------|-----|
| Temperatura °C | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| Resistencia | 17 | 19 | 20 | 23 | 27 | 32 | 33 | 34 | 35 | 35.7 | 36 |

Tabla 4. Mediciones de Resistencia vs. Temperatura.

En el siguiente gráfico se puede apreciar con mayor claridad el comportamiento de las resistencias a medida que aumenta la temperatura.

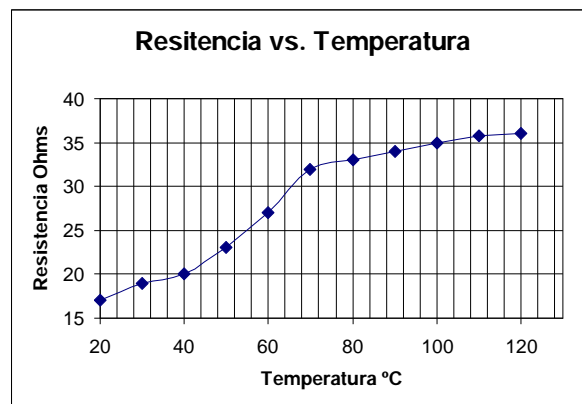


Figura 8. Comportamiento de la Resistencia vs. Temperatura.

En la Figura se puede observar No linealidad de la Resistencia en función de la temperatura. La Resistencia empieza a aumentar exponencialmente hasta los 70 °C pero luego cambia la tendencia para tratar de estabilizarse después de los 100 °C en un valor aproximado a los 35 .

El proceso de secado exige en la mayoría de los casos que la temperatura varíe desde un mínimo de 37 °C a un máximo de 80 °C como puede apreciarse en la Tabla 2.

Teniendo en cuenta estas variaciones se toma el menor valor de Resistencia aproximado a 40 °C que es de 20 , valor que exigirá el mayor consumo de corriente que debe ser calculado para las protecciones y los elementos de activación y alimentación de las resistencias, tales como cables y relés de Estado Sólido.

Estas mediciones se realizaron teniendo en cuenta la cantidad de resistencias a conectar ya que desde un principio se visualizó para las resistencias una conexión en arreglo circuital en Delta y para los respectivos cálculos y diseños, era necesario saber el estado de las resistencias y tener un valor promedio de los Ohmios de cada una.

Después de hacer las mediciones correspondientes y aplicar 220VAC a cada una, se encuentra que estas funcionan correctamente y pueden ser reintegradas al sistema.



Figura 9. Disposición interna de las Resistencias de Calentamiento.

Se encontró además que para este tipo de resistencias es necesario que exista circulación del aire tanto para homogenizar la temperatura dentro del horno como para evitar daños en las mismas resistencias.

- Temperatura máxima de utilización sin ventilación (velocidad del aire = 0 m/segundo): 60°C.

- Temperatura máxima de utilización con una velocidad mínima del aire a 2m/segundo: 200°C.

Como se dijo anteriormente en los procesos de secado se debe llegar a una temperatura del aire máxima de 80 °C. Por lo que se hace necesario la ventilación forzada y con esto generar una circulación del aire constante en el ambiente interno del horno, asegurando así la calidad del proceso de secado.

2. **Ventiladores:** Cuatro (4) ventiladores para mantener un flujo del aire constante y de esta forma homogenizar la temperatura y la humedad en el interior del horno. En la Figura 7 se puede apreciar la disposición de los ventiladores al interior de Horno. En la siguiente figura se puede observar uno de los cuatro ventiladores con detalle.



Figura 10. Ventilador para flujo constante de Aire.

Este subsistema es netamente mecánico, haciendo también parte de este los ejes y correas de transmisión que hacen el acople con los motores de Inducción Trifásicos. Este subsistema está un poco deteriorado, tanto los ejes como las aspas de los ventiladores se encuentran oxidados, por lo que se recomienda hacer una limpieza de las partes y pintar con pintura anticorrosiva. Al hacer girar las aspas se encuentran que estas no giran adecuadamente, lo que podría causar una sobrecarga en los motores y desencadenar un cortocircuito.

Se recomienda realizar una revisión y mantenimiento general a todo este subsistema, que aunque no hace parte del sistema eléctrico ni de control, es un componente fundamental para el funcionamiento del horno.

3. **Motores de Inducción Trifásicos:** Dos motores Trifásicos a 220VAC los cuales están acoplados mecánicamente a los Ventiladores. En la Figura 6 podemos apreciar su ubicación en la parte frontal inferior del Horno.

Cada Motor se encontró con una caja de paso acoplada en su carcasa en donde llegaba su alimentación, al destaparlas se encontraron allí tres terminales, de lo que se concluye que la conexión de los motores es en Y con neutro flotante. El cableado que se encontró en sus terminales fue retirado para comenzar a realizar pruebas ya que estaba en muy mal estado. En la siguiente imagen se puede apreciar con un poco mas de detalle el motor izquierdo que en adelante se llamará Motor 1.



Figura 11. Detalle Motor 1.

Se anota, que en el laboratorio de Productos forestales no tenían ningún registro ni datos sobre los motores, tampoco tienen placa de datos.

Se realizaron entonces pruebas a los motores con los siguientes objetivos:

- Saber si las impedancias en los devanados están balanceadas.
- Conocer la corriente por Línea con el motor en funcionamiento a plena carga. (Dos ventiladores por cada uno).
- Realizar una estimación de los HP de los motores a partir de mediciones eléctricas.
- Determinar en que orden deben ser conectadas las terminales con las fases de la acometida a fin de lograr el sentido de giro adecuado.

Para las pruebas se diseñó e implementó una fuente para aplicar voltaje DC y AC entre las terminales del motor a fin de obtener medidas de corriente y voltaje que permitieran caracterizar el motor. El esquema de la fuente es el siguiente:

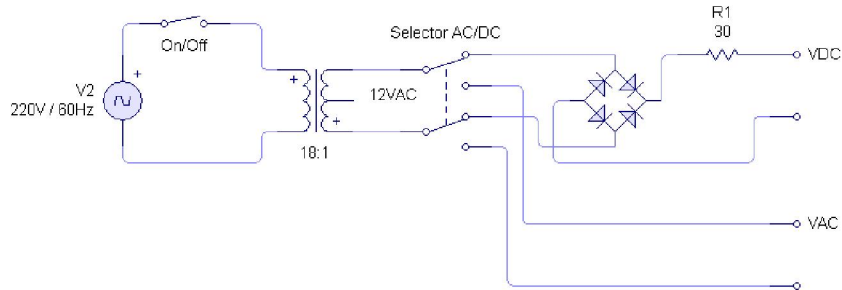


Figura 12. Esquema Fuente de Pruebas para Motores.

Los terminales VDC y VAC se conectan entre las terminales de los motores haciendo medidas entre líneas una a la vez.

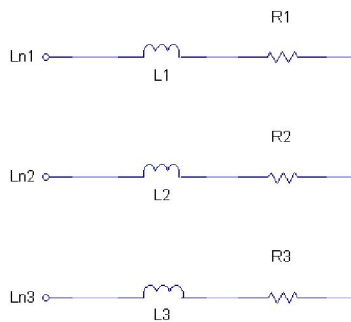


Figura 13. Esquema Motores.

Las pruebas en DC se realizan con el fin de medir voltaje y corriente y determinar el componente Resistivo en la impedancia de cada bobina. Mediante el uso de la siguiente formula:

$$R_x = \frac{VDC}{2 * IDC}$$

Las medidas en DC obtenidas para los dos motores se resumen en las siguientes tablas:

| Medidas DC Motor 1 | | | | |
|---------------------------|------------------|-------------------------|-------------------|---------|
| | Voltaje AC en TR | Voltaje sobre R30 (VDC) | Voltaje L-L (VDC) | I (ADC) |
| Ln1-Ln2 | 11,7 | 7,51 | 1,74 | 0,22 |
| Ln1-Ln3 | 11,7 | 7,52 | 1,73 | 0,21 |
| Ln2-Ln3 | 11,7 | 7,49 | 1,76 | 0,22 |

| Medidas DC Motor 2 | | | | |
|---------------------------|------------|-------------------------|-------------------|---------|
| | Voltaje TR | Voltaje sobre R30 (VDC) | Voltaje L-L (VDC) | I (ADC) |
| Ln1-Ln2 | 11,7 | 8,14 | 1,1 | 0,23 |
| Ln1-Ln3 | 11,7 | 8,27 | 1,19 | 0,23 |
| Ln2-Ln3 | 11,7 | 8,14 | 1,1 | 0,23 |

| Resultados DC | Resistencias Motor 1 () | Resistencias Motor 2 () |
|---------------|--------------------------|--------------------------|
| R1 | 3,95 | 2,39 |
| R2 | 4,11 | 2,58 |
| R3 | 4 | 2,39 |

Tabla 5. Medidas DC Motores.

