

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

EXPERIENCIAS EN EL MONITOREO Y CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES

REPORTE DE ACTIVIDAD Y DESEMPEÑO PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTA
MIGUEL BETANZOS CALDERON

ASESOR DE REPORTE PROFESIONAL
M.I. ISIDRO IGNACIO LÁZARO CASTILLO

MORELIA, MICHOACÁN, JUNIO DE 2011

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por todo el apoyo y comprensión en este duro camino que la vida me ha presentado a lo largo de estos años y que nunca me han dejado caer, mucho menos dejar de luchar y conseguir mis objetivos que al final son un logro de ellos mismos.

A mis familiares más cercanos que siempre me brindaron su apoyo incondicional para hacer posible este objetivo.

A mi esposa por su apoyo insistente para la terminación de esta etapa profesional de mi vida.

A todos los que han confiado, apoyado y brindado su ayuda.

¡Muchas gracias!...

Dedicatoria

Esta dedicatoria es muy en especial a mis padres a los cuales agradezco infinitamente todos sus sacrificios, desvelos y preocupaciones que han tenido para que yo pueda ser un hombre de bien y preparado, gracias por darme las herramientas necesarias para enfrentar la vida e ir con la cara en alto como ustedes lo han demostrado una y otra vez gracias nuevamente por darme todo su amor.

Resumen

El desempeño profesional que se presenta corresponde a mi experiencia laboral a lo largo de cuatro años en la industria Scribe la cual se dedica a la producción de celulosa y de papeles planos tipo bond para la industria de libros, imprenta y demás consumidores del ramo.

El área de mantenimiento eléctrico donde laboro actualmente realiza una gran variedad de actividades enfocadas al área eléctrica, electrónica y computación, la formación estudiantil ha permitido que se tenga mejor desempeño en el área afín, se tiene una gran variedad de tipo de mantenimientos que se hacen en la empresa de los cuales podemos destacar algunos de ellos.

Existen actividades de mantenimiento enfocadas a los trabajos de rutina de equipos. Además se necesita el mantenimiento preventivo para evitar daños indeseables en maquinas y equipos importantes para cualquier industria.

Las acciones correctivas que se presentan en el mantenimiento corresponden a actividades de chequeos, arreglos, cambios y estrategias para la reparación y seguimiento de los procesos de producción para todas las áreas de la industria. Si se presentan las averías en la planta la responsabilidad cae para un solo eléctrico y esta es de suma importancia ya que se tiene que actuar y tomar decisiones rápidas para garantizar el buen funcionamiento de los equipos y la continuidad de los procesos.

Se tienen varias maneras de monitorear y controlar señales que intervienen directa e indirectamente en los procesos industriales más importantes de la empresa. Hay una infinidad de variables que podemos medir como son los voltajes, corrientes, velocidad, potencia, flujos, etc. Estas variables nos ayudan a controlar el proceso industrial que deseamos.

Gracias a la experiencia obtenida sobre el monitoreo y control, se desarrolla un proyecto sobre el secado para madera, en el cual se usa un horno de experimentación ubicado en el laboratorio de Ingeniería en Tecnología de la Madera.

Existen varios tipos de hornos en la actualidad que realizan el proceso de secado para madera y que va de acuerdo a las necesidades y actividades del usuario, se habla en forma general de los principales componentes que intervienen en este proceso indispensable para el área de la madera.

En general se requiere monitorear temperaturas específicas de forma continua ya que estas variables son de gran importancia para el secado, una vez medidas las variables de interés tenemos que tener acciones de control que nos mantenga las condiciones deseadas para el óptimo desempeño del proceso y del equipo.

Gracias a las herramientas computacionales se desarrolla una interfaz grafica amigable para el usuario, las variables se obtienen en tiempo real lo cual permite tomar decisiones que nos lleven a un óptimo resultado para el secado de la madera.

Contenido

Agradecimientos	ii
Dedicatoria.....	iii
Resumen	iv
Lista de Figuras	viii
Lista de Símbolos y Abreviaciones.....	x
Capítulo 1. Introducción	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Metodología	3
1.5 Contenido del Reporte	3
Capítulo 2. Monitoreo y Control de Procesos en la Planta Scribe	
2.1 Descripción de la Empresa.....	5
2.2 Departamento Eléctrico	5
2.2.1 Clasificación de Mantenimiento.....	7
2.3 Actividades de Mantenimiento Eléctrico.....	8
2.4 Monitoreo y Control de Procesos en la Planta Scribe	12
Capítulo 3. Hornos para Secado de Madera.	
3.1 Introducción	15
3.2 Variables presentes durante el proceso de secado.....	15
3.2.1 Flujo y Temperatura del Aire	16
3.2.2 Humedad Relativa del Aire	17
3.2.3 Temperatura.....	17
3.2.4 Contenido de Humedad.....	18
Capítulo 4. Instrumentación y Control de un Horno para Secado de Madera.	
4.1 Sistema de Instrumentación	21
4.1.1 Sensor de Temperatura.....	22
4.1.2 Acondicionamiento para señales de termopar.....	23
4.2 Sistema de Adquisición de Datos	26

4.2.1 Elementos para seleccionar una tarjeta DAQ	27
4.2.2 Tarjeta de Adquisición de Datos	28
4.3 Diseño de una Interfase Gráfica	30
4.3.1 Características de LabView	30
4.3.2 Panel Principal para el Usuario	31
4.4 Enlace entre Etapa de Control y Potencia.....	35
Capítulo 5. Pruebas y Resultados	
5.1 Pruebas.....	37
Capítulo 6. Conclusiones	
6.1 Conclusiones Generales.....	39
Referencias.....	40

Lista de Figuras

Figura 2.1 Aéreas que conforman la Planta Scribe	5
Figura 2.2 Distribución del departamento eléctrico	6
Figura 2.3 Arrancador a Tensión Plena	8
Figura 2.4 Arrancador Suave y Drive CA	9
Figura 2.5 Control de un Drive de CA	9
Figura 2.6 Equipos de Medición y Diagnóstico	10
Figura 2.7 Vista Frontal de un PLC	10
Figura 2.8 Interruptor tipo 50-DHEP 4.16KV	11
Figura 2.9 Motores de CD y CA	12
Figura 2.10 Monitoreo de Señales para Control	13
Figura 2.11 Convertidor y Graficador de Voltaje	13
Figura 2.12 Pantalla de Control del Área de Laminado	14
 Figura 3.1 Motor utilizado para el flujo del aire.	16
Figura 3.2 Resistencias Calefactoras.	16
Figura 3.3 Motor para controlar las ventilas.	17
Figura 3.4 Termopares para obtener BS y BH.	18
Figura 3.5 Pesaje de muestras para obtener CH.	19
Figura 3.6 Electrodo incrustados en la Madera.	20
Figura 3.7 Electrodo y Selector.	20
 Figura 4.1 Descripción del Sistema a Instrumentar.	22
Figura 4.2 Símbolo de un termopar tipo J.	22
Figura 4.3 Diagrama de bloque para el acondicionamiento de señales.	23
Figura 4.4 Filtro pasa-bajas.	23
Figura 4.5 Amplificador de Instrumentación.	24
Figura 4.6 Circuito diseñado en Eagle.	25
Figura 4.7 Distribución de Pistas en Circuito Impreso	25
Figura 4.8 Distribución de Componentes en Baquelita.	26
Figura 4.9 Diagrama de un DAQ	26
Figura 4.10 Terminales tarjeta PCI-6221	29

Figura 4.11 Montaje del Hardware	29
Figura 4.12 Descripción del Panel Frontal para el Usuario.....	31
Figura 4.13 Configuración de Canales de Entrada.....	31
Figura 4.14 Bloque para obtención de Temperaturas.....	32
Figura 4.15 Bloque para Promediar Mediciones.	32
Figura 4.16 Bloque para memorizar datos.....	33
Figura 4.17 Control Manual-Automático.	34
Figura 4.18 Diagrama de Bloques que contiene Base de Datos.	34
Figura 4.19 Control de Salidas Analógicas.	35
Figura 4.20 Relevadores de Estado Solido y Control del Selector.	36
Figura 4.21 Gabinete Eléctrico Principal.	36
 Figura 5.1 Programa en ejecución del Proceso de Secado para Madera	 38

Lista de Símbolos y Abreviaturas

DAQ	Sistema de Adquisición de Datos.
CCM	Centros de Control de Motores.
CA	Corriente Alterna.
CD	Corriente Directa.
PLC	Controlador Lógico Programable.
ma	miliampers.
CFE	Comisión Federal de Electricidad.
TP	Transformador de Potencia.
TC	Transformador de Corriente.
FP	Factor de Potencia.
FITECMA	Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.
AMP	Ampers
BS	Bulbo Seco
BH	Bulbo Húmedo
DP	Depresión
CHE	Contenido de Humedad en Equilibrio
HR	Humedad Relativa
mv	milivolts
CH	Contenido de Humedad
FC	Frecuencia de Corte
PC	Computadoras Personales
CJC	Compensación de Junta Fría
VI	Instrumento Virtual
°F	Grados Fahrenheit
°C	Grados Celsius

Capítulo 1

Introducción

En este reporte de actividades y desempeño profesional, hablare un poco de la empresa Corporación Scribe en donde laboro actualmente, se mencionara algunas de las actividades que realizo en el área de mantenimiento eléctrico, con las cuales me han permitido desarrollar habilidades y adquirir experiencia para poder implementar trabajos en el ámbito laboral.

Se describirá más adelante una implementación en particular que tiene que ver con el control y monitoreo de un horno de secado para madera, este proceso es importante ya que la madera presenta mejores condiciones de trabajo cuando se le da un tratamiento de secado adecuado, el fin de mejorar este proceso se justifica en la reducción de tiempos de secado, horas hombre y en especial costos de energía.

Con la ayuda de la computadora, un Sistema de adquisición de datos (DAQ), un entorno gráfico desarrollado en *LabView* y elementos de monitoreo y control eléctrico, se logra obtener, presentar y analizar datos más amigables para el usuario.

1.1 Antecedentes

Contando con más de ciento treinta años de experiencia en la Industria Papelera a nivel nacional e internacional, Corporación Scribe nace a finales del 2006 de la desincorporación de Productos industriales de Kimberly Clark de México, la cual se dedica a la producción y mercadeo de cuadernos escolares, papeles tipo bond blanco y colores, papeles finos con algodón, papeles y cartulinas tipo couche y una amplia gama de papeles de alta especialidad.

Scribe tiene por objetivo el fabricar y comercializar un extenso portafolio de productos; todos ellos están orientados a satisfacer mercados específicos, y diseñados para usos y procesos individuales, por lo que de esta forma, la industria editorial, de convertidores, especialidades, cuadernos, fotocopiado e impresión, cuentan con un respaldo sólido y confiable para satisfacer las necesidades más exigentes de sus consumidores.

