

146
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN
MEDIDOR DE HUMEDAD RELATIVA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA ELECTRICA ELECTRONICA
P R E S E N T A :
ANDRES RAMIREZ MONROY

DIRECTOR DE TESIS: M. LAURO SANTIAGO CRUZ



MEXICO, D.F.

AGOSTO 1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

Quiero dar un reconocimiento especial a mi asesor y amigo:
Ing. Lauro Santiago Cruz
Puesto que me apoyó y me guió en la elaboración de esta tesis
y por su infinita paciencia.

A mis familiares y amigos por aceptarme
como soy y por creer en mí.
Mis más profundo agradecimiento.

Finalmente quiero dar mis gracias a quien considero
mi compañera y amiga:
Martha
Por su apoyo incondicional hacia mí.
Gracias.

A mis padres :

Eladio y M. Luisa

**Gracias por su apoyo, su amor y su fe en mí
sin los cuales yo no habría sido capaz
de realizar este trabajo**

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I ANTECEDENTES	3
1.1 Aspectos fundamentales de los transductores	3
1.1.1 Nomenclatura y terminología	3
1.1.2 Principios de transducción	3
1.1.3 Características generales	4
1.1.4 Linealidad	5
1.2 Conceptos generales sobre la humedad relativa	7
1.3 Sensores de humedad	10
1.3.1 Higrometros	10
1.3.2 Psicrómetros	11
1.3.3 Medidores de punto de rocío	11
1.3.4 Metodo de equilibrio de energías	12
1.3.5 Metodos remotos de sensores de humedad	12
1.4 Aplicaciones	12
1.5 Conceptos generales sobre la temperatura	13
1.6 Medición de la temperatura	14
1.6.1 Termómetro de resistencia	14
1.6.2 Termopares	16
1.6.3 Termistores	17
CAPITULO II DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS DEL SISTEMA	18
2.1 Descripción general del sistema	18
2.2 Diseño del hardware del sistema	19
2.2.1 Transductor de Humedad Relativa	21

2.2.2 Transductor de Temperatura.....	35
2.2.3 Sistema digital	41
2.2.4 Display de cristal líquido AND671	45
CAPITULO III DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS PARA EL SISTEMA	50
3.1 Linealización de la respuesta exponencial del sensor	50
3.2 Programa en lenguaje de alto nivel para la generación de datos lineales	57
3.3 Programa Principal del Medidor de Humedad	60
3.4 Despliegue de la Información	69
CAPITULO IV INTEGRACION DEL SISTEMA	71
4.1 Ajustes de los voltajes del Transductor de Humedad Relativa	71
4.1.1 Calibracion del sensor de Humedad PCRC-11	71
4.2 Ajustes de los voltajes del Transductor de Temperatura	74
4.2.1 Calibracion del sensor de Temperatura LM335Z	74
4.3 Unificación del sistema	74
RESULTADOS Y CONCLUSIONES	76
BIBLIOGRAFIA	78
APENDICES :	
Apéndice A Hoja de especificaciones	
Apéndice B Listado de los programas desarrollados	

INTRODUCCION

En la coordinacion de instrumentacion del Instituto de Ingenieria de la UNAM, se han venido desarrollando importantes proyectos encaminados a resolver problemas reales de medicion de las variables fisicas del mundo que nos rodea, y que de una manera han llevado a importantes avances en la instrumentacion electronica. Tal es el caso del sistema de telemetria para la medicion y transmision de magnitudes fisicas (velocidad del viento, temperatura, humedad, etc.) desarrollado por dicha institucion. Asi como, de un sistema de adquisicion de datos disenado para medir, manipular y graficar el comportamiento de diferentes variables fisicas por medio de una computadora, y otros proyectos mas.

De lo anterior se desprende que para poder transmitir y analizar dichas senales, es necesario medir las, es decir, hay que desarrollar los instrumentos o transductores que puedan determinar dichas variables fisicas. Hoy en dia se cuentan con equipos de medicion que nos permiten cuantificarlas, sin embargo, su costo esta muchas veces fuera del alcance de los recursos con que cuenta la sociedad. Por lo que hay que disenar los *medidores* que han de cuantificar las magnitudes fisicas mencionadas y que puedan ser manejados por los sistemas disenados en el Instituto de Ingenieria, o puedan ser aplicados en otras areas de investigacion.

La humedad del aire ha sido uno de los parametros mas importantes en los procesos industriales. Junto a la temperatura, la humedad es la variable mas esencial en aplicaciones de control y medicion del ambiente. Defectarla y poderla controlar es vital para un conjunto de aplicaciones, como lo es la instrumentacion medica, aire acondicionado, computadoras, industrias textiles, industrias quimicas, procesos de alimentacion, *meteorologia*, etcetera.

Debido a ello se plantea como *objetivo*, el disenar un dispositivo que fuese capaz de medir el valor o magnitud de la humedad relativa del aire.

Actualmente, gracias al auge que ha tenido la electronica, este problema puede resolverse utilizando dos ramas bien definidas de las mismas: la electronica analogica o la electronica digital, o bien, un sistema de instrumentacion analogico-digital. En la presente propuesta se tiene como objetivo el desarrollar un sistema de instrumentacion analogico-digital, ya que un sistema analogico-digital es particularmente util cuando se requiere hacer manipulaciones matematicas al valor medido, antes de que sea almacenado o desplegado. Ademias, las senales digitales ofrecen mayor fidelidad al ruido, que su contraparte analogica.

Hoy se cuenta con circuitos digitales, como los microcontroladores, que gracias a su alto grado de integracion han reducido su tamano e incorporado muchas funciones en un circuito integrado. Con lo que se pueden desarrollar varios proyectos de aplicacion como lo es la instrumentacion.

Para lograr el objetivo planteado en el presente trabajo, este se organizo de la siguiente manera:

El primer capitulo del trabajo esta dividido en tres partes, en la primera de ellas se da una breve introduccion a lo que es un transductor, mencionando algunas de sus principales caracteristicas, como son principios de transduccion, rango, histeresis, linealidad, etc. En la segunda parte del capitulo se dan los conceptos relacionados a la humedad, que ayudan a establecer una comunicacion mas fiel con el lector cuando se habla de este tema. En la tercera parte se explican algunos metodos para medir la humedad relativa, como son los higrómetros, psicrómetros, medidores de punto de rocío, etc. Y finalmente se da una breve introduccion a lo que es la temperatura y algunos de los metodos para medirla.

En el capitulo II se explica sobre el diseño del hardware del sistema, como son el Transductor de Humedad Relativa, el Transductor de Temperatura y finalmente se plantea el diseño de la etapa Digital.

Para diseñar el sistema se parte de las características operacionales del sensor PCRC-11 que se utilizó en este trabajo, como es su principio de transducción, como se alimenta, tipo de respuesta, etcétera.

El tercer capítulo trata acerca de los programas desarrollados para el funcionamiento del sistema. Una de las características del sensor es de que su respuesta es exponencial y no lineal. Por ello se plantea como objetivo corregir dicha respuesta. Para ello primero se hace un análisis de la señal entregada por el Transductor de Humedad y, posteriormente se da el proceso segundo para realizar la linealización. En el análisis se explica como es que se desarrolló el programa de alto nivel para la obtención de los datos lineales o reales y las tablas mostradas en el trabajo.

En la segunda parte del capítulo se da un diagrama de flujo del programa general, en el que se programa el microcontrolador en lenguaje de máquina, para realizar la linealización y compensación de los datos contra temperatura, explicando cada una de sus partes. Finalmente se explica como es que se hizo el despliegue de la información.

En el capítulo cuatro se da la integración del sistema, explicando como trabaja el sistema en conjunto. También se dan los pasos a seguir para la puesta en operación del sistema.

Posteriormente se presentan los resultados y conclusiones del trabajo.

Finalmente se da la bibliografía consultada y los apéndices del trabajo.

CAPITULO I ANTECEDENTES

Este capítulo empieza con una explicación breve de lo que es un transductor, enunciando sus principales características, como es, principios de transducción, magnitud, rango, linealidad etc.. Así también, se enuncian los conceptos principales relacionados a la humedad relativa y a la temperatura. Este capítulo también muestra algunos métodos de medición de la humedad, como son los psicrómetros, higrómetros etc. y se da también una pequeña introducción a los métodos para la medición de la temperatura.

1.1 Aspectos fundamentales de los transductores

1.1.1 Nomenclatura y terminología

Un *transductor* es, simplemente, un dispositivo que proporciona una salida utilizable en respuesta a una magnitud física, propiedad o condición específica que se desea medir. Pero los transductores han sido, son, y probablemente siempre serán denominados por diferentes nombres en diferentes disciplinas técnicas. En los procesos industriales son denominados usualmente *transmisores* (por ejemplo *transmisor de presión, transmisor de temperatura*). En algunos casos se denominan *sensores* (*sensores de presión, sensores de fuerza, sensores de temperatura*). En algunos campos, sobre todo en el área de los dispositivos electro-ópticos se denominan *detectores*, y sería difícil convencer a los usuarios de esa área de denominar a "un detector de IR" como un "transductor de intensidad luminosa infrarroja". En algún momento la palabra "célula" se hizo popular para ciertos transductores, el término "célula de carga", que significa transductor de fuerza, es aún muy popular. Muchos de nosotros pensamos en una "galga" como un indicador de disco graduado, sin embargo, muchas transductores se denominan galgas. Algunos transductores, particularmente cuando son de tamaño pequeño, ocasionalmente todavía son denominados "captadores" (por ejemplo, captadores de vibraciones). Los transductores que tienen configuraciones capaces de ser inmersas en un fluido, son denominados frecuentemente sondas (por ejemplo un transductor de temperatura del tipo sonda se denomina frecuentemente "sonda de temperatura"). Aun se utilizan muchas indicaciones de transductores utilizando la terminación "metro", por ejemplo, "acelerómetro" por transductor de aceleración, "caudalímetro" por transductor de caudal, "tacómetro por transductor de velocidad angular".

Actualmente se pretende llegar a una estandarización de la terminología, sin embargo aún no se a llegado.

1.1.2 Principios de transducción

Los principios de transducción más comúnmente utilizados se describen a continuación.

Capacitivos

Los elementos de transducción capacitiva convierten un cambio de la magnitud a medir a un cambio de capacidad. Dado que un condensador consiste básicamente en dos electrodos separados por un dieléctrico, el cambio de capacidad puede ocasionarse por el movimiento de uno de los electrodos, acercándose o alejándose de otro electrodo o mediante cambios en el dieléctrico situado entre los dos electrodos fijos.

Inductivos

Los elementos de transducción inductiva convierten un cambio de la magnitud en un cambio de la autoinductancia de un devanado único. Los cambios de inductancia pueden efectuarse mediante el movimiento de un núcleo ferromagnético interior al devanado o mediante cambios de flujo introducidos externamente en un devanado con un núcleo fijo.

Reluctivos

Los elementos de transducción reluctiva convierten un cambio de la magnitud en un cambio de la tensión C.A., debido al cambio de la reluctancia del camino magnético entre dos o más devanados (o proporciones separadas de uno o más devanados), con una excitación C.A. al sistema de devanados. Esta categoría incluye los elementos de "reluctancia variable", "transformador diferencial" y "puente de inductancias".

Electromagnéticos

Los elementos de transducción electromagnética convierten un cambio de la magnitud a medir a una fuerza electromotriz (tensión de salida) inducida en un conductor debido a un cambio en el flujo magnético en ausencia de excitación. El cambio en el flujo magnético se realiza usualmente en un movimiento relativo entre un electroimán y un imán o una porción de material magnético.

Piezoelectrónicos

Los elementos de transducción piezoeléctricos convierten un cambio en la magnitud a medir en un cambio en la carga electrostática (Q) o tensión (E) generada por ciertos materiales cuando se encuentran sometidos a un esfuerzo mecánico. El esfuerzo se desarrolla mecánicamente, mediante fuerzas de tensión o compresión, o por fuerzas de cortadura ejercidas directamente sobre el material (el cristal) por un elemento sensor o por un elemento de enlace mecánico ligado al elemento sensor.

Resistivos

Los elementos de transducción resistivos convierten un cambio en la magnitud a medir en un cambio en la resistencia. Los cambios de resistencia pueden realizarse en los conductores, así como en los semiconductores por diversos medios, como calentamiento o enfriamiento, aplicación de esfuerzos mecánicos, por humidificación o deshumidificación de ciertas sales electrolíticas o por movimientos en el brazo de la escobilla de un reostato.

Potenciométricos

Los elementos de transducción potenciométrica convierten un cambio en la magnitud a medir en un cambio de la *relación de tensiones*, mediante un cambio en la posición de un contacto móvil (escobilla) sobre un elemento resistivo en cuyos bordes se ha aplicado una excitación. La relación dada por la posición de la escobilla es básicamente una relación de resistencias.

1.1.3 Características generales

Características de la magnitud a medir

Un transductor se diseña usualmente para medir una magnitud específica y responder únicamente a esta magnitud, por ejemplo, un transductor de presión proporciona una salida indicativa a la presión. Otras magnitudes, en algunos casos, pueden ser calculadas por la relación existente con otras magnitudes mediante por transductores, por ejemplo, la velocidad se puede calcular a partir de medidas de desplazamiento y tiempo.