Luego se procede con las medidas en AC con el fin de determinar la Impedancia (Z) entre las terminales de los motores a partir de la corriente y voltaje medidos con la siguiente fórmula:

$$Z_x = \frac{V_{AC}}{2 * I_{AC}}$$

Las medidas para los dos motores se resumen en la siguiente tabla:

| Medidas AC Motor 1 | | | |
|---------------------------|---------------|--------------------|----------|
| | Voltaje AC TR | Voltaje L-L (Vrms) | I (Arms) |
| Ln1-Ln2 | 11,9 | 11,9 | 0,328 |
| Ln1-Ln3 | 11,9 | 11,8 | 0,328 |
| Ln2-Ln3 | 11,9 | 11,8 | 0,323 |

| Medidas AC Motor 2 | | | |
|---------------------------|---------------|--------------------|----------|
| | Voltaje AC TR | Voltaje L-L (Vrms) | I (Arms) |
| Ln1-Ln2 | 11,9 | 11,8 | 0,224 |
| Ln1-Ln3 | 11,9 | 11,8 | 0,323 |
| Ln2-Ln3 | 11,9 | 11,7 | 0,221 |

| Resultados AC | Impedancias Motor 1 | Impedancias Motor 2 |
|---------------|---------------------|---------------------|
| Z1 | 18,14 | 26,33 |
| Z2 | 17,98 | 25,43 |
| Z3 | 18,26 | 26,47 |

Tabla 6. Medidas AC Motores.

Ahora teniendo la impedancia y Resistencia asociadas a cada devanado del motor puedo hallar la inductancia. Partiendo de la siguiente relación:

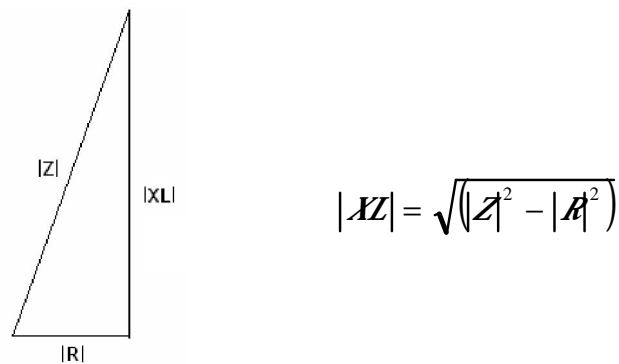


Figura 14. Triangulo de Impedancia.

Se tiene además:

$$|XL| = |j\omega L|$$

Donde : $\omega = 2\pi f \approx 377$

Con : $f = 60 \text{ Hz}$

Reemplazando los valores encontrados para cada devanado de los motores se llegan a los resultados resumidos en las siguientes tablas:

| Resultados Inductancias | Motor 1 | | Motor 2 | |
|-------------------------|---------|--------|---------|--------|
| | XL | L (mH) | XL | L (mH) |
| Ln1 | 17,7 | 46,95 | 26,22 | 69,55 |
| Ln2 | 17,5 | 46,42 | 25,29 | 67,08 |
| Ln3 | 17,81 | 47,24 | 26,36 | 69,92 |

Tabla 7. Resultados Inductancias.

Para poder seleccionar posteriormente el tipo de cableado y las protecciones para la alimentación de los motores es fundamental conocer la magnitud de la corriente que demandará cada motor.

Se puede observar de los resultados que cada motor tiene diferencias muy pequeñas en las impedancias de sus devanados por lo que se consideran entonces Balanceados ya que su función no requiere de un alto grado de precisión en cuanto a velocidad y rendimiento.

Por esta razón se asigna un valor de $Z_{L1}=18$ en el Motor 1 y $Z_{L2}=26$ para llevar a cabo los cálculos de corriente de Línea I_L .

La Potencia Total disipada en cada motor se puede calcular mediante la fórmula:

$$P_T = \sqrt{3} * |V_{L-L}| * |I_L|$$

Motor1:

$$|V_{L-L}| = V_{Fase} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127.01 V$$

$$|I_{L1}| = \frac{220}{\sqrt{3} * |Z_{L1}|} = \frac{220}{\sqrt{3} * 18} = 7.05 A$$

Motor2:

$$|V_{L-L}| = V_{Fase} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127.01 V$$

$$|I_{L2}| = \frac{220}{\sqrt{3} * |Z_{L2}|} = \frac{220}{\sqrt{3} * 26} = 4.88 A$$

Así:

$$P_{T2} = \sqrt{3} * 127.01 * 4.88 = 10.73 KVA$$

- 4. Tanques de Vaporización:** El sistema completo está formado por tres tanques de lámina de aluminio, dos de ellos dispuestos al interior del horno estos tanques deben permanecer llenos de agua durante el funcionamiento del horno para que por medio de las resistencias en su interior el agua se caliente y posteriormente se evapore y se alcancen los niveles de humedad deseados según el proceso. El control de Nivel se hace por medio del tercer tanque externo al horno el cual dispone de una válvula con flotador. Los tres tanques están colocados al mismo nivel del suelo y conectados por una tubería galvanizada de ½ Pulgada. Cuando el nivel de agua de los tanques internos desciende debido a la evaporación del agua, la válvula flotador en el tanque externo se activa manteniendo un nivel de agua constante. El sistema puede apreciarse en el siguiente esquema.

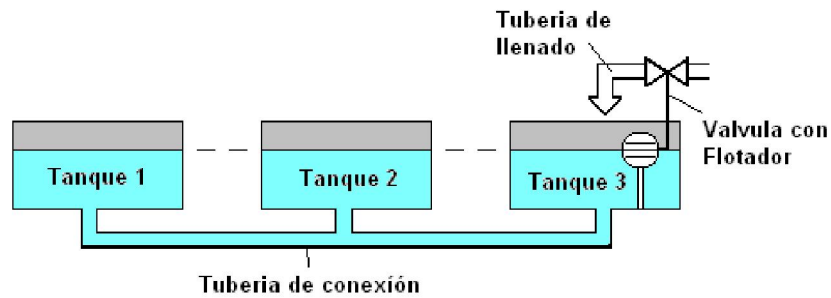


Figura 15. Esquema Control de Nivel en Tanques de vaporización.

Como puede observarse los tanques están conectados de manera que el nivel siempre será el mismo en cada uno de ellos ya que realmente se puede tratar el sistema en conjunto como un solo tanque.

La disposición de los tanques en el horno puede apreciarse en la siguiente vista lateral del Horno.

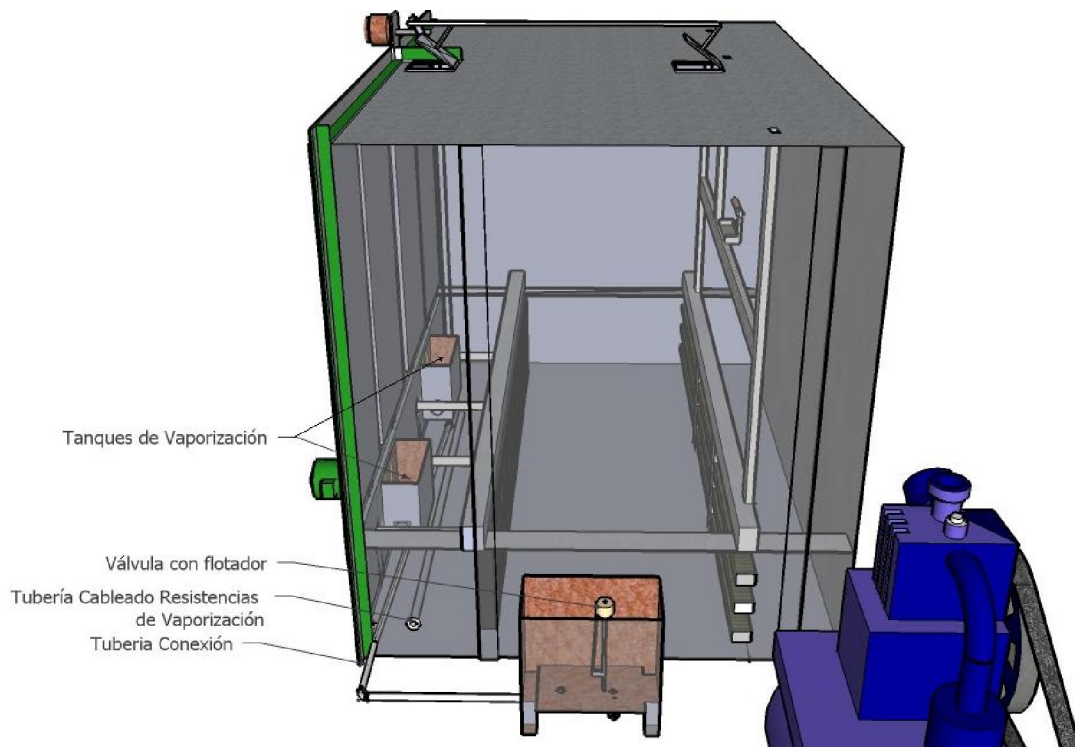


Figura 16. Vista Lateral del Horno - Tanques de vaporización.

El estado de los tanques es aceptable en cuanto a funcionalidad, la conexión mediante la tubería funciona perfectamente, sin embargo se encuentran bastante corroídos, se recomienda realizar aseo y pintarlos.



Figura 17. Tanque de vaporización.

El Tanque externo para Control de Nivel está bastante desgastado y corroído por lo que inicialmente se recomienda pintarlo o cambiarlo. En vista de que no tiene fugas y es capaz de cumplir su función, el Laboratorio decide simplemente usar pintura anticorrosiva para ponerlo nuevamente en funcionamiento. Teniendo en cuenta que el sistema de control de nivel con la válvula de flotador funciona perfectamente después de ser probado se decide hacerle un mantenimiento y reintegrarlo al sistema completo de horno nuevamente. De esta forma no fue necesario implementar otro tipo de control automático para el Nivel de los tanques debido también a que la dinámica de este sistema es muy lenta y no se requiere de respuestas muy rápidas ni precisas.



Figura 18. Vistas Interna y Externa – Tanque Control de Nivel.