Con nueve máquinas productoras de papel a nivel industrial, cuenta con una capacidad de producción de 420,000 toneladas anuales para poder surtir tanto al mercado nacional como al internacional, apoyándose en la tecnología y capacidad instalada en sus cinco plantas ubicadas en San Juan del Río, Morelia, Orizaba, Naucalpan y la más antigua en San Rafael, la cual opera desde 1879. [Scribe 2011]

Corporación Scribe es una empresa que cuida y se interesa por el medio ambiente, por lo tanto cumple con las leyes aplicables a la fabricación de papel, como son:

- Tratamiento de agua y control de emisiones atmosféricas.
- Utilización de materias primas certificadas y de origen sustentable.
- Consumo de fibras no maderosas, recicladas y reciclables, blanqueadas bajo procesos 100% libres de cloro elemental.

La empresa esta dividida en varias secciones donde se hacen procesos distintos e importantes para la formación del papel terminado y celulosa, se pueden mencionar algunas de estas áreas como son:

- Recuperación y Servicios.
- Calderas.
- Madera.
- Turbos.
- Celulosa.
- Máquina XXI.
- Cortadoras Will.

1.2 Objetivos

Los objetivos de este reporte de actividades y desempeño profesional se muestran a continuación:

Objetivo General:

Presentar de manera general las actividades profesionales que desempeño en el departamento de mantenimiento eléctrico para la industria Scribe.

Objetivos Particulares:

Implementar y poner en practica las experiencias adquiridas en el monitoreo y control de procesos industriales que permitieron desarrollar la instrumentación y control de un proceso de secado para madera.

1.3 Justificación

La realización de las diferentes actividades de mantenimiento eléctrico bajo los procedimientos internos establecidos por el corporativo, han permitido que la industria logre y supere los objetivos de calidad, producción, seguridad y la protección al medio ambiente. Es claro para la empresa que al cumplir con estos objetivos mediante una buena planeación y ejecución de trabajos de mantenimiento obtiene beneficios en la continuidad de los procesos, optimización de las operaciones y disminución de costos.

La implementación de herramientas computacionales, el desarrollo y fabricación de componentes eléctricos, electrónicos y el uso adecuado de la experiencia laboral permiten al ser humano automatizar y controlar de manera más eficiente algún proceso, obteniendo ventajas inmejorables en la confiabilidad de las mediciones y el adecuado manejo de los datos.

1.4 Metodología

Este reporte de actividades y desempeño profesional se presenta por medio de una explicación breve de las principales labores que realizo desde hace cuatro años en la empresa Scribe. Se incorporan algunas referencias y procedimientos internos de mantenimiento eléctrico de la empresa.

1.5 Contenido del Reporte

En el Capítulo 1 se presenta una breve reseña de la empresa Corporación Scribe, sus inicios como industria independiente productora de papeles planos tipo bond, libretas que abastecen un cierto sector del área editorial y de impresión. Además se mencionan de manera breve algunas de las áreas de producción más importantes para hacer posible la fabricación del papel.

En el Capítulo 2 se describen algunas de las actividades más destacadas e importantes que desarrollo en el área de mantenimiento eléctrico, resaltando la importancia de tener una preparación en el ramo de la ingeniería eléctrica, además precisar el alcance y la experiencia laboral que se obtiene en una industria.

En el Capítulo 3 se dará una explicación breve del proceso de secado para madera mediante estufas u hornos que se utilizan en la actualidad, conoceremos algunas de las mejoras que se implementaron e instalaron con el objetivo de monitorear y automatizar parte del proceso de secado para madera.

En el Capítulo 4 se presenta el trabajo desarrollado para monitorear y controlar una estufa de secado para madera, analizaremos a detalle los pasos que debemos seguir para implementar el monitoreo y control de procesos, las mejoras particulares que se realizaron para poder reducir los costos de producción, el ahorro de energía, y sobre todo facilitar el manejo del proceso de secado para cualquier persona de la especialidad en la madera.

En el Capítulo 5 se presentan las pruebas y resultados de la implementación del monitoreo y el control de la estufa de secado.

En el Capítulo 6 se citan las conclusiones generales y particulares del presente trabajo con la finalidad de resaltar los beneficios que proporciona la experiencia laboral para el desarrollo de procesos de monitoreo y control.

Capítulo 2

Monitoreo y Control de Procesos en la Planta Scribe

2.1 Descripción de la Empresa

Scribe es una empresa muy importante en el ramo de la elaboración de papeles planos y producción de celulosa en todo el país, su gran versatilidad le permite abastecer a un sector específico del consumo de papel como son la industria de la imprenta, libretas, hojas de impresión, etc.

Existen varias aéreas dentro de la empresa que intervienen en el proceso para la elaboración de celulosa y papel plano. La Figura 2.1 muestra el organigrama de la planta.

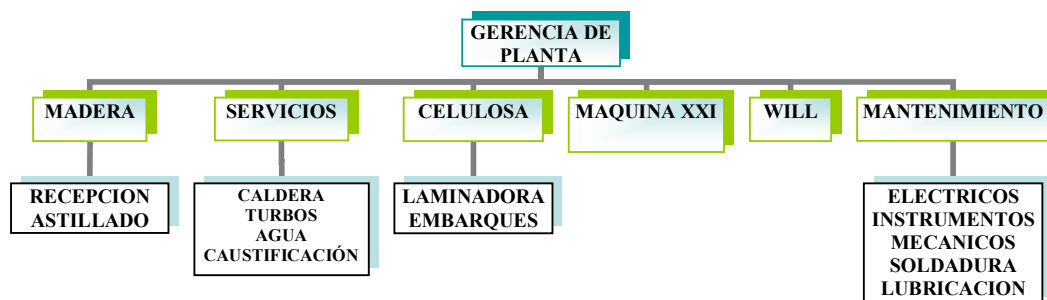


Figura 2.1 Áreas que Conforman la Planta Scribe.

La empresa está conformada y distribuida estratégicamente por distintas áreas especiales para desarrollar cada parte del proceso de la fabricación del papel, cada una de ellas cuenta con personal especializado según sea el área y proceso destinado, todas son campo de trabajo para desarrollarme como profesional en la especialidad de ingeniero electricista, ya que en cada una de ellas la energía es de vital importancia para realizar las diferentes tareas de formación de papel.

2.2 Departamento Eléctrico

Uno de los principales departamentos que son de vital importancia en cualquier industria productora corresponde al mantenimiento, a lo largo de cualquier proceso que requiere de maquinaria de cualquier índole es necesario contar con el personal

capacitado para atender los diferentes problemas que puedan suceder a lo largo de cualquier proceso.

El departamento eléctrico es el encargado de suministrar, controlar y asegurar la continuidad de la energía para evitar que los procesos se detengan y generen pérdidas muy cuantificables para la empresa en general, es importante mencionar que en la industria no es factible ni deseable interferir con la continuidad de la producción.

La Figura 2.2 muestra la organización del departamento de mantenimiento eléctrico.

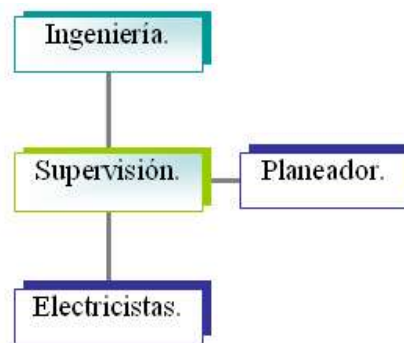


Figura 2.2 Distribución del Departamento Eléctrico.

El ingeniero electricista tiene una gran capacidad para desenvolverse en el departamento eléctrico pues cuenta con la preparación para desarrollar e implementar trabajos orientados a cualquier especialidad de la electricidad, electrónica y por supuesto la computación, esto permite grandes beneficios en el desarrollo profesional. A continuación se describe de forma breve la Misión y la Visión del departamento eléctrico.

Misión

Asegurar de manera permanente el perfecto funcionamiento de la maquinaria y componentes eléctricos que intervienen en el proceso de la producción de papel, con los recursos humanos e infraestructura propias.

Objetivo

Atender las necesidades eléctricas indispensables para asegurar y mantener la productividad de la empresa, optimizando los recursos, reducir costos de producción y

aumentar la eficiencia de los procesos promoviendo el desarrollo profesional de los trabajadores.

El papel que desempeña en la empresa es el de electricista, en este escalafón se trabaja directamente en el mantenimiento eléctrico necesario para cada una de las áreas que comprende la planta, este departamento se especializa en cada uno de los equipos eléctricos y electrónicos que se utilizan comúnmente en una empresa productora para realizar los procesos industriales más efectivamente, además describiremos algunas actividades que se consideran importantes y significativas para dar una idea clara del campo laboral de un ingeniero electricista.

2.2.1 Clasificación de Mantenimiento

Este departamento tiene una gran variedad de actividades enfocadas a todos los sectores de la electricidad, la electrónica y la computación, a continuación se describirá de manera puntual los diferentes tipos de mantenimiento que se realizan dentro de la empresa Scribe, tomando en cuenta desde el más sencillo hasta el más delicado teniendo la siguiente clasificación:

- En el mantenimiento eléctrico rutinario mi función consiste en mantener en óptimas condiciones los equipos eléctricos, evitando su deterioro o posible falla dentro del proceso a realizar.
- El mantenimiento preventivo se ocupa de dar mantenimiento a los equipos, máquinas, dispositivos eléctricos y electrónicos, para evitar que sufran daños mayores e irreparables. El mantenimiento preventivo tiene grandes ventajas y beneficios para la producción ya que garantiza la continuidad de las operaciones.
- El mantenimiento correctivo, se encarga de intervenir cuando los equipos sufren un desperfecto o una avería, es importante acudir al equipo que se debe reparar en el menor tiempo posible, decidiremos que elementos utilizar en la reparación o en su defecto sustituir alguna pieza por otra de las mismas características, entre más pronto sea la respuesta menor será el impacto en la producción de la empresa.

- Las averías se atienden en los tres turnos y se tiene la responsabilidad de atender a todas las áreas si se presenta algún problema eléctrico, igual que en el mantenimiento correctivo es de vital importancia la pronta respuesta y la toma de decisiones para asegurar la continuidad de los procesos y que la producción se vea lo menos afectada.

2.3 Actividades de Mantenimiento Eléctrico

A continuación se describirán las diferentes actividades de mantenimiento eléctrico que llevo a cabo en la empresa Scribe, una clasificación simple de las actividades del ingeniero electricista es en dos campos, como son el control y monitoreo, y el ramo de potencia.

En el primero se pueden mencionar algunas de las actividades relevantes ya que el control nos ayuda a tener referencias específicas, señales reales, datos precisos para los procesos, secuencias de operación, indicaciones y alarmas a los operadores, modos de control de arranque y paro de equipos, etc.