Rango

El *rango* de un transductor se especifica como los límites superior e inferior de los valores de la magnitud a medir. El rango puede ser *unidireccional* (por ejemplo, " 0 a 2.5 cm") o *bidireccional* (por ejemplo, -10 a 50 °C). La diferencia algebraica entre los dos límites del rango es la *amplitud* de la medición. La amplitud de la medición de un transductor de desplazamiento angular de $\pm 30^\circ$ es 60° .

Salida

La salida es la magnitud eléctrica producida por el transductor, que es una función de la magnitud aplicada. La salida es usualmente una función continua de la magnitud a medir (*salida analógica*) en forma de una magnitud de tensión, una relación de tensiones, corriente o a veces como cambio de capacidad, inductancia, impedancia y otros.

Puntos extremos

Son los valores de salida en los límites superior e inferior del rango de un transductor. Las lecturas de los puntos extremos se determinan mediante dos o más ciclos de calibración consecutivos. Cuando se especifican los puntos extremos, se les aplica usualmente una tolerancia (por ejemplo, 0.00 ± 0.02 y 10.00 ± 0.01 Vcc).

Error de carga

Como en todos los dispositivos electrónicos, es importante que los transductores estén equilibrados e interconectados adecuadamente con el sistema de medida asociado, uno de los aspectos más vigilados consiste en el equilibrado de impedancia de salida y impedancia de carga. Una falta de equilibrio en este sentido puede ocasionar *errores de carga*, que aumentan con la relación de impedancia de salida y la impedancia de carga.

Histéresis

Es la máxima diferencia en la salida, para un valor de la magnitud a medir para un valor determinado interior al rango cuando este valor es desplazado mediante el aumento y disminución de la magnitud. Muchos tipos de transductores tienen histéresis, que es ocasionada normalmente por una retención del elemento sensor.

1.1.4 Linealidad

Para todo transductor existe una relación ideal teórica entre la salida y la magnitud a medir. Si el transductor estuviera diseñado por elementos ideales, utilizando técnicas ideales, la salida de este transductor sería ideal e indicaría siempre el valor real de la medida. La salida seguiría exactamente la *curva teórica* prescrita que especifica la relación entre la salida y la magnitud aplicada sobre el rango del transductor. Esta relación puede establecerse en forma de una *tabla de valores*, un gráfico o una ecuación matemática. La figura 1.1 muestra una curva teórica, en términos generales correspondiente al transductor de humedad relativa cuyo rango es de 0 al 100 % de RH y cuya salida es 0 a 10 Vcc. para el caso de una relación lineal, que ocasiona que la curva teórica sea una línea recta.

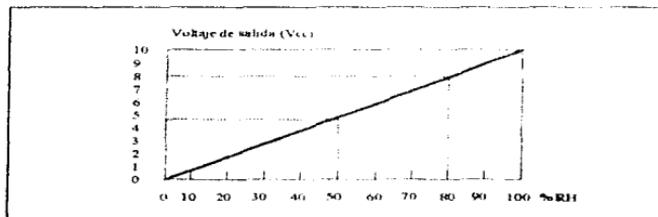


Figura 1.1. Relación entre la magnitud y la salida del transductor de humedad relativa ideal

La linealidad expresa el comportamiento diferencial de la curva de calibración respecto a una línea recta especificada. A continuación se explican los diferentes tipos de linealidad.

Linealidad con pendiente teórica

Está relacionada con la *pendiente teórica*, que es la línea recta entre los *puntos terminales teóricos*. Normalmente están cercanos 0 % SFE (para el 0 % del rango) y al 100 % SFE (para el 100 % del rango), pero pueden ser desplazados expresamente (por ejemplo, 5 % SFE para el 0 % del rango, y 95 % SFE para el 100 %). Dado que no se aplican tolerancias a los puntos extremos teóricos, esta línea recta puede dibujarse siempre sin referirse a ningún valor de medida.

Linealidad terminal

Se refiere a la *línea terminal* (figura 1.2.1), que es una forma especial de pendiente teórica para los cuales los puntos extremos teóricos se encuentran exactamente al 0 % y al 100 % del rango y la salida a fondo de escala.

Linealidad de puntos extremos

Esta referenciada a la *línea de los puntos extremos* : línea recta de *puntos extremos*, que son las salidas de los límites superior e inferior del rango obtenidos durante una calibración. Las tolerancias de los puntos extremos deben estar especificadas.

Linealidad independiente

Esta referida con la "*mejor línea recta*" (figura 1.3) que es la línea intermedia entre las dos líneas paralelas en cuyo interior se mantienen todos los valores de salida de una curva de calibración. La mejor línea recta solo se puede dibujar después de que se ha completado la calibración.

Linealidad de mínimos cuadrados

Esta referida a la *línea de mínimos cuadrados*, que es la línea recta para la cual la suma de los cuadrados de los residuos es el mínimo. El término "residuo" se refiere a las desviaciones de las lecturas de la salida respecto a los valores correspondientes a la línea recta calculada.

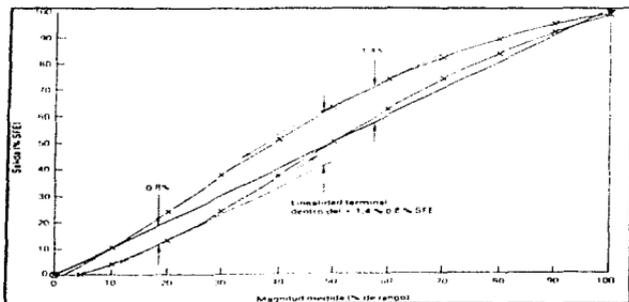


Figura 1.2 Linealidad Terminal

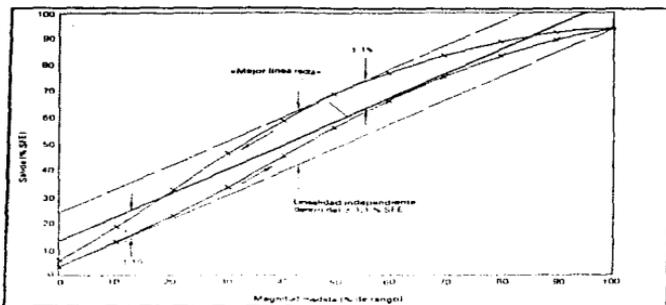


Figura 1.3. Linealidad independiente

1.2 Conceptos generales sobre la humedad relativa

Los conceptos que a continuación se definen servirán para evitar confusiones y establecer un criterio, para referirse en cada caso a la propiedad que interesa, cuando se habla de este tema.

En primer término, es conveniente definir la *higrometría*, que, como su nombre lo indica, se refiere a la medición de la humedad de un gas, es decir, a la determinación y conocimiento de la cantidad de vapor de agua contenida en el gas, este generalmente es el aire, sin embargo, los mismos principios son válidos para otros gases. Por lo tanto, un *higrometro* es un aparato que mide la humedad, y cualquier material que tenga cierta afinidad hacia la humedad es conocido como *material higroscópico* [1].

Los fenómenos de *absorción*, *adsorción* y *delincuencia* son importantes cuando se habla de este tema. El primero de ellos lo podemos definir como la penetración e introducción de un fluido en las cavidades que hay en los sólidos, esto es un fenómeno bidimensional. La adsorción es la adhesión de un fluido en capas extremadamente finas sobre la superficie de un sólido, es un fenómeno bidimensional. El último de estos fenómenos relaciona a ambos y se define como la disolución de un material higroscópico en el fluido que el mismo absorbe o adsorbe [1].

Existen varias maneras de expresar la cantidad de vapor en el aire (humedad). La razón entre la masa de vapor de agua presente y la unidad de masa de gas seco, es conocida como *humedad específica*, a diferencia de la *humedad absoluta* que se expresa como índice. Sin embargo, la *humedad relativa* es la más ampliamente usada y se define como la cantidad de agua contenida en el aire, expresada en forma de tanto por ciento de la cantidad que contendría el aire en estado de saturación a la misma temperatura y presión absoluta [1].

Una cierta masa de aire, a una presión y temperatura absolutas, no puede contener más que una determinada cantidad máxima de agua en forma de vapor. En dichas condiciones, se dice que el aire está saturado, lo cual significa que si intentamos aportar más agua a la masa de aire en estudio, se observará que el agua añadida queda en fase líquida (o sólida, si la temperatura fuese inferior a 0°C), y si el agua añadida lo es en forma de vapor, este se condensará [1].

Un detalle que hay que tomar en cuenta es de que si la presión absoluta o la temperatura cambiase también varía la cantidad máxima de vapor de agua que la misma masa de aire podría admitir. Por lo tanto, el aire alcanzaría el estado de saturación con una cantidad de agua distinta a la anterior.

Gráfico Psicrométrico

La figura 1.4 muestra un gráfico psicrométrico típico donde se dan familias de curvas o escalas para determinar siete valores distintos conociendo dos de ellos. Los valores que da el gráfico son:

- Familia 1: Temperatura de punto de rocío ($^{\circ}\text{F}$)
- Familia 2: Temperatura de bulbo húmedo ($^{\circ}\text{F}$)
- Familia 3: Pies cúbicos por libra de aire seco.
- Familia 4: Humedad relativa
- Familia 5: Humedad absoluta ("Grains" de humedad/libra de aire seco)
- Familia 6: Humedad absoluta (Libras de vapor de agua/libras de aire seco)
- Familia 7: Temperatura del bulbo seco ($^{\circ}\text{F}$)

Obsérvese que el gráfico psicrométrico de la figura corresponde a mezclas de aire y vapor de agua a una presión absoluta de 760 mm Hg absolutos.

Para usar el gráfico hay que determinar un punto del mismo por intersección de las curvas correspondientes a dos valores conocidos cualesquiera, y después obtener los otros valores que interesen viendo las curvas que pasan por dicho punto. Por ejemplo, si conocemos la temperatura de bulbo seco (7) de 172°F y la temperatura del bulbo húmedo (2) de 102°F , viendo el gráfico encontraremos los siguientes valores:

- (1) Punto de rocío = $87,5^{\circ}\text{F}$
- (2) Pies cúbicos por libra de aire seco = 16,7
- (3) Humedad relativa = 10,3%
- (5) Humedad absoluta = 201 Grains de humedad/libra aire seco
- (6) Humedad absoluta = 0.0287 libras de vapor de agua/libras de aire seco

Normalmente, siempre se mide la temperatura del bulbo seco. Pero cuando se mide cualesquiera de las variables mencionadas, el gráfico psicrométrico nos permite determinar todas las demás.

El gráfico termina a la izquierda por la curva de saturación (100% de humedad relativa). No pueden existir combinaciones de humedad y temperatura a la izquierda de dicha línea, porque el aire ya no puede contener más vapor bajo tales condiciones. En la curva de saturación, temperatura de bulbo húmedo y temperatura de punto de rocío coinciden.

1.3 Sensores de humedad

1.3.1 Higrómetros

Los sensores de humedad higrométricos proporcionan una indicación directa de la humedad, los cuales se pueden clasificar de la siguiente manera:

Mecánicos

Los primeros elementos sensores de humedad fueron elementos mecánicos, varios de ellos todavía están en uso. Algunos materiales cambian sus dimensiones con la absorción o eliminación de agua. Hay dos materiales orgánicos que tienen esta característica, ambos muy utilizados: el cabello, especialmente el cabello humano y ciertas membranas animales. Cuando se utilizan como sensores de humedad, un muelle los mantiene en tensión, manifestando una dilatación al aumentar la humedad, se produce así un desplazamiento que puede ser transducido. Como el desplazamiento es pequeño los transductores de desplazamiento más utilizados son del tipo de reluctancia o de palga extensométrica. Algunos materiales inorgánicos (como algunos plásticos) tienen también esta característica y son utilizados como sensores.

Resistivos

Los elementos higrométricos resistivos son ampliamente utilizados en forma de oblea o de cilindro (estándar). El primer higrómetro resistivo fue uno que utilizaba una película higroscópica consistente en una disolución acuosa entre el 2 y el 5% de cloruro de litio (LiCl), disponiendo de dos electrodos entre los que la resistencia de la película varía con la humedad, permitiendo medirla. Este dispositivo fue desarrollado en primer lugar por F.W. Dummore, en 1938, en el National Bureau of Standards, en Washington, y desde entonces ha sido refinado, aunque estos modelos conservan aún el nombre de "elementos Dummore" o "higrómetros Dummore", junto a la película de sal higroscópica se revisten electrodos de cable bifilar alrededor de una pieza aislante (típicamente poliestireno), a veces electrodos laminares en forma de zigzag sobre un sustrato sólido. Algunos elementos higroscópicos emplean el cambio de la resistividad en la superficie del sustrato mismo sin emplear la película higroscópica. Un ejemplo es el poliestireno tratado con ácido sulfúrico para conseguir una superficie de las características indicadas, estos elementos de poliestireno sulfatado son también conocidos como "elementos Pope" o "célula Pope".