- 5. Resistencias de Vaporización:** Son Cuatro resistencias de Ferroníquel ubicadas al interior de los tanques de vaporización, dos en cada tanque, conectadas en paralelo con el fin de calentar el agua hasta los 100°C, de modo que esta se evapore y se aumente el contenido de humedad en el interior del Horno hasta los valores deseados según el proceso.

Las resistencias tienen la siguiente forma:

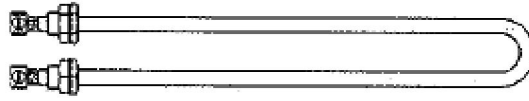


Figura 19. Resistencias de Vaporización.

El cableado existente para las resistencias se encuentra en muy mal estado. Dicho cableado se retiró para realizar las mediciones correspondientes con un Multímetro digital tal y como se realizaron a las resistencias de calentamiento. Las resistencias en cada tanque se encontraron acopladas en paralelo, por lo que fueron medidas de esta forma. Al realizar las mediciones, los tanques estaban llenos de agua para emular las condiciones de operación normal. El montaje para las pruebas fue el mismo descrito que en la Figura 8, teniendo en cuenta que para este caso R1 es el paralelo de las dos resistencias de cada tanque.

Como los objetivos de la prueba son.

- Verificar funcionalidad de las resistencias.
- Determinar corriente máxima de operación.

Entonces en este caso se dejaron conectadas las resistencias durante 1 hora aproximadamente, tiempo en el cual se pudo apreciar la evaporación del agua de los tanques, se tomo entonces la medida de la corriente e inmediatamente después fueron desenergizadas para medir la resistencia entre los terminales.

Las mediciones se realizaron probando un tanque a la vez.

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

| | Tanque 1 | Tanque 2 |
|---|----------|----------|
| Resistencia Paralelo (Ω) | 32 | 33 |
| Corriente (A) | 7 | 6,8 |

Tabla 8. Resultados Resistencias Tanques.

La activación de estas resistencias depende del contenido de humedad en el aire al interior del Horno.

En las siguientes imágenes pueden observarse las borneras de conexión de las resistencias de evaporación para el Tanque 1 y Tanque 2 respectivamente.



Figura 20. Borneras - Resistencias de Vaporización.

En la siguiente imagen es una vista superior donde puede apreciarse la ubicación de las resistencias al interior de uno de los tanques.



Figura 21. Resistencia de Vaporización en Tanque.

- 6. Compuertas de Aireación:** Estas dos compuertas están dispuestas en el techo o parte superior del horno acopladas mecánicamente entre sí, de manera que abren y cierran al mismo tiempo. Su función es evitar la salida del aire hasta lograr el contenido de humedad deseada o dejar salir el aire cuando exista exceso de humedad. Pueden apreciarse en las Figuras 6 y 7.

El acople mecánico entre las dos compuertas de aireación funciona bien, sin embargo las bisagras de cada una están muy corroídas lo que dificulta abrirlas y cerrarlas. Se recomienda cambiarlas.

Se encontró inicialmente un compresor y un actuador neumático que cumplían la función de abrir y cerrar las compuertas. No se encontró el sistema de control del compresor, ni la alimentación del compresor y tampoco la conexión entre el compresor y el actuador. No hay acople entre las compuertas y el actuador y en el laboratorio no hay registros ni planos mecánicos de su funcionamiento.

El compresor dispuesto al lado derecho del horno se encuentra muy sucio, tiene tablas y trozos de madera encima, además de cables y alambres, se pide a los funcionarios realizar una limpieza del lugar y del compresor para poder hacer una revisión.

En las siguientes imagen se puede apreciar el actuador y el compresor como fueron encontrados al comienzo del proyecto sin el acople a las compuertas y sin ningún tipo de cableado.



Figura 22. Actuador y Compresor Neumático sin acoples.

Debido a la falta de información sobre el compresor y el actuador neumático y observando el estado de deterioro en que estos se encuentran se concluye que estos componentes no pueden ser reintegrados al sistema completo y se considera cambiar el sistema de accionamiento de las compuertas por un sistema electromecánico que será descrito más adelante.

- 7. Instrumentación:** Este subsistema incluye los sensores que miden los niveles de temperatura y humedad del aire al interior del horno, factores de los cuales depende el éxito del proceso de secado de la madera. Estas señales son llevadas a un PLC Siemens S7-200 para realizar el algoritmo de control que accionará los demás mecanismos del Horno como resistencias y compuertas.

La instrumentación encontrada en el horno consistía en un sensor de Bulbo seco y Bulbo húmedo, además de un sistema externo que permitía la interpretación de las señales medidas por el sensor. De esta manera los operarios del horno activaban de forma manual las resistencias y compuertas con el fin de mantener de la forma más estable posible las condiciones de humedad y temperatura según el proceso de secado.

La instrumentación encontrada en el horno fue la mostrada a continuación:

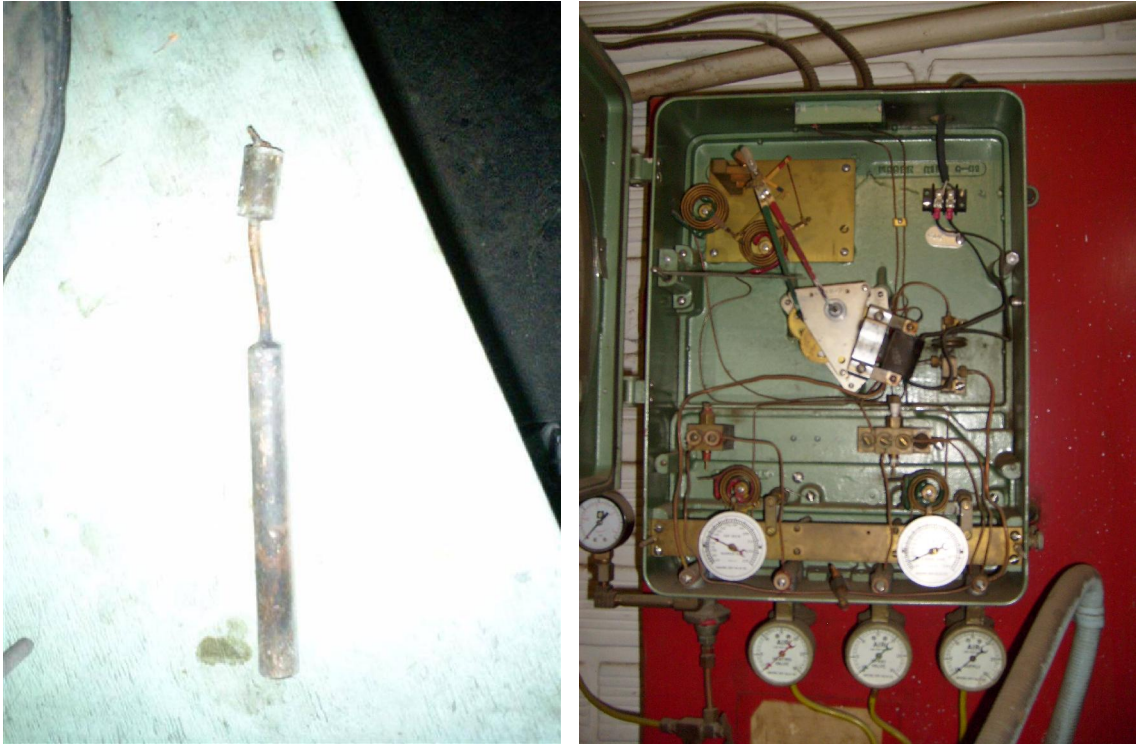


Figura 23. Instrumentación Antigua del Horno.

Para cumplir con los requerimientos del proyecto expresados por el Laboratorio, implementar los sensores que fueron adquiridos cuando se sugirió anteriormente la actualización y teniendo en cuenta que la instrumentación encontrada es obsoleta, esta se desecha y se decide aprovechar e implementar los elementos disponible como son el sensor de humedad relativa y la Termocupla.

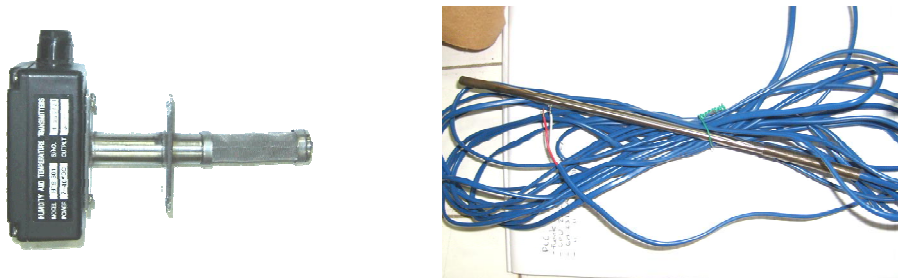


Figura 23. Instrumentación comprada por el Laboratorio.