El departamento es el responsable de mantener en optimas condiciones los centros de control de motores (CCM), aquí se encuentran los cubículos de los equipos y es donde se arma el control de los arrancadores de cualquier tipo, tenemos algunos como el arranque a tensión plena, el estrella-delta, arranque por autotransformador, por resistencias, etc., la Figura 2.3 muestra un arrancador típico para controlar un motor de inducción.



Figura 2.3 Arrancador a Tensión Plena.

El arrancador a Tensión Plena es uno de los más utilizados en la empresa, en la actualidad se pretende implementar y poner en servicio arrancadores inteligentes, suaves, y los llamados *drives* de Corriente Alterna (CA) y Corriente Directa (CD), ya

que estos proporcionan mayor eficiencia y sobre todo tienen un gran ahorro de energía al momento de su arranque. Para llevar a cabo estas mejoras es necesario aplicar la ingeniería, que comprende todo lo relacionado con los cálculos del cableado de control y potencia, la tierra física que es muy importante para el buen desempeño de estos equipos, la programación de los datos y tipo de manejo para el motor de inducción a controlar. La Figura 2.4 muestra la instalación de un arrancador suave e inversor de CA.



Figura 2.4 Arrancador Suave y Drive CA.

Para poder controlar los equipos en campo es necesario hacer un adecuado control según sea la aplicación, las secuencias de control son muy utilizadas en procesos que tienen una cierta continuidad y orden, en la empresa hay procesos que requieren varios pasos de fabricación, por lo cual debemos de tener diagramas eléctricos bien específicos, tener la habilidad para interpretarlos de forma correcta si se requiere su implementación.

Para este caso se utilizan elementos básicos como son los relevadores magnéticos, de estado sólido, a diferentes voltajes y capacidades, existen en algunos equipos sofisticados tarjetas de control que tienen un grado de complejidad mayor y por consecuencia se debe de tener un mayor cuidado en su manejo y revisión en cualquier falla que se presente. La Figura 2.5 nos muestra algunas tarjetas que se utilizan para control, relevación y secuencia de un drive de CA marca *Reliance*.



Figura 2.5 Control de un Drive de CA.

Los equipos que se utilizan cotidianamente para medir señales de corriente, voltaje, resistencia, en equipos eléctricos y electrónicos puedo mencionar al multímetro marca *FLUKE* que es una de las marcas más confiables, amperímetros de gancho, osciloscopio, computadora, etc. Además para diagnosticar el estado de algunos equipos eléctricos se utiliza comúnmente el *megger*, *baker* (prueba de asilamiento de bobinas), puente de *Weastone*, pistola estroboscópica, cámara termográfica. La Figura 2.6 muestra tres equipos utilizados en la empresa.



Figura 2.6 Equipos de Medición y Diagnostico.

En cuestión de la electrónica y la computación se tiene acceso a los controladores lógicos programables (PLC), que nos ayudan a recibir todas las señales de control para las máquinas y los procesos, en estos dispositivos se reciben señales de micros limite, fotoceldas, tacómetros, *encoders*, sensores de varios tipos, botoneras, señales de corriente de 4 a 20 miliampers (*ma*), 0 a 10 volts etc. Para lo cual internamente el PLC hace todo el proceso del diagrama de escalera, este nos da señales de salida para controlar equipos y dispositivos, hacer señalizaciones sonoras y visuales, secuencias para control externo, y mucho más.

La Figura 2.7 nos muestra la estructura de un PLC, el cual es una gran herramienta para realizar una infinidad de procesos internos con todas las señales que se le envían, según su diagrama de escalera se efectuaran las acciones que hayamos programado.



Figura 2.7 Vista Frontal de un PLC.

Dentro de las actividades de Potencia que desempeño dentro de la empresa, nos concierne todo lo relacionado a la distribución de la energía, lo que comprende desde la acometida principal donde suministra la energía Comisión Federal de Electricidad (CFE), se cuenta con una Subestación propia donde se hace el enlace de CFE con Scribe, existen elementos de potencia que debemos mantener en óptimas condiciones y revisar cada vez que se tenga algún paro programado, existen apartarrayos, cuchillas, Transformadores de Potencia (TP), Transformadores de Corriente (TC), Transformadores de 13.8KV a 4.16KV.

La energía de la Subestación principal es controlada por el área turbos, la cual cuenta con dos turbogeneradores encargados de generar y suministrar casi el 50% de la energía que consume la planta, debe tener un mantenimiento periódico y minucioso para los generadores ya que son uno de los equipos que tienen más importancia en Scribe, solamente en paros anuales se pueden hacer reparaciones mayores.

Dentro del área de turbos se tienen celdas o interruptores de potencia que son las que distribuyen la energía en 4.16KV, las cuales alimentan los transformadores de cada área específica. A estas celdas se les proporciona mantenimiento anualmente cuidando cada detalle de estas ya que son equipos muy costosos y de gran importancia. La Figura 2.8 muestra una celda de 4.16KV.

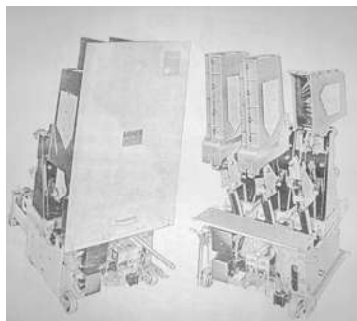


Figura 2.8 Interruptor tipo 50-DHEP 4.16KV.

En la conexión de interruptores de alto voltaje se requiere preparar terminales especiales que manejen y soporten este nivel de voltaje ya que por lo general son más robustas y delicadas que las de baja potencia, además utilizan un cable especial, etc. En la planta se tienen instalados bancos de capacitores de potencia, a gran escala, donde se tiene cuidado en controlar el Factor de Potencia (FP) ya que CFE penaliza o bonifica a la empresa por un rango optimo de FP. La revisión de capacitores necesita un cuidado

especial por el rango de voltaje que manejan hacia la carga instalada, revisamos el buen estado de las terminales, que no estén inflados, derramando líquidos, carbonizados, etc. Los capacitores instalados en los CCM's son de menor escala y se revisan con el mismo procedimiento que los de potencia.

Los motores que se encuentran instalados en la empresa suelen ser de varios tipos y capacidades, que van de acuerdo al proceso y al área de empleo, los más empleados en la industria son los motores de inducción de CA, algunos motores de CD, motoredutores, etc. Estos motores reciben una inspección previa y se determina el mantenimiento que se debe ejecutar para su reparación, cambio de baleros, chequeo de ajustes de tapas, balanceo, pruebas de *megger* y *baker*, con estas pruebas nos da una mayor seguridad que los motores tendrán un desempeño importante para la continuidad de los procesos. En la Figura 2.9 se muestra dos tipos de motores instalados en planta.



Figura 2.9 Motores de CD y CA.

2.4 Monitoreo y Control de Procesos en la Planta Scribe

En la industria es de gran importancia tener el monitoreo de algunas de las variables y señales que intervienen en el control de los equipos, esto nos ayuda a mostrar de manera puntual y gráfica algunos detalles del proceso, es necesario que los operadores tengan un registro de las variables en tiempo real, puedan visualizar de manera simple y amigable la evolución de los procesos que se están llevando a cabo, el monitoreo ofrece grandes ventajas a la parte operativa pues si en un momento determinado tienen la necesidad de realizar algún ajuste en sus variables de proceso, ejecuten las acciones pertinentes que les ayuden a garantizar la producción evitando posibles pérdidas en los productos finales de la empresa.

En la Figura 2.10 se muestra una pantalla para monitorear las señales de interés, con la ayuda del PLC y sus entradas analógicas y digitales podemos obtener los valores para graficar en tiempo real algunas variables importantes.



Figura 2.10 Monitoreo de Señales para Control.

Algunos de los dispositivos que se instalan y se utilizan para monitorear algunas variables importantes son los convertidores analógicos a digital, de voltaje a corriente, convertidor de frecuencia a voltaje, en el PLC se pueden tener varios módulos de conversión según sea la variable a monitorear. Para los trabajos de mantenimiento eléctrico es muy necesario este tipo de elementos electrónicos ya que nos ayudan a diagnosticar alguna falla en el equipo de manera más precisa y rápida.

Los graficadores tienen la gran ventaja de registrar por un lapso muy grande la evolución de las señales, gracias a este registro sabemos con exactitud en que momento del proceso tuvimos alguna variación que nos afectó en el proceso y el control de los equipos, el monitoreo nos ayuda a encontrar de manera más rápida fallas que se presentan en los sistemas de control de procesos. La Figura 2.11 nos muestra un convertidor típico y un graficador de señales de voltaje.



Figura 2.11 Convertidor y Graficador de Voltaje.

Una vez obtenidos los datos y las señales de interés es de gran importancia mostrarlos y graficarlos para tener un control preciso del proceso, existen una gran variedad de programas que incorporan gráficos y ventanas amigables para mostrar al operador los elementos que pueden controlar. Algunas empresas importantes tienen programas para incorporar en pantalla algunas acciones que el proceso requiere controlar y el usuario

pretenda manipular de manera manual, lo que comúnmente se maneja son los arranques de los motores, apertura y cierre de válvulas, monitorear variables para graficar, niveles, presión, alarmas, etc.

Para encontrar las fallas de manera más rápida podemos guiarnos con las alarmas y señalizaciones detectadas en pantalla, de esta manera analizamos y actuamos de manera más rápida para reparar la falla que detiene el proceso. Podemos ver en la Figura 2.12 una pantalla de control del proceso del área de laminado que es donde se apila y clasifica la celulosa que va a ser transportada para su exportación o consumo de otras plantas del mismo grupo.



Figura 2.12 Pantalla de Control del Área de Laminado.

Como se puede apreciar la computadora es una herramienta bastante útil para el manejo de la información, los dispositivos de adquisición de datos, electrónicos y la ingeniería computacional nos ayudan a controlar y automatizar cualquier proceso que nosotros deseemos implementar con estas herramientas.

Gracias a la experiencia obtenida en la industria papelera me es posible desarrollar una aplicación de instrumentación y control de una estufa para secado de madera la cual esta ubicada en el edificio “O” dentro del laboratorio de procesamiento mecánico de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (FITECMA), el secado de madera es uno de los procesos y herramientas más utilizados por alumnos y profesores para su campo profesional, dada la importancia del secado se implementó el monitoreo y control de las variables físicas que nos permiten proporcionar a la madera un adecuado tratamiento para obtener el mejor rendimiento a la hora de su uso, gracias al desarrollo de este trabajo se obtuvieron grandes mejoras y beneficios que más adelante serán citados.

Capítulo 3

Hornos para Secado de Madera.

