

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA**

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE INGENIERIA EN COMPUTACION



2  
Egarr.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

“DISEÑO DE UN CONTROL COMPUTARIZADO PARA UNA  
PLANTA DE SECADO DE MADERA”

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN COMPUTACION

P R E S E N T A

ROSA PATRICIA AHUMADA NAVA

GUADALAJARA, JALISCO. 1988



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# INDICE

	PAG.
INTRODUCCION.....	2
ANTECEDENTES.....	8
CAPITULO 1	
ANALISIS DEL SISTEMA Y METODO A SEGUIR.....	19
CAPITULO 2	
DESCRIPCION DEL COMPUTADOR.....	34
CAPITULO 3	
DISEÑO DE INTERFASES.....	44
CAPITULO 4	
PROGRAMACION.....	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
BIBLIOGRAFIA.....	79

## INTRODUCCION

---

---

## INTRODUCCION

---

---

Para procesar industrialmente cualquier tipo de madera, es necesario que contenga una cantidad determinada de humedad según especificaciones para su uso, con lo que se evitan distorsiones en su estructura. En la actualidad, se han diseñado varios tipos de secadores y técnicas de secado para eliminar la humedad en una sustancia y obtener la cantidad requerida.

Por lo general, el término secado se refiere a la eliminación de humedad en un sólido, y en este caso especial se limitará a la eliminación de humedad de la madera por evaporación en una corriente de aire.

El secador del sistema actual consiste en una cámara especial (18x5x3m) en la que se recircula aire caliente a una temperatura determinada por las condiciones del material a secar (Fig. 1); la cámara se carga con el lote de madera y cuando el aire pasa a través de éste toma su humedad; la recirculación del aire continúa hasta llegar al punto de saturación, que es cuando el vapor de agua está en equilibrio

con el agua líquida a una temperatura y presión determinadas. Es necesario, entonces, extraer el aire de la cámara para introducir de nuevo aire caliente. Este proceso se repite dependiendo de la humedad que se quiera eliminar en la madera, el secador se descarga y se vuelve a cargar con un nuevo lote.

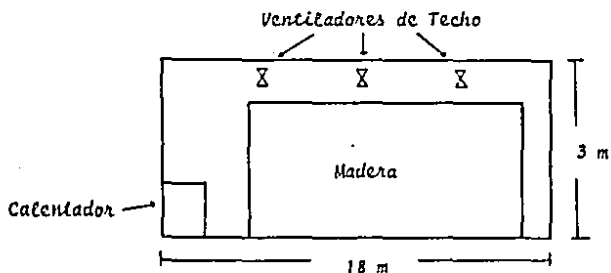


Figura 1. Cámara del Secador - Vista lateral

Como se puede observar, la calefacción de la cámara, la extracción de aire húmedo y la inyección del aire del exterior son controlados dependiendo del tipo de madera y la humedad que contenga; es pues necesario, considerar la necesidad de usar 2 sensores, de humedad y temperatura, para poder controlar el proceso en forma individual. Además, es importante, hacer notar que los ventiladores del techo de la cámara no deben pararse nunca durante el secado.

En la actualidad este proceso es operado manualmente, es decir, cada uno de los dispositivos que intervienen en el secado son activados y desactivados por el hombre; a consecuencia se tiene más trabajo, posiblemente a mayor costo y el sistema está sujeto a errores, es por esto necesario considerar la aplicación de un control automático con el cual se tendrá mayor eficiencia y rendimiento en la producción.

El control automático de procesos, ha permitido un gran avance en el área industrial y con la aparición, fundamentalmente, del dispositivo conocido como "microprocesador", mismo que revolucionó la industria electrónica, así como lo hicieron los transistores en los 50's y 60's, ahora el computador es un medio más fácil y barato para procesar información, tomar decisiones y registrar señales analógicas. Debido a los miles de elementos lógicos electrónicos que el microprocesador contiene en menos de 1/4 de pulgada para realizar funciones de control, el cambio del computador fue considerable en cuanto a confiabilidad, tamaño y reducción de costo, permitiéndole así un extenso campo de acción, tanto en el control de procesos como en áreas administrativas, comerciales, científicas, etc.

Es la finalidad de la presente tesis utilizar un computador para resolver un problema real, como lo es el de controlar automáticamente el secador electrónico de madera descrito con

anterioridad, reduciendo el tiempo y costo del secado, además de proporcionar varias alternativas, en cuanto a velocidad y secuenciamiento de los diferentes dispositivos que intervienen en el sistema

El desarrollo del sistema lo desgloso en la INTRODUCCION y ANTECEDENTES, y el análisis y solución del problema los describo en los siguientes 4 capítulos:

#### Capítulo 1 - ANALISIS DEL SISTEMA Y METODO A SEGUIR

Para poder determinar el procedimiento de operación y los elementos adecuados para controlar el proceso de secado, realice un análisis detallado de las condiciones y del funcionamiento del sistema actual.

#### Capítulo 2 - DESCRIPCION DEL COMPUTADOR

El computador es la base de este control, el tomará las decisiones según se le indique en el programa a ejecutar. Las ventajas y facilidades del computador seleccionado las describo en este capítulo, además de un panorama general de su estructura interna.

#### Capítulo 3 - DISEÑO DE INTERFASES

Son 2 las señales que el computador necesita captar desde el exterior, la del sensor de humedad y la del sensor de temperatura, para esto diseño 2 interfases que convierten la señal



eléctrica de cada sensor a una señal comprensible para el computador, señal digital.

#### Capítulo 4 - PROGRAMACION

Todo el procedimiento de operación se reduce a una secuencia de instrucciones que ejecuta el computador. En este capítulo proporciono los programas y las subrutinas que hacen posible la automatización del Secador de madera, de acuerdo a las condiciones establecidas.

Por último describo las CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES necesarias para instalar el proceso.

**ANTECEDENTES**

## ANTECEDENTES

En el curso de muchos años de experiencias empíricas, ha tenido nacimiento una gran variedad de tipos de equipo para efectuar el secado. Con frecuencia se utilizan dispositivos completamente diferentes para operaciones casi similares, únicamente debido a que en una industria se ha hecho costumbre utilizar un cierto tipo de maquinaria y en otra industria se emplea otro tipo diferente para el mismo objetivo.

Con la gran variedad de dispositivos es difícil hacer una clasificación en cuanto al tipo de secador, pero considerando la operación de acuerdo con Treybal (1985, pag. 730), el sistema actual es un proceso de secado por lotes, es decir, se expone una cierta cantidad de madera a una corriente de aire caliente que fluye continuamente, en la cual se evapora la humedad y por la forma de obtener el calor necesario para la evaporación es un secador directo ya que el calor se obtiene por contacto directo del elemento calefactor con el aire a calentar.

Los elementos que intervienen en el funcionamiento del sistema

actual son:

Cámara

Calentador

Extractor

Ventiladores de techo

Pupitre de mandos

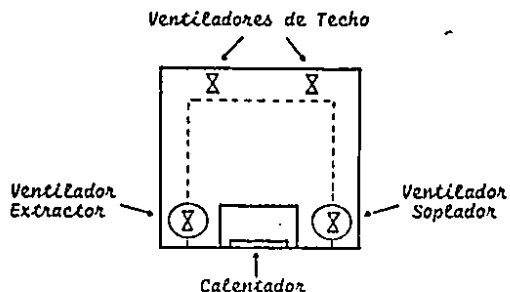


Figura 2. Cámara del Secador - Vista frontal

Las características y funcionamiento de cada uno los presento a continuación:

Cámara.

La cámara está construida y forrada interiormente en sus

paredes y techo con placas de 3 a 4 cm de grueso de Poliestireno Expandido (materia blanca de muy poco peso que se emplea como aislante térmico).

#### Calentador.

Está construido de aluminio y contiene resistencias electroventiladores(\*) en su interior. En un extremo tiene un tubo de aluminio flexible aproximadamente de 60 cm de diámetro con un ventilador inyector o soplador (Fig. 2), por medio del cual toma aire del exterior para que los ventiladores helicoidales que se encuentran dentro del calentador lo impulsen hacia arriba pasándolo a través de las resistencias calefactoras y así introducir al interior de la cámara el aire ya seco.

#### Extractor.

Está formado por un tubo de aluminio flexible, de aproximadamente 60 cm de diámetro y un ventilador con el cual se extraerá el aire del interior de la cámara cuando ya esté saturado de vapor de agua. El tubo está colocado en el lado opuesto del tubo inyector de aire y en la parte baja de la cámara, para extraer el aire que ya circuló por la madera (Fig. 2).

(\*) Resistencias eléctricas formadas por alambres embebidos en un material refractario que se protegen con una cubierta metálica, adjuntos a éstas se encuentran los ventiladores.

Nota.- El tubo inyector toma el aire del interior de la fábrica, pero necesariamente el tubo que expulsa el aire húmedo de la cámara se conduce hasta el aire libre del exterior, pues de lo contrario produciría condensaciones importantes de humedad en la fábrica.

#### Ventiladores de Techo.

Se encuentran suspendidos del techo de la cámara, en tres hileras paralelas a la pared, donde está el calentador y a una distancia de 2 metros de dicha pared; cada hilera tiene un par de ventiladores. El trabajo de dichos ventiladores, es el de recoger el aire seco que expulsa el calentador hacia el techo de la cámara e impulsarlo por encima de las pilas de madera hacia la pared opuesta (Fig. 3).