Se decide entonces realizar el inventario de los materiales existentes, clasificándolos por los subsistemas planteados. Agregando además los elementos estimados como faltantes en un diseño preliminar.

| Ítem | Descripción | Cantidad (un/m) | Existente en Laboratorio |
|-----------|--|-----------------|--------------------------|
| 1. | Sistema Resistencias Calentamiento | | |
| 1.1 | Relé 3F Bobina 24 VDC- 220 VAC | 1 | No |
| 1.2 | Relés de Estado Sólido Optec TA48A40 | 3 | Si |
| 1.3 | Cable Siliconado Instalación Interna AWG 10 | 20 | No |
| 1.4 | Cable Instalación Externa AWG 8 | 15 | No |
| 1.5 | Terminales para cable AWG 8 y 10. | N/A | No |
| 1.6 | Correas de Nylon para sujeción de cableado. | N/A | No |
| 1.7 | Bornera para empalme entre cableado Externo e Interno. | 1 | No |
| 1.8 | Caja 4x8 metálica – lamina coil rolled (con tapa) | 1 | No |
| 2. | Ventiladores | | |
| 2.1 | Ventiladores de aluminio | 4 | Si |
| 2.2 | Ejes de ventiladores | 4 | Si |
| 2.3 | Acople Mecánico con Motores | 4 | Si |
| 3. | Motores de Inducción Trifásicos | | |
| 3.1 | Contactores Conexión motores | 2 | Si |
| 3.2 | Totalizadores Trifásicos | 2 | Si |
| 3.3 | Relevo 3F Bobina 24 VDC- 220 VAC | 1 | No |
| 3.4 | Cableado AWG 10 Instalación tubería. | 20 | No |
| 3.5 | Tubería Conduflex pvc ½" (flexible) + Accesorios | 15 | No |
| 3.6 | Terminales para la conexión de los motores. | N/A | No |
| 4. | Tanques de Vaporización | | |
| 4.1 | Tanques de Aluminio | 3 | Si |
| 4.2 | Tubería galvanizada ½" | 3 | Si |
| 4.3 | Válvula con flotador | 1 | Si |
| 4.4 | Válvula manual suministro de agua. | 1 | Si |
| 5. | Resistencias de Vaporización | | |
| 5.1 | Relés de Estado Sólido Optec TA48A40 | 1 | Si |
| 5.2 | Relevo 1F Bobina 24 VDC- 220 VAC | 1 | No |
| 5.3 | Cable Siliconado Instalación Interna AWG 10 | 10 | No |
| 5.4 | Cable Instalación Externa AWG 8 | 10 | No |
| 5.5 | Terminales para cable AWG 8 y 10. | N/A | No |
| 5.6 | Bornera para empalme entre cableado Externo e Interno. | 1 | No |
| 5.7 | Caja 4x4 metálica – lamina coil rolled (con tapa) | 1 | No |
| 6. | Compuertas de Aireación | | |
| 6.1 | Motor DC 24 VDC | 1 | No |
| 6.2 | Relevo 24 DC 12-24 VDC X 5A | 2 | Si |
| 6.3 | Relevos para construcción de Puente H, para inversión de giro del motor | 2 | No |
| 6.4 | Cableado AWG 18 Instalación externa por tubería | 15 | No |
| 6.5 | Tubería Conduflex pvc ½" (flexible) | 8 | No |
| 6.6 | Bornera de conexiones | 1 | No |
| 6.7 | Porta fusibles aéreos | 2 | No |
| 6.8 | Terminales Cableado AWG 18 | N/A | No |
| 6.9 | Detectores Fin de Carrera | 2 | No |
| 6.10 | Caja Plástica para Detectores | 1 | No |
| 7 | Instrumentación | | |
| 7.1 | Sensor de Humedad Relativa | 1 | Si |
| 7.2 | Termocupla | 1 | Si |
| 7.3 | PLC Siemens S7-200 CPU 224 con Módulos | 1 | Si |
| 7.4 | Cableado AWG 18 Instalación Sensor de Humedad | 10 | No |
| 7.5 | Tubería Conduflex pvc ½" (flexible) + Accesorios | 10 | No |
| 7.6 | Terminales Cableado AWG 18 | N/A | No |
| 8 | General – Tablero Eléctrico | | |
| 8.1 | Totalizador 80A Trifásico para Acometida | 1 | Si |
| 8.2 | Cableado AWG 18 para conexiones en el tablero, de los diferentes elementos de instrumentación y control. | 10 | No |
| 8.3 | Riel OMEGA para montaje de Protecciones, relés, PLC, borneras, etc. | 2 | No |
| 8.4 | Grapas para tubería/tornillos canaleta | N/A | No |
| 8.5 | Disipadores de calor para relés de estado sólido | 4 | No |

Tabla 9. Inventario de Materiales.

5. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE POTENCIA E INSTRUMENTACION.

Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas y el levantamiento de información realizado, se procede a realizar una descripción de los diseños e implementaciones para lograr la funcionalidad de cada subsistema. Es de suma importancia tener en cuenta que los diseños eléctricos y electrónicos realizados fueron limitados por los materiales, los elementos existentes en el inventario y el presupuesto designado por el laboratorio para este proyecto.

Cada subsistema se analiza y se diseña de manera independiente y finalmente se realiza el ensamble de cada uno de ellos a la acometida eléctrica y al sistema de control con el PLC. De esta manera se logrará el cumplimiento y satisfacción de las especificaciones y requerimientos establecidos.

5.1. Resistencias de Calentamiento

Teniendo en cuenta que tenemos un sistema de alimentación trifásico para la conexión de las resistencias de calentamiento se diseñó el siguiente circuito:

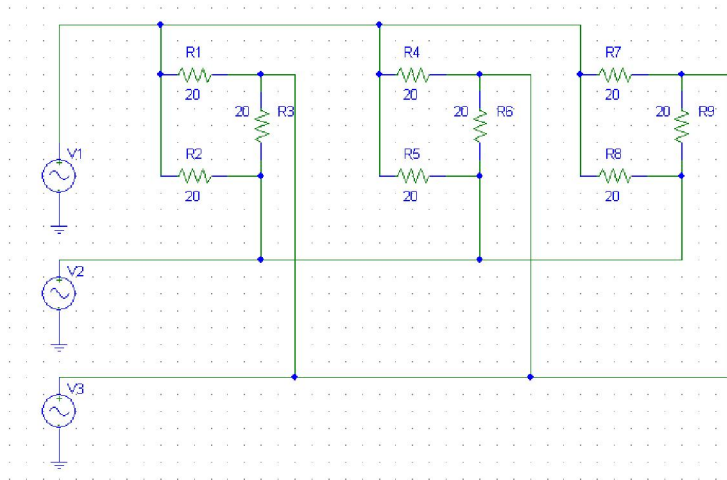


Figura 24. Circuito interconexión Resistencias de calentamiento.

En este circuito cada una de las fuentes representa una línea de alimentación con su respectivo ángulo de fase. La caída de tensión en cada una de las resistencias es de 220V. Las resistencias son simuladas con un valor de 20 para medir la corriente en el peor caso ya que en estado estable las resistencias tendrán un valor de 35 y la corriente disminuirá.

Es importante saber cuál es la magnitud de la corriente que circula por cada una de las líneas para elegir la protección y los elementos de activación. Para esto realizamos una simulación en Pspice. El resultado es el siguiente:

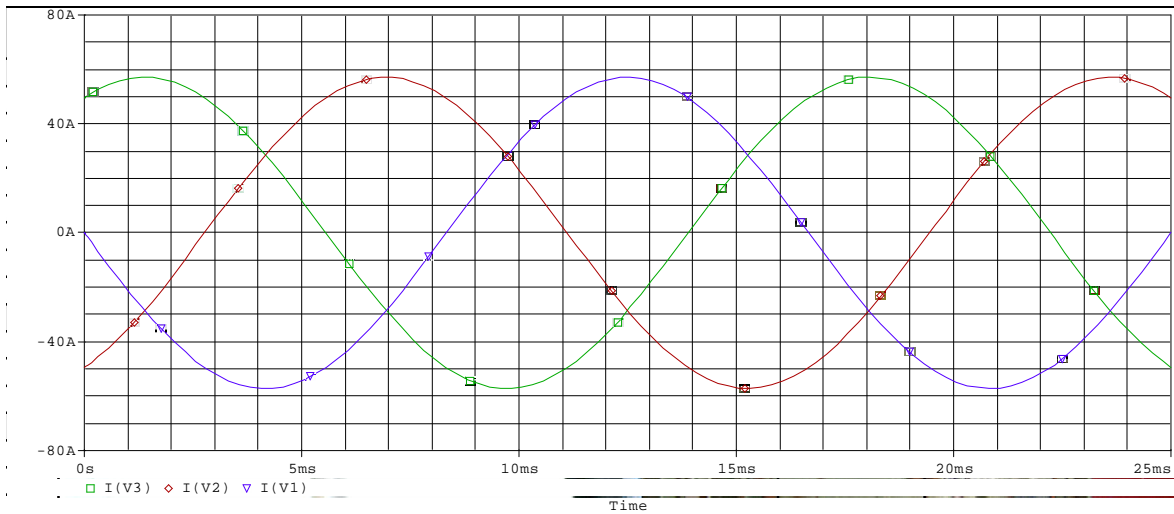


Figura 25. Simulación Corrientes Circuito Resistencias de calentamiento.