3.1 Introducción.

La madera que se obtiene en forma de trozas generalmente contiene una gran cantidad de agua, la cual es necesario eliminar antes de que pueda ser procesada y utilizada en la elaboración de muebles, puertas, parquet, lambrín, etc. Los procedimientos para eliminar el exceso de agua en la madera son muy variados, desde los que aprovechan las condiciones secantes del medio ambiente (secado al aire libre), las estufas de secado en sus diferentes modalidades, estufas convencionales, solares, deshumidificadores, de vacío, hasta los que utilizan micro-ondas u ondas de alta frecuencia.

Es de vital importancia reducir el contenido de humedad en la madera antes de su transformación en productos, a un nivel apropiado de acuerdo al lugar donde se utilizará, con el fin de obtener un producto estable que se desempeñe satisfactoriamente en servicio; si no un secado "informal" ocurrirá durante su utilización, produciendo frecuentemente efectos indeseables y en algunos casos resultados desastrosos.

Las industrias de la madera, en general, se abastecen de madera en estado húmedo. Si la industria no cuenta con adecuadas facilidades para secar la madera, ya sea por medio de secado al aire o secado artificial, esta madera pasará al proceso productivo sin ningún control en cuanto a su contenido de humedad, dando como resultado problemas durante su manufactura, acabado y servicio. [Hoheisel 1989].

3.2 Variables presentes durante el Proceso de Secado.

A continuación se describirán las principales variables que se presentaran dentro de la estufa de secado.

- Flujo y Temperatura del Aire.
- La Humedad Relativa del Aire.
- La Temperatura.
- Contenido de Humedad en la Madera

3.2.1 Flujo y Temperatura del Aire

La velocidad del aire es el medio encargado de transportar la humedad que despiden la superficie de la madera. A mayor velocidad aumenta la capacidad de arrastre, pero exceso de aire provocaría un resecamiento de la superficie de la madera generando esfuerzos que pueden dañar la madera o interrumpir en algunos casos el proceso de secado de madera. En la actualidad se utilizan controladores que varían la velocidad del aire de acuerdo a la etapa de secado de la madera.

La Figura 3.1 muestra el motor 3Ø de CA acoplado a un ventilador que es utilizado para el flujo de aire el cual se encarga de transportar la humedad que despiden la superficie de la madera, se alimenta con un voltaje de 220 V con una corriente de 6.6A, la potencia que maneja este motor es de 1.5 W a un factor de potencia de 0.77, y gira a 1130 rpm.



Figura 3.1 Motor utilizado para el flujo de aire.

Para poder manejar una cierta temperatura del aire es necesario encender un grupo de resistencias de potencia, las cuales van a encargarse de calentar el aire que pasa a través de ellas, el voltaje de alimentación es de 220V el encendido y apagado de estas se hace a través de dos contactores que entran y salen según las condiciones actuales del proceso. La Figura 3.2 nos muestra la distribución de las resistencias internas de la estufa las cuales están divididas en dos grupos de la misma capacidad cada uno.



Figura 3.2 Resistencias Calefactoras.

3.2.2 Humedad Relativa del Aire.

Es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y la máxima cantidad que puede contener a la misma temperatura. Si aumentamos la temperatura, aumenta la capacidad del aire de contener vapor de agua, lo que quiere decir que podemos absorber mayor cantidad de vapor de agua de la madera. Igualmente si extraemos vapor de agua del aire, bajamos su humedad relativa y aumenta la capacidad de sacar vapor de la madera. A una humedad relativa dada, hay un valor de equilibrio de humedad de la madera. De allí ya no pierde más humedad. Por eso es que tenemos que ir variando las condiciones del ambiente a medida que la madera se va secando.

Esta condición se puede controlar con la ayuda de ventilas, estas al momento de abrir o cerrar permiten la circulación de aire desde el medio ambiente hacia el interior de la estufa de secado. Estas ventilas son controladas a través de un pequeño motor con un voltaje nominal de 220 V con una corriente de 1 Amper (Amp). En la Figura 3.3 se muestra el motor que controla las ventilas.



Figura 3.3 Motor para control de ventilas.

3.2.3. Temperatura.

Como hemos mencionado la temperatura varía el valor de la humedad relativa del aire y por lo tanto la capacidad del mismo de extraer humedad de la madera. Este parámetro es uno de los más importantes durante el proceso de secado ya que con este se puede determinar el contenido de humedad, obteniendo las dos temperaturas llamadas de Bulbo Seco (BS) y Bulbo Húmedo (BH), con estos datos podemos determinar la depresión (DP) que se obtiene de la diferencia del BS - BH, el Contenido de Humedad en Equilibrio (CHE) y Humedad Relativa (HR) los obtenemos a través de una tabla psicométrica, estos valores nos ayudan a ver la evolución de nuestro secado ya que las variables se mueven constantemente durante todo el proceso de secado.

Los sensores que se instalaron para monitorear la temperatura son del tipo termopar, la característica de los termopares es la reacción ante cambios de temperatura proporcionando en su salida señales de voltaje del orden de los milivolts (mv). En la Figura 3.4 se muestra la instalación de los termopares, la diferencia que existe para obtener el BH radica en utilizar una mecha humedecida con agua desmineralizada.



Figura 3.4 Termopares para obtener BS y BH.

3.2.4 Contenido de Humedad.

El Contenido de Humedad (CH) y su distribución en la partida de madera determinan la conducción del programa de secado. Esta influencia es más patente cuando la partida a secar está formada por tablas con contenidos de humedad muy desiguales (madera recién aserrada y madera oreada), reduciendo su importancia cuando la partida de madera es más homogénea.

El secado de madera con diferencias importantes en el contenido de humedad inicial de las tablas (humedades comprendidas entre el 40 y el 80%) dificulta la adecuación de las condiciones de secado para toda la partida. Condiciones adecuadas para contenidos de humedad bajos, someterían a las tablas más húmedas a condiciones mucho más severas, aumentando el riesgo de presencia de defectos. En cambio, si se establecen condiciones en base a los valores más húmedos, las tablas que presentan menor humedad alargarían su proceso de secado innecesariamente, con el riesgo de sufrir un resaca excesivo. Por otra parte, al realizar el secado partiendo de madera con contenidos de humedad muy dispares, se obliga a alargar las fases de homogeneizado final, reduciendo la rentabilidad del secado.

El contenido de humedad de una madera está en relación con las condiciones ambientales del lugar donde se encuentre, con las características del sitio en que la pieza

será utilizada. El equilibrio higroscópico de una madera evidencia un estado sensible a los cambios ambientales, ya que el grado de humedad que la caracteriza en un momento dado, puede aumentar o disminuir, de acuerdo con las modificaciones de las condiciones de temperatura y humedad del aire. [INTA 2006]

El proceso para determinar el CH en la madera se realiza por el método de diferencia de peso, el cual consiste en cortar muestras de las piezas de madera que se van a secar dentro de la estufa, se obtiene su peso inicial antes de apilarla dentro de la estufa, un tiempo después se tiene que volver a pesar las muestras y determinar el peso actual, obteniendo la diferencia del peso inicial con el final podemos determinar el porcentaje de CH que tiene la madera actualmente, este sistema no es conveniente ya que al abrir la estufa perdemos automáticamente las condiciones actuales, una vez pesadas las muestras y obtenido el CH cerramos la estufa y debemos alcanzar las condiciones que teníamos anteriormente, cabe señalar que este proceso se hace en varias ocasiones a lo largo del secado, esto nos genera mucha pérdida de tiempo y energía para nuestro proceso de secado. La Figura 3.5 nos muestra el proceso de pesado para determinar el porcentaje de humedad en la madera.



Figura 3.5 Pesaje de muestras para obtener CH.

Para determinar la humedad que existe en la madera se utiliza un método mas sofisticado para evitar las perdidas antes mencionadas, el método eléctrico consiste en hacer circular por dos electrodos una pequeña señal de corriente a través de la madera, dependiendo de la oposición al flujo de corriente se determina el porcentaje de humedad en la madera, el aparato que emite y recibe la señal de corriente se llama higrómetro y es el encargado de calcular el CH en la madera, para este proceso se hicieron e instalaron cuatro pares de electrodos, los cuales serán incrustados a una profundidad adecuada en la madera, la distribución de los electrodos depende del usuario y va ligada al tipo de carga que se va a secar, se utilizan cables especiales que trabajan en

condiciones de temperatura elevadas para evitar que su resistencia cambie conforme aumentan las condiciones de temperatura de la estufa. La Figura 3.6 Muestra la posición de los electrodos en la madera.



Figura 3.6 Electrodos incrustados en la Madera.

Podemos instalar varios electrodos a la vez durante el secado y poder determinar en varios sectores de las tablas el CH actual, esto lo realizamos con la implementación de un Selector de señales que nos permite cambiar el par de electrodos que se va a evaluar o monitorear. Los electrodos en conjunto con el Selector nos ahorran tiempo de secado, ahorros en energía eléctrica ya que no tenemos que abrir la estufa y perder condiciones de temperatura y humedad. A continuación la Figura 3.7 muestra los electrodos y el Selector para medir la humedad en la madera.



Figura 3.7 Electrodos y Selector.

Cada una de las mejoras que se desarrollaron pretende maximizar el proceso de secado ya que es muy importante tener ahorros significativos que se reflejen en un menor tiempo para el producto terminado y mucho más en el costo de la inversión. Seguiremos dando más detalles de cómo se implementan las mejoras a este sistema, señalando puntos específicos que nos dejen claro el funcionamiento de la instrumentación y control de procesos.

Capítulo 4

Instrumentación y Control de un Horno para Secado de Madera

4.1 Sistema de Instrumentación.

Un sistema básico de instrumentación electrónico esta formado por diferentes etapas las cuales se utilizan para realizar mediciones de variables físicas en tiempo real para su registro o manipulación. En general un sistema de instrumentación consta de tres etapas:

- Sensores.
- Acondicionamiento de señales.
- Sistema de Adquisición de Datos.

Los sensores proporcionar las señales que nuestro sistema de instrumentación va a manejar, estos transductores proporcionan señales eléctricas ya que su funcionamiento elemental es transformar una variable física en un parámetro o señal eléctrica la cual podamos manipularla de acuerdo a las necesidades requeridas por nuestro sistema.

El acondicionamiento de las señales que se obtienen de los sensores es un paso muy importante, en nuestro caso al implementar el uso de los termopares se deben tener cuidados especiales ya que estos están expuestos al ruido producido por motores o máquinas, por otra parte los niveles de voltaje que entregan los termopares son del orden de los *mv* por eso es preciso adecuar tanto un filtro pasa-bajas y un amplificador de instrumentación para manejar de manera correcta las señal obtenidas.