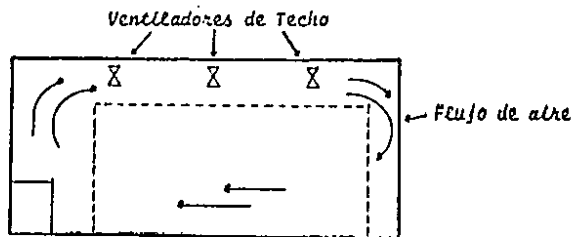


Figura 3. Flujo del aire en el interior de la Cámara

### *Pupitre de Mandos.*

*Este dispositivo se encuentra en el exterior de la cámara; por medio de potenciómetros programables y dos medidores, de humedad y temperatura, controla el encendido y apagado de cada uno de los dispositivos que se encuentran en el interior de la cámara. Contiene, entre otras cosas: transformadores, contactores, 4 tarjetas electrónicas, focos pilotos, etc. Tiene la alternativa de controlar el secado en forma manual o automática.*

*Nota.- En la actualidad este pupitre está fuera de servicio por falta de manual para programarlo y debido a que se están haciendo constantes experimentos para seleccionar las mejores condiciones en el secado de un tipo de madera específico, sólo se utilizan los medidores para conocer la temperatura de la cámara y la humedad que contiene la madera, y funciona como interfase entre el equipo y el usuario porque contiene todas las conexiones eléctricas del secador.*

*Para cualquier otra información referente a instalación y componentes del sistema, consultar a Templansa [1975].*

La operación del proceso en sí, es analizada y estudiada por Ingenieros Químicos, por lo que se emplean términos poco comunes en el área de computación. Estos términos los defino a continuación, según Badger y Banchemo (1980, pag. 391):

**HUMEDAD.**- es el número de kilogramos de vapor de agua que puede transportar un kilogramo de aire seco, en condiciones previamente determinadas.

**AIRE SATURADO.**- es el aire en el que el vapor de agua está en equilibrio con el agua líquida, en condiciones de temperatura y presión dadas.

**PORCENTAJE DE HUMEDAD.**- se obtiene dividiendo el peso del vapor de agua que transporta un kilogramo de aire seco a cualquier temperatura, por el peso del agua que un kilogramo de aire seco podría transportar, si se saturase, a las mismas temperatura y presión.

La humedad es usualmente especificada como un porcentaje relativo. Analizando la definición anterior, esto no significa que es la cantidad de vapor que contiene el aire, sino que es la razón del vapor de agua que contiene el aire proporcional a la máxima cantidad del vapor de agua que el aire puede contener. Este máximo vapor de agua varía principalmente con la



temperatura y en menor escala también lo afecta la presión atmosférica.

Si en determinado momento la temperatura del aire aumenta, la humedad relativa disminuye y viceversa; por medio de una función polinomial la relación entre estas dos variables se puede graficar, pero a una presión atmosférica determinada, porque como dije en el párrafo anterior, esta influye en la máxima humedad que el aire puede contener. En la actualidad esta gráfica se conoce con el nombre de Carta Psicrométrica o Gráfico de Humedad, a decir de Badger y Banchemo (1980, paga. 392-405), y es de gran utilidad para no forzar el secado de la madera, evitando que se distorsione o se rafe.

Para comprender más fácilmente el procedimiento de secado, primero daré una breve explicación referente a transferencia de masa, con información procedente de Treybal (1985).

Cuando dos fases insolubles se ponen en contacto se inicia una transferencia de las sustancias que las forman, por la diferencia de concentraciones, la sustancia que se difunde, abandona el lugar en que está muy concentrada y pasa a un lugar de baja concentración hasta llegar a un equilibrio. Por ejemplo, el contacto entre aire seco y agua líquida da como resultado la evaporación del agua hacia el aire, proceso llamado humidificación; y, en caso contrario, el contacto de aire muy

húmedo con agua líquida pura, tiene como resultado la condensación parcial de la humedad del aire, proceso conocido como deshumidificación. En ambos casos se trata de la difusión de vapor de agua (humedad) a través del aire. ;

De igual manera, si se expone un sólido humedecido con agua a una corriente de aire seco, el agua abandona el sólido y se difunde en el aire, pero a la vez existe una transferencia de energía calorífica del aire seco hacia el sólido buscando un equilibrio; a esta transferencia simultánea entre el sólido y el aire se le conoce como "Secado", operación básica en este caso, para eliminar la humedad de la madera.

Considerando que la madera es el sólido a secar, si inicialmente contiene mucha humedad (Kg agua/Kg sólido seco) y se expone a una corriente continua de aire caliente (seco), perderá la humedad por evaporación hasta que el aire se sature, al mismo tiempo bajará la temperatura del aire por cederle calorías a la madera; aunque este aire se continúe recirculando, no tomará más humedad de la madera, pues ya está saturado y frío, pero si se extrae este aire y se recircula de nuevo aire caliente, la evaporación del aire continúa secando a la vez a la madera.

El secado de la madera no es uniforme, primero se elimina la humedad de la parte externa con gran facilidad; pero el agua

concentrada en el interior de la madera no es tan fácil eliminarla. Es necesario aplicarle aire cada vez más seco, con menos humedad relativa, para que continúe la difusión del agua de la madera en el aire.

La difusión se realiza cada vez con mayor dificultad por lo que la cantidad de agua que se elimina por unidad de tiempo va reduciéndose en el transcurso del secado (Fig. 4), así, la velocidad con que se realiza el secado depende del tipo de madera y de la cantidad de humedad que se desea eliminar.

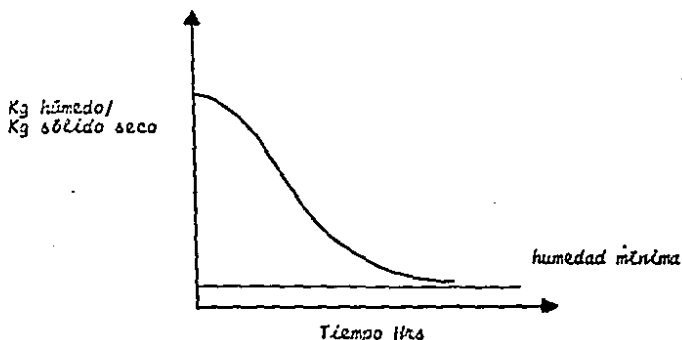


Figura 4. Gráfica de velocidad de difusión del agua de un sólido en el aire

Si se reduce la humedad de la madera a una cantidad menor que la que contiene el aire ambiental, al momento de sacarla del Secador toma humedad del aire buscando un equilibrio; ambas tienden a igualarse en un tiempo infinito, pues, muy difícilmente el vapor de agua que contiene el aire se difunde en la madera, porque ya no tiene suficientes calorías para cederle.

CAPITULO 1

ANÁLISIS DEL SISTEMA  
Y MÉTODO A SEGUIR

Si lo que trato es de controlar automáticamente el proceso de secado de madera por medio de un computador, es necesario realizar un análisis del funcionamiento del sistema actual y de las condiciones requeridas para así elegir el procedimiento e instrumentos adecuados para controlarlo.

ANÁLISIS.

El proceso de secado es algo complicado y lento, por lo que explicaré en detalle cada una de las condiciones y pasos necesarios para reducir la humedad de la madera.

Cada ciclo del procedimiento de operación comprende 2 tiempos: tiempo de secado y tiempo de extracción; los cuales varían dependiendo del tipo de madera, la humedad inicial que contenga, humedad ambiente, temperatura ambiente y cantidad de madera a secar. El tiempo de secado, además, se subdivide en 2 tiempos: tiempo de recuperación y tiempo de recirculación, el primero

para recuperar la temperatura de la cámara, y el segundo para que el aire seco tome la humedad de la madera; estos tiempos varían principalmente por la temperatura ambiente.

Por ahora se procesa sólo un tipo de madera, encino, de consistencia muy fuerte y pesada.

Las condiciones que muestro a continuación fueron tomadas a principios de verano para secar 15,000 pies de madera de 1" de grosor.

Condiciones iniciales:

Temperatura ambiente 26 grados C

Humedad ambiente 30%

Humedad inicial madera 50%

Condición final:

Reducir humedad madera a un 15%

Procedimiento de Operación:

- 1.- El aire se calienta y se recircula dentro de la cámara por 3 días, hasta que llega a una temperatura de 35 grados C.
- 2.- Se desactiva el calentador para mantener la temperatura constante y el aire caliente, se continúa recirculando para tomar la humedad de la madera, hasta alcanzar un 70% de humedad.

- 3.- Se activa extractor para sacar el aire húmedo de la cámara y a la vez, se activa el calentador para que la temperatura no baje mucho.
- 4.- Pasadas 4 hrs. de extracción, la temperatura baja aproximadamente 3 grados C y la humedad se reduce un 10%, es decir, ahora se tiene a 32 grados C un 60% de humedad en el aire; el extractor se desactiva dejando el calentador por 3 hrs. más para aumentar de nuevo la temperatura a 35 grados C.
- 5.- Se desactiva calentador para mantener la temperatura constante y el aire caliente continúa recirculándose para que siga pasando humedad de la madera al aire.
- 6.- 6 hrs. después de que se desactivó el extractor, la humedad del aire alcanza un 68% (ya no llega a 70% porque la humedad de la madera es menor), se regresa al tercer paso para activar el extractor por otras 4 hrs. (tiempo de extracción) y reducir la humedad del aire, después se vuelve a calentar el aire de la cámara por 3 hrs. (tiempo de recuperación) para recircularlo y continuar tomando humedad de la madera por otras 3 hrs. (tiempo de recirculación) alcanzando ahora un 68% de humedad en las 6 hrs. (tiempo de secado).

NOTA.- El tiempo de recuperación varía por los cambios de temperatura en el transcurso del día, pero sin afectar



notablemente el tiempo de secado.

Este ciclo se repite consecutivamente, reduciéndose en un 2% la humedad que toma de la madera el aire caliente, conforme va pasando cada ciclo, debido a que la madera se está secando.

Pasados 5 ciclos, el aire caliente que se recircula en el tiempo de secado, alcanza aproximadamente solo un 5% de humedad, es necesario entonces, calentar más el aire para que tome más humedad de la madera; por consiguiente la temperatura de la cámara se aumenta a 38 grados C, los ciclos se repiten de igual forma y la humedad que el aire caliente toma de la madera continúa reduciéndose un 2%.