Para observar el valor RMS de la Corriente modificamos la visualización de la simulación y se obtiene lo siguiente:

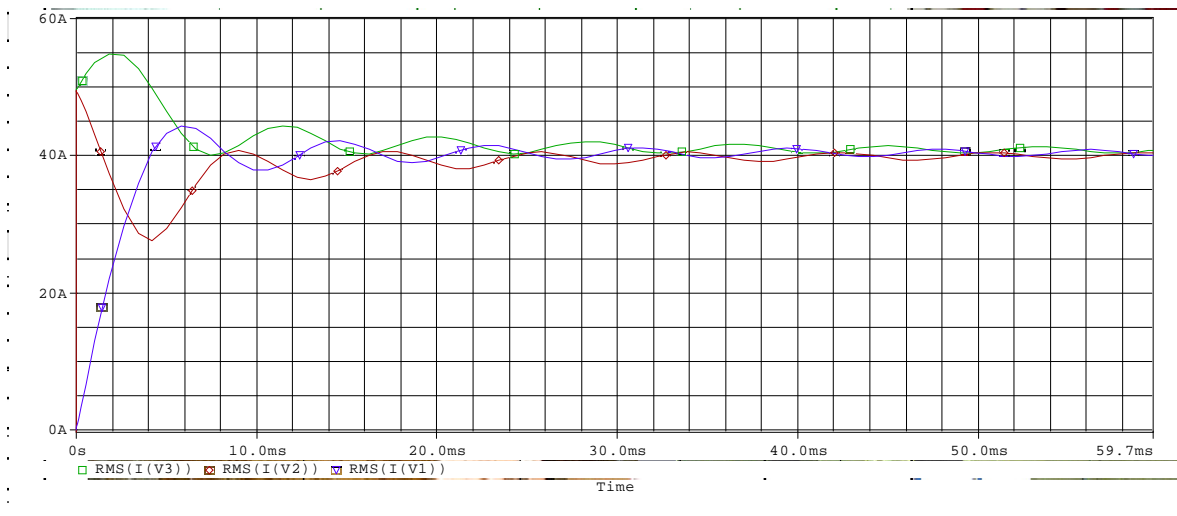


Figura 26. Simulación Corrientes RMS Resistencias de calentamiento.

En esta Gráfica podemos observar un pico inicial de corriente pero después de los primeros 50ms el valor de la corriente tiende a estabilizarse en 40Arms.

La activación y desactivación del subsistema depende de los niveles de temperatura que alcance el aire al interior del horno. El PLC controla este proceso tomado la señal de la termocupla y activando un Relé trifásico 24 VDC, este abre y cierra los contactos que permiten la activación de Relés de Estado Sólido Optec TA48A40 de 40 Arms que energizarán el arreglo de resistencias cuando no se haya alcanzado el Set-point de temperatura deseado según el proceso de secado.

Las características del Relé VCP – TRP 69-220 son las siguientes:

| INFORMACIÓN TÉCNICA GENERAL | |
|--|-----------------------------|
| Voltaje de Prueba entre: | |
| contacto - bobina | ≥ 2 KV rms, 50 Hz |
| contacto - contacto | ≥ 1 KV rms, 50 Hz |
| bases de contactos | ≥ 2 KV rms, 50 Hz |
| Vida mecánica | > 107 operaciones |
| Máxima tensión de operación | 250 VAC / DC |
| Máxima potencia de suicheo | 2500 VA / 4000W |
| Máxima carga de suicheo | 12 VAC, 100 mA |
| Tiempo de operación | ≤ 15 ms a Un |
| Tiempo de apertura | ≤ 15 ms |
| Máxima frecuencia de operación | 1000/h - carga especificada |
| Máxima frecuencia de operación | 36000/h - mínima carga |
| Resistencia de aislamiento (500 VDC) | < 10 ³ MΩ |
| Resistencia a la vibración (11 - 55 Hz) | 3gn |
| Resistencia de choque (11ms) | |
| funcional | 10gn |
| destruktiva | 100gn |
| Temperatura ambiente | |
| para operación | - 25 a 50° C |
| para almacenamiento | - 40 a 80° C |
| Grado de protección (IP) | IP 50, IEC 529 |
| Clase de aislamiento | 3-250, IEC 60669-1 |
| Posición de montaje | Distancia entre relés 10mm |
| Peso | aprox. 75 gr |

Tabla 10. Características técnicas Relé VCP – TRP 69-220.

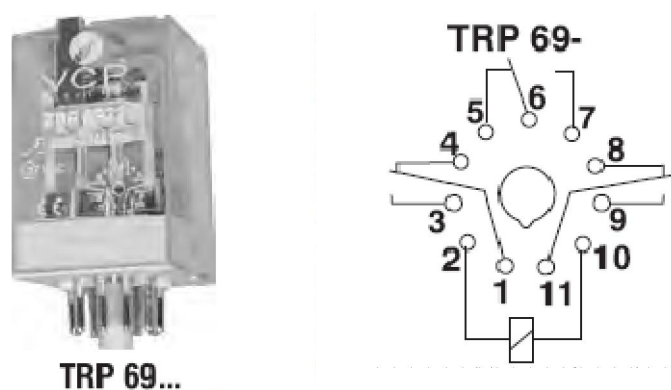


Figura 27. Relé VCP – TRP 69-220 y distribución de pines

Los relés de estado sólido usados son los siguientes:

Relé de Estado sólido de una FASE modelo TA48A40:

Características:

- Aislamiento Óptico.
- 600 voltios de voltaje blocking.
- Detector de cruce por cero.
- Alta capacidad de picos de corriente.
- Puente de Snubber.
- 4000 voltios de aislamiento.
- RTVSS, Sistema de protección de transientes para relés de entrada 20-275 VAC.
- Rango de Corriente de Carga: 0.1 – 40 Arms.
- Voltaje de Control: 20 -275 VAC.
- Voltaje de Línea: 24 – 575 VACrms.

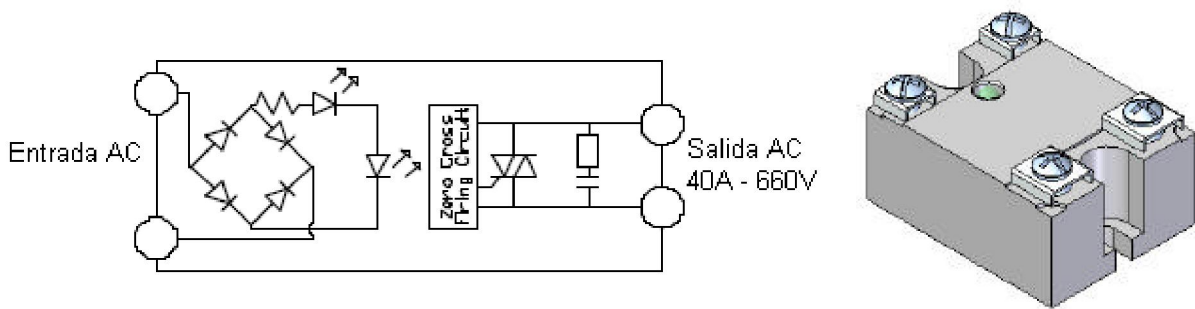


Figura 28. Relé de Estado Sólido TA48A40 Optec.

5.2. Ventiladores

Después de realizar una revisión de los ventiladores y todas sus partes, tales como, ejes, aspas, rodamientos y demás, se encontraron aptos para poner en funcionamiento. Queda a responsabilidad del Laboratorio el mantenimiento y supervisión del correcto funcionamiento de este componente fundamental del horno, debido a que es una parte netamente mecánica que no está dentro de los objetivos de estudio y no compete para este trabajo.

5.3. Motores de Inducción Trifásicos

Los motores están encargados del movimiento continuo de los ventiladores para mantener una circulación constante del aire al interior del horno, lo que garantiza la homogeneidad de la temperatura y la humedad en todos los puntos. Por esta razón los motores deben estar en funcionamiento durante todo el proceso de secado por lo que el circuito de control los debe energizar en el mismo momento que el ciclo inicie y apagar cuando este se detenga.

Se realizan entonces simulaciones para obtener los valores de corriente aproximados y saber si los elementos disponibles en el laboratorio funcionarían para la protección y activación de los motores.

Motor 1:

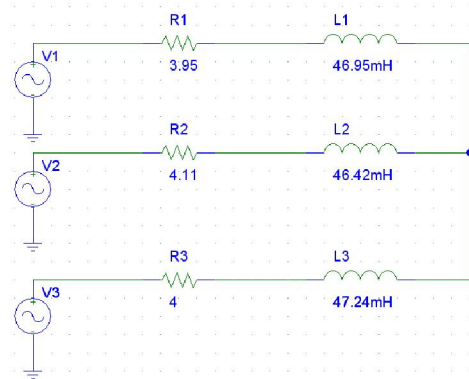


Figura 29. Circuito simulación Motor 1

Los resultados de la simulación fueron los siguientes:

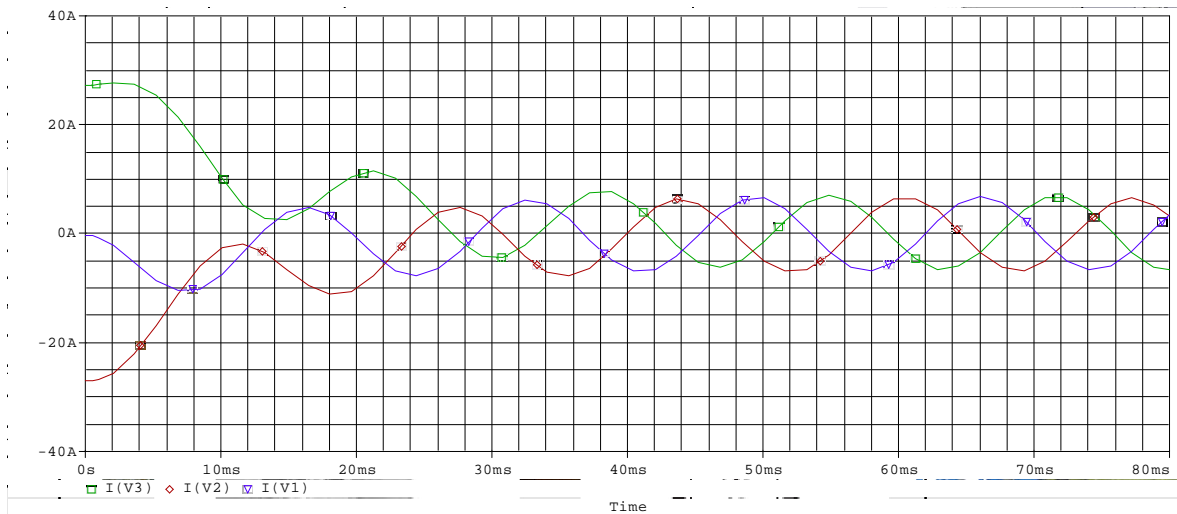


Figura 30. Resultado simulación Motor 1

Como se puede observar hay un pico inicial de corriente en el arranque del motor debido a la naturaleza de la impedancia, pero luego la corriente tiende a estabilizarse en un tiempo de 40ms aproximadamente, cerca de los 7A, valor encontrado en los cálculos teóricos.