La DAQ nos proporciona la facilidad de recibir todas las señales que se desean monitorear, una vez que las señales han sido acondicionadas a un nivel de voltaje apropiado para los requerimientos de entrada de la tarjeta podemos obtener, manipular y mostrar los resultados de una manera grafica y sencilla para el usuario.

La Figura 4.1 nos muestra el diagrama de un sistema de instrumentación electrónico básico.

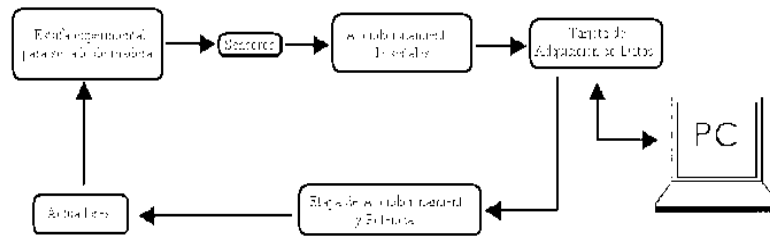


Figura 4.1 Descripción del Sistema a Instrumentar.

4.1.1 Sensor de Temperatura.

Dentro de la cámara de secado la temperatura juega un papel muy importante pues es una de las variables más significativas para el proceso de secado, por lo cual debemos tener un monitoreo adecuado, a continuación se explicaran algunas características, consideraciones y cuidados al utilizar sensores de temperatura.

El termopar funciona bajo el principio del efecto *Seebeck*, en el cual refiere a que la unión entre dos metales genera un voltaje que es función de la temperatura, si bien casi cualquier par de metales pueden ser usados para crear un termopar, se usa un cierto número debido a que producen voltajes predecibles y amplios gradientes de temperatura. [Ciencias místicas 2006].

Los termopares se utilizan extensamente, ya que ofrecen una gama de temperaturas mucho más amplia y una construcción más robusta que otros tipos. Además, no precisan alimentación de ningún tipo y su reducido precio los convierte en una opción muy atractiva para grandes sistemas de adquisición de datos. Sin embargo, para superar algunos de los inconvenientes inherentes a los termopares y obtener resultados de calidad, es importante entender la naturaleza de estos dispositivos. En la Figura 4.2 se muestra el símbolo característico de un termopar en la cual precisan que este elemento producirá 5.268mV a 100°C. [Wikipedia 2006]

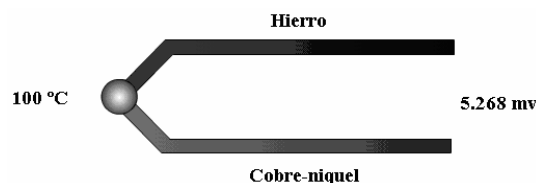


Figura 4.2 Símbolo de un termopar tipo J.

4.1.2 Acondicionamiento para señales de termopar.

La Figura 4.3 muestra el diagrama típico para el acondicionamiento de señales provenientes de los sensores de temperatura.



Figura 4.3 Diagrama de bloques para el acondicionamiento de señales.

Para eliminar los problemas de ruido se implementa un filtro activo pasa-bajas a partir de amplificadores operacionales de propósito general, este tipo de filtro deja pasar una banda de frecuencias especificadas y atenúa todas las señales fuera de esta banda. El filtro tiene voltaje de salida constante de CD hasta una Frecuencia de Corte (FC), conforme la frecuencia aumenta arriba de FC el voltaje de salida se atenúa. La Figura 4.4 muestra el circuito para el filtro pasa-bajas, armado con la ayuda del programa Eagle para circuitos impresos.

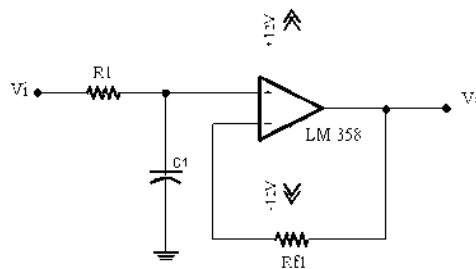


Figura 4.4 Filtro pasa-bajas.

Como los sensores proporcionan una señal de CD, se podría considerar una FC aproximadamente de 20Hz, cualquier señal por encima de este valor se considera como ruido. La Ecuación 4.1 nos muestra como se determina la frecuencia de corte.

$$W_c = \frac{1}{R_1 C_1} = 2\pi F_c \quad (4.1)$$

Reordenando la Ecuación 4.1 se despeja y calcula para R_1 , obtendremos la expresión mostrada en la Ecuación 4.2.

$$R_1 = \frac{1}{2\pi F_c C_1} \quad (4.2)$$

Calculando R_1 para una frecuencia de 20Hz y un Capacitor propuesto de 2.2 μF tenemos como resultado lo siguiente:

$$R_1 = \frac{1}{2 * \pi * 20 * 2.2\mu F} = 1.205K\Omega$$

Una vez que obtenemos los parámetros adecuados para el filtro y podemos ahora eliminar el ruido que se presenta al momento de tomar mediciones con la tarjeta DAQ pasaremos a la siguiente etapa de amplificación.

La etapa de amplificación se utiliza para acondicionar la señal proveniente de los sensores de temperatura ya que estos entregan en su salida voltajes muy pequeños del orden de los *mv*. Este acondicionamiento se refiere principalmente a la obtención de un nivel de voltaje más alto adecuado a los valores de entrada de las tarjetas de adquisición de datos. Para lograr este propósito se implementa un circuito llamado amplificador de instrumentación, es uno de los circuitos más precisos, versátiles y más utilizados en el procesamiento de señales disponibles en la actualidad. Básicamente la operación que realiza es la resta de sus dos entradas multiplicada por un factor utilizado para medir pequeños voltajes diferenciales superpuestos sobre un voltaje de modo común, el amplificador de instrumentación se coloca en la etapa de entrada de un instrumento electrónico para aumentar la sensibilidad del circuito.

La estructura de un amplificador de instrumentación lo podemos encontrar en un circuito integrado manufacturado por la empresa *Analog Devices*, de manera simple podemos cambiar el valor de la ganancia de salida variando el valor de una resistencia. Para nuestro caso la ganancia que se obtiene es de valor 10. La Figura 4.5 nos muestra el diagrama interno y la ecuación básica del amplificador de instrumentación AD620.

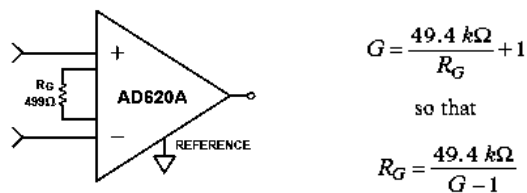


Figura 4.5 Amplificador de Instrumentación.

Una vez determinadas las etapas de filtrado y amplificación de señales se diseño un circuito impreso que nos permita montar todos los elementos de entrada de voltaje de los termopares, el filtrado, amplificación y salida hacia la tarjeta que recibirá las señales.

Usando programas especiales como *Eagle* que nos permite crear un circuito impreso a partir de un diagrama electrónico que posteriormente será trasladado a una baquelita

para su montaje y uso en nuestro sistema DAQ. La Figura 4.6 nos muestra la distribución precisa de cada uno de los elementos y las pistas del circuito.

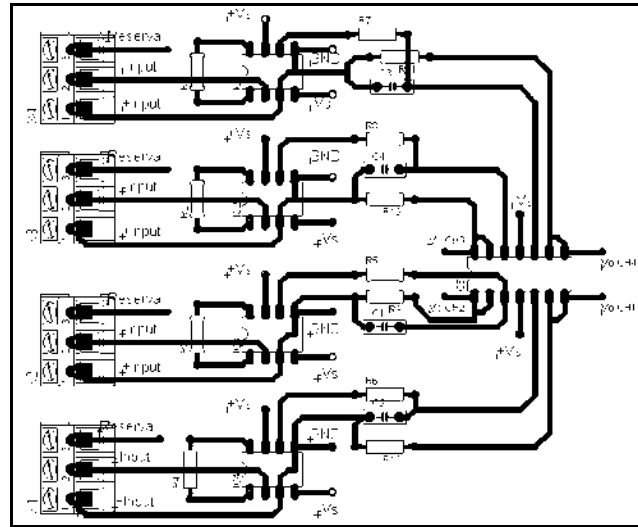


Figura 4.6 Circuito diseñado en *Eagle*.

La Figura 4.7 nos muestra como queda el circuito impreso cuando se traslade a la baquelita de cobre.

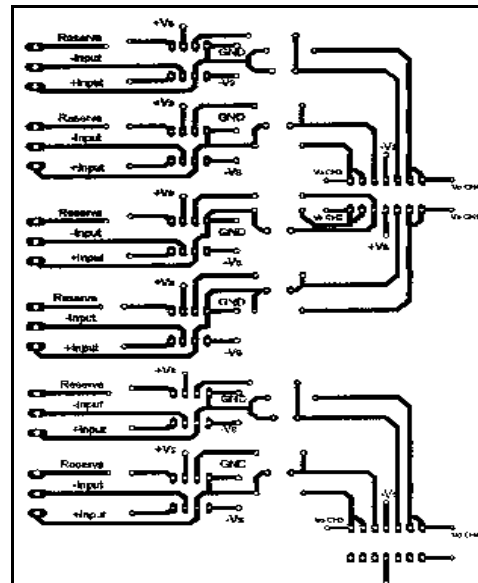


Figura 4.7 Distribución de Pistas en Circuito Impreso.

Enseguida se montan todos los elementos del circuito en la baquelita, teniendo mucho cuidado de no dañar ningún componente y sobre todo quede perfectamente soldado.

La Figura 4.8 muestra el ensamble correcto y como debe quedar terminada para su propósito.

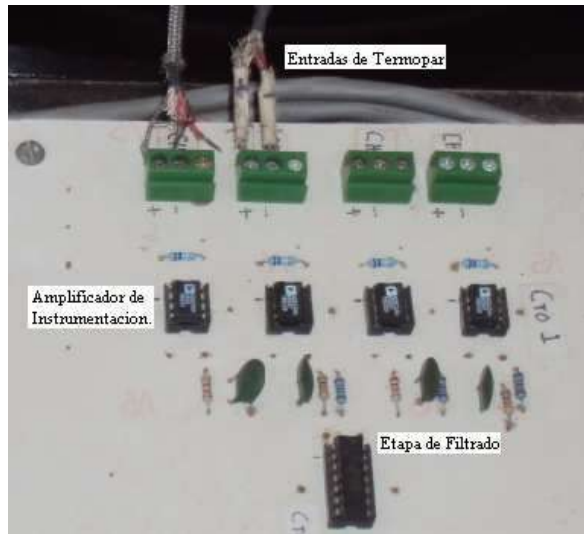


Figura 4.8 Distribución de Componentes en Baquelita.