Pasados otros 7 ciclos la humedad del aire llega a un 4% al finiz del tiempo de secado, por lo que la temperatura de la cámara se vuelve a aumentar a 43 grados C; se repiten de nuevo los ciclos, pero en esta ocasión en el tiempo de extracción de cada uno de ellos la humedad del aire caliente se reduce sólo hasta un 3%, porque ha llegado a la humedad del medio ambiente y ya no es posible reducirla más. El proceso termina hasta que la máxima humedad que el aire caliente toma de la madera en el tiempo de secado sea aproximadamente un 3%, indicando que la madera está casi seca y no tiene más humedad que dar.

La madera se saca de la cámara con aproximadamente 10% de

humedad, pero toma un 5% de la humedad del medio ambiente teniendo en total el 15% de humedad final requerida.

La lectura de la humedad de la madera se efectúa cada que se varía la temperatura de la cámara, para conocer el vapor de agua que contiene todavía y determinar si el proceso se está realizando correctamente o se necesita alguna modificación, dependiendo de la humedad final que se quiere obtener y la rapidez con que se quiere lograr.

Con estos ciclos, la humedad de la madera se reduce aproximadamente un 1.5% por día. Para reducir de 50% (humedad inicial) a un 15% (humedad final), transcurrirán alrededor de 23 días.

Como se puede observar, el aire caliente que se recircula dentro de la cámara nunca se satura al 100%, lo máximo es un 70%. Esto es para evitar condensaciones dentro de la cámara y para que los tiempos de secado y extracción no sean muy largos.

Todo este procedimiento está basado en tiempos, los cuales dependen de dos variables primordiales: humedad y temperatura, es muy práctico para controlarlo manualmente pero no para automatizarlo, principalmente porque está sujeto a muchos errores.

## METODO A SEGUIR.

Conociendo que el computador tiene la capacidad de tomar decisiones entre dos o más alternativas, en lugar de basarse en tiempos para activar y desactivar los dispositivos que intervienen en el proceso, el computador decidirá el estado de cada uno de ellos, dependiendo directamente de las variables principales, humedad y temperatura de la cámara.

Además, para mayor facilidad, en el control de temperatura el procedimiento de operación lo dividiré en 3 etapas determinadas por la humedad que alcanza el aire caliente al final del tiempo de secado:

Madera Verde de 70 a 54% de humedad

Secado de 54 a 40% de humedad

Resecado de 40 a 32% de humedad

Si considero que cualquiera de las condiciones establecidas puede variar, tanto las iniciales y finales como las del procedimiento de operación, el total de variables que intervienen en el proceso son:

Temperatura ambiente (Ta)

Humedad ambiente (Ha)

Humedad inicial de la madera (Hi)

Humedad final de la madera (Hf)  
Humedad de la cámara (Hc)  
Temperatura de la cámara (Tc)  
Humedad mínima de Madera Verde (Mv)  
Humedad mínima de Secado (Sec)  
Humedad mínima de Resecado (Rs)  
Decremento de humedad en extracción (Dhex)  
Decremento de temperatura en extracción (Dtex)  
Decremento de humedad saturada (Dsat)

Con lo anterior puedo modificar el procedimiento de operación a lo siguiente:

- 1.- El aire se calienta y se recircula dentro de la cámara hasta alcanzar una temperatura Tc.
- 2.- Se desactiva calentador controlando que la temperatura se mantenga constante, mientras que el aire se continúa recirculando para secar la madera, hasta alcanzar una humedad Hc.
- 3.- El extractor y calentador se activan para disminuir la humedad sin que se baje mucho la temperatura.
- 4.- Cuando la temperatura baje Dtex grados o la humedad se reduzca Dhex el extractor se desactiva dejando el calentador para

volver a aumentar la temperatura.

- 5.- Se desactiva el calentador al alcanzar la temperatura  $T_c$  controlando que se mantenga constante y el aire caliente se continúa recirculando para secar.
- 6.- Cuando el aire caliente alcance una humedad  $H_c$  menor  $H_{is}$  se regresa al tercer paso.

Para realizar los cambios de etapa, simplemente se chequea la humedad  $H_c$ , al final de cada tiempo de secado (paso 6), y se toman las siguientes decisiones:

Si  $H_c$  llega al límite inferior de Madera Verde, entonces, se aumenta el límite de temperatura de la cámara.

Si  $H_c$  llega al límite inferior de Secado, entonces, se aumenta el límite de temperatura de la cámara y el paso 4 se modifica, tomando como condición que la humedad  $H_c$  se reduzca hasta 30% (humedad ambiente) para desactivar el extractor.

Si  $H_c$  llega al límite inferior de Resecado, entonces, termina el proceso.

La lectura de la humedad que contiene la madera se puede seguir realizando el operador con el medidor actual, a la vez que supervisa

el proceso determina si es necesario modificar alguna variable.

Bien, ya especifique qué es lo que voy a hacer y cómo, ahora determinaré con qué elementos lo voy a lograr.

- a) Necesito un computador con suficiente memoria (30K), facilidad para manejar puertos, manejo de lenguaje práctico y poderoso y principalmente económico.
- b) El computador necesita leer la temperatura y humedad de la cámara para poder tomar sus decisiones, por lo que emplearé dos sensores adecuados para realizarlas.
- c) Para captar la señal de cada sensor el computador requiere de dos interfaces de entrada que le envíen una señal adecuada.
- d) Por último, para que el computador pueda controlar cada una de las cargas (calentador, extractor y ventiladores) necesita tres interfaces de salida que manejen potencia.

#### COMPUTADOR.

Un computador práctico y efectivo que cumple con los

requisitos solicitados con anterioridad es el Sigma Commodore 64, con 64K de memoria principal, de los cuales 38K están disponibles para programar en Basic; fácilmente expandible con sólo adaptarle periféricos como un grabador o hasta 4 unidades de disco para guardar programas y/o datos; cuenta con un Basic muy poderoso con respecto a los demás, por medio de éste, se puede acceder cualquier localidad de memoria proporcionando un fácil manejo del puerto de usuario y una gran versatilidad en el diseño gráfico.

Su costo es realmente económico comparado con los demás computadores que ofrece la industria.

#### SENSORES.

##### Sensor de Temperatura:

Existe una gran variedad de sensores de temperatura, por eso debo guiarme por las condiciones y limitantes del sistema. La máxima temperatura a considerar es aproximadamente de 50 grados C, como el medio ambiente tiene una temperatura por lo general de 30 grados C se necesita un sensor sensible, aunque no de respuesta muy rápida, porque como lo que se mide es un flujo de aire caliente, el sensor puede variar constantemente provocando una lectura errónea en el computador; para mayor facilidad, además, debe

tener como salida una señal eléctrica, como sabemos el computador solo acepta señales binarias las cuales son representadas por un voltaje determinado o por la ausencia de éste.

El termistor, pues, es un elemento muy útil en estas condiciones, su máximo rango de temperatura es usualmente de -50 a 150 grados C y varía su resistencia de acuerdo a la temperatura provocando un cambio en la corriente que circula por ésta, sólo que esta variación no es en forma lineal, pero lo puedo solucionar con un programa en el computador. Existen varios tipos de termistores, elegiré el adecuado dependiendo de la interfase.

#### Sensor de Humedad:

Detectar la humedad en el flujo de aire puede ser muy complicado si no se busca el sensor apropiado, pues la mayoría de los sensores existentes además de complejos, tienen un costo muy elevado para considerarlo en el desarrollo de este proceso.

El rango de humedad a medir es de 0 a 80%, es necesario que sea sensible, pero no al extremo, pues la lectura no se requiere con mucha precisión, debe tener además como salida una señal eléctrica para poder adaptarla al computador.

Una manera muy simple y económica de detectarla es usando la



variación del efecto capacitivo ante cualquier cambio que se presente en la humedad del medio donde se encuentra el capacitor. Existe un sensor, fabricado por la Compañía Philips a decir de Worley (1985, págs. 51-63), que opera de igual forma, varía su capacitancia conforme varía la humedad provocando como consecuencia una variación en el voltaje si se le hace circular una corriente eléctrica entre terminales. La relación entre el capacitor y la humedad es exponencial, pero la puedo linearizar al igual que el termistor con un programa en el computador.

#### INTERFASES DE ENTRADA.

El computador realizará las lecturas y controlará los dispositivos por medio del puerto de usuarios, el cual está compuesto de 24 terminales pero solo 8 corresponden al único puerto disponible, Puerto B. Cualquiera de las 8 terminales del puerto puede ser programado como entrada o como salida según se requiera; si los dispositivos a controlar son 3 dependiendo de 2 lecturas (humedad y temperatura) por lo menos se ocuparán 5 terminales. Para el caso de control de cargas una terminal para cada una es suficiente porque sólo se enviará una señal de salida cuando sea necesario, pero para captar la señal de los sensores el número de terminales variará mucho dependiendo del diseño de interfase.

Los elementos que elegí como sensores son una resistencia y un capacitor que varían con la temperatura y humedad respectivamente, hay múltiples formas de codificar las variaciones de la señal eléctrica que provee cada uno de estos elementos, pero, mataré 2 pájaros de un tiro, como se dice vulgarmente, al emplear el mismo tipo de interfase para acoplar las dos señales al computador.

La interfase, propuesta por Commodore (1980, pags. 77-82), es realmente sencilla, consiste de un integrado 555 conectado como monostable, la longitud del pulso de salida depende del circuito RC que le adapte, si coloco el termistor como resistencia al variar con la temperatura se generarán pulsos con diferente longitud a la salida del integrado, esta señal se introducirá al computador y por medio de un programa medirá la longitud de cada pulso para relacionarlo con la temperatura, se emplearán solo 2 terminales del puerto de usuario, uno para activar el monostable y otro para captar la señal que éste envíe. De igual manera puedo colocar el sensor de humedad como capacitor variando también la longitud del pulso cuando éste varíe, solo que se ocuparán otras 2 terminales para su conexión.

Así tengo las dos interfaces que necesito con dos monostables conectados fácilmente en 4 terminales del puerto, más 3 terminales que se emplean para controlar las cargas. Utilizaré en total 7 terminales del puerto B.