De Cristal Oscilante

Los elementos de cristal oscilante consisten de cristales de cuarzo revestidos de material higroscópico. El cristal es considerado como elemento controlador de frecuencia en un circuito oscilador. La masa del cristal cambia con la cantidad de agua absorbida por el material higroscópico. Esto provoca un cambio en la frecuencia de oscilación y se consigue una salida frecuencial ligada linealmente la humedad. Los polímeros higroscópicos son los materiales de revestimiento más utilizados.

De óxido de aluminio

Los elementos de óxido de aluminio presentan cambios de resistencia y de capacidad, es decir, de impedancia, al cambiar la humedad del ambiente. Este tipo de elementos consisten, básicamente, en piezas de aluminio cuya superficie ha sido anodizada para conseguir una capa de óxido muy fina. La estructura de una película de este tipo consiste en una multitud de poros. Una fina película de oro, depositada al vacío sobre la superficie de óxido, actúa como electrodo (la película es suficientemente fina como para ser porosa) y el sustrato de aluminio actúa como el otro electrodo. En la se muestra el circuito equivalente de un poro. El vapor de agua atraviesa la capa de oro y se equilibra sobre las paredes de los poros de una manera relacionada fundamentalmente con la presión del vapor de agua del aire ambiental. El número de moléculas de agua absorbidas por la estructura de óxido determinan el cambio de impedancia del elemento.

Electrolíticos

Los higrómetros electrolíticos se alimentan con suficiente corriente como para electrolizar el vapor de agua en hidrógeno y oxígeno. El vapor de agua se absorbe en un material desecante (como una película delgada de pentóxido de fosforo, P_2O_5) sobre el que se han enrollado los electrodos bifilares. Otro diseño utiliza un disco de cristal poroso con electrodos en las caras, la absorción del vapor de agua ocurre en las paredes de los poros. La cantidad de corriente requerida por la electrolisis varía en función del vapor de agua absorbida, es decir, la humedad, así, la propia corriente es la salida del sensor de temperatura.

Formación Brady

El elemento resistivo higrométrico conocido como formación Brady difiere de los elementos de películas o substratos higroscópicos, en que este elemento consiste en una "formación" de matrices de cristal semiconductor que se comporta eléctricamente neutro con la moléculas de agua. La presión de vapor mueve la moléculas de agua entre los intersticios de las matrices, creando una transferencia de energía dentro de la estructura. La estructura se hace más conductiva excitada con ~ 1 V de alrededor de 1×10^{-10} al aumentar el número de partículas en la estructura. Es típico el uso de excitación de C/A en los higrómetros.

1.3.2 Psicrómetros

Los elementos sensores psicrométricos son sensibles a la temperatura. Siempre se utilizan dos elementos separados para obtener lecturas de las que se determinan la humedad relativa. Un elemento (el bulbo seco) mide la temperatura ambiental. El otro elemento (el bulbo húmedo) está envuelto en una mecha separada con agua destilada. El aire ventila la mecha de manera que enfría el elemento sensor por debajo de la temperatura ambiental debido a la evaporación del agua de la mecha. Esta evaporación depende de la presión del vapor o humedad contenida en el aire (u otro fluido). La humedad se determina, pues, a partir de la temperatura de los dos bulbos, utilizando una tabla o gráfico gráfico psicrométrico. Para asegurar una ventilación apropiada del bulbo húmedo, el aire se refuerza alrededor de él mediante un simple movimiento manual periódico del conjunto completo (psicrómetro giratorio) o empleando un muelle (psicrómetro aspirador). La mecha está fabricada usualmente con un material textil como algodón y a veces está formada por material cerámico poroso moldeado sobre el elemento sensor. Los elementos resistivos (como hilo de platino o los termistores) son más frecuentemente usados por los termopares.

1.3.3 Medidores de punto de rocío

El punto de rocío es la temperatura a la que las fases líquida y vapor de un fluido están en equilibrio (el punto de equilibrio de las fases vapor y sólido se denomina punto de escarcha). A esta temperatura existe una saturación del vapor de agua. Así, la humedad absoluta puede determinarse a partir de esta temperatura si se conoce la presión. El método más frecuentemente utilizado para medir el punto de rocío consiste en enfriar una superficie cuya temperatura se puede medir, hasta que el rocío (o la escarcha) condensan sobre él.

El elemento sensor utilizado por este método de medida del punto de rocío tiene dos funciones, debe medir la temperatura de la superficie que es enfriada artificialmente y debe detectar el cambio de fase de vapor a líquido (o sólido). Para la medición de la temperatura se utilizan elementos resistivos o termoelectrónicos. Detectar el instante de condensación puede realizarse por varios métodos. Los cuales requieren de una superficie de condensación, típicamente un delgado disco en contacto térmico con un dispositivo refrigerador, normalmente un refrigerador termoelectrónico (efecto Peltier). El método sensor de condensación más utilizado es el fotoeléctrico. La superficie de condensación como un espejo reflectante. Se aplica un haz de luz sobre el espejo y uno o más sensores de luz reciben el haz reflejado por el espejo, la condensación provoca un cambio brusco en la capacidad de reflexión del espejo. El método sensor resistivo utiliza un par de hilos electrodos que recorren una superficie aislante, la condensación provoca un cambio brusco de resistencia. En los detectores de condensación microelectrónicos se colocan fuentes de partículas α o beta niveladas con la superficie, un detector de radiación sobre la superficie detecta el momento en que se provoca un salto en el número de partículas debido a la presencia de la condensación.

1.3.4 Método de equilibrio de energías

Un método diferente de detectar el punto de rocío consiste en emplear un sensor de disolución de sal saturada y calentada. Como la sal normalmente utilizada es cloruro de litio, estos sensores se conocen también como sensores de punto de rocío de cloruro de litio saturado y calentado. El sensor consiste en un tubo de metal de paredes delgadas, cubierto de una mancha impregnada de una solución de cloruro de litio. Un hilo bifilar arrollado a la mecha impregna de su para calentar la disolución. Dentro del tubo se aloja un sensor de temperatura, en buen contacto térmico con el tubo, para permitir la lectura del punto de rocío. El sensor se calienta hasta que la presión del vapor de la disolución del LiCl están en equilibrio con presión de vapor del fluido (aire ambiental, por ejemplo) cuyo punto de rocío se quiere determinar. La resistencia de la disolución de sal es indicativa del punto que se consigue el equilibrio. La salida del sensor de temperatura se visualiza y relaciona con el correspondiente punto de rocío del vapor de agua.

1.3.5 Métodos remotos de sensores de humedad

Estos métodos implican la utilización de energías electromagnéticas dentro de las regiones del espectro de radiofrecuencias, infrarrojos o ultravioleta. Estos dispositivos emplean métodos tales que permiten la lectura de humedad de sólidos, líquidos o fases en términos volumétricos (porcentaje) o de relación de masas (partes por millón). Un dispositivo aplica energía de radiofrecuencia (RF) a una muestra y determina la humedad en términos de pérdida de energía, así el contenido de humedad se relaciona con una admitancia (impedancia) electromagnética.

Los dispositivos más comunes en la medición remota de la humedad son de naturaleza electroóptica. Su operatividad se basa en la parcial y selectiva absorción de radiación, debida al contenido de humedad, a una longitud de onda especificada. Estas longitudes de onda se localizan en el espectro de las regiones de los ultravioleta (UV) hasta los infrarrojos (IR) incluyendo la luz visible. En algún instrumento de laboratorio de investigación se llega a utilizar el rango de rayos gamma. Los sistemas comerciales utilizan básicamente el espectro de absorción de infrarrojos. En algunos, la absorción de IR se mide a una longitud de onda específica (características del H₂O) y sobre un volumen muestra el fluido a medir, así como sobre un volumen muestra de un fluido cuya humedad se conoce, comparándose las lecturas. Otro sistema aplica dos longitudes de onda específicas sobre el fluido a medir, comparando la atenuación (o emisor de energía IR sobre un fotodetector) en dos inclinaciones de la curva espectral de manera que uno se utiliza como referencia y el otro, significativo al cambio de absorción, como medida. Las bandas características de absorción del contenido de humedad pueden también observarse a frecuencias submilimétricas y así, equipos que miden estas frecuencias (radiómetros de microondas) se usan para determinar el contenido de humedad de la atmósfera de satélites, de manera remota también existen aplicaciones en los sensores comerciales.

1.4 Aplicaciones

La higrómetros tiene una amplia aplicación en la industria y laboratorios científicos. A continuación se da un breve resumen:

- La humedad afecta el confort humano, y la industria de acondicionamiento de aire en edificios esta en aumento constante. El grado de comodidad ambiental es una combinación de los valores de temperatura y humedad relativa, si esta es alta, aunque no haga calor el hombre se siente incomodo.
- En la industria textil, del papel, de la madera y de la piel, la medición y regulación automática de humedad es extremadamente útil. Si la humedad relativa sale fuera de ciertos límites, los tejidos, papel y madera cambia de dimensiones y se obtiene una producción imperfecta. En impresiones a varios colores, si se tarda cierto tiempo en superponerlos y cambia la humedad relativa, el resultado puede ser desastroso. La madera y la piel pueden deformarse, abrirse y cuartearse, por lo que el grado de secado debe desarrollarse siguiendo un programa controlado.

- En la industria alimentaria conviene conservar las frutas y verduras en ambientes fríos y relativamente húmedos para evitar que pierdan su frescor natural, y los huevos, si se conservan en ambiente demasiado seco pierden peso y, si es demasiado húmedo adquieren un desagradable sabor a humedad.
- En general, todo proceso industrial de secado necesita una medición de humedad y en muchas ocasiones la regulación automática de la misma. Existen sistemas [6] de medición continua del grado de secado de materiales pulverulentos, productos farmacéuticos, etc., tanto en procesos continuos como discontinuos, que usan algunos de los aparatos mencionados arriba para medir los parámetros del aire de entrada y salida del secador, y, operando con las señales generadas, determinan cuando el proceso de secado haya concluido. Estas técnicas pueden representar un aumento de producción por evitar tiempos innecesarios de procesado y un ahorro de energía ya que existe la tendencia a prolongar unnecessarymente el secado para estar seguros de procesar bien el material cuando no se dispone de medidores adecuados.
- En meteorología superficial y de las distintas capas atmosféricas, la humedad es una variable importante.
- El secado de gases comprimidos puros tales como aire, nitrógeno, argón, oxígeno, hidrógeno, helio, gas carbónico, etc., que se usan para procesos de tecnología avanzada como en fabricación de semiconductores, aplicaciones médicas, soldaduras especiales, protección de catalizadores, espectrometría, etc., exige la determinación de humedades absolutas en la región de pútes por millón, o puntos de rocío de -40°C a $+70^{\circ}\text{C}$.
- Finalmente, citaremos multitud de aplicaciones en la industria química, aire de alimentación de aparatos de medición y regulación automática, en la industria siderúrgica en el aire de inyección en los hornos altos (punto de rocío del orden de 40°C) y en los hornos de tratamiento con atmósfera controlada, etcétera.

1.5 Conceptos generales sobre la Temperatura

La temperatura juega un papel muy importante en la instrumentación electrónica, así que para medirla y poderla visualizar en un display el resultado de la medida, se obtiene un aparato muy útil para un gran número de aplicaciones, desde la medición de la temperatura ambiente, hasta la del cuerpo humano de una forma semejante a la de un termómetro clínico. También es muy utilizada en aplicaciones de automatización, donde se requiere un estricto control de la temperatura.

La humedad del aire tiene una relación muy estrecha con la temperatura, en la figura 1-3 se mostró que mediante la lectura de los estados de temperatura (bulbo húmedo y bulbo seco), es posible encontrar otros parámetros como lo es la humedad relativa del aire, utilizando el gráfico psicrométrico de la gráfica.

La temperatura es una propiedad de gran importancia en la Termodinámica y su valor puede obtenerse fácilmente por una medición indirecta con instrumentos calibrados. La temperatura de un sistema se determina poniendo un segundo cuerpo, un termómetro, en contacto con el y dejando que se alcance el equilibrio térmico. El valor de la temperatura se encuentra al medir alguna propiedad del termómetro que dependa de la temperatura. Tal propiedad se denomina propiedad *termométrica*. Algunas propiedades que se emplean en los dispositivos sensibles a la temperatura son:

1. Volumen de los gases
2. Presión de los gases a volumen constante
3. Resistencia eléctrica de los sólidos
4. Fuerza electromotriz de dos sólidos diferentes.
5. Intensidad de la radiación (para altas temperaturas)
6. Efectos magnéticos (para temperaturas extremadamente bajas)

Por medio de la observación experimental se ha encontrado que cuando dos sistemas están en equilibrio con un tercero, también lo estarán entre sí. Tal afirmación es un postulado termodinámico que se conoce como *ley cero* de la Termodinámica. Aunque es una aseveración de la experiencia común, no se puede derivar de otras leyes o definiciones.

Esta ley es importante en el campo de la termodinámica y en el establecimiento de las *escalas empíricas de temperatura*. En la práctica, el tercer sistema de la ley cero es un termómetro, se lleva a equilibrio térmico con un conjunto de estándares de temperatura y se calibra. Cierta tiempo después se lo equilibra con un sistema de temperatura desconocido y se determina su valor.