4.2 Sistema de Adquisición de Datos.

Las Computadoras Personales (PC) tienen una gran cantidad de aplicaciones en áreas muy diversas debido a que son dispositivos programables de propósito general, son muy eficientes en el tratamiento de grandes volúmenes de información, con interfaces para el usuario muy intuitivas.

Adquirir datos es el proceso de medir los parámetros físicos que los sensores transforman en señales eléctricas para introducirlos en el sistema. La adquisición se realiza mediante un hardware especializado de medición que puede desglosarse en sensores, conectividad de la señal, acondicionamiento de la señal, y conversión analógica-digital. La conectividad de la señal describe los componentes del hardware con los cuales se conectan los sensores al equipo. En la Figura 4.9 se muestra un sistema DAQ basado en PC's.

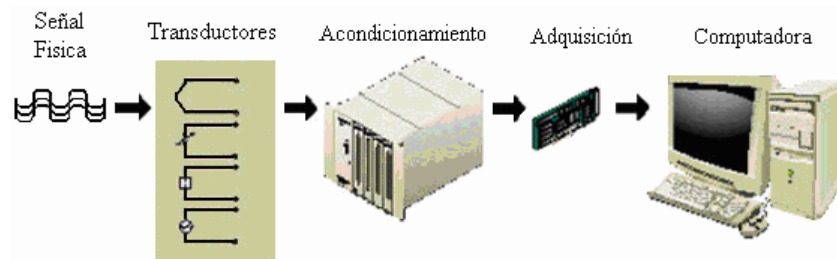


Figura 4.9 Diagrama de un DAQ.

Las características de los transductores definen muchos de los requerimientos de acondicionamiento de señales de un sistema DAQ. Es importante tomar en cuenta varios aspectos antes de poder crear un sistema de monitoreo de temperatura con termopares, a continuación se listan algunos puntos importantes como son:

- Requieren de Compensación de Junta Fría (CJC). Al conectar el termopar a un sistema de medición se forman otros circuitos termoelectricos y alteran la precisión de la medición. Dicha compensaciones se realiza mediante software.
- Son dispositivos no lineales, para linealizar la salida de los termopares se requiere usar polinomios para aproximar la curva de voltaje-temperatura.

4.2.1 Elementos para seleccionar una tarjeta DAQ

Si lo que se pretende es usar una tarjeta DAQ para adquirir señales se deben tomar en cuenta tres factores importantes como son: la resolución especificada mostrada por la Ecuación (4.3), sensibilidad de un termopar dada por la Ecuación (4.4) y por ultimo los cambios mínimos detectables dados por la Ecuación (4.5). [National Instruments 2006].

- *Code width (Resolution)*: Representa el cambio más pequeño de una señal que la tarjeta DAQ puede percibir.

$$Code\ width\ (Resolution) = \frac{Voltaje\ Range}{Gain \times 2^{bits\ de\ resolution}} \quad (4.3)$$

- *Sensitivity of the thermocouple*: Cambio aproximado que existe entre la relación del voltaje y la temperatura.

$$Sensitivity\ of\ the\ Thermocouple = \frac{Voltaje\ Range}{Temperature\ Range} \quad (4.4)$$

- *Minimum Detectable Change*: Detecta el cambio de temperatura mas pequeño que la tarjeta DAQ puede percibir.

$$Minimum\ Detectable\ Change = \frac{Code\ width}{Sensitivity} \quad (4.5)$$

Para este proyecto se decidió utilizar termopares del tipo J, donde el rango abarca desde 0°C a 760°C, obteniéndose una señal de voltaje en sus terminales de 0 mV a 42.919 mV. Si nuestra tarjeta DAQ seleccionada tiene una ganancia configurable de un máximo de 100, con un rango de entrada de 0 a 10 Volts, con una resolución de 16-bits, con estos

datos podemos calcular los parámetros antes mencionados, obteniéndose los siguientes resultados:

$$Code\ width = \frac{10\ V}{100 \times 2^{16}} = 1.525878\ \mu V$$

$$Thermocouple\ Sensitivity = \frac{42.919 - (0)}{760 - (0)} = 0.0564\ mV/^{\circ}C$$

$$Minimum\ Detectable\ Change = \frac{1.525878\ \mu V}{0.0564\ mV/^{\circ}C} = 0.027\ ^{\circ}C$$

Estos resultados proporcionan una idea clara del proceso a seguir para determinar las características de la tarjeta que utilizaremos en el proceso de secado, podemos decir que una tarjeta de 16-bits es la apropiada para obtener una excelente resolución y precisión a la entrada de la tarjeta DAQ cuando se presentan pequeñas variaciones de temperatura.

4.2.2 Tarjeta de Adquisición de Datos.

Una vez vistos los requerimientos necesarios para poder obtener las señales de los sensores podemos estimar el número aproximado de canales que utilizaremos, por lo que nuestra tarjeta DAQ debe de tener como un mínimo las siguientes características:

- 8 canales de entrada analógicos.
- 2 canales de salida analógicos.
- Resolución de un mínimo de 16 bits.

Se selecciona una tarjeta multifunción de bajo costo de la Serie M optimizada “PCI-6221” fabricada por *National Instruments*. La tarjeta seleccionada ofrece 16 entradas analógicas, 2 salidas analógicas de 16 bits, 24 líneas de E/S digitales y dos contadores/temporizadores. Esta tarjeta es idónea para aplicaciones donde se condiciona el costo de inversión, es versátil para aplicaciones como registro de datos, control y medidas de sensores.

Para la conexión con la computadora estas tarjetas necesitan un *Terminal Block E/S* (Bloque de Terminales), pues se tendrán que hacer conexiones de cada uno de los sensores para las señales de entrada, adicionalmente se adquiere un cable de conexión

de 2m el cual nos servirá para conectar la tarjeta DAQ que se encuentra instalada dentro de la PC y el bloque conector. La Figura 4.10 nos muestra la distribución y descripción de las terminales de conexión para una tarjeta PCI-6221 (37 pines).

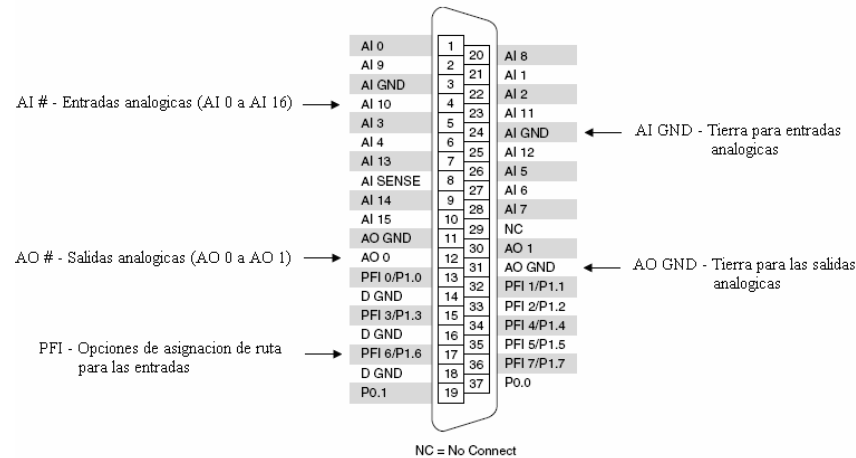


Figura 4.10 Terminales tarjeta PCI-6221.

La Figura 4.11 muestra la parte del hardware desarrollada, las tarjetas de acondicionamiento de señales, el bloque conector entre las señales de entrada y la tarjeta que va instalada en la computadora.



Figura 4.11 Montaje del Hardware.

4.3 Diseño de una Interfase Gráfica.

En los sistemas DAQ es de gran importancia crear una interfaz que establezca la comunicación entre el usuario y la computadora, dadas las necesidades del proceso es común ingresar valores específicos para llevar un control de nuestra aplicación, además de poder ver de manera numérica, gráfica y visual datos de interés que nos lleve en cada instante con la evolución del proceso, es necesario para nosotros poder tener registro de las señales y las acciones que ejecuta la computadora a través de la tarjeta DAQ.

A través de programas como *Labview* podemos crear una interfaz grafica y amigable para desarrollar y controlar nuestro proceso de secado, *Labview* crea internamente los llamados instrumentos virtuales y es donde podemos realizar las operaciones y ejecuciones de nuestro programa según se requiera utilizando los datos de entrada, de acuerdo a la programación de las ejecuciones obtendremos algunas salidas de voltaje suministradas por la tarjeta utilizadas para implementar acciones de control de la etapa de potencia ubicada en el tablero eléctrico.

4.3.1 Características de *LabView*.

LabView es un lenguaje de programación de propósito general, la característica de este software radica en la programación mediante bloques funcionales, estos bloques pueden conectarse entre si para realizar tareas específicas como: controles para instrumentos virtuales, adquisición de datos, visualización de resultados de forma grafica, pruebas continuas y desarrollo de interfaces para el usuario.

Una de las ventajas de este software es que reconoce de manera automática los dispositivos como tarjetas DAQ instaladas en la computadora donde se este trabajando, proporciona asistentes de ayuda para seguir paso a paso en la configuración de adquisición de señales, presenta una gran cantidad de herramientas para graficas, diagramas, hojas de calculo. Además de una amplia gama de ejemplos en su librería la cual sirve como guía para crear nuevos instrumentos virtuales.

Un Instrumento Virtual (VI) es un programa diseñado para que presente las mismas características que un instrumento convencional hecho por marcas reconocidas pero con la gran ventaja que nosotros podemos modificar su funcionamiento y sus características mediante software, un VI esta constituido de un panel frontal el cual puede ser manipulado y controlado por el usuario a través del teclado o ratón y de un diagrama de bloque en donde podemos realizar diferentes acciones de ejecución.

4.3.2 Panel Principal para el Usuario

El panel frontal del programa principal se puede observar en la Figura 4.12, este cuenta con varios campos de selección ya que se pueden tener varios tipos de sensores, canales de entrada, rangos de datos, botones, señalizaciones, graficas, etc.