## INTERFASES DE SALIDA.

Para el diseño de estas interfases es necesario el manejo de potencia, por tal razón no las introduciré en esta tesis.

**CAPITULO 2**

## DESCRIPCIÓN DEL COMPUTADOR

El computador Sigma Commodore 64 es la base para controlar el proceso de secado, por medio de un programa le indico las decisiones que debe tomar y cuando, él las ejecuta sin complicación alguna al adaptarle las interfases adecuadas. El computador no comete errores por sí solo, opera como el usuario se lo indique, por lo que se le considera confiable y seguro.

El Commodore 64 como cualquier otro computador consiste de tres partes básicas: la unidad central de proceso, la memoria y los dispositivos de entrada y salida. Describo cada una a continuación, según Downey, Rendsberg e Isherwood (1982, caps. 1, 2 y 3).

### UNIDAD CENTRAL DE PROCESO.

El corazón de la Commodore 64 es el microprocesador 6510 fabricado por Commodore con tecnología MOS. Opera con una frecuencia de 1 y 2 Mhz e internamente consiste de 6 importantes

registros para procesar la información: Registro A (acumulador de 8 bits), Registros Índices X y Y (8 bits c/u), Registro de Condición (8 bits), Contador del Programa (16 bits) y el Apuntador de Stack (16 bits).

En el Secador de madera realmente no importa la velocidad con que se ejecuten las instrucciones, pues es un proceso muy lento donde las condiciones o variables no sufren cambios instantáneos.

#### MEMORIA.

La capacidad de memoria es uno de los puntos más importantes que se debe considerar al elegir un computador, pues es donde se almacenan los programas y/o datos referentes al proceso.

El Commodore 64 como su nombre lo indica contiene 64K de memoria RAM formada por un banco de 8 chips de 64K \* 1 bit de palabra cada uno de ellos, es decir, se pueden acceder para lectura o escritura 64000 localidades de memoria de 8 bits cada una.

Cuenta, además, con un KERNAL ROM de 8K bytes que contiene el sistema operativo, un BASIC ROM de 8K bytes que contiene el intérprete de basic, un GENERADOR ROM de 4K bytes para generar caracteres en ASCII y por último un COLOR ROM de 1K por 4 bits para color de pantalla.

No toda la memoria RAM se encuentra disponible para programar en basic, al momento de encender el computador se almacenan en la RAM automáticamente el sistema operativo y el intérprete de basic, además, quedan áreas reservadas para información específica. Después de esto, la memoria queda distribuida de la siguiente manera (Fig. 5):

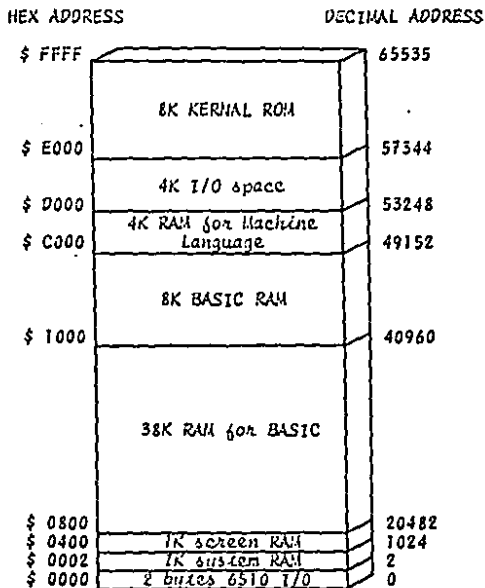


Figura 5. Mapeo de Memoria para la Commodore 64

Para realizar el control del Secador con 2 sensores, 10K de memoria principal es suficiente, pero no puedo basarme solo en estas 2 lecturas siendo la cámara tan grande; emplearé después otros 4 sensores de humedad y de temperatura para distribuirlos en el interior de la cámara. Necesitaré, entonces, otros 12K de memoria para subrutinas y programas que controlen los 6 sensores, más 8K para diseñar gráficas del comportamiento de las variables principales del sistema. En total requiero de 30K aproximadamente.

#### DISPOSITIVOS I/O.

La tercera y última parte del computador es la sección de entradas y salidas, aunque el computador sea muy poderoso, este no será muy útil si no tiene forma de comunicarse con el exterior.

El computador Sigma Commodore 64 para comunicarse con diferentes tipos de dispositivos cuenta con lo siguiente: una conexión para cartuchos de 44 pines que acepta programas y cartuchos de juegos; un conector para el adaptador de TV que proporciona imagen y sonido; una conexión de audio/video de 8 pines con 2 salidas, una para un sonido de alta fidelidad y otra para el monitor de TV; un puerto serial de 6 pines donde se conecta la impresora o unidad de discos directamente; un puerto para cassette de 12 pines que acepta la



dataset para grabar información y/o datos; dos puertos de control de 9 pines cada uno para joysticks o un lápiz óptico; y por último el puerto de usuario que tiene 24 pines de los cuales 8 corresponden al puerto B, se le pueden adaptar cartuchos de interfase como el RS-232 o interfases para control de procesos.

Independientemente de los dispositivos que se le puedan adaptar al computador, éste cuenta con un teclado propio semejante al de una máquina de escribir, donde cada tecla puede contener de 3 a 4 símbolos para caracteres o funciones.

En la memoria principal se encuentra una área reservada para almacenar información referente a dispositivos I/O, facilitando su manejo considerablemente.

El diagrama a bloques de la página siguiente (Fig. 6) muestra la relación que existe entre las partes descritas con anterioridad: Microprocesador, Memoria y Dispositivos I/O referentes al computador Sigma Commodore 64.

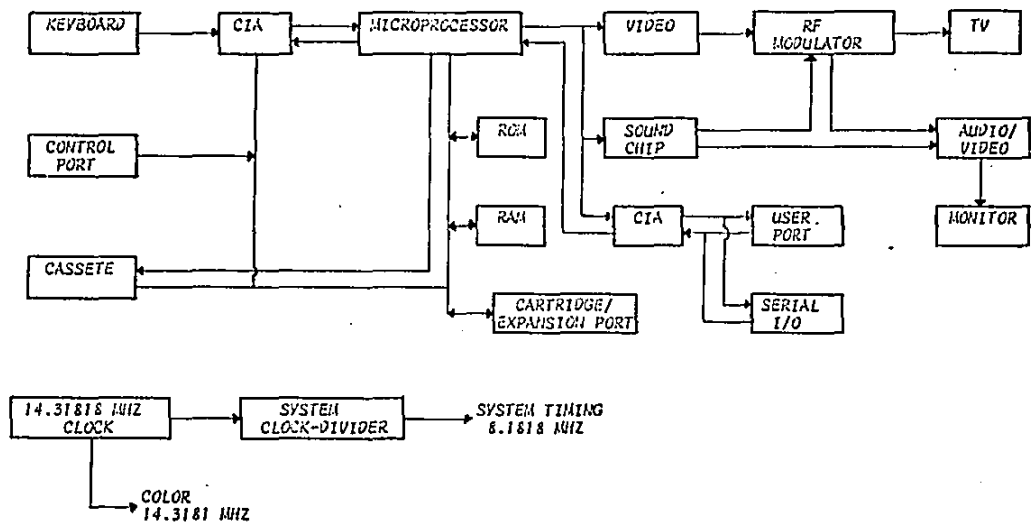


Figura 6. Diagrama a Bloques deL Computador Sigma Commodore 64

El sector de madera lo voy a automatizar por medio del Puerto de Usuario, adaptándole 3 interfasas de salida y 2 de entrada en las terminales correspondientes al puerto B (Fig 7).

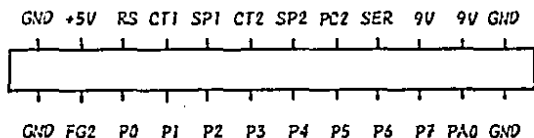


Figura 7. Puerto de Usuario

El puerto B emplea un CIA (Complex Interface Adapter) como buffer para recibir o enviar datos del computador, internamente contiene 2 registros paralelos de 8 bits: Registro de Dirección y Registro de Datos. Cada una de las 8 líneas o terminales del puerto, designados P0-P7, corresponden a un bit de los registros.

La dirección (entrada o salida) de los bits del puerto es determinada por 1's y 0's almacenados en el Registro de Dirección; se coloca un 1 dentro de cualquier bit que se quiera como salida y un 0 en cualquier bit que se quiera como entrada. La información que va o proviene del puerto se almacena en el Registro de Datos.

A cada registro le corresponde una dirección en la memoria del computador, en donde se almacenan los datos para poder ser accedidos. Al Registro de Dirección le corresponde la Localidad 56579 en decimal y al Registro de Datos la 56577.

La gran ventaja que posee el Basic de este computador para controlar cualquier proceso, es la facilidad de manejo del puerto de usuario. Por medio de las instrucciones PEEK y POKE puedo leer o enviar datos de/a las localidades que les especifique (tanto localidades como datos deben ser en decimal). Sus formatos son:

PEEK (No. Localidad)

POKE No. Localidad, dato

Si tecleo

PRINT PEEK(56579)

en la pantalla me despliega el contenido del Registro de Dirección y puedo saber cuales bits están destinados como salidas y cuales como entradas.

A cada bit del puerto le corresponde un peso como se muestra a continuación:

Peso	128	64	32	16	8	4	2	1
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0

Si el número que se despliega en pantalla es el 15 indica que los bits 0,1,2 y 3 del Registro de Dirección están en 1

(salidas), pues la suma de sus pesos es igual a 15 (8+4+2+1).

Si después tecleo

POKE 56577,2

envío un 1 lógico al bit número 1 del puerto por medio del Registro de Datos.

Con esta instrucción puedo modificar el contenido de cualquier registro de acuerdo a mis necesidades.

Si quiero modificar ciertos bits sin alterar los restantes utilizo los operadores lógicos AND y OR para mascarar la información.

Por ejemplo con

POKE 56577,((PEEK(56577) OR 4)

envío un 1 lógico al bit 2 del puerto sin alterar los demás bits.