Motor 2:



Figura 31. Circuito simulación Motor 2

Los resultados de la simulación fueron los siguientes:

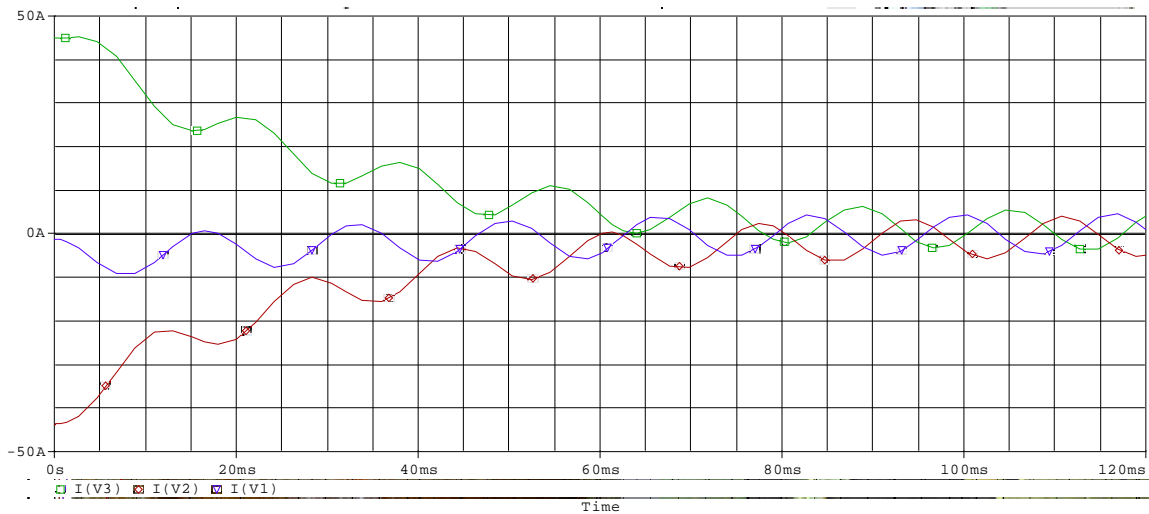


Figura 32. Resultado simulación Motor 2.

Como se puede observar el pico de corriente para este motor es considerablemente más alta que el del Motor 1, de esta forma el tiempo de establecimiento de la corriente es más largo, cercano a los 100ms. Sin embargo el valor de la corriente en estado estable queda alrededor de los 5A, valor hallado en los cálculos teóricos.

Los elementos disponibles en el inventario designados para este subsistema son los siguientes:

Circuit-Breaker Trifásico Merlin Gerin Multi 9

Características

- C60N, AS/NZS

- Rango de voltaje: 240/415 VAC.
- Clasificación I^2t : 3
- Número de ciclos (O-C): 20.000
- Humedad Relativa y temperatura de trabajo: 95% a 55°C
- Pico máximo Corriente: 63A



Figura 33. Circuit-Breaker Trifásico Merlin Gerin Multi 9

Contactador CHINT NC1-2510

Características

- Utilización: 50/60Hz 660V
- Temperatura Ambiente: -5°C a 40°C.
- Corriente Nominal: 25^a.
- Vida Mecánica: 10*10⁶ Maniobras.
- Tensión de aislamiento: 660V.



Figura 34. Contactador CHINT NC1-2510

5.4. Tanques de Vaporización.

Como se describió anteriormente, debido a que el subsistema funciona bien a pesar de estar desgastado, se decide realizarle un mantenimiento y reintegrarlo al sistema completo. De esta manera no fue necesario implementar un control de nivel más complejo y no se realizan diseños adicionales para este subsistema.

5.5. Resistencias de Vaporización.

Teniendo en cuenta los valores de resistencia medidos, se decide realizar una simulación para confirmar la corriente que demandará este sistema y determinar si las protecciones y elementos de control que están disponibles en el inventario son apropiadas para la implementación. Se decide realizar el siguiente arreglo circuital para la instalación de las resistencias:

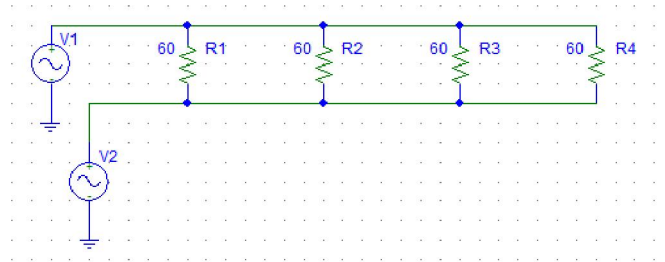


Figura 35. Circuito simulación Resistencias Vaporización.

Las resistencias de vaporización son conectadas en paralelo a 220VAC entre dos fases de la acometida. La corriente RMS que demanda el arreglo tiene un valor aproximado de 10A según los resultados de la simulación.

Para el control y protección de este sistema se dispone de un Relé de Estado Sólido Optec TA48A40, el mismo que se implementa para las resistencias de calentamiento y debido a que la capacidad de estos es de 40A RMS puede ser usado. También se implementa un relé con bobina 24 VDC VCP – TRP68-220AC similar al utilizado para las resistencias de calentamiento, pero a diferencia de ese, este posee 8 contactos y no 11. La información técnica puede observarse también en la tabla 10.



Figura 36. Relé VCP – TRP 68-220 y distribución de pines

Para el control automático de la humedad se utiliza un sensor de humedad relativa cuyas características serán descritas más adelante. Este sensor mide la humedad relativa del aire causada por la vaporización del agua en contacto con las resistencias de este subsistema en el interior de los tanques, el sensor se conecta al PLC y este activa una salida conectada a el Relé con bobina 24 VDC el cual a su vez activa o desactiva el relé de estado sólido Optec el cual permite el paso de corriente de una de las fases a las resistencias.

5.6. Compuertas de Aireación

Se propone un nuevo tipo de accionamiento para las compuertas utilizando un motor DC a 24VDC con caja reductora a 120 rpm, el cual se acopla mecánicamente a las compuertas para abrirlas y cerrarlas. El Motor se acciona mediante un puente H realizado con relés electromecánicos. Activados por el PLC según exista exceso o falta de humedad al interior del Horno.

Los relés usados son los siguientes:

FRM3 Relay:

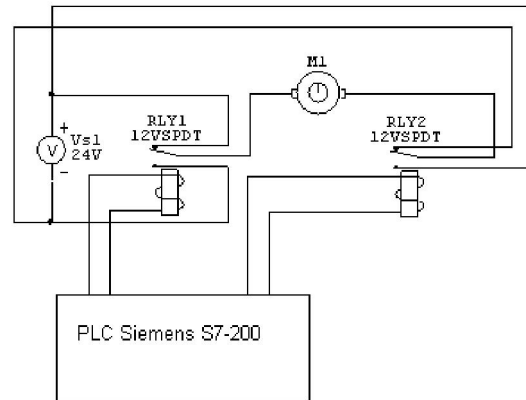


Figura 37. Esquema circuital Accionamiento Compuertas.

- Arreglo de contactos: DPDT(2 Form C), 3PDT(3 Form C) (For FRM3 only), 4PDT.
- Material de Contactor: Aleación de Plata.
- Resistencia de contacto: 50m Max.
- Voltaje de sw: 125VDC/ 250VAC Max.
- Resistencia de Aislamiento: 1000M .
- Temperatura de Ambiente: -55°C a +70°C
- Humedad: 35 – 95% RH.
- Peso: 35g aprox.

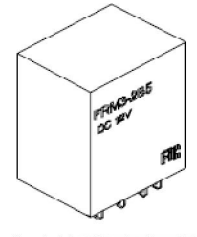


Figura 38. Relé FRM3 para puente H

Para proteger la fuente de alimentación se utilizan fusibles cortos de 1A.

Para detectar el estado de las puertas y detener el movimiento, se usan detectores de fin de carrera dispuestos en una caja plástica para protegerlos de la humedad y las altas temperaturas del aire que expulsa el horno.