La *escala absoluta* de temperaturas que usan los científicos e ingenieros en el SI es la escala Kelvin. En 1954 se recomendó, en una conferencia internacional, que el valor de 273.16 se asignara al estado de referencia en el que coexisten en equilibrio térmico el agua en estado sólido, líquido y gaseoso en la escala Kelvin de temperatura. Se denomina punto triple de una sustancia a aquel en que coexiste en equilibrio las tres fases de ella. El punto triple del agua se localiza a 0.01 °K arriba del punto de congelación del agua, puesto que esta se congela a 273.15 °K. La escala de temperatura Celsius que anteriormente se llamaba escala centígrada, se relaciona con la escala Kelvin mediante la siguiente expresión:

$$T_C = T_K - 273.15 \quad (1.1)$$

En Estados Unidos hay otras dos escalas de temperatura de uso común, estas son las Rankine y la Fahrenheit. En la figura 1.5 se comparan las cuatro escalas de temperatura.

	°K	°C	°F	°R
Punto de ebullición del agua	373.15	100.00	671.67	212.00
Punto triple del agua, punto de congelación	273.16 273.15	0.01 0.00	491.69 491.67	32.02 32.00
Cero Absoluto	0.00	-273.15	0.00	-459.67

Figura 1.5. Comparación de las escalas de temperatura.

1.6 Medición de la temperatura

A continuación se presentan tres diferentes métodos para medir la temperatura.

1.6.1 Termómetro de resistencia

Los detectores resistencia-temperatura o termómetros de resistencia, emplean un elemento sensible de alambre de platino, cobre o níquel extremadamente puros que suministra un valor de resistencia definido para cada temperatura dentro de su rango. La relación entre temperatura y resistencia de conductores en el rango de temperaturas cerca de 0°C se puede calcular mediante la ecuación

$$R_t = R_{ref} (1 + \alpha \Delta t) \quad (1.2)$$

donde:

R_t = resistencia del conductor a la temperatura t (0°C)

R_{ref} = Resistencia a la temperatura de referencia, normalmente 0°C

α = Coeficiente de la temperatura de la resistencia

Δt = Diferencia entre la temperatura de referencia y la de operacion

Casi todos los conductores metálicos tienen un coeficiente de temperatura positivo de resistencia, de tal forma que su resistencia se aumenta con el incremento de la temperatura. Algunos materiales, tales como el carbón y el germanio, tienen un coeficiente de temperatura negativo de resistencia lo cual significa que la resistencia decrece con un incremento de temperatura, de tal forma que opere un cambio sustancial en la resistencia para cambios relativamente pequeños de la temperatura. Este cambio en la resistencia (ΔR) se puede medir con un puente de Wheatstone, el cual se puede calibrar para que indique la temperatura que causó el cambio de resistencia, en vez de señalar el cambio de resistencia mismo.

En la figura 1.6 se muestra la variación de la resistencia con la temperatura para varios materiales de uso común.

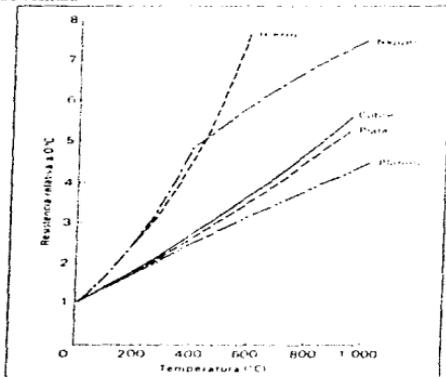


Figura 1.6. Resistencia relativa (R_t/R_{ref}) versus temperatura para algunos materiales puros

La grafica muestra que la resistencia del platino y del cobre aumentan casi linealmente con el incremento de la temperatura, mientras que la característica del niquel es decididamente no lineal.

El elemento sensor de un termómetro de resistencia se selecciona de acuerdo a la aplicación intendida. La Tabla 1.1 resume las características de los tres materiales más usados en la resistencia. El alambre de platino se usa para la mayoría del trabajo de laboratorio y para mediciones industriales de alta exactitud. El alambre de niquel y de cobre es menos costoso y fácil de manipular que los elementos con alambre de platino y se usan a menudo en aplicaciones industriales de bajo rango

Tabla 1.1
Elementos de los termómetros de resistencia

Tipo	Rango de operación	Exactitud	Ventajas	Desventajas
Platino	-300 °F a +1,500 °F	± 1°F	Bajo costo Alta estabilidad Amplio rango de operación	Respuesta en el tiempo relativamente baja (13 seg) No tan lineal como los termómetros de cobre.
Cobre	-225 °F a +250 °F	± 0.3 °F	Alta linealidad Alta exactitud en el rango de temperaturas ambiente Alta estabilidad	Rango de temperatura limitado (± 250 °F)
Níquel	-32 °F a +150 °F	± 0.3 °F	Largo vida Alta sensibilidad Alta coeficiente de temp	Más no lineal que el cobre Rango de temperatura limitado (± 150 °F)

1.6.2 Termopares

Una termopar consiste de un par de alambres de metales distintos unidos en un extremo (unión *sensora* o *caliente*) y terminados en el otro extremo (unión de *referencia* o *fría*) la cual se mantiene a una temperatura constante (temperatura de referencia). Cuando existe una diferencia de temperatura entre la unión sensora y la de referencia, se produce una fem que origina una corriente en el circuito. Cuando la unión de referencia se termina en un medidor o instrumento registrador, la indicación del medidor será proporcional a la *diferencia* de temperatura entre la unión caliente y la unión de referencia. Este efecto termoeléctrico, originado por los potenciales de contacto de la unión, se conoce como efecto *Seebeck*, debido al físico germano Thomas Seebeck.

La magnitud de la fem térmica depende del material usado en los alambres y en la diferencia de temperaturas entre las uniones. La figura 1.7 muestra las fem térmicas para algunos materiales en los termopares. Los valores se basan en una temperatura de referencia de 32 °F.

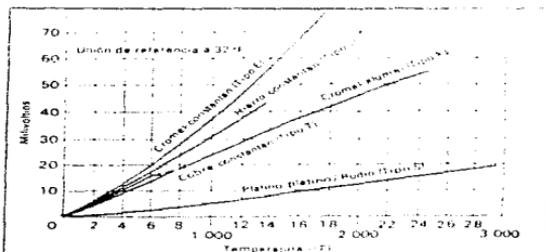


Figura 1.7. Voltaje de salida de un termopar como una función de la temperatura.

La medición de temperatura más simple utiliza un milivoltímetro muy sensible conectado en la unión fría de el termopar. La deflexión del medidor es, por consiguiente, casi directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre la unión caliente y la unión de referencia. Este simple instrumento tiene severas limitaciones principalmente porque el termopar tan solo puede suministrar una cantidad muy limitada de potencia para alimentar el movimiento del medidor.

1.6.3 Termistores

Los Termistores, o *resistencias térmicas*, son dispositivos semiconductores que se comportan como resistencias con un coeficiente de variación con la temperatura alto y normalmente negativo. En algunos casos, la resistencia de un termistor a la temperatura ambiente puede decrecer tanto como un 6 por ciento por cada 1 °C de elevación de la temperatura. Esta alta sensibilidad a los cambios de temperatura hace al termistor extremadamente conveniente para la *medición, control y compensación* precisa de la temperatura. Los termistores se usan ampliamente en tales aplicaciones, especialmente en el rango de bajas temperaturas de -100 °C a 300 °C.

Los termistores están compuestos de una mezcla sintética de óxido de metales, tales como el manganeso, níquel, cobalto, cobre, hierro y uranio. Su rango de resistencia está entre 0.5 a 75 M Ω y están disponibles en una amplia variedad de formas y tamaños. Los más pequeños cuentan con un diámetro de 0.15 mm a 1.25 mm.

Tres características de los termistores los hacen extremadamente útiles en las aplicaciones de medición y control: (a) la característica *resistencia-temperatura*, (b) la característica *voltage-corriente* y la característica *corriente-tiempo*.

Aun cuando los termistores son más conocidos por su función en la medición y control de la temperatura, ellos se pueden usar en otra gran variedad de aplicaciones.

El cambio relativamente grande de la resistencia del termistor por grado de cambio en la temperatura (llamado la *sensibilidad*) hace que se pueda elegir adecuadamente como transductor de temperatura. Un termistor tipo industrial típico con una resistencia de 2 000 Ω a 25 °C y un coeficiente de temperatura de 2.9 por ciento / °C exhibirá un cambio de resistencia de 78 Ω / °C de cambio de la temperatura. Cuando este termistor se conecta a un circuito serie simple que consiste de una batería y un microamperímetro, cualquier variación de la temperatura causará un cambio en la resistencia del termistor y por consiguiente en la corriente del circuito. El medidor se puede calibrar directamente en términos de temperatura y puede ser capaz de resolver variaciones de temperatura de hasta ± 0.1 °C.

Esta alta sensibilidad, junto con la resistencia del termistor relativamente alta que se puede seleccionar (por ejemplo, 100 k Ω), hace el termistor ideal para mediciones o control remoto, puesto que los cambios introducidos por las resistencias de contacto o de las líneas de transmisión debidos a los efectos de temperatura ambiente son despreciables.

Debido a que los termistores tienen un coeficiente de temperatura negativo-opuesto al coeficiente positivo de la mayoría de los conductores eléctricos y semiconductores — se emplean ampliamente para *compensar* los efectos de la temperatura tanto en los componentes como en la respuesta de los circuitos. Termistores tipo disco se usan a menudo cuando la máxima temperatura no excede de 125 °C. Un termistor seleccionado adecuadamente, montado sobre o cerca de un elemento del circuito tal como la bobina de cobre del medidor y experimentando los mismos cambios de la temperatura ambiente, se puede conectar en tal forma que la resistencia total del circuito sea constante sobre un amplio rango de temperaturas.

II DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS DEL SISTEMA

En este capítulo se analizan y diseñan las partes que conforman el sistema de medición de humedad relativa. Se indica a manera de diagrama a bloques las partes que lo constituyen y se procede a su desarrollo. El diseño está dividido en tres partes, la primera parte, comprende el diseño de los transductores de humedad y la temperatura, lo que corresponde a un diseño puramente analógico. La segunda parte trata con el diseño del sistema digital que corresponde a la adquisición de datos de las variables de interés y finalmente se tiene el módulo de salida donde se visualiza la humedad en %RH y la temperatura en °C.

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

En la Figura 2.1 se muestra el diagrama a bloques del sistema analógico-digital para medir la humedad relativa.

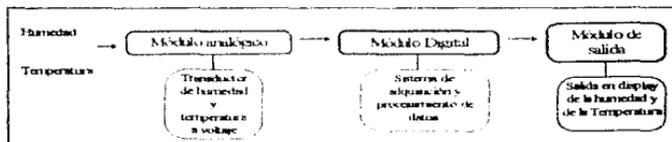


Figura 2.1. Sistema modular del Medidor de humedad relativa

Variables de entrada

Para medir la humedad relativa se utiliza el sensor PCRC-11 de PHYS-CHEM SCIENTIFIC CORP., el cual entrega un *resistencia* que varía con la humedad.

La humedad tiene cierta dependencia con la *temperatura*, por lo que es necesario medirla.

Módulo analógico

Primera mente la humedad y la temperatura es convertida a señal de voltaje por el módulo analógico. Este voltaje debe estar en el rango de 0 a 5 volts para que lo pueda utilizar adecuadamente la parte digital.

Además, se acondiciona la señal de voltaje obtenido para quitar señales indeseadas como ruido, voltaje de offset, etc., adecuando los niveles de las señales obtenidas para la siguiente etapa.

A continuación se muestran las características más importantes del sensor de humedad relativa. Las cuales son el punto de partida para el diseño del sistema.

Ventajas

- a) El rango de humedad relativa (RH) que puede medir el sensor va de 15 al 99%.
- b) Está construido de un sustrato de poliestireno que tiene una capa conductora sensitiva a la humedad.
- c) El principio de transducción es del tipo resistivo, lo cual hace que el sensor pueda estar localizado a cierta distancia del sistema que lo controla.
- d) Presenta alta estabilidad
- e) El fabricante menciona que la *meteorología e invernaderos* constituyen dos áreas recomendadas para aplicar el sensor
- f) Es extremadamente resistente ó rígido
- g) Tiene alta sensibilidad y precisión, presenta una tolerancia de $\pm 1\%$ de RH con respecto a la curva de calibración de la figura 2.2
- h) El sensor tiene un tiempo de respuesta de 30 segundos o mejor, para un cambio de 63% de RH
- i) La porción sensible del sensor se restringe a la superficie del mismo, el agua es adsorbida utilizando la **adsorción** en lugar de la absorción, produciendo mayor velocidad en su respuesta
- j) El sensor no depende del voltaje o de la corriente
- k) La resistencia que entrega el sensor está en función directa de la humedad relativa
- l) Tiene la ventaja de que se puede lavar para eliminar la suciedad en su superficie
- m) La temperatura límite del sensor es de 200 °F (93 °C) y la temperatura más baja que puede trabajar es de -60 °F (-51.1 °C)

Desventajas

Así como se tienen algunas ventajas al elegir este sensor, se tienen ciertas desventajas que hay que considerar:

- n) La resistencia del sensor varía **exponencialmente** sobre un amplio rango de 1K Ω a 20 M Ω (figura 2.2), por lo que hay que **localizar** esta respuesta
- o) Para **alimentar** el sensor el fabricante especifica que se requiere una señal de CA con **cero** componente de CD. Cualquier señal de offset o picos en el sensor podrían dañar o afectar sus características de operación
- p) La corriente instantánea por el sensor debe ser limitada a **1.0 mA**.
- q) La resistencia del sensor exhibe un coeficiente de temperatura negativo de aproximadamente 0.2% RH / °F ó **0.36%** RH por cada °C
- r) Presenta el fenómeno de **histéresis** que se manifiesta principalmente al **50 % de RH**.