Si deseo enviar hacia el exterior una señal a través de una de las terminales del puerto B que no esté declarada con anterioridad como salida, el computador no ejecutará la instrucción hasta que modifique el Registro de Dirección.

Es necesario hacer varias prácticas, antes de comenzar a programar, para conocer mejor el puerto de usuario.

CAPITULO 3

Son 2 las señales que el computador necesita captar para tomar sus decisiones durante el proceso, la del sensor de humedad y la del sensor de temperatura.

Ambas señales son originadas por las variaciones que presentan, la resistencia del termistor ante los cambios de temperatura y el efecto capacitivo ante los cambios de humedad.

Estas señales no tienen ningún significado si son introducidas directamente al computador, pues son solo variaciones de corriente y voltaje que el computador no sabe como interpretar; es necesario diseñar una interfase que convierta cada una de estas variaciones en una señal legible para el computador, señal digital.

En el Capítulo I elegí un CI timer 555 conectado como monostable para convertir las variaciones de cada uno de los sensores a pulsos de diferente longitud, proporcionales a la temperatura y humedad de la cámara.

La configuración del CI 555 la muestro en la figura 8 y su conexión como monostable en la figura 9.

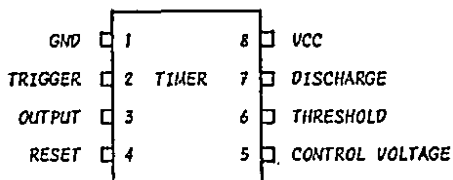


Figura 8. Configuración del IC LM555

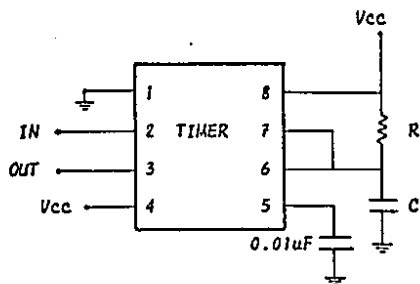


Figura 9. Conexión del IC LM555 como MONOSTABLE



Para que opere como monostable se le aplica un pulso negativo a la entrada TRIGGER del timer obteniendo un pulso a la salida de este (Fig. 10). La longitud del pulso de salida es controlada por el tiempo que tarda en cargarse el capacitor C a  $2/3$  del voltaje de alimentación, dependiendo tanto de la capacitancia como de la corriente limitada por la resistencia R (Fig. 9). El capacitor conectado al pin 5 es de 0.01  $\mu$ F por recomendación del fabricante (National Semiconductor, 1982, pags. 562-565).

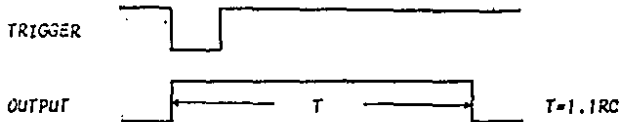


Figura 10. Señales de entrada y salida del TIMER

La máxima corriente que el puerto puede proporcionar en su salida de 5v es 100 mA, suficiente para alimentar 2 integrados LM555C. Sus características las muestro en la tabla A.

Aunque utilizo el mismo tipo de interfase para que el computador capte las señales de los dos sensores, son diferentes los elementos que las componen. Explicaré cada una independientemente.

## INTERFASE DE TEMPERATURA.

El sensor que voy a utilizar es un termistor de coeficiente negativo, mide 0.64mm de diámetro y 35mm de largo, sus especificaciones son:

Código DicopeL	814-0195-2
Nombre comercial	TN-D05-20/3
Resistencia 25°C	5000 ohms
Tolerancia	+/-10%
Constante de temperatura (Beta)	3965 +/-55
Coefficiente temperatura $\Delta R/R = \%$ /°C 25°C	-4.4
Constante de disipación C mv/°C	4.5
Voltaje máximo	15v

La interfase va conectada al puerto de usuario del computador de acuerdo a la figura 11.

La resistencia del termistor es convertida a una longitud de pulso con el timer 555 conectado como monostable.

El computador Commodore 64 es utilizado para activar el timer y contar el tiempo que dura el pulso de salida. El computador envía un 0 y después un 1 al segundo bit del puerto B (PB1), este pulso activa el 555 y su salida se pone en 1 por un tiempo determinado por la resistencia del termistor y el capacitor C. Esta señal de

salida se introduce al puerto B por el séptimo bit (PB6) y un programa en lenguaje máquina en el computador mide su longitud contando el tiempo a una resolución de 25 uSeg.

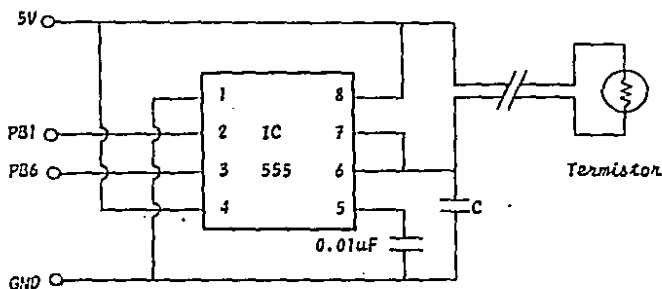


Figura 11. Interfase para captar la señal del sensor de temperatura

El capacitor C que voy a emplear es electrolítico con un valor de 2.2uF.

El termistor tiene respuesta negativa respecto a la temperatura, es decir, cuando esta aumenta la resistencia disminuye y viceversa (Fig. 12). Al disminuir la resistencia, la longitud del pulso puede llegar a ser menor que la resolución del contador del programa sin poderla medir, y en caso contrario la longitud del pulso puede rebasar el límite del contador; es necesario, entonces,

probar el termistor y el capacitor que seleccioné a la temperatura máxima y mínima en la que pueden operar durante el proceso, para verificar que la longitud del pulso que proporcionen puede ser medido por el contador.

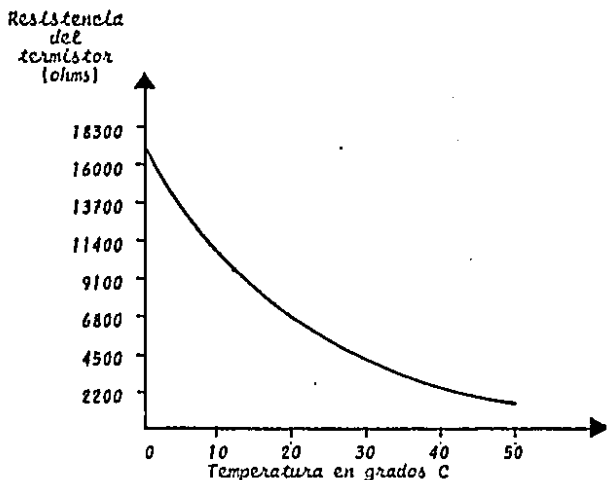


figura 12. Variación de la resistencia contra temperatura para un termistor típico

La resistencia del termistor no es una función lineal de la temperatura, pero la duración del pulso es una función lineal

de la resistencia del termistor,  $T=1.1RC$  donde  $C=2.2\mu F$ ; con un programa en el computador puedo relacionar la duración del pulso con la temperatura medida y así conocer la temperatura a la que se encuentra la cámara.

#### INTERFASE DE HUMEDAD.

El sensor de humedad consta de una membrana de plástico cubierta en ambos lados con una delgada capa de oro, la variación de la constante dieléctrica de la membrana con los cambios de humedad hace la capacitancia del sensor. En cada lado de la membrana el oro funciona como un plato del capacitor y provee los contactos eléctricos del sensor.

El sensor mide 0.6" de diámetro y 0.9" de largo. Algunas de sus especificaciones son:

Rango de humedad	10-90 %
Rango de temperatura	0-85 °C
Capacitancia (25°C, 43% hum, 100 KHz)	122pF ±15%
Rango de frecuencia	1-1000 KHz
Dependencia de temperatura	0.1% hum/°C
Tiempo de respuesta (max)	
10-43%	3 min
43-90%	5 min

A diferencia de la interfase de temperatura, la capacitancia del sensor es la que determina la longitud del pulso a la salida del integrado. Su conexión en el puerto de usuario la muestra en la figura 13.

El computador envía un 0 y después un 1 al bit menos significativo del puerto B (PB0), este pulso activa el 555 y su salida se pone en nivel alto (1), introduciéndose al puerto B por el bit más significativo (PB7) para que otro programa en lenguaje máquina mida su longitud, contando el tiempo a una resolución de 17  $\mu$ seg.

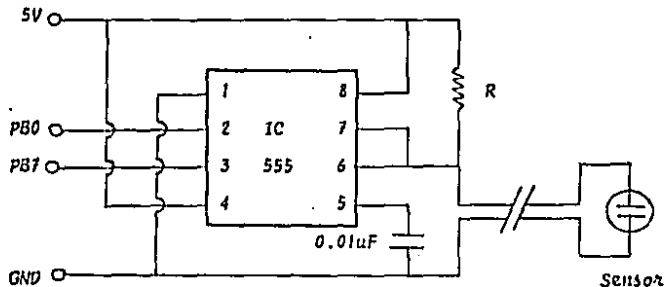


Figura 13. Interfase para captar la señal del sensor de humedad

La curva en la figura 14 muestra como la capacitancia del sensor varía con la humedad.

Extrapolando se puede ver que la capacitancia varía desde aprox. 115 pF a 0% de humedad hasta 160 pF a 100% de humedad. En otras palabras, hay un cambio en la capacitancia de 45 pF dentro de todo el rango de humedad.