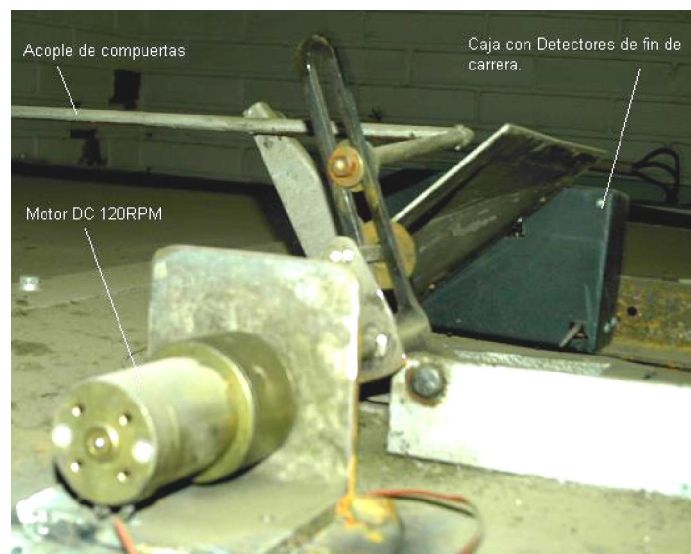


Figura 39. Sistema accionamiento de compuertas

5.7. Instrumentación.

La instrumentación usada se encontraba en el inventario del laboratorio antes de comenzar con el proyecto. Debido a esto el trabajo en esta área consistió en una caracterización general de los elementos para su integración al sistema general del horno.

Los equipos que hacen parte de este subsistema son los siguientes:

5.7.1. Controlador Lógico Programable (PLC)

El PLC utilizado fue un SIEMENS S7-222. Los PLC tienen la ventaja, sobre los computadores de uso general, de permitir la configuración sencilla varios arreglos de entradas y salidas, inmunidad a ruido eléctrico, resistencia a vibraciones e impactos y operación en rangos amplios de temperaturas. Todo esto dado que son máquinas pensadas para uso industrial y por consiguiente resulta perfectamente adecuado para la tarea de automatización que se pretende. Para el manejo de las señales de los sensores el PLC debe conectarse a módulos de expansión y para la configuración de los Set Point de los procesos de secado se utiliza un panel táctil con display que facilita el monitoreo .

- Fácilmente programables y facilidad en la modificación de programas.
- Comunicación con otros PLC's, pudiendo enviar y recibir señales.
- Tiempo de vida largo. Trabajando en todo tipo de ambientes industriales.

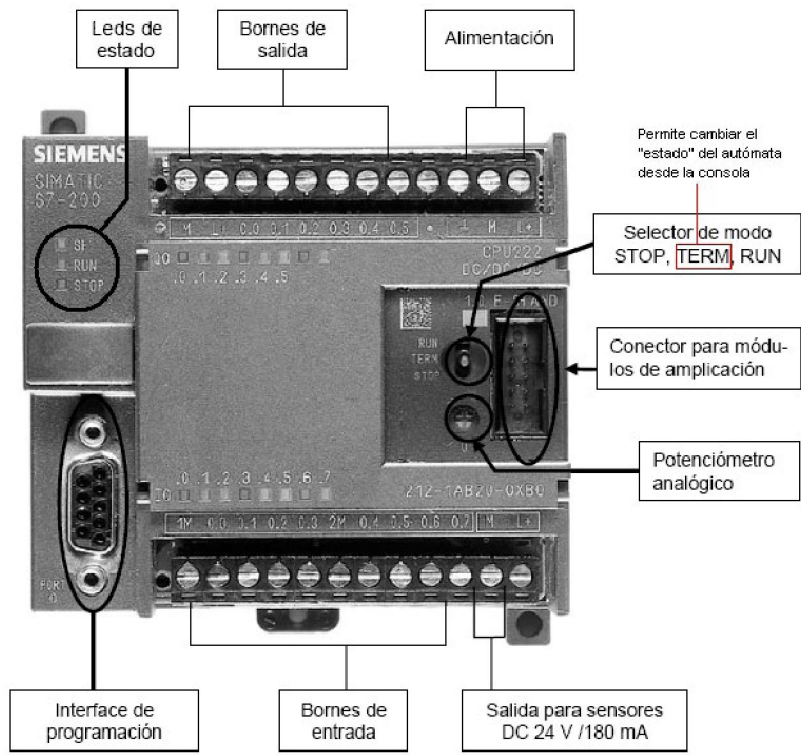


Figura 40. PLC Siemens S7-222

Arquitectura

Los elementos esenciales, que todo autómatas programable posee como mínimo, son:

Sección de entradas: se trata de líneas de entrada, las cuales pueden ser digitales o analógicas. A estas líneas conectaremos los sensores.

Sección de salidas: son una serie de líneas de salida, que también pueden ser de carácter digital o analógico. A estas líneas se conectan los actuadores.

Unidad central de proceso (CPU): se encarga de procesar el programa que el usuario ha introducido. La CPU toma, una a una, las instrucciones programadas por el usuario y las va ejecutando, cuando llega al final de la secuencia de instrucciones programadas, la CPU vuelve al principio y sigue ejecutándolas de manera cíclica.

Para ello, dispone de diversas zonas de memoria, registros, e instrucciones de programa. Adicionalmente, en determinados modelos, podemos disponer de funciones ya integradas en la CPU; como reguladores PID, control de posición, entre otros.

A parte de éstos podemos disponer de los siguientes elementos:

Unidad de alimentación (algunas CPU's la llevan incluida). En este caso se utilizó una externa LOGO POWER 6EP1331-1SH02.

Consola de programación: que nos permitirá introducir, modificar y supervisar el programa de usuario. Tiende a desaparecer, debido a que la mayoría se programan a partir del PC mediante programas específicos facilitados por cada fabricante; o programados directamente desde el propio autómatas.

Interfaces: facilitan la comunicación del autómatas con otros dispositivos. O como HMI.

Dispositivos periféricos: como nuevas unidades de E/S, más memoria, unidades de comunicación en red, módulos de sensado y procesamiento, entre otros. A continuación se citan los dispositivos periféricos utilizados para este montaje.

5.7.1.1. Módulo De Expansión EM231

Este es un dispositivo periférico o módulo que se conecta al PLC siemens S7-222 para permitirle al mismo censar señales análogas, se usará para conectar el sensor de humedad y leer el valor que este registre para usarlo en el programa del controlador.

5.7.1.2. Módulo De Expansión EM231TC

Tiene la misma función del módulo EM231TC arriba descrito, pero está especialmente diseñado para las señales entregadas por la termocupla, que son especialmente difíciles de amplificar, por lo que se usará para leer el valor entregado por el sensor de temperatura.

5.7.1.3. Panel Siemens TD200C

El panel TD200C provee una interfaz humana máquina de bajo costo, que permite a un operador interactuar con el programa contenido en el PLC.

Este panel permite configurar una serie de menús de usuario jerárquicos que permiten también mostrar alarmas y mensajes, además permite modificar cualquier posición de memoria dentro del PLC.



Figura 41. PLC Siemens S7-222 en montaje y Display Táctil en tablero.

Para la programación del PLC se utilizaron redes de petri que luego fueron implementadas en el software Microwin. La red de petri del automatismo fue la siguiente:

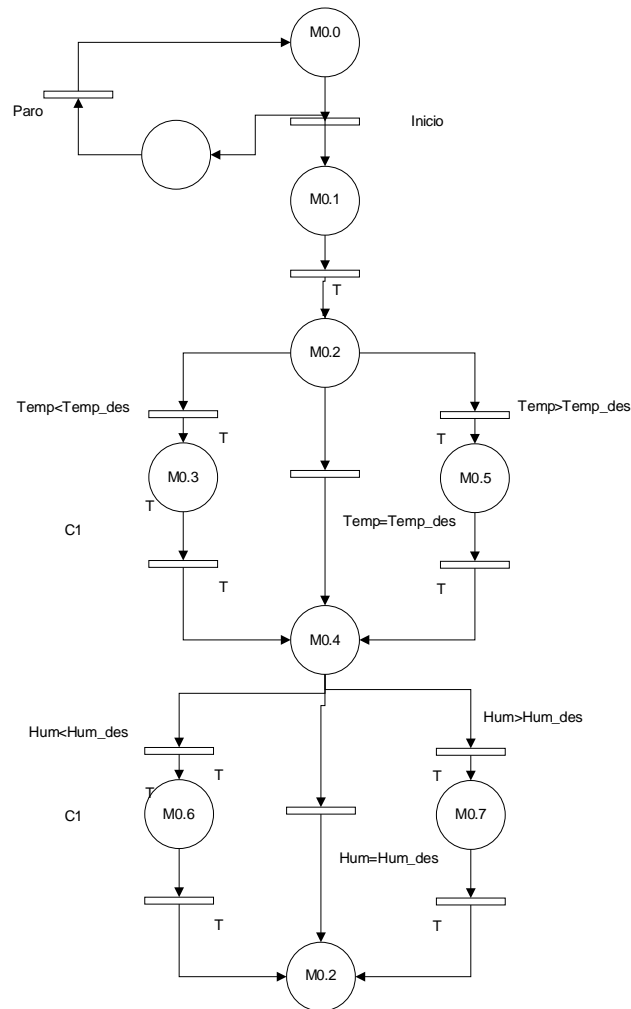


Figura 42. Red de Petri programa Horno.

5.7.2. Termocupla Tipo K

Una termocupla es una unión entre dos metales diferentes que produce un voltaje de acuerdo a la temperatura a la que se le someta. La tipo K es la termocupla de propósito general más ampliamente usada, está disponible para rangos de temperatura de -200 a 1350°C, presentan un cambio muy brusco cuando la temperatura supera los 345°C debido al material magnético con que son fabricadas, pero este valor se encuentra muy por encima del rango de operación máximo del horno así que se puede considerar un sensor perfectamente lineal.