- e) No debe ser expuesto a solventes orgánicos o cualquier compuesto químico que ataque el poliestireno.
- f) El sensor es particularmente susceptible a contaminación por gases y compuestos de azufre
- h) La contaminación del sensor con aceites o vapores de aceite provoca cambios en la medición, aumento en el tiempo de respuesta y detección.

De estas características, las más importantes para el diseño del sistema son:

- El sensor debe ser alimentado por una señal de A.C.
- La corriente máxima que acepta el sensor es de 1 mA
- No debe haber voltaje de offset que afecte su comportamiento
- Tiene una dependencia con la temperatura de 0.36 RH/°C
- El rango de temperaturas en que puede trabajar es de -51.1 a 93.3 °C.
- El máximo error que se pueden conseguir es de $\pm 1\%$ de RH
- La resistencia del sensor varía **exponencialmente**
- El rango de humedad relativa (RH) que puede medir el sensor va de 1.5 al 99%

Parámetros de diseño

De acuerdo a los puntos mencionados arriba, se pueden fijar los parámetros de diseño del sistema

- a) En el aire, la humedad puede variar de 0% a una temperatura de 32°C de aire seco y a 100%, a la misma temperatura, así, el sistema de medición debena trabajar en un rango de 0% al 100% de RH. Sin embargo, el sensor PUCR-11 tiene un rango de 1.5 al 99% de RH
- b) Para la aplicación del sistema se puede considerar una temperatura de trabajo de -10 a 50 °C. No obstante, el fabricante indica que hay otras áreas en donde se puede utilizar el sistema, como es en procesos industriales. De esta forma la temperatura de trabajo se extendera de -10 a 120°C
- c) El error máximo de RH no debe superar el $\pm 1\%$
- d) Que el usuario pueda visualizar el valor de humedad en tanto por ciento, así como, la temperatura en grados centígrados con una precisión de tres dígitos.

2.2.1 Transductor de humedad

Dadas las características del sensor a utilizar, el siguiente paso es diseñar los circuitos que acondicionan la señal entregada por el sensor. La primera característica que indica el fabricante es la de alimentar al sensor con una señal de A.C.

Alimentación de A.C.

Se pueden generar varios métodos para alimentar al sensor, como es utilizar el generador de funciones de EXAR o el oscilador CD4060. Ambos se pueden programar para que entreguen una señal alterna al sensor, cuidando de que esta no varie. El generador de funciones de EXAR, tiene el inconveniente de que utiliza varios elementos externos para su funcionamiento (resistencias, capacitores) y los cuales tienen una dependencia con la temperatura, lo cual lo hace inestable. El oscilador CD4060, no tiene muchos elementos conectados a su entrada por lo que se puede utilizar, solo que, tiene una salida con una componente de offset, y lo cual afecta al sensor de humedad (Se puede eliminar esta componente de offset utilizando varias técnicas, como es, inyectar un voltaje que reste el offset generado por el circuito, o utilizar un capacitor de acoplamiento a la salida).

En la figura 2.3 se muestra un diagrama general del circuito propuesto para alimentar al sensor con una señal alterna.

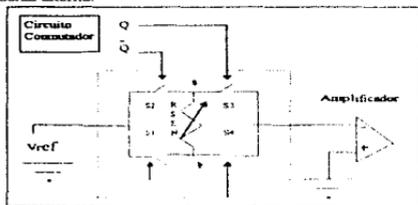


Figura 2.3 Circuito de A C que alimenta al sensor de humedad.

El funcionamiento general del circuito es el siguiente:

El voltaje de referencia genera una corriente que alimenta al sensor (R_{sen}), la cual fluye en un sólo sentido dependiendo de cuales interruptores estén activados (S1,S2,S3 y S4). Para activar los interruptores se utiliza un circuito conmutador, el cual activa los interruptores de tal forma que manteniendo el voltaje de referencia constante, solamente se cambia la dirección de la corriente que pasa por el sensor, con lo que se obtiene una señal de AC. Posteriormente se utiliza una etapa amplificadora para detectar los cambios de resistencia producidos por la humedad.

Voltaje de referencia (Vref) del transductor de humedad

La precisión del transductor requiere de un voltaje referencia constante, de tal forma que los cambios de temperatura no afecten de manera significativa la respuesta del sensor. En la figura 2.4 se muestra el circuito propuesto.



Figura 2.4 Voltaje de referencia que alimenta al sensor.

Debido a que el convertidor analógico-digital (modulo digital) requiere un voltaje de referencia de 5 volts, la primer parte del circuito se diseña teniendo esta consideración (V_{ref}). Para alimentar al sensor de humedad se requiere un voltaje de referencia negativo de 0.76, ya que en la etapa donde se amplifican los cambios de voltaje producidos por el arreglo de la figura 2.3, se utiliza un amplificador inversor (pag. 27).

El analisis del circuito es el siguiente:

El diodo zener y los componentes utilizados deben tener coeficientes térmicos pequeños. El diodo zener utilizado es el LM329DZ, cuyas características más importantes se muestran en el apéndice A.1.

La corriente de polarización del diodo zener está determinada por la ecuación (2.1)

$$I_{ref} = \frac{V_{pol} - 6.7}{R1} \quad (2.1)$$

Donde $V_{pol} = 12$ Volts

Para obtener un coeficiente térmico bajo y baja impedancia, se debe polarizar con una corriente de 1.2 mA, utilizando la ecuación anterior se encuentra que el valor de R1 es aproximadamente 4.5 K Ω .

El arreglo de resistencias formado por R2, R3, R4 y el potenciómetro Pr1 tiene la función de ajustar el voltaje de salida. La selección de las resistencias se basa en el siguiente análisis:

La variable k mostrada en la figura anterior indica la posición del cursor en el potenciómetro.

Para un valor de K=0 se tiene un valor máximo de voltaje $V_{out\max}$ a la salida (V_{out1}), ecuación (2.2).

$$V_{out\max} = \frac{M(N+1)}{M(N+1)+N} \cdot V_z \quad (2.2)$$

Para un valor de K=1 se tiene un valor mínimo de voltaje $V_{out\min}$ a la salida, ecuación (2.3)

$$V_{out\min} = \frac{MN}{M(N+1)+N} \cdot V_z \quad (2.3)$$

Los valores de M y N están expresados en función del voltaje de salida máximo y mínimo por las ecuaciones siguientes:

$$M = \frac{V_{out\min}}{V_z - V_{out\max}} \quad (2.4)$$

$$N = \frac{V_{out\min}}{V_z - V_{out\max}} \quad (2.5)$$

El valor de la resistencia del potenciómetro determina la posición del cursor en el mismo y así se obtiene el voltaje de salida deseado.

Resolviendo el nodo y:

$$\frac{V_z - V_y}{KB} + \frac{V_{out} - V_y}{N} = \frac{V_y}{(1-K)B} \quad (2.6)$$

Despejando el valor de B de la ecuación (2.6) se obtiene:

$$B = N \left(\frac{V_z - V_y}{V_{out} - V_y} \right) \left(\frac{1-K}{1-K} - \frac{V_z - V_y}{k} \right) \quad (2.7)$$

El valor del voltaje V_y debe ser igual a $V_z/2$ cuando el potenciómetro se encuentre aproximadamente a la mitad, utilizando las ecuaciones obtenidas y considerando los siguientes valores:

$$V_{out\max} = 5.4 \text{ Volts}$$

$$V_{out\min} = 4.6 \text{ Volts}$$

$$V_{out1} = 5 \text{ Volts}$$

$$V_z = 6.7 \text{ V}$$

$$R4 = 18 \text{ k}\Omega$$

Utilizando la ecuación (2.4)

$$M = 3.0666 \Rightarrow R2 = 54 \text{ k}\Omega$$

Utilizando la ecuación (2.5)

$$N = 5.75 \Rightarrow R3 = 103 \text{ k}\Omega$$

Utilizando la ecuación (2.7)

$$B = 3.066 \Rightarrow P11 = 54 \text{ k}\Omega$$

Si se utiliza los valores obtenidos el voltaje de salida V_{out} podrá variar de 4.6 V a 5.4 V, y se tendrá un voltaje de salida de 5 V, cuando el cursor del potenciómetro se encuentre muy próximo a la mitad.

El *amplificador operacional OP07* se eligió en este trabajo porque presenta un voltaje de offset muy bajo y corrientes de fuga bajas en comparación a otros operacionales (como el LM324), lo cual disminuye errores en la lectura (apéndice A.2, A.3).

El capacitor C1 es utilizado para filtrar ruido de alta frecuencia.

$$C1 = 2.2 \text{ nF}$$

El voltaje de salida V_{ref} está dado por el operacional en configuración inversora (figura 2.4), cuya salida de voltaje está dada por

$$V_{ref} = -R5 \frac{V_{out}}{P12} \quad (2.8)$$

Considerando un valor R5 de 2.2k Ω y el voltaje V_{out} en la ecuación (2.8), se encuentra que el valor de P12 para obtener una salida de -0.76V es:

$$P12 = 1.62 \text{ k}\Omega$$

De esta forma sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación (2.8), se obtiene el voltaje de referencia deseado:

$$V_{ref} = (-2.2 \text{ k}\Omega * 5V) / 1.6 \text{ k}\Omega = -0.76$$

Interruptores

Para realizar el cambio de corriente que alimenta al sensor se necesitan cuatro interruptores (figura 2.3), estos deben cumplir con las siguientes características: primero, la resistencia que presentan al paso de la corriente debe ser pequeña en un amplio rango de temperaturas, segundo, la corriente de fuga que presentan en el estado de apagado debe también ser pequeña (apéndice A.4, A5), de esta forma se minimizan errores.

Para este fin se utilizó el integrado DG211 de Silicom, el cual tiene integrado cuatro interruptores, y los cuales pueden ser activados con un voltaje bajo en alguna de sus terminales. Se pueden utilizar otros integrados como el CD4016, sin embargo, no cumplen con las características propuestas.

Circuito conmutador

El circuito encargado de activar los interruptores es el integrado CD4047, el cual se conforma como un multivibrador astable. Se eligió el integrado CD4047 porque no requiere muchos elementos externos para su funcionamiento, además, presenta un ciclo de trabajo del 50%, necesario para mantener un voltaje de offset nulo que alimente al sensor (figura 2.5).

En la figura 2.5 se muestra nuevamente el circuito de AC con la señal de voltaje que alimenta a los interruptores.

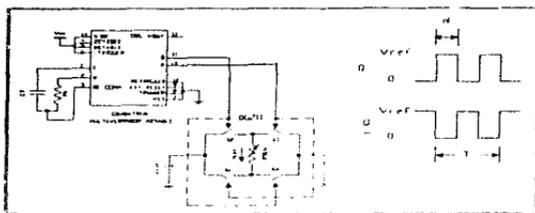


Figura 2.5 Voltaje que alimenta al sensor con un ciclo de trabajo del 50%.

El **ciclo de trabajo** se define como la razón de tiempo *encendido o alto (d)* del pulso al periodo *T* de una señal repetitiva. Esta razón se multiplica por 100 para expresarlo como un porcentaje. En forma matemática, se tiene

$$\text{Ciclo de trabajo } D = \frac{\text{tiempo alto } d}{\text{periodo } T} \times 100 \quad (2.9)$$

En nuestro caso *T* debe ser igual a $2d$ para que el ciclo de trabajo sea del 50%. Sustituyendo $T = 2d$ en la ecuación (2.9) se tiene

$$D = (d / 2d) \times 100 = 50\%$$

Frecuencia de oscilación

El fabricante especifica que el sensor puede ser alimentado en un rango de frecuencias de 20 a 1000 Hz, siempre y cuando se tomen en cuenta los efectos que esto puede producir a los elementos del circuito, a *bajas frecuencias*, la impedancia de varios elementos que bloquean la componente de DC (capacitores o transformadores) puede ser significativa, con *altas frecuencias*, el diseño debe considerar efectos capacitivos, tanto en el sensor como en los cables conectados al mismo. Se recomienda utilizar una señal senoidal, no obstante, se puede utilizar otra señal como la cuadrada o la triangular, siempre y cuando se evite distorsión en la otra etapa.

Debido a que en este circuito no se tiene componentes para desacoplar la señal de directa que afectara al sensor y dado que el fabricante da una serie de curvas normalizadas a 60 Hz, el sensor se hará trabajar aproximadamente a esta frecuencia, con lo que se consigue un adecuado funcionamiento.