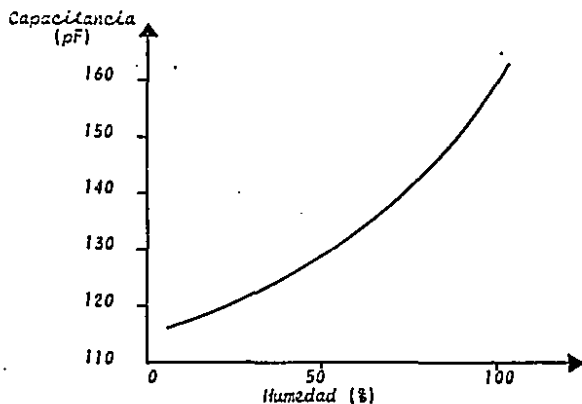


Figura 14. Variación de la capacitancia contra humedad para el sensor de Philips

Si coloco una resistencia de 10 Mohms en el circuito de

Interfase (Fig. 13), limitará la corriente a 0.5 uAmp (5v/10Mohms) para retardar el tiempo en que se carga el capacitor tan pequeño, dando oportunidad de que el contador del programa mida la longitud del pulso de salida.

La capacitancia del sensor y la humedad relativa tienen una relación exponencial (Fig 14), dificultando la medición, pero la duración del pulso de salida también es una función lineal de la capacitancia,  $T=1.1RC$  donde  $R=10$  Mohms, por lo que al igual que con el medidor de temperatura, con un programa en el computador puedo relacionar la duración del pulso con la humedad de la cámara para conocer la cantidad de vapor de agua que contiene el aire.



TABLE A

LM555

-----  
 ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	+18
Power dissipation	600 mW
Operating Temperature Ranges	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25°C, Vcc=+5V to +15V)

PARAMETER	CONDITIONS	LIMITS			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage		4.5		18	V
Supply Current	Vcc=5V, RL=Inf.		3	5	mA
	Vcc=15V, RL=Inf.		10	12	mA
Timing Error, Monost.			0.5		%
Initial accuracy			30		ppm/°C
Drift with temp.	Ra, Rb=1K to 100K C=0.1uF				
Accuracy over Temp.			1.5		%
Drift with Supply			0.05		%/V
Threshold Voltage			0.667		*Vcc
Trigger Voltage	Vcc=15V	4.8	5	5.2	V
	Vcc=5V	1.45	1.67	1.9	V
Trigger Current			0.01	0.5	uA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current			0.1	0.25	uA
Control Voltage Level	Vcc=15V	9.6	10	10.4	V
	Vcc=5V	2.9	3.33	3.8	V
Pin 7 Leakage output			1	100	uA
high					
Pin 7 Sat			70	100	mV
Output Low	Vcc=4.5, I7=4.5mA				
Output Voltage Drop					
Low	Vcc=5V		0.1	0.25	V
	Ic=Iz=8mA				
High	Vcc=5V		3	3.3	V
Rise Time of Output				100	nS
Fall Time of Output				100	nS

CAPITULO 4

Los programas son una parte fundamental en el desarrollo del control del Secador. Todo el procedimiento de operación establecido en el Capítulo 2 se reduce a una secuencia de instrucciones que ejecuta el computador.

En el diagrama A, al final de este capítulo, describo una secuencia que satisface ese procedimiento, controlando el proceso de acuerdo a las condiciones establecidas.

Por medio del puerto de usuario (Fig. 15), el computador controla las 3 cargas (ventilador, extractor y calentador) y capta las señales de los 2 sensores (humedad y temperatura).

Empleo 2 subrutinas en lenguaje Basic para medir las variaciones de cada uno de los sensores (SUB Termómetro y SUB Humedad). Ambas subrutinas se basan en un programa en lenguaje máquina, que mide la longitud del pulso de salida del circuito monostable con un contador, trabaja como sigue:

- 1.- Deshabilita las interrupciones del microprocesador 6510 para que no se interrumpa el conteo.
- 2.- Limpia el contador y envía un pulso de disparo (sacando un 1 y después un 0) para activar el monostable.
- 3.- El contador se incrementa y chequea la salida del 555. Si es alta se regresa a incrementar el contador, y si es baja, el pulso y el conteo han terminado.

Cada vez que se ejecutan las instrucciones del tercer paso se incrementa el contador; por esto, el tiempo requerido para ejecutarlas, es el tiempo de resolución del contador.

El contador de temperatura consta de 2 bytes, con una resolución de 25 uSeg y el de humedad consta solo de 1 solo byte para obtener una resolución de 17 uSeg. Esto se debe a que la longitud del pulso que proporciona la interfase de humedad es muy pequeña para poder ser medida por un contador de menor resolución.

Las localidades de memoria correspondientes para ambos contadores son: \$8B para el de humedad y \$8D y \$8E para el de temperatura. El puerto de usuario lo acceso por medio de la localidad \$DD1 (56577 en decimal), después de haber direccionado cada terminal.

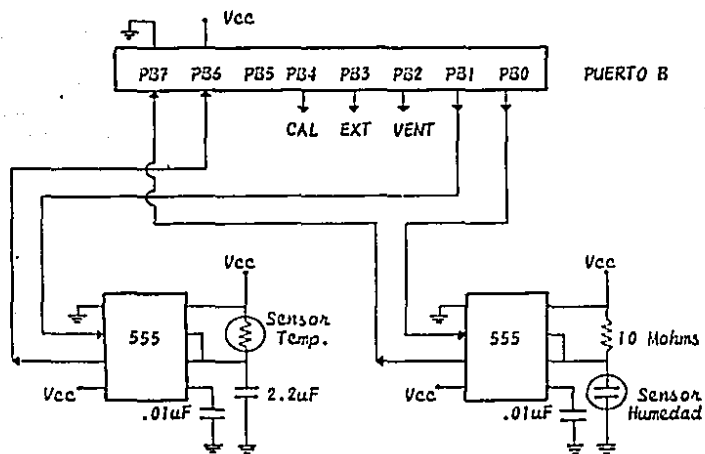


Figura 15. Conexión de cargas y sensores al Puerto de Usuario del Computador.

## CONTADOR HUMEDAD

78		SEI	-Deshabilita Interrupciones
A9 00		LDA #0	
85 8B		STA CTR	-Limpia contador
AD 01 DD	Activa	LDA PORT B	
29 FE		AND #FE	
8D 01 DD		STA PORT B	-Pone en 0 PB0
AD 01 DD		LDA PORT B	
09 01		ORA #01	
8D 01 DD		STA PORT B	-Pone en 1 PB0
A5 8B	Cont	LDA CTR	-Inicia conteo
18		CLC	
69 01		ADC #1	-Incrementa el contador
85 8B		STA CTR	
AD 01 DD	Checa	LDA PORT B	-Checa PB7
30 EE		BMI Cont	-Regresa si hay pulso
58		CLI	
60		RTS	-Regresa a subrutina

## CONTADOR TEMPERATURA

73	SEI	-Deshabilita interrupciones
A9 00	LDA #0	
85 8D	STA CTR	-Limpia contador
85 8E	STA CTR+1	
AD 01 DD	Activa LDA PORT B	
29 FD	AND #FD	
8D 01 DD	STA PORT B	-Pone en 0 PBI
AD 01 DD	LDA PORT B	
09 02	GRA #02	
8D 01 DD	STA PORT B	-Pone en 1 PBI
A5 8D	Cont LDA CTR	-Inicia conteo
18	CLC	
69 01	ADC #1	-Incrementa el contador
85 8D	STA CTR	
A5 8E	LDA CTR+1	
69 00	ADC #0	
85 8E	STA CTR+1	
AD 01 DD	Checa LDA PORT B	
29 40	AND #40	-Checa PB6
DD EC	ENE Cont	-Regresa si hay pulso
58	CLI	
60	RTS	-Regresa a subrutina

## SUB TERMOMETRO.

Mencioné antes que la resistencia del termistor no es una función lineal de la temperatura, por consiguiente tampoco lo es la longitud de los pulsos. La no linealidad la puedo corregir con un programa que utilice una función polinomial de la curva del termistor (resistencia contra temperatura), o bien, una tabla que relacione la temperatura con la longitud de cada pulso del monostable [contador].

Voy a emplear la segunda opción, utilizando el programa del contador de temperatura obtengo las cuentas que representan a 15,20,25,30,35,40,45 y 50 grados C (rango de temperatura en el que opera el secador); estos valores los coloco en un arreglo, después, cuando realice la medición puedo convertir cada valor del contador a una temperatura basándome en esta tabla. Si se requiere de mayor exactitud, simplemente realizo más lecturas de temperatura aumentando como consecuencia las entradas de la tabla, por ejemplo cada 3 grados C, y modifico la ecuación que realiza el cálculo.

El diagrama de flujo de esta subrutina lo muestro en el diagrama B, al final de este capítulo.



## SUB HUMEDAD

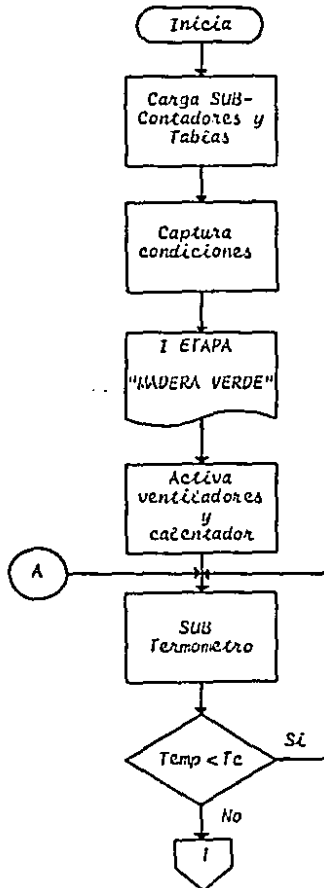
No es mucha la diferencia entre esta subrutina y la de temperatura pues operan bajo el mismo principio, medir la longitud del pulso de salida del circuito monostable.