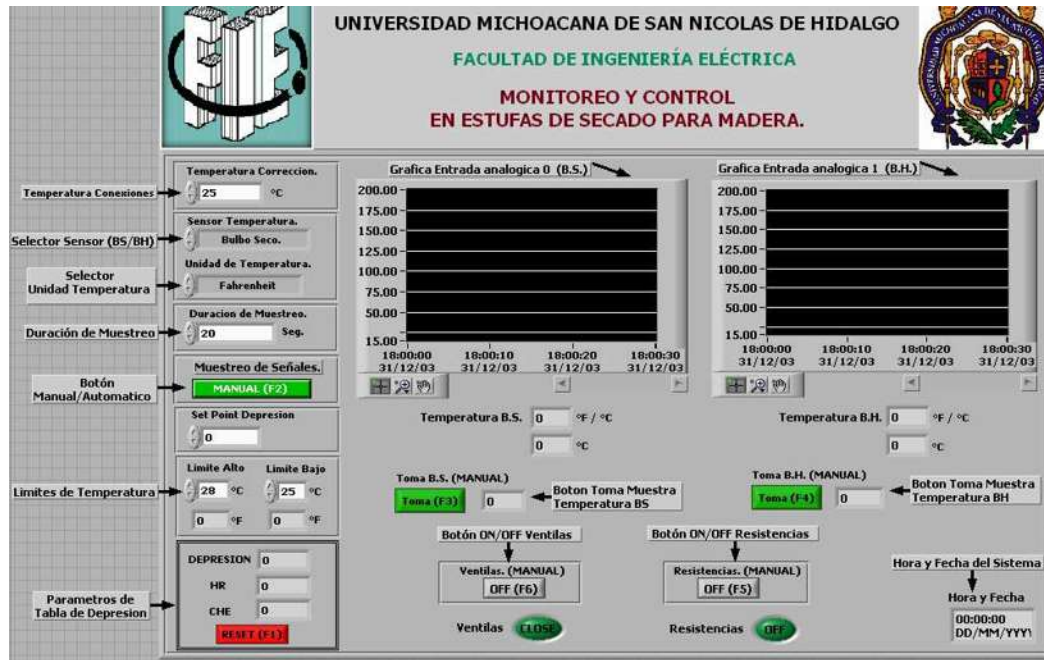


Figura 4.12 Descripción del Panel Frontal para el Usuario.

Creado el Panel Frontal de nuestro VI, se deben asociar cada uno de los elementos en el diagrama de bloques y realizar las operaciones y acciones correspondientes a nuestras necesidades de control. En primera instancia debemos crear canales de entrada para la tarjeta DAQ, dado que vamos a recibir señales de voltaje se configuran para esta aplicación, la Figura 4.13 nos describe el diagrama de bloques en LabView para los canales de entrada.



Figura 4.13 Configuración de Canales de Entrada.

La etapa siguiente será para la manipulación de las señales de entrada de voltaje de los termopares como se menciono anteriormente se hace una Junta Fría con el conector de entrada y debemos compensar esa unión con una temperatura ambiente, después calculamos la temperatura a partir de los voltajes obtenidos, se ingresa en un polinomio característico para el termopar J y obtenemos la temperatura en función del voltaje. Se hacen conversiones de unidades entre Grados Fahrenheit (°F) y Grados Celsius (°C), se presenta la grafica de temperatura y como obtener la hora y fecha actual del sistema. La Figura 4.14 muestra la descripción de estos elementos.

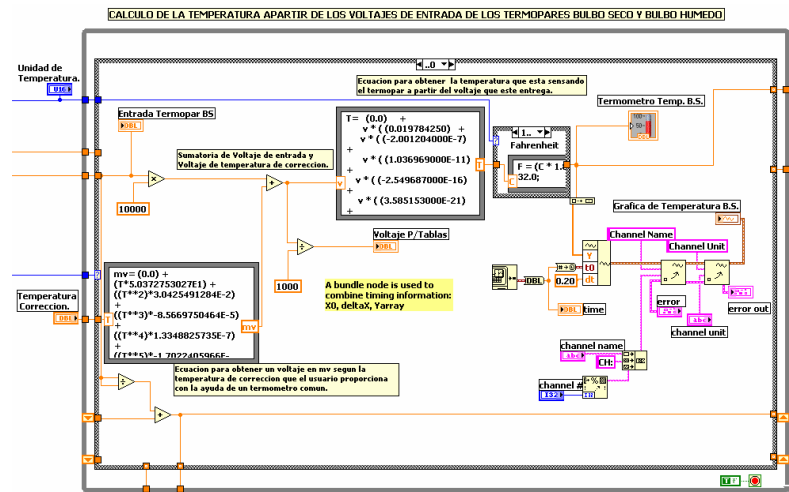


Figura 4.14 Bloque para Obtención de Temperaturas.

Como el programa realiza un barrido en milisegundos existen una infinidad de lecturas de los voltajes de entrada, por lo que se debe hacer un promedio de las mediciones y evitar las señales de ruido que puedan estar por encima o por debajo de la señal real, por éste motivo se crea un bloque para promediar las mediciones y estimar la lectura real del proceso. La Figura 4.15 muestra el promedio de las mediciones de temperatura.

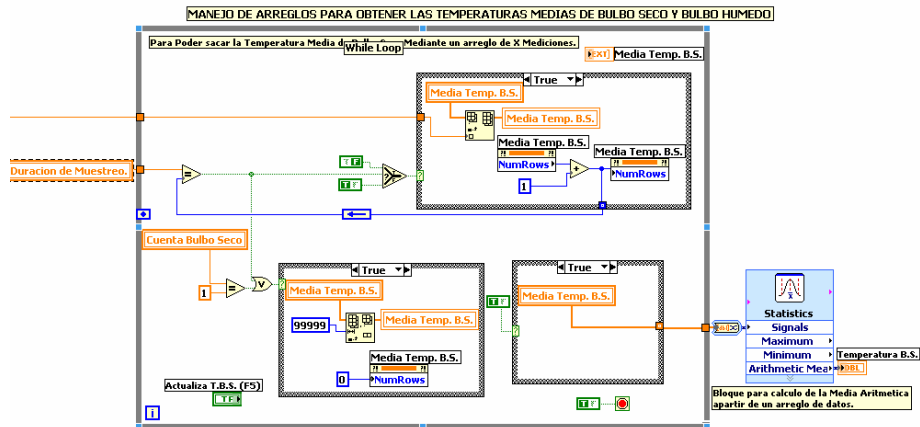


Figura 4.15 Bloque para Promediar Mediciones.

Una de las aplicaciones importantes consiste en guardar datos en memorias locales que puedan ser utilizadas para compararlas posteriormente y permitan ejecutar acciones de control, estas variables se pueden estar actualizando y cambiando conforme se vaya dando el proceso. Podemos guardar ciertos valores utilizando un botón, de manera automática o por alguna condición cumplida en el programa, la Figura 4.16 nos presenta el diagrama a bloques del almacenamiento de datos en alguna variable.

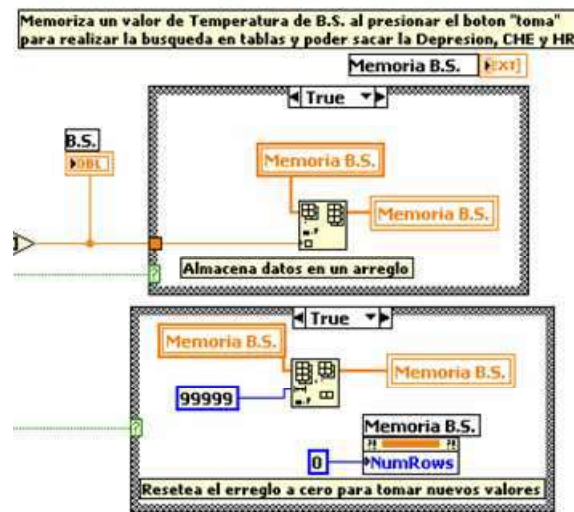


Figura 4.16 Bloque para Memorizar Datos.

El proceso de secado tiene diferentes variables que nos muestran la evolución del sistema, es necesario poder tomar decisiones conforme se desarrolle el secado, según las condiciones que se presenten se pueden cambiar las variables de control y de accionamiento, para este propósito se implemento dos modos de operación para el usuario, uno es el modo manual en donde se pueden ingresar datos que puedan ajustar a nuestras necesidades del proceso y además cambiar el estado de las salidas a nuestra conveniencia, ya que si en un momento dado el desarrollo del proceso requiere otro rumbo, fácilmente tomar el control del mismo.

El otro modo de operación es el automático, con este el proceso tendera a desarrollarse según las condiciones iniciales que se ingresan, además de todas las condiciones de control que se programen en el diagrama de bloques, cabe señalar que cada modo de operación tiene sus controles de manera independiente y solo se pueden manejar si tenemos seleccionado el modo de operación adecuado. En la Figura 4.17 se muestra el control Manual-Automático del programa.

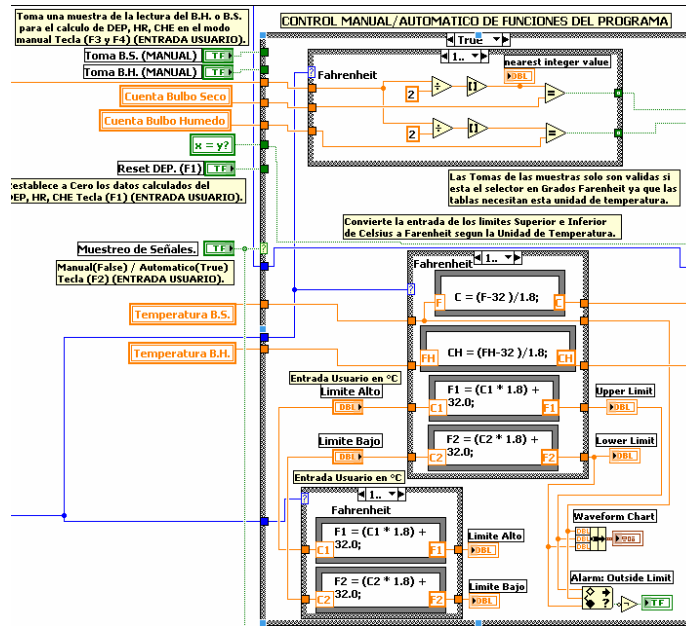


Figura 4.17 Control Manual-Automático.

Durante el secado de la madera se necesitan conocer algunos valores del proceso, conforme van cambiando las condiciones internas de la estufa tenemos la necesidad de conocer estas variables para la toma de decisiones, en la FITECMA utilizan tablas psicométricas que determinan algunos valores del proceso a partir de la temperatura, por lo cual se hizo una base de datos que nos ayuda a encontrar ciertos parámetros de interés.

Como muestra la Figura 4.18 se pueden obtener de manera automática algunas variables de interés por medio de una base de datos almacenada en el programa.