La frecuencia de oscilación está dada por el arreglo resistencia-capacitor del multivibrador mostrado en la de la figura 2.5, mediante la siguiente ecuación que proporciona el fabricante

$$\text{Periodo } T_A = 4.40 \cdot R_6 \cdot C_2 \quad (\text{para oscilación libre})$$

La frecuencia se obtiene sacando el inverso del periodo:

$$F = 1 / (4.40 * R6 * C2) \quad (2.10)$$

Fijando la frecuencia en 60 Hz y el capacitor a 3.9 nF se puede obtener el valor de R6 en la ecuación anterior:

$$R6 = 1 / (4.4 * 3.9nF * 60) = 971 \text{ k}\Omega$$

En el diseño del sistema se utilizó una resistencia de 955 k Ω en lugar de 971, sin embargo, la frecuencia de trabajo tomando este valor es de 61Hz.

Conversión de DC a AC

Con los elementos que se tienen diseñados se puede analizar con más detalle, como es que se puede convertir una señal de directa a señal alterna. En seguida se explica como funciona el circuito de la figura 2.5 en detalle

El oscilador entrega un voltaje de 0 a 5 volts en dos de sus salidas etiquetadas como Q y Qn (negada), dependiendo de cual de estas salidas esta en alta o baja, se derivan dos casos.

Caso I

Q = baja y Qn = alta

Cuando se cumple esta condición se tiene lo siguiente: S2 y S4 están abiertos, pero S1 y S3 están cerrados (los interruptores se activan con voltaje bajo) con lo cual se tiene el siguiente esquema:

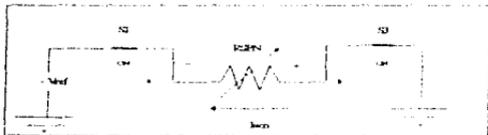


Figura 2.6 Q en baja y Qn en alto S1 y S3 están encendidos (on) , S2 y S4 están apagados(off)

La corriente fluye de "b" a "a", así, la polaridad que se tiene en los extremos "b" y "a" es la indicada en la figura 2.6, (+) y (-) respectivamente

Caso II

Q= alto y Qn = bajo

Cuando Q esta en alto y Q (negada) en bajo, los interruptores que se cierran son S2 y S4, los que se quedan abiertos son los interruptores S1 y S3, como se ve en la figura 2.7

Se observa que la polaridad de "a" cambia a (+) y la polaridad de "b" cambio a (-), es decir, la corriente eléctrica que pasa por el sensor es diferente al caso anterior, por lo que se concluye, que cuando están cambiando alternativamente "Q" y "Q (negada)" el sensor esta trabajando con una señal alterna

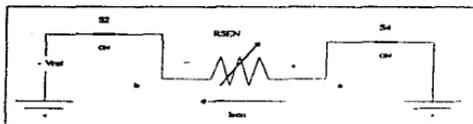


Figura 2.7. S1 y S3 están apagados (off), mientras que S2 y S4 están encendidos (on)

El voltaje final con el que trabaja el sensor de humedad es el que se muestra en la figura 2.8.

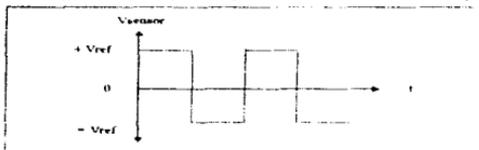


Figura 2.8 Voltaje alterno que pasa por el sensor de humedad

Conversión de resistencia a voltaje

El sensor entrega una resistencia que está en función de la humedad, la cual está en el orden de los 1000 a 20 M Ω . Para poder utilizar este cambio de resistencia en el sistema digital, se requiere convertirla a voltaje. Independientemente de la condición en que se encuentren los circuitos multiplexores (CD-4047) el circuito de conversión que se tendría, se presenta en la figura 2.9.

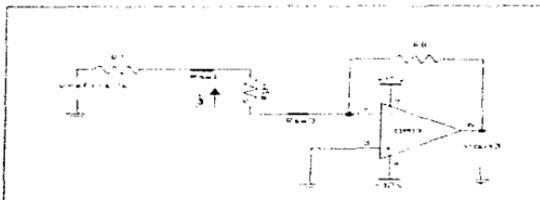


Figura 2.9 Circuito de conversión de resistencia a voltaje

Donde R_{sw1} y R_{sw3} es la resistencia del canal de los interruptores, R_{SEN} es la resistencia del sensor. R_7 se utiliza para limitar la corriente en el sensor y V_{ref} es el voltaje de referencia previamente obtenido.

Hay dos puntos que considerar en este circuito, primero, la corriente que alimente al sensor no debe ser mayor a 1mA y segundo, que los voltajes de salida del circuito sean adecuados para que la etapa que sigue lo pueda manejar convenientemente.

Limitación de corriente

Una de las características que indica el fabricante para que el sensor funcione adecuadamente es la de alimentar al sensor con una señal de corriente no mayor a 1 mA. La corriente que circula por el sensor de humedad en el circuito de la figura 2.9 está dada por la siguiente expresión.

$$I_{sen} = \frac{V_{ref}}{R_{sen} + R_{sw1} + R_{sw2} + R7} \quad (2.11)$$

El valor de R_{w1} y R_{w2} se obtiene de la gráfica del apéndice A.5, donde se muestra la resistencia de cada canal en un amplio rango de temperaturas, para el rango de -10 a 100°C la resistencia que presentan los interruptores es de 100Ω .

Por otra parte, la resistencia del sensor a cualquier condición de humedad está dada por la siguiente ecuación:

$$R_{sen} = c \cdot (1 / (ax + b)) \quad (2.12)$$

Donde:

R_{sen} = resistencia en ohms

x = %RH 15 a 99%

a = 8.67×10^{-4}

b = 5.79×10^{-2}

Considerando el rango de humedad del 15 al 100% de RH se encuentra que sustituyendo en la ecuación (2.12) la resistencia del sensor es de:

$$\text{Para } 100\%RH \Rightarrow R_{sen} = 1007.9 \Omega$$

$$\text{Para } 15\%RH \Rightarrow R_{sen} = 1.33 \text{ M}\Omega$$

El caso donde circula mayor corriente sucede cuando la humedad alcanza el 100%. Despejando $R7$ de la ecuación (2.11), considerando una corriente máxima de 1mA y sustituyendo valores se tiene:

$$R7 = \frac{V_{ref}}{I_{sen}} - R_{sw1} - R_{sw2} - R_{sen}$$

$$R7 = 6.76 / 1\text{mA} - 100\Omega - 100\Omega - 1007.9\Omega$$

$$R7 = 5.55 \text{ k}\Omega$$

Tomando un valor comercial de $R7 = 5.6 \text{ k}\Omega$, la corriente máxima que alimentará al sensor a 100%RH es de: $I_{sen} = 0.943 \text{ mA}$

Dado que el valor máximo de humedad relativa que alcanza el sensor es de 99% y debido a que la resistencia del sensor aumenta cuando disminuye la humedad relativa, la corriente por el sensor nunca alcanzará más de 1 mA.

Voltaje de salida Vout3 en función de la resistencia del sensor

Continuando con el análisis de la figura 2.9, para obtener el voltaje V_{out3} se tiene las siguientes relaciones:

$$I_{sen} = I_{R8} \quad (2.13)$$

I_{sen} está dada por la ecuación (2.11), la corriente que pasa por R8 es dada por la siguiente ecuación:

$$I_{R8} = V_{out3} / R8 \quad (2.14)$$

Sustituyendo las ecuaciones (2.14) en la ecuación (2.13) y posteriormente sustituyendo en la ecuación (2.11), se tiene resolviendo para V_{out3} :

$$V_{out3} = \frac{R8}{R_{sw1} + R_{sw2} + R7 + R_{sen}} \cdot V_{ref} \quad (2.15)$$

Se requiere que V_{out3} sea igual o menor a 5 Volts, ya que este voltaje alimentará al sistema digital de la siguiente etapa.

Despejando R8 de la ecuación anterior se obtiene:

$$R8 = \frac{V_{out3} (R_{sw1} + R_{sw2} + R7 + R_{sen})}{V_{ref}} \quad (2.16)$$

V_{out3} es máximo cuando R_{sen} es mínimo, sustituyendo los valores en la ecuación (2.16) considerando una salida máxima de 5 volts se tiene:

$$R8 = \frac{5 \cdot (100 + 100 + 1007)}{0.76} = 5.03 \text{ k}\Omega$$

Eligiendo un valor de $R8 = 4.7 \text{ k}\Omega$, el voltaje máximo a la salida de V_{out3} es de 4.667 Volts. De tal forma que el voltaje se mantiene por debajo de los 5 Volts.

Sin embargo, sustituyendo los valores para el caso en que $R_{H\%} = 15\%$, de la ecuación (2.15) el valor de V_{out3} es:

$$V_{out3} = \frac{4.7 \text{ k}\Omega}{100\Omega + 100\Omega + 5.0 \text{ k}\Omega + 1.3 \text{ M}\Omega} \cdot (-0.76) = 23.78 \text{ mV}$$

Este voltaje es muy pequeño para manejar una buena resolución, se requiere un voltaje mayor para recuperar valores bajos de humedad relativa.

Cambio de retroalimentación

En la figura 2.10 se muestra el circuito que realiza el cambio de retroalimentación para recuperar datos de humedad abajo del 30% (ver capítulo tres).

Nuevamente con la ayuda de los interruptores analógicos R_{sw5} y R_{sw6} del mismo integrado DG211 se cambia la resistencia de retroalimentación y con ello la ganancia. Estos interruptores son activados por el microcontrolador de la etapa digital, los cuales se conectan en paralelo para reducir la resistencia del canal y así se disminuyen errores.

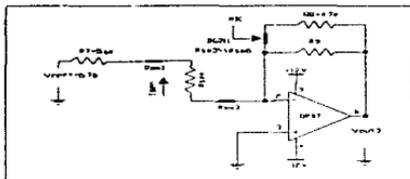


Figura 2.10. Cambio de retroalimentación

Quando los interruptores están cerrados el voltaje V_{out3} de la ecuación (2.15) cambia ligeramente por el arreglo de las resistencias en paralelo $R8$, $R9$ y las resistencias R_{sw5} y R_{sw6} (la resistencia total resultante de $R8$ con $R9$ se mantiene cerca de $4.7k$ obtenido previamente)

Para obtener la nueva ecuación para cuando hay cambio de retroalimentación, se analiza el circuito de la figura 2.10 de la siguiente forma

$$I_{sen} = IR_{f}^{+} = V_{out3} / R_f \quad (2.17)$$

Donde R_f es la resistencia total de retroalimentación dada por

$$R_f = (R_{sw5} // R_{sw6} + R8) // R9 \quad (2.18)$$

Sustituyendo la ecuación (2.18) en la ecuación (2.17) e igualando esta ecuación con la ecuación (2.11) se obtiene el voltaje de salida V_{out3}

$$\frac{V_{ref}}{R_{sen} + R_{sw1} + R_{sw2} + R7} = \frac{V_{out3}}{(R_{sw5} // R_{sw6} + R8) // R9}$$

Despejando V_{out3}

$$V_{out3} = \frac{[(R_{sw5} // R_{sw6} + R8) // R9] * V_{ref}}{R_{sen} + R_{sw1} + R_{sw2} + R7} \quad (2.19)$$

Con un valor de $R9$ de $100k$ se pueden recuperar datos de humedad abajo del 30%.

Sustituyendo los valores dados en la ecuación (2.19) para 15% de RH:

$$V_{out3} = \frac{[(100 // 100 + 4.7k) // 100k] * (0.70)}{1.33M + 100 + 100 + 5.6k} = 0.0229 \text{ V}$$

Para el 100% de RH:

$$V_{out3} = \frac{[(100 // 100 + 4.7k) // 100k] * (0.70)}{1007 + 100 + 100 + 5.6k} = 4.5 \text{ V}$$

Quando los interruptores R_{sw5} y R_{sw6} están abiertos la ecuación que se utiliza para obtener el voltaje de salida V_{out3} es la ecuación (2.15) previamente obtenida, solamente se sustituye la resistencia $R8$ por $R9$, por lo cual se tiene la ecuación

$$V_{out3} = \frac{R9}{R_{sw1} + R_{sw2} + R7 + R_{sen}} * V_{ref} \quad (2.20)$$

Sustituyendo en la ecuación anterior para el caso de que $R_9 = 100k$ en el rango del 15 al 100% de RH, se obtiene los siguientes resultados:

Para el 15 % de RH:

$$V_{out3} = - \frac{100k}{200 + 1.33M + 56k} \cdot (-0.76) = 0.506 \text{ V}$$

Para el 100% de RH

$$V_{out3} = - \frac{100k}{200 + 100k + 56k} \cdot (-0.76) = 99.3 \text{ V}$$

En la Tabla 2.1 se muestran un resumen de los resultados obtenidos

Tabla 2.1

RH	Rsen	Vout3 con retroalimentación. ecuación (2.19)	Vout3 sin retroalimentación. ecuación (2.20)
15%	1.2 MΩ	0.0229V	0.506V
100%	100kΩ	4.5 V	99.3 V

De esta forma se puede manejar todo el rango de 15 al 100% de RH sin que se pierdan valores de humedad abajo del 30%.