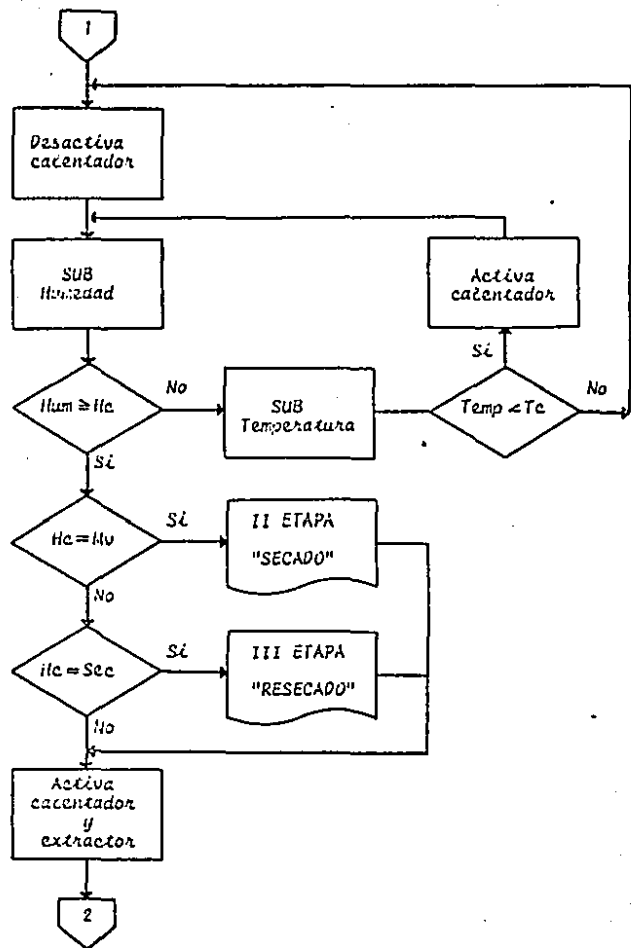
La no linealidad del sensor de humedad la voy a corregir con otra tabla (arreglo) que contiene los valores del contador de humedad proporcionales a cada 5% de humedad en el aire; interpolando obtengo la humedad correspondiente al valor del contador cuando se realice la medición.

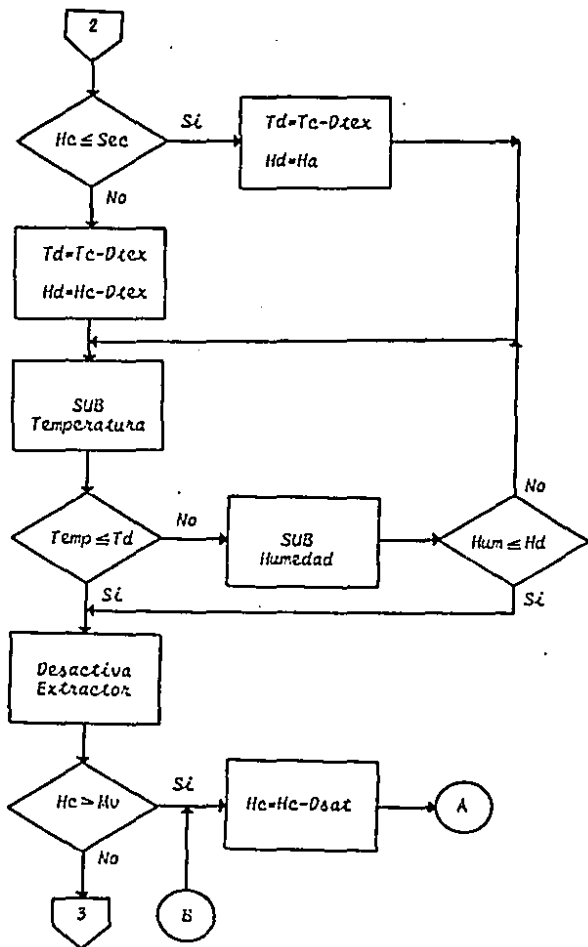
La secuencia de estas instrucciones la indico en el diagrama C.

DIAGRAMA A.

Diagrama de Flujo del Proceso de Secado







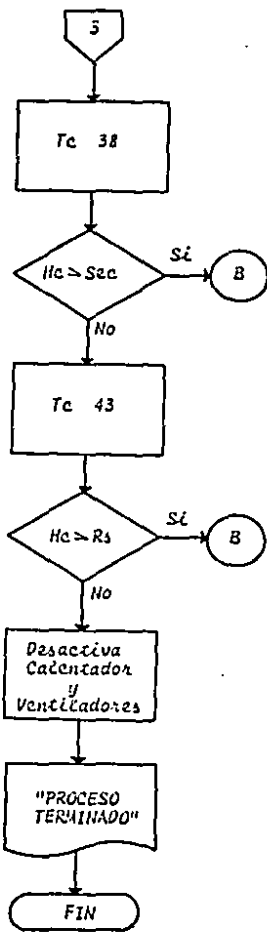


DIAGRAMA B

Diagrama de Flujo de SUB Termómetro

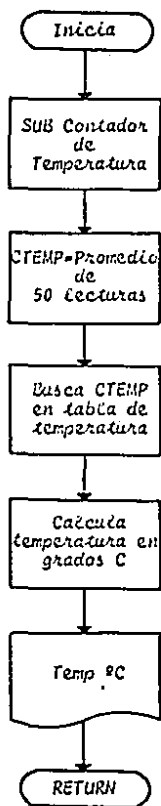


DIAGRAMA C

Diagrama de Flujo de SUB Humedad



PROGRAMA PRINCIPAL

```
10 REM Inicializa registro de dirección y de datos del puerto B
15 POKE 56579,63
20 POKE 56577,3
25 REM Carga contador de temperatura
30 FOR I=1 TO 45
35 READ A:POKE 49152+I,A:NEXT I
40 REM Carga tabla de temperatura
45 DIM TABTEMP(20)
50 FOR I=1 TO 7
55 READ A: TABTEMP{I}=A: NEXT I
60 REM Carga contador de humedad
65 FOR I=1 TO 35
70 READ A: POKE 49300+I,A: NEXT I
75 REM Carga tabla de humedad
80 DIM THUM(25)
85 FOR I=1 TO 14
90 READ A: THUM{I}=A: NEXT I
95 REM Carga subrutina de retardo
100 FOR I=1 TO 13
105 READ A: POKE 59500+I,A: NEXT I
110 PRINT CHR$(147): REM Clear/Home
115 FOR I=1 TO 12: PRINT: NEXT I
120 PRINT TAB(7);"* CAPTURA DE CONDICIONES *"
```

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



```

125 FOR L=1 TO 15: SYS 49501: NEXT L
130 PRINT CHR$(147): REM Clear/Home
135 PRINT TAB(3); "ALMACENAR TEMPERATURA EN GRADOS C"
140 PRINT TAB(4); "Y HUMEDAD RELATIVA O PORCENTUAL"
145 PRINT:PRINT
150 INPUT "TEMPERATURA AMBIENTE:";TA: PRINT
155 INPUT "HUMEDAD AMBIENTE:";HA: PRINT
160 INPUT "TEMPERATURA INICIAL DE LA CAMARA:";TC: PRINT
165 INPUT "SATURACION INICIAL DE LA CAMARA:";HC: PRINT
170 INPUT "HUMEDAD MINIMA DE MADERA VERDE:";HV: PRINT
175 INPUT "HUMEDAD MINIMA DE SECADO:";SEC: PRINT
180 INPUT "HUMEDAD MINIMA DE RESECADO:";RS: PRINT
185 INPUT "DECREMENTO DE TEMPERATURA EN EXTRACCION:";DTEX: PRINT
190 INPUT "DECREMENTO DE HUMEDAD EN EXTRACCION:";DHEX: PRINT
195 INPUT "DECREMENTO DE HUMEDAD SATURADA:";DSAT: PRINT
200 INPUT "QUIERES HACER ALGUNA CORRECCION S/N:";A$
205 IF A$="S" THEN 130
210 PRINT CHR$(147): REM Clear/Home
215 FOR L=1 TO 10: PRINT: NEXT L
220 PRINT TAB(12); "INICIA OPERACION": PRINT
225 PRINT TAB(16); "1 ETAPA": PRINT
230 PRINT TAB(12); "MADERA VERDE"
235 FOR I=1 TO 15: SYS 49501: NEXT I: REM Retardo en pantalla
240 PRINT CHR$(147): REM Clear/Home
245 REM Activa ventiladores y calentador
250 POKE 56577,(PEEK(56577)OR20)

```

```

255 FOR I=1 TO 10: PRINT: NEXT I
260 PRINT TAB(7); "VENTILADORES Y CALENTADOR": PRINT
265 PRINT TAB(15); "ACTIVADOS": PRINT
270 PRINT TAB(10); "PARA CALENTAR CAMARA"
275 FOR L=1 TO 15: SYS 49501: NEXT L: REM Retardo en pantalla
280 PRINT CHR$(147): REM Clear/Home
285 PRINT "TEMPERATURA"
290 GOSUB 1000: REM Mide temperatura para calentar cámara
295 IF TEMP/TC THEN 290
300 REM Desactiva calentador
305 POKE 56577,(PEEK(56577)AND47): PRINT
310 PRINT TAB(9); "CALENTADOR DESACTIVADO": PRINT
315 FOR L=1 TO 15: SYS 49501: NEXT L: REM Retardo en pantalla
320 PRINT CHR$(147): REM Clear/Home
325 PRINT TAB(3); "RECIRCULA AIRE CALIENTE PARA SECAR": PRINT
330 PRINT "HUMEDAD RELATIVA"
335 GOSUB 2000: REM Mide humedad para chequear saturación
340 IF HUM2=HC THEN 385: REM Checa cambio de etapa
345 PRINT: PRINT "TEMPERATURA"
350 GOSUB 1000: REM mide temperatura para controlarla
355 IF TEMP/TC THEN 365
360 GOTO 300
365 REM Activa calentador
370 POKE 56577,(PEEK(56577)OR16): PRINT
375 PRINT TAB(10); "CALENTADOR ACTIVADO"
380 GOTO 315