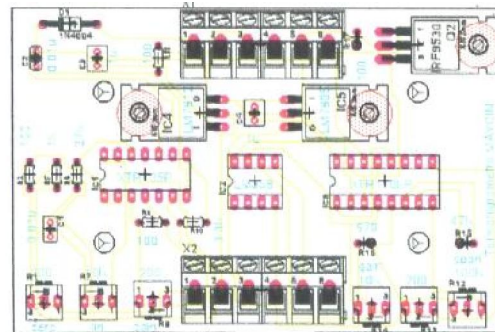
La termocupla Tipo K se la conoce también como la termocupla Chromel-Alumel. El Chromel es una aleación de aproximadamente 90% de níquel y 10% de cromo, el Alumel es una aleación de 95% de níquel, más aluminio, silicio y manganeso, razón por la que la norma IEC la especifica NiCr - Ni. Las termocuplas Tipo K tienen una tabla de caracterización la cual fue utilizada para la medición con el PLC y puede conseguirse muy fácilmente para futuras consultas.

5.7.3. Sensor De Humedad Relativa HT 8001-SAI-R

Es un dispositivo que convierte la humedad en una corriente eléctrica, se supone como un dispositivo lineal y entrega un rango estándar de 4 a 20 miliamperios mientras varía de 0% a 100% de humedad Relativa. Debido a la poca información acerca de este sensor se realizaron pruebas para caracterizarlo, creando niveles de humedad y comparando con los valores de corriente que este entrega. La Siguiete tabla muestra los valores de humedad registrados frente a la corriente.

| Corriente mA | Humedad (sensor) |
|--------------|------------------|
| 6.33 | 31 |
| 7.5 | 36 |
| 8.3 | 41 |
| 9.4 | 48 |
| 9.68 | 48 |
| 9.82 | 48 |
| 10.65 | 52 |
| 12.79 | 61 |
| 14.58 | 68 |
| 16.55 | 81 |
| 17.96 | 90 |
| 18.47 | 91 |

Tabla 11. Medidas Sensor de Humedad Relativa.



Bornera X1:
 1. 24V
 2. GND
 3. NC
 4. NC
 5. 4-20mA
 6. GND

Bornera X2:
 1. NC
 2. NC
 3. 5V (sensor)
 4. GND (sensor)
 5. Entrada 0-1V
 6. NC

Figura 43. Conexiones Sensor de Humedad.

Finalmente la siguiente imagen corresponde al diseño de las conexiones y distribución de la potencia realizadas en el tablero eléctrico para el Horno.

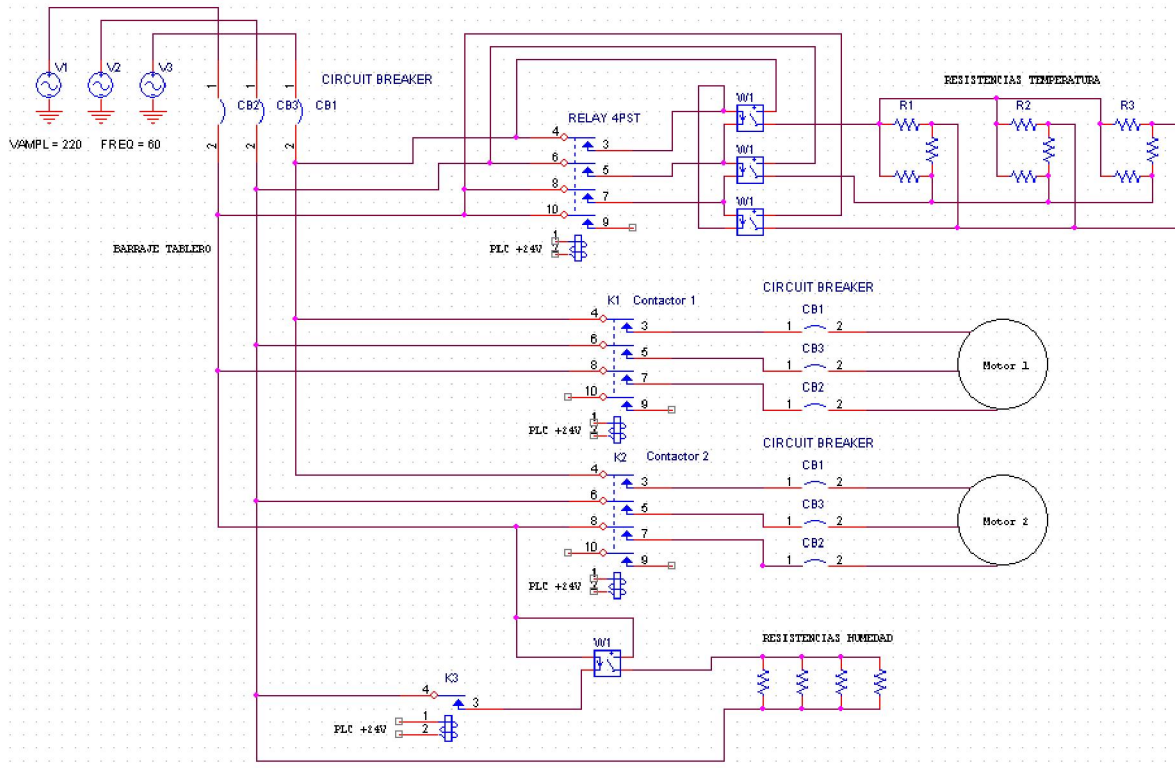


Figura 44. Circuito Eléctrico del tablero.

6. CONCLUSIONES.

La participación en proyectos de este tipo enriquecen en gran medida las competencias de los estudiantes ya que además de exigir la aplicación de conocimientos propios de la carrera, amplía la perspectiva, aumenta la recursividad de los estudiantes y se profundiza en conceptos ajenos a la academia del pregrado que llevan al estudiante a forjarse como ingeniero integral. Los estudiantes de la universidad nacional debemos aprovechar, en mayor medida, todos los recursos existentes, todas las posibilidades de aprendizaje alrededor y en la misma academia. En la realización de este trabajo se logró apreciar la cantidad de recursos disponibles en la universidad que muchas veces no son explotados en la forma correcta.

El diseño y la implementación de la instrumentación para este trabajo tuvieron varias restricciones que limitaron la correcta aplicación de las normas en cuanto a montajes eléctricos. Sin embargo, se logró una funcionalidad completa de todos los subsistemas y por consiguiente de todo el sistema general del horno.

La aplicación de todos los conceptos teóricos en los diseños, así como el uso de simulaciones es de gran ayuda e importancia a la hora de la implementación física. La correcta realización y disponibilidad de los diagramas eléctricos y de instrumentación es indispensable para poder llevar cualquier sistema a la funcionalidad. El correcto funcionamiento del horno dependerá también del buen uso que se haga de este, teniendo en cuenta las restricciones que se tuvieron al momento de la implementación. Se recomienda realizar mantenimientos periódicos a todos los subsistemas en general con el fin de que el horno pierda su funcionalidad que le es tan útil al laboratorio de productos forestales.

Es de suma importancia para el montaje de la instrumentación tener en cuenta el tipo de cableado a utilizar debido a que este puede inducir ruidos en las mediciones y generar datos erróneos que podrían llevar al sistema a funcionamientos no deseados. De la misma forma, se debe tener en cuenta las magnitudes de la corriente nominal que circulará por cada tramo circuital para seleccionar el calibre correcto de los cables de alimentación eléctrica y evitar daños que podrían inducir incendios o daños graves en el laboratorio.

Según se pudo apreciar los sistemas soportados por los PLC son de gran robustez dado el ambiente hostil del laboratorio, en el cual la alta temperatura y la gran cantidad de humedad, polvo y partículas de madera son factores constantes, el PLC funcionó de forma correcta y sigue funcionando a pesar de las condiciones ambientales.

Finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento del horno y se obtuvieron resultados muy satisfactorios. Se lograron secar varios tipos de madera utilizando los programas de secado propuestos en las tablas de la JUNAC y algunos otros propuestos por el Laboratorio. Todo el sistema en general presentó un funcionamiento correcto logrando cumplir todos los requerimientos planteados al comienzo del proyecto.

Se hace entrega oficial del Horno para secado de Maderas al Laboratorio de productos forestales de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, con una aprobación y cumplimiento total de los objetivos, recibiendo una completa satisfacción por parte del mismo. Se acuerdan mantenimientos periódicos por fuera de este proyecto asegurando la funcionalidad continua del Sistema.

7. BIBLIOGRAFÍA.

Valencia Piedrahita, Juan David. Automatización y control de un horno de secado de madera. Universidad Nacional de Colombia, 1997.

Viscarra, Silverio. Guía práctica para el secado de madera en hornos. Santa Cruz, Bolivia, 1998.

William T. Simpson. Dry Kiln Operator's Manual. Madison Wisconsin, 1991.

Creus Solé, Antonio. Instrumentación industrial - 6. ed. Bogotá: Alfaomega, 1998.

Mosquera C, Luis. Control e instrumentación. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. 1992.

Werninck, E. H. Electric motor handbook. London, Eng: McGraw-Hill, 1978.

Guru, Bhag S. Hiziroglu, Huseyin R. Máquinas eléctricas y transformadores – 3. Ed. México, D.F: Oxford University, 2006.