Cálculo de errores por corrientes de fuga

Un aspecto que hay que tomar en consideración, es el efecto producido por la temperatura en las corrientes de fuga de los interruptores. Dichas corrientes de fuga son afectadas por la temperatura, como se muestra en el apéndice A.5. Para determinar el error que se presenta por este efecto, consideraremos el circuito que se presenta en la figura 2.11, donde se dibuja las corrientes de fuga

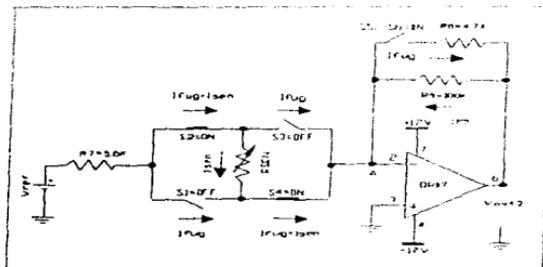


Figura 2.11. Error por corrientes de fuga sin cambio de retroalimentación.

Para hacer el análisis de error se tienen que considerar dos casos: cuando $R_f = 100k$ (sin retroalimentación) y cuando $R_f = 4.7k$ (con retroalimentación)

Para el primer caso los interruptores S_2 y S_4 están encendidos, mientras que los interruptores S_1 , S_3 , S_5 y S_6 están apagados (figura 2.11).

Obteniendo la suma de corrientes en el punto A se tiene

$$I_{fuga} + I_{sen} + I_{fug} + I_{R9} - I_{fug} = 0$$

$$I_{fuga} + I_{sen} + I_{R9} = 0 \quad (2.21)$$

Donde:

$$I_{sen} = I_{R9} = V_{out3}/R_9 \quad (2.22)$$

Sustituyendo la ecuación (2.21) y la ecuación (2.22) en la ecuación (2.21) se tiene:

$$I_{fuga} + V_{out3}/R_9 = (V_{ref} / (5.6k + 200 + R_{sen})) \cdot 0$$

Despejando V_{out3}

$$V_{out3} = -R_9 (V_{ref} / (5.6k + 200 + R_{sen}) - (I_{fuga} \cdot R_9)) \quad (2.23)$$

Si se compara la ecuación (2.20) con la ecuación (2.23) se puede apreciar que hay un pequeño error generado por la corriente de fuga y la resistencia del canal de los interruptores. Las corrientes de fuga a una temperatura de -10 a $+120^\circ C$ se obtienen de la gráfica del apéndice A.5, para este caso son:

$$I_{fuga} = 1nA \Rightarrow 10^\circ C$$

$$I_{fuga} = 10nA \Rightarrow 120^\circ C$$

Considerando la resistencia del canal a $120^\circ C$ y sustituyendo datos en la ecuación (2.23) para la humedad relativa del 15% se obtiene

$$R_{sw} = 1.50\Omega \text{ a } 120^\circ C$$

$$V_{out3} = -100k (-6.76 / (5.6k + 300 + 1.33M) - (10nA \cdot 100k))$$

$$V_{out3} = 0.505 V$$

Calculando el error para el punto seco (15 % de RH)

$$\text{Error} = \left| \frac{0.506 - 0.505}{0.506} \right| \cdot 100 = 0.197 \%$$

$$\text{Error} = 0.197 \%$$

El error está por debajo del 1% que se fijó como límite.

Para el caso en que hay retroalimentación se tiene el circuito de la figura 2.12, en el que los interruptores que realizan el cambio de retroalimentación se conectan en paralelo para que haya menos error en el valor de salida.

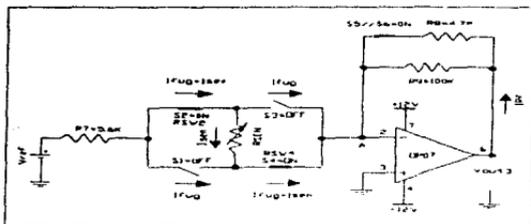


Figura 2.12. Error por corrientes de fuga considerando cambio de retroalimentación.

Nuevamente para el punto A se tiene la suma de corrientes

$$Ifug + Isen + Ifug + IRf = 0$$

$$2*Ifug + Isen + IRf = 0$$

Sustituyendo por sus voltajes la ecuación anterior

$$2*Ifug + (Vref / (5.6k + 2*Rsw + Rsen)) + Vout3/Rf = 0$$

Donde Rf esta dada por la ecuacion (2.18)

Despejando Vout3

$$Vout3 = - (Vref / (5.6k + 2*Rsw + Rsen)) Rf - 2*Ifug*Rf \quad (2.24)$$

Evaluando Rf y sustituyendo valores para en el caso más crítico de temperatura en la ecuación (2.24) se tiene

$$Ifug = 10nA \text{ y } Rsw = 150\Omega \Rightarrow 120\%$$

$$Rf = (150/150 + 4.7k) = 100k = 4.55k\Omega$$

$$Vout3 = - (-6.76 / (5.6k + 2*150 + Rsen)) * 4.55k\Omega - 2*10nA*4.55k\Omega$$

Considerando para el caso húmedo, o sea 100% de RH, tenemos:

$$Vout3 = - (-6.76 / (5.6k + 2*150 + 1.007k)) * 4.55k\Omega - 2*10nA*4.55k\Omega$$

$$Vout3 = 4.46V - 0.091mV = 4.46$$

El porcentaje de error que se tiene para este caso es

$$\text{Error} = \left| \frac{4.5V - 4.46V}{4.5V} \right| * 100 = 0.88\% < 1\%$$

El error que se tiene es menor al 1% que se fijo como limite.

Filtro y limitador de voltaje

Cuando los interruptores conmutan, se genera una señal de voltaje alterno sobrepuesta a la señal de salida del Transductor de Humedad. Para eliminar dicha señal se coloca un filtro paso bajas como se muestra en la figura 2 13. En la figura tambien se muestra el circuito que protege al sistema digital para que la señal de salida entregada por el transductor nunca alcance mas de 5V.

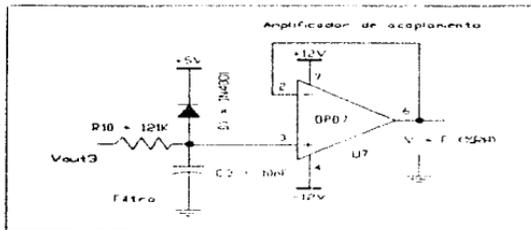


Figura 2 13. Filtro paso bajas y circuito para mantener un voltaje de 5V máximo a la salida del Transductor de Humedad

La frecuencia de corte se calcula con la siguiente ecuación,

$$F_c = 1 / (2\pi * R_{10} * C_3) \quad (2.25)$$

Fijando el capacitor a 10nF para una frecuencia de corte de 100 Hz se elimina la señal de generada por los interruptores. Despejando R10 de la ecuación anterior

$$R_{10} = 1 / (2\pi * F_c * C_3) = 1 / (2\pi * 100 * 10nF) = 159 K$$

Existen dos problemas al utilizar el filtro paso bajas

- Primero, se genera un pequeño retardo del asentamiento de la señal dado por la constante de tiempo del filtro, lo cual provoca que el voltaje tarde cierto tiempo para que llegue a su valor final. Esto se tiene que tomar en cuenta principalmente en el cambio de retroalimentación, ya que el microcontrolador puede tomar una lectura errónea si la señal en este punto de transición no llega a su valor final (capítulo III)
- Segundo, no hay un adecuado acoplamiento de impedancias con la siguiente etapa, por lo que hay que acoplar el circuito después de filtrar la señal

Para acoplar la impedancia con la siguiente etapa se utiliza un amplificador seguidor (figura 2 13), el cual es el mismo que se ha venido usando (OP07)

Finalmente, se limita el voltaje máximo a la salida del operacional a 5 volts con el arreglo mostrado en la misma figura 2 13, para que el microcontrolador no se dañe. El diodo entra en funcionamiento cuando se excede el voltaje de 5 volts, lo cual hace que se refleje el voltaje que está en el cátodo del diodo, limitando el voltaje a 5 Volts máximo

2.2.2 Transductor de Temperatura

Sensor de Temperatura

Para seleccionar adecuadamente el sensor de temperatura se debe considerar el área de aplicación a la que va a trabajar el sensor de humedad, por ejemplo, si el rango de temperaturas a la que trabajaría el sensor fuera en el rango de 20 a 40 °C, el error que se conseguiría al no compensar contra temperatura sería de $\pm 4\%$ RH, por consiguiente no sería necesario poner un sensor de temperatura. Por otra parte, si la aplicación es para condiciones industriales que van de -10 a +120 °C, sí requiere necesariamente sensar la temperatura.

Para el presente trabajo el efecto producido por la temperatura se debe considerar debido a que el sensor de humedad relativa tiene una dependencia a la temperatura de $-0.36\%RH/^{\circ}C$ ($-0.2\%RH/^{\circ}F$), por lo que es importante medirla para poder compensar de una forma esta variación y obtener una salida de humedad relativa más exacta.

En el mercado existen una variedad de sensores que se pueden utilizar para medir la temperatura, tanto terminales o terminales de estado sólido pueden ser usados, por ejemplo, se puede utilizar el sensor LNJ81763 modelo 410 de Yellow Springs Instrument Co. Inc, el cual es capaz de sensar temperaturas de -15 a 100 °C con una exactitud de 0.1 °C a una temperatura de 0 y 70 °C. Además es de tipo resistivo, por lo que se puede colocar cerca del sensor de humedad. Sin embargo, la respuesta que entrega no es lineal, con lo que se tiene que linealizar esta respuesta para ser utilizado convenientemente. Otro sensor que se puede utilizar es el LM35 el cual es un sensor de precisión y que viene en un circuito integrado, y cuya salida de voltaje es lineal en proporción a la temperatura centígrada. Tiene la ventaja de que la señal que entrega está en función directa a la escala Celsius, a diferencia de otros integrados que están en función de otras escalas. Este sensor puede medir temperaturas en el rango de -55 a 150 °C con una precisión igual o menos de $\pm 0.75^{\circ}C$.

El sensor de temperatura que se utiliza en el presente trabajo es el LM335Z, que es capaz de sensar la temperatura en *forma lineal* en un amplio rango de temperaturas de -40 a 120 °C con una exactitud menor al 1% °C. El único inconveniente es de que la temperatura que entrega está en función de la escala Kelvin y no en función de la escala Celsius, pero este problema se puede resolver utilizando un circuito adicional.

Acondicionamiento de la señal

Para realizar en forma adecuada la compensación de temperatura por el sistema digital, se requiere que el voltaje de salida entregado por el transductor de temperatura este en función de la escala centígrada y sea positivo. El siguiente análisis muestra como es posible obtener el voltaje de salida en función de la temperatura en grados centígrados, considerando el sensor LM335Z.

El sensor LM335Z entrega un voltaje de 10mV por cada grado Kelvin cuando se conecta como muestra la figura 2.14. Así, una temperatura de 273°K se obtiene un voltaje de 2.73 volts, para una temperatura de 298°K (25°C) se tiene un voltaje de 2.98 volts y así sucesivamente.

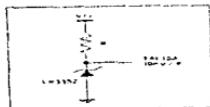


Figura 2.14 Circuito que entrega un voltaje de 10 mV / °K.

Para realizar el proceso de conversión entre las dos escalas, consideremos la ecuación que convierte de grados Centígrados a grados Kelvin:

$$T^{\circ}\text{K} = T^{\circ}\text{C} + 273 \quad (2.26)$$

Con esta ecuación se puede convertir cualquier temperatura en grados centígrados a grados Kelvin. Así, por ejemplo, para convertir 25 °C a su equivalente °K simplemente se substituye este valor en la ecuación anterior:

$$T^{\circ}\text{K} = 25^{\circ}\text{C} + 273 = 298^{\circ}\text{K}$$

Considerando el proceso inverso, es decir, para convertir de grados Kelvin a Centígrados se utiliza la ecuación (2.27).

$$T^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 \quad (2.27)$$

De esta forma en la Tabla 2.2 se muestran un pequeño rango de valores de temperatura, que va de -10, 0 y 10 °C con su correspondiente valor en grados Kelvin. También se da el voltaje de salida dado por el sensor de temperatura (VTGK).

Tabla 2.2

T°C	T°K	VTGK	VTGC (-2.73V)
-10	263	2.63V	-0.1V
0	273	2.73V	0V
10	283	2.83V	0.1V

Si se observa en la Tabla anterior, para obtener un voltaje de cero volts (VTGC) a la temperatura de 0°C, solo hay que restar 2.73 volts al voltaje obtenido por el sensor (VTGK). De esta forma es posible obtener un voltaje de salida del transductor referido a la escala centígrada.