```

```

385 FOR L=1 TO 15: SYS 49501: NEXT L: REM Retardo en pantalla
390 PRINT CHR$(147): REM Clear/Home
395 IF HC=MU THEN GOTO 410
400 IF HC=SEC THEN GOTO 435
405 GOTO 460
410 FOR I=1 TO 11: PRINT: NEXT I
415 PRINT TAB(16); "II ETAPA": PRINT
420 PRINT TAB(15); "* SECADO *"
425 FOR L=1 TO 15: SYS 49501: NEXT L: REM Retardo en pantalla
430 GOTO 455
435 FOR I=1 TO 11: PRINT: NEXT I
440 PRINT TAB(15); "III ETAPA": PRINT
445 PRINT TAB(14); "* RESECAO *"
450 FOR L=1 TO 15: SYS 49501: NEXT L: REM Retardo en pantalla
455 PRINT CHR$(147): REM Clear/Home
460 REM Activa calentador y extractor
465 POKE 56577,(PEEK(56577)OR 24)
470 FOR I=1 TO 10: PRINT: NEXT I
480 PRINT TAB(9); "CALENTADOR Y EXTRACTOR": PRINT
485 PRINT TAB(15); "ACTIVADOS": PRINT
490 PRINT TAB(4); "PARA SACAR AIRE HUMEDO DE CAMARA"
495 IF HCV=SEC THEN 510
500 REM Límites de extracción
505 TD=TC-DTEX: HD=HC-DHEX: GOTO 520
510 REM Extracción hasta humedad ambiente
515 TD=TC-DTEX:HD=HA

```

```

520 FOR L=1 TO 15: SYS 49501: NEXT L: REM Retardo en pantalla
525 PRINT CHR$(147): REM Clear/Home
530 PRINT TAB(7): "EXTRACCION DE AIRE HUMEDO": PRINT
535 PRINT "TEMPERATURA"
540 GOSUB 1000: REM mide temperatura para checar limite de
extracción
545 IF TEMPY=TD THEN 570: PRINT
550 PRINT "HUMEDAD RELATIVA"
555 GOSUB 2000: REM mide humedad para checar limite de extracción
560 IF HUMY=HD THEN 570
565 GOTO 520
570 FOR L=1 TO 15: SYS 49501: NEXT L: REM Retardo en pantalla
575 PRINT CHR$(147): REM Clear/Home
580 REM Desactiva extractor
585 POKE 56577,(PEEK(56577)AND55)
590 FOR I=1 TO 11: PRINT: NEXT I
600 PRINT TAB(9): "EXTRACTOR DESACTIVADO": PRINT
605 PRINT TAB(2): "PARA CONTINUAR EL SECADO"
610 FOR L=1 TO 15: SYS 49501: NEXT L: REM Retardo en pantalla
615 PRINT CHR$(147): REM Clear/Home
620 IF HC1MV THEN 680
625 TC=38: REM Aumenta temperatura de cámara en "II Etapa"
630 IF HC1SEC THEN 680
635 TC=43: REM Aumenta temperatura de cámara en "III Etapa"
640 IF HC1RS THEN 680
645 REM Desactiva calentador y ventilador para terminar el proceso

```

```

650 PK6E 56577,(PEEK(56577)AND45)
655 FOR I=1 TO 10: PRINT: NEXT I
660 PRINT TAB(2); "VENTILADOR Y CALENTADOR DESACTIVADOS": PRINT
665 PRINT TAB(11); "PROCESO TERMINADO"
670 FOR L=1 TO 15: SYS 49501: NEXT L: REM Retardo en pantalla
675 GOTO 700
680 HC=HC-DSAT: REM Decrementa saturación e inicia de nuevo el ciclo
685 PRINT TAB(8); "CALIENTA AIRE DE LA CAMARA": PRINT
690 GOTO 285
700 END

```

```

1000 REM Subrutina de Temperatura
1010 I=0
1020 REM Eliminar rebote del monostable
1030 FOR X=1 TO 5: SYS 49153: NEXT X
1040 REM Promedio de 50 lecturas de temperatura
1050 I=I+1
1060 SYS 49153: REM Mide pulso de salida del monostable
1070 CTEMP=PEEK(141)+PEEK(142): REM Almacena valor del contador
1080 C=C+CTEMP
1090 IF I/50 GOTO 1050
1100 CTEMP=C/50: C=0: REM Almacena promedio
1110 REM Interpola para obtener temperatura
1120 P=0
1130 P=P+1
1140 IF CTEMP/TABTEMP[P] GOTO 1130

```

```

1150 CPG=(TABTEMP(P-1)-TABTEMP(P))/10: REM Valor de contador por °C
1160 TEMP=((TABTEMP(P-1)-CTEMP)/CPG)+(P-2)*10: REM Calcula temperatura
1170 TEMP=(INT(TEMP*10))/10: REM Redondea a un decimal
1180 PRINT TAB(10) TEMP;"GRADOS C"
1190 RETURN

```

```

2000 REM Subrutina de humedad

```

```

2010 I=0

```

```

2020 REM Eliminar rebote de monostable

```

```

2030 FOR X=1 TO 5: SYS 49301: NEXT X

```

```

2040 REM Promedio de 200 lecturas

```

```

2050 I=I+1

```

```

2050 SYS 49301: REM mide pulso de salida del monostable

```

```

2060 CHUM=PEEK(139): REM Almacena valor de contador

```

```

2070 CT=CT+CHUM

```

```

2080 IF I/200 GOTO 2050

```

```

2090 CHUM=CT/200: CT=0: REM Almacena promedio

```

```

2100 CHUM=(INT(CHUM*100)/100): REM Redondea a un decimal

```

```

2110 REM Interpola para obtener humedad

```

```

2120 P=0

```

```

2130 P=P+1

```

```

2140 IF CHUM<THUM(P) GOTO 2150

```

```

2150 CPP=(THUM(P)-THUM(P-1))/5: REM Valor de contador por 1%

```

```

2160 HUM=((CHUM-THUM(P-1))/CPP)+((P-1)*5+10): REM Calcula humedad

```

```

2170 HUM=(INT(HUM*10))/10: REM Redondea a un decimal

```

```

2180 PRINT TAB(10) HUM;"%"

```

2190 RETURN

5000 REM Contador de Temperatura

5010 DATA 120,169,0,133,141,133,142,173

5020 DATA 1,221,41,253,141,1,221,173

5030 DATA 1,221,9,2,141,1,221,165,141

5040 DATA 24,105,1,133,141,165,142,105

5050 DATA 0,133,142,173,1,221,41,64

5060 DATA 208,236,88,96

5100 REM Tabla de Temperatura proporcional a cada 10 °C

5110 DATA 976,916,758,589,526,138,28

5200 REM Contador de humedad

5210 DATA 120,169,0,133,139,173

5220 DATA 1,221,41,254,141,1,221,173

5230 DATA 1,221,9,1,141,1,221,165,139

5240 DATA 24,105,1,133,139,173,1,221

5250 DATA 48,238,88,96

5300 REM Tabla de humedad proporcional a cada 5%

5310 DATA 21,26,31,36,41,46,51,56,61

5320 DATA 66,72,79,85,95

5400 REM Subrutina de Retardo

5410 DATA 120,162,255,160,255,136,208

5420 DATA 253,202,208,248,88,96

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El control, tanto programa como interfases, lo simula para verificar su funcionamiento, utilizando como sensores un capacitor variable de 20 a 200 pF y un potenciómetro de 5 Kohms.

El medidor de temperatura obtiene el promedio de 50 lecturas para mayor exactitud y el de humedad, que es más rápido, obtiene el promedio de 200 lecturas; aún así es más preciso el de temperatura, pues, la variación tan pequeña del capacitor no deja de ser un inconveniente para su medición.

Es posible que al adaptarle los sensores reales se requiera de más lecturas para disminuir el error.

El análisis y control que realice son para resolver un problema real, pero no por el hecho de que funciona significa que está listo para su instalación. Son varios los puntos que hay que considerar antes de asegurar que controla realmente el proceso:

- 1.- Es muy importante prever la longitud de los alambres conectados



- a los sensores, pues, sus resistencias van a ocasionar variaciones en la señal que proporciona cada sensor.
- 2.- Dos sensores, únicamente, son inadecuados para controlar el proceso siendo la cámara tan grande, se requieren por lo menos 5 sensores distribuidos en su interior. Esto ocasiona una ampliación en las interfasas de entrada y en el programa del computador.
  - 3.- La colocación de los sensores debe ser en puntos críticos, donde no se concentre la humedad o temperatura (por ej. esquinas) para evitar lecturas erróneas.
  - 4.- Además, el computador e interfasas deben ser colocadas fuera de condiciones climáticas extremas, pues, los circuitos integrados se dañan y como consecuencia también el control.
  - 5.- Por último, el programa principal requiere de 20K para su ejecución por los mensajes en pantalla que verifican su funcionamiento; quedan 18K para las subrutinas de los posibles 4 sensores y graficación de las variables.

- Badger W.L. y Banchemo J.T. Introducción a la ingeniería química. Neucalpan de Juárez, Edo. de México, México: Libros de McGraw-Hill de México, S.A. de C.V., 1980.
- Commodore. Blue Book for Commodore 64. Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.: C.M. Books, 1980.
- Downey J.M., Rensberg D. e Isherwood W. Easy Interfacing Projects for the Commodore 64. Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.: Prentice-Hall Inc., 1982.
- Polman, J.P. Métodos experimentales para ingenieros. Neucalpan de Juárez, Edo. de México, México: Libros McGraw-Hill de México, S.A. de C.V., 1981.
- Morris H.M. Computer System Architecture, 2nd. Edition. Englewood Cliffs, N.J., U.S.A.: Prentice-Hall, Inc., 1982.
- National Semiconductor. National Semiconductor Linear Databook. Sta. Clara California, U.S.A.: National Semiconductor Corporation, 1982

Perry R.H. y Chilton C.H. Chemical engineers' handbook, 6th edition. New York, U.S.A.: McGraw-Hill, Inc., 1969.

Templansa. Libro de instrucciones para el montaje y funcionamiento del secadero electrónico. Barcelona, España: Templansa, 1975

Trzybał R.E. Operaciones de transferencia de masa. Neucalpan de Juárez, Edo. de México, México: Libros de McGraw-Hill de México, S.A. de C.V., 1985.

Worley H.C. "Humidity Monitor". Radio Electronics: 1986, Vol-57(2), 61-63.