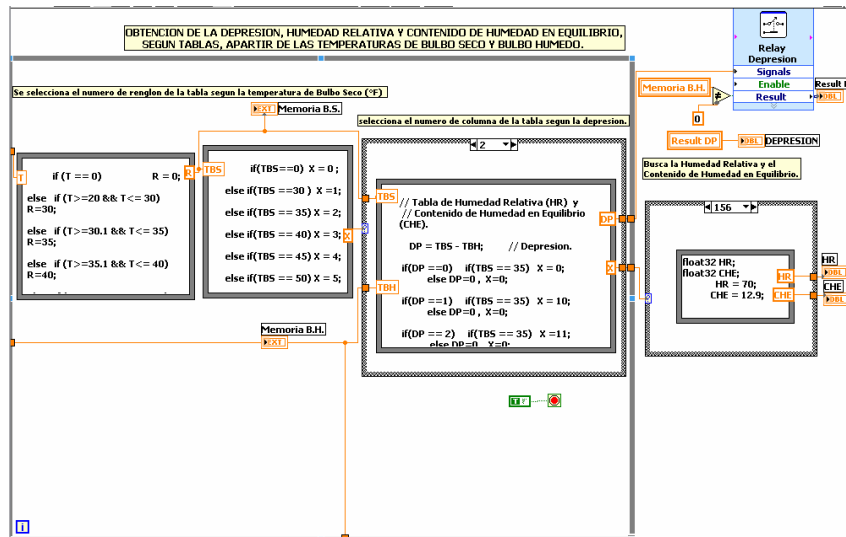


Figura 4.18 Diagrama de Bloques que contiene Base de Datos.

Por ultimo, se diseñan los diagramas de bloques que corresponden a las salidas analógicas de la tarjeta, con el voltaje de CD que nos entrega se controlan equipos eléctricos, usando un acoplamiento para la parte de control, una de las dos salidas analógicas es la encargada de controlar el encendido y apagado de las resistencias, la segunda controla el cierre y apertura de ventilas, la Figura 4.19 nos muestra un ejemplo de cómo controlar las salidas de la tarjeta DAQ.

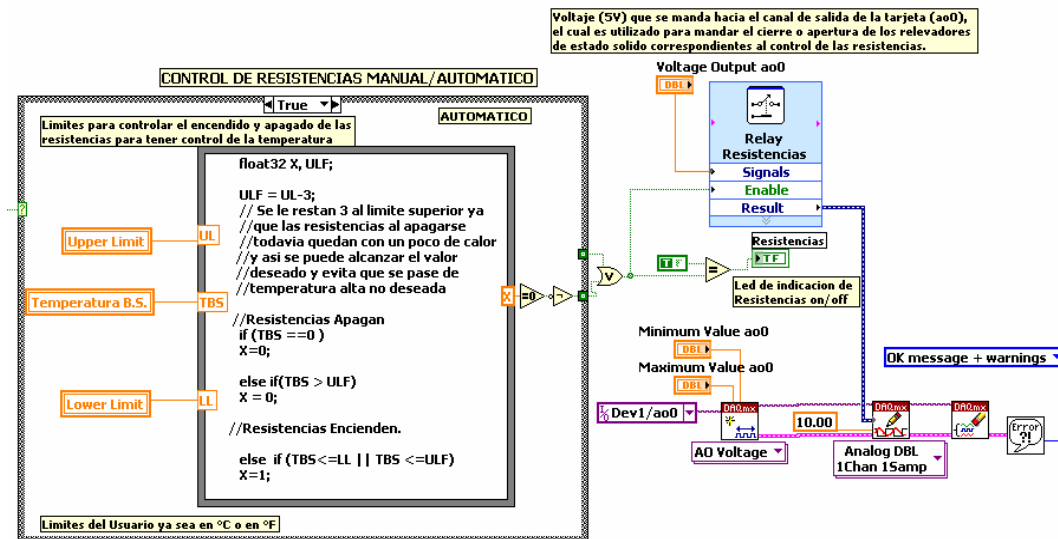


Figura 4.19 Control de Salidas Analógicas.

4.4 Enlace entre Etapa de Control y Potencia

Una vez hecho todo lo relacionado a la parte de instrumentación y control del proceso de secado se puede comenzar a acoplar la parte de potencia con la de control, para ello se instalo un selector que permite escoger entre el control antiguo o el control nuevo por medio de la computadora, esto se hace con el fin de no intervenir con las acciones de control programadas de fabrica.

Como se explicó las salidas analógicas de la tarjeta DAQ envían voltaje de CD en un nivel de 5 volts (configurada por el programador) a través de sus pines de salida. Usando la electrónica de algunos elementos como los relevadores de estado sólido que manejan un nivel de voltaje amplio de 3 a 32v de CD ajustándose a las necesidades de nuestra aplicación, en la Figura 4.20 se muestra la aplicación de relevadores de estado solido para el encendido y apagado de las resistencias calefactoras del aire y la apertura y cierre de ventilas, además se muestran los relevadores que controlan el modo manual y automatico para intercalar el control antiguo o el nuevo.



Figura 4.20 Relevadores de Estado Solido y Control del Selector.

Usando todas las herramientas de instrumentación y control se pueden automatizar parcial o totalmente cualquier proceso que tengamos en mente, siempre es indispensable hacer un análisis de las necesidades que requerimos, un estudio económico de los recursos a invertir, y sobre todo debemos de tener en cuenta que los ahorros deben ser considerables para que el proyecto tenga su justificación y validez ante cualquier empresa de cualquier índole. La Figura 4.21 muestra el cableado de control con las modificaciones en el gabinete eléctrico de la estufa de secado para madera.

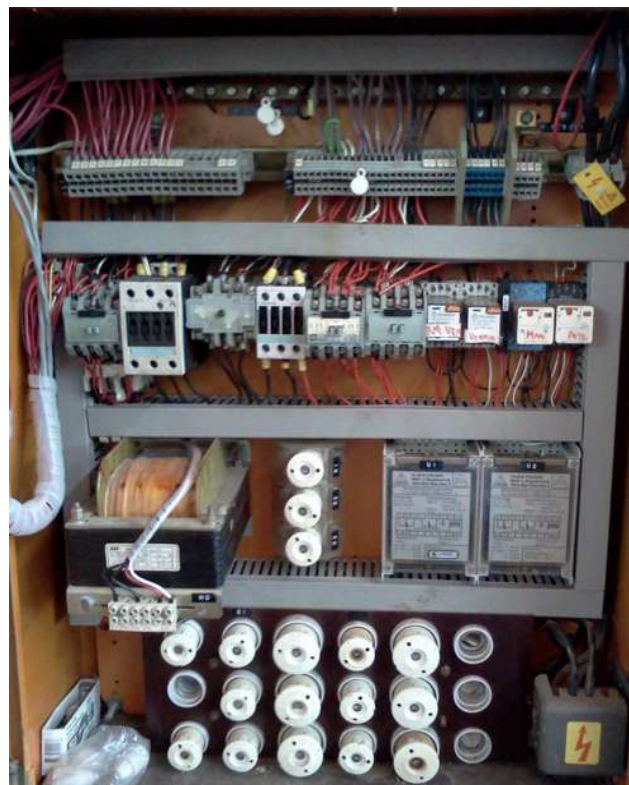


Figura 4.21 Gabinete Eléctrico Principal.

Capítulo 5

Pruebas y Resultados

5.1 Pruebas.

Labview nos permite simular los instrumentos virtuales en tiempo real, nos muestra de forma grafica la evolución del programa que se esta monitoreando, una de las ventajas es que las graficas pueden guardar todos los datos y los podemos consultar haciendo el barrido completo, ya que cada medición cuenta con fecha y hora actual para mejor monitoreo y registro de las variables reales del sistema.

Se obtienen resultados satisfactorios con la obtención de los parámetros importantes de este sistema de control, la temperatura es correcta y se corrobora con otros aparatos de medición como referencia a las mediciones obtenidas, además se comprobó el correcto funcionamiento de los elementos de potencia controlados por las salidas de la tarjeta, haciendo las funciones de apertura y cierre de ventilas, encendido y apagado de las resistencias de calentamiento.

El usuario tiene una forma amigable de monitorear todas sus variables de interés ya que el panel frontal le permite ver e identificar fácilmente todas las mediciones correspondientes, esto gracias a que se etiquetan cada uno de los elementos que conforman el panel frontal, además el programa cuenta con la opción de consultar las características de cada elemento que interviene en la pantalla de control, en un momento dado que el usuario se este familiarizando con la interfaz o desconozca el proceso de secado.

Una vez ejecutado el programa del instrumento virtual se tienen problemas con la computadora o con la tarjeta DAQ, solamente se debe colocar el selector en la posición manual e inmediatamente se regresa al control antiguo con el que estaba diseñada la estufa de secado.

La Figura 5.1 muestra una de las pantallas que muestran la evolución del programa en tiempo real del proceso de secado para madera. Se ingresan los datos de entrada necesarios para ejecutar la aplicación.



Figura 5.1 Programa en ejecución del Proceso de Secado para Madera.

Se realizan varias pruebas a lo largo de esta implementación, se van ajustando valores internos del programa que nos ayudan a tener las mediciones correctas y reales comparadas con otros elementos de medición.

Capítulo 6

Conclusiones

6.1 Conclusiones Generales.

Es preciso citar las grandes ventajas que se obtienen al implementar los sistemas de adquisición de datos, aplicando la experiencia obtenida en el área de mantenimiento eléctrico donde laboro actualmente, se logro implementar este proyecto para ayudar a los alumnos de la FITECMA a entender mas fácilmente el proceso, y por otra parte saber operar adecuadamente una estufa de secado para madera.

Todo lo que se implemento en este trabajo sirve como base para realizar modificaciones, mejoras e implementaciones en gran escala, solamente se tendría que incorporar más sensores, actuadores y poder controlar mayor volumen de secado de madera. Si fuera necesario se pudiera escoger una tarjeta DAQ más potente con otras características que nos mejore el rendimiento de las mediciones y de los datos obtenidos.

Las experiencias laborales obtenidas a lo largo de cuatro años me permiten desarrollar trabajos relacionados con la ingeniería eléctrica, el mantenimiento eléctrico, sistemas de monitoreo y control de procesos, programación, etc. Es necesario desarrollar todas las habilidades obtenidas con la experiencia en la industria para desarrollar en la vida diaria proyectos que ayuden a la gente a maximizar sus procesos donde puedan redituvar sus ganancias e impulsar el empleo y la superación tanto personal como profesional.

Referencias

[Scribe 2011]

Scribe. Pagina Principal. 25 de Abril de 2011. <http://www.scribe.com>

[Hoheisel 1989]

H. Hoheisel Manual del grupo andino para el Secado de Maderas, Lima Perú, Carvajal S.A., 1989.

[INTA 2006]

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Contenido de humedad aconsejable para la madera, Abril de 2006, www.inta/indices/tematica/agric/forest/gral.html

[Ciencias místicas 2006]

Ciencias místicas. Transductores de temperatura. Abril 2006. www.cienciasmisticas.com.ar/electronica.

[Wikipedia 2006]

Wikipedia. Termopares. Abril 2006. <http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>

[National Instruments 2006]

National Instruments. *Fundamentals of Thermocouples*. Abril 2006. <http://zone.ni.com/devzone/devzone.nsf/webcategories/394A0783450D45F28625684A004F0ECD>