Para comprobar que hay una variación de 10mv por cada grado centígrado, tomemos dos puntos de la Tabla 2.2 y apliquemosle la ecuación de la pendiente:

$$m = (0.1\text{V} - 0\text{V}) / (10^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}) = 10\text{mv} / ^{\circ}\text{C}$$

Sin embargo, existe otro problema que hay que corregir, a temperatura de -10 grados el voltaje obtenido es de -0.1V, con lo cual un sistema digital o el microcontrolador que se va a utilizar no lo puede manejar (El microcontrolador solo acepta señales positivas que están en el rango de 0 a 5 Volts), de esta forma es necesario hacer un escalamiento de los voltajes negativos a positivos.

Así, si se restara 2.63 volts en vez de 2.73 volts a todo el rango de voltajes entregados por el sensor, se lograría obtener un escalamiento de los voltajes negativos a positivos (ver columna 4 - Tabla 2.3).

Tabla 2.3

T°C	T°K	VTGK	VTGC (-2.63V)
-10	263	2.63V	0V
0	273	2.73V	0.1V
10	283	2.83V	0.2V

Los voltajes de salida que se obtendrán para todo el rango de temperaturas se muestran resumidos en la siguiente gráfica:

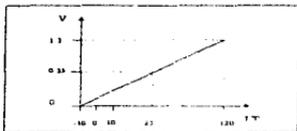


Figura 2.15 Escalamiento de voltaje negativos a positivos

Diseño de los elementos del Transductor de Temperatura

Con el análisis anterior es posible diseñar los elementos que se requieren para convertir los datos entregados por el sensor en grados Kelvin a su correspondiente grados Centígrados. En la figura 2.16 se muestra un diagrama a bloques de los elementos que constituyen el Transductor de Temperatura.

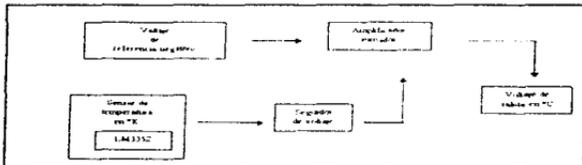


Figura 2.16 Diagrama a bloques del Transductor de Temperatura

El diagrama a bloques muestra los elementos necesarios para medir la temperatura en grados Centígrados, de acuerdo a lo discutido anteriormente. Así, se requiere de un voltaje de -2.63V para que al sumarlo con el voltaje dado por el sensor se obtenga la salida deseada.

Voltaje de referencia negativo

Para obtener el voltaje negativo de 2.63V que se requiere para realizar el escalamiento de voltajes de negativos a positivos, se plantea el siguiente circuito:

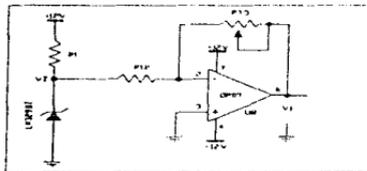


Figura 2.17. Circuito que genera un voltaje de -2.63V .

Se utiliza el mismo voltaje de referencia de 6.77 dado por el integrado LM329DZ del circuito de transductor de humedad. Este voltaje pasa por un amplificador inversor que atenúa el voltaje de entrada a 2.63 V, como muestra el siguiente análisis:

El voltaje de salida para el circuito de la figura 2.17 está dado por la ecuación.

$$V_1 = -(P_{T3} / R_{12}) * V_z \quad (2.28)$$

Considerando el voltaje de salida de -2.63 que se requiere, y un valor de 10k para R12, se tiene resolviendo para P_{T3}:

$$P_{T3} = V_1 * R_{12} / V_z \quad (2.29)$$

$$P_{T3} = 2.63 * 10k / 6.77 = 3.88k$$

Se utiliza un potenciómetro de precisión para obtener 3.88k.

Voltaje de salida del sensor de temperatura

En la figura 2.18 se muestra el circuito que entrega un voltaje en función de la temperatura en grados Kelvin, dado por el fabricante

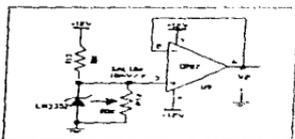


Figura 2.18. Circuito que entrega un voltaje en función de la temperatura en grados Kelvin.

En la figura se muestra el mismo circuito de la figura 2.14, sin embargo, a éste se le agrega un amplificado seguidor de voltaje para desacoplar la salida producida por el sensor

Amplificador sumador

Para realizar la suma del voltaje negativo y el voltaje entregado por el sensor se utiliza el circuito sumador de la figura 2.19. El voltaje de salida esta en función de la escala Celsius a cualquier temperatura de -10 a 120°C.

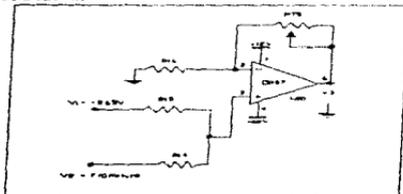


Figura 2.19. Sumador no inversor

El análisis del circuito es el siguiente:

Para el amplificador sumador se cumple que el voltaje de entrada en la terminal negativa es igual al voltaje en la terminal positiva.

$$V_+ = V_- \quad (2.30)$$

El voltaje en la entrada inversora refrendo a tierra está dado por el divisor de voltaje:

$$V_- = (V_3 * R_{16}) / (R_{16} + P_{T5}) \quad (2.31)$$

El voltaje en la entrada no inversora se puede obtener haciendo uso del teorema de superposición, cuando hay varias fuentes que alimentan un circuito lineal, la respuesta total se puede determinar hallando la respuesta individual de cada fuente por separado, posteriormente se suman algebraicamente estas respuestas individuales. De esta forma se tiene que el voltaje en la entrada no inversora está en función de los voltajes individuales "V1" y "V2".

$$V_+ = R(V_1, V_2) \quad (2.32)$$

Donde $V_1 = -2.63 \text{ V}$ y $V_2 = R(T/K)$

Haciendo $V_2 = 0$ se tiene

$$V_1 = (R_{14} * V_1) / (R_{14} + R_{15}) \quad (2.33)$$

V_2 se obtiene haciendo ahora $V_1 = 0$

$$V_2 = (R_{15} * V_2) / (R_{14} + R_{15}) \quad (2.34)$$

El voltaje en V_+ es la suma de V_1 mas V_2

$$V_+ = (R_{14} * V_1) / (R_{14} + R_{15}) + (R_{15} * V_2) / (R_{14} + R_{15}) \quad (2.35)$$

Sustituyendo la ecuación anterior y la ecuación (2.31) en la ecuación (2.30) se tiene:

$$(R_{14} * V_1) / (R_{14} + R_{15}) + (R_{15} * V_2) / (R_{14} + R_{15}) = (V_3 * R_{16}) / (R_{16} + P_{T5})$$

Considerando $R_{14} = R_{15} = R_{16} = 1.5 \text{ K}\Omega$, sustituyendo y haciendo operaciones de simplificación se obtiene la ecuación final

$$V_3 = [(1.5K + P_{T5}) / 2 * (1.5K)] * (V_2 + V_1) \quad (2.36)$$

El valor de P_{T5} se elige de tal forma que se obtenga un voltaje de salida de 5 volts máximo para el caso en que la temperatura sea máxima

Utilizando la ecuación (2.26), sabiendo que el sensor varía $10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$, el voltaje en V_2 a una temperatura de 120°C máxima es de

$$V_2 = 3.93 \text{ V}$$

Sustituyendo este valor y resolviendo para P_{T5} en la ecuación (2.36):

$$5 = [(1.5k + P_{T5}) / 2(1.5K)] * (3.93 - 2.63)$$

$$P_{T5} = 10.056k\Omega$$

De esta forma se consigue un valor máximo de 5 volts a la salida del transductor de temperatura:

$$V3 = [(1.5k + 10.056k) / 2 * (1.5k)] * [3.93 - 2.63] = 5 \text{ V}$$

En la Tabla 2.4 se dan los voltajes generados por el sensor en grados Kelvin como los voltajes finales en función de la escala centígrada para todo el rango de temperaturas

T °C	T °K	VT °K (Volts)	VT °K - 2.63	Av= 3.846
-10	263	2.63	0	0
0	273	2.73	0.1	0.3846
10	283	2.83	0.2	0.7692
20	293	2.93	0.3	1.1538
25	298	2.98	0.35	1.3461
30	303	3.03	0.4	1.5384
40	313	3.13	0.5	1.923
45	318	3.18	0.55	2.1153
50	323	3.23	0.6	2.3076
60	333	3.33	0.7	2.6922
70	343	3.43	0.8	3.0768
80	353	3.53	0.9	3.4614
90	363	3.63	1.0	3.846
100	373	3.73	1.1	4.2306
110	383	3.83	1.2	4.6152
120	393	3.93	1.3	4.9998

Tabla 2.4. Comportamiento de los datos del Transductor de Temperatura

En la Tabla 2.4 se puede apreciar que el voltaje de salida obtenido al restar 2.63 V al voltaje entregado por el sensor, ha sido amplificado al utilizar un valor de Prs = 10.056k Ω , esta ganancia (3.846) hace que los datos de temperatura tengan una mayor resolución al ser utilizados por el sistema digital.

En la figura 2.20 se muestran los datos de salida final dado por el Transductor de Temperatura.

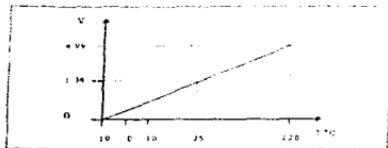


Figura 2.20 Gráfica que muestra los voltajes de salida en función de la Temperatura dado por el Transductor

2.2.3 SISTEMA DIGITAL

En la figura 2.21 se muestra la arquitectura del sistema digital utilizada para este trabajo. La cual muestra los principales elementos utilizados en el presente trabajo, como es, el microcontrolador S80C552, la memoria EPROM 27C64A, el Latch SN74HC373 y el display de cristal líquido AND671.

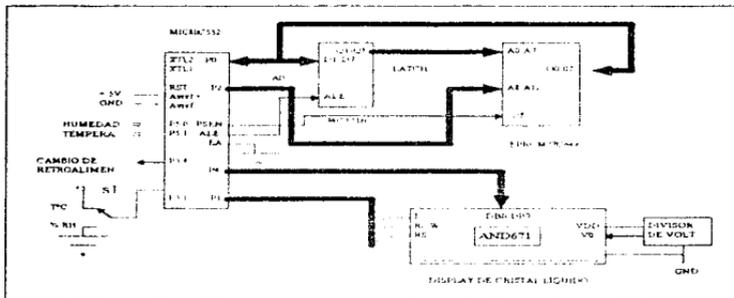


Figura 2.21. Arquitectura del sistema digital

A continuación mencionaremos cada elemento con el que está conformado el sistema digital

Microcontrolador S80C552

El uso constante de microprocesadores se ha extendido mucho en el campo de la instrumentación, ya que poseen una arquitectura muy poderosa que los hacen idóneos para este tipo de aplicaciones, y de otras más, como es el control automático de sistemas. Sin embargo, la capacidad de comunicación con el mundo externo está muy restringida. Para este propósito ellos requieren numerosos componentes externos, como lo son interfaces serie/paralelo, interfaces analógico-digital, contadores externo, etcétera.

Afortunadamente con el desarrollo de la electrónica, se han podido incorporar en un simple integrado más circuitos, y de esta forma, ya se cuenta con circuitos más poderosos como los *microcontroladores*.

Dicho lo anterior, se optó por utilizar un *microcontrolador* en lugar de un *microprocesador*. El microcontrolador 80C552 cumple con ciertas características que lo hacen muy poderoso para aplicaciones de instrumentación, las cuales se mencionan a continuación:

- Es un microcontrolador de 8 bits, fabricado con la más alta tecnología CMOS.
- La unidad de procesamiento central es el microprocesador 80C51.
- Tiene una memoria volátil de 256 x 8 de datos de escritura/lectura.
- Puede manejar una memoria ROM externa de 64k x 8.
- Dos temporizadores estándar de 16 bits.

- 256 x 8 RAM expandible externamente a 64k bytes
- Tiene un convertidor analógico-digital de 10 bits, con 8 entradas analógicas multiplexadas.
- Cinco puertos de entrada y salida de 8 bits mas un puerto de entradas analógicas de 8 bits
- Rango extendido de temperaturas
- Puede usarse para aplicaciones en tiempo real

La principal ventaja que se observa al elegir este microcontrolador es que posee un convertidor analógico digital de 10 bits ya integrado, el cual puede ser activado por el microcontrolador, programando su vector de interrupciones cuando se requiera. De igual forma otra ventaja que se presenta, es que se pueden seleccionar 8 entradas analógicas conectadas al microcontrolador, la selección o multiplexaje de las señales de entrada se hace programando uno de los registros internos del mismo. De esta forma se ahorra elementos adicionales externos que a diferencia de los microprocesadores si los requieren.

Multiplexaje de las señales de entrada

Los voltajes de salida de los transistores de temperatura y humedad relativa, son enviados al microcontrolador y recibidos por éste en el puerto 51 P50 y P51 respectivamente. El voltaje máximo que puede recibir el puerto es de 5.2 Volts.

El microcontrolador posee un registro interno ADCON que al ser programado manda la instrucción para multiplexar la variable de entrada y de esta forma se puede hacer la selección de las dos variables.

Conversión Analógica-Digital

Para realizar la conversión analógica digital es necesario activar el vector de interrupción IE0, que le indica al microcontrolador que se va hacer la conversión. El inicio y el resultado de la de la conversión A/D se hace programando dos de los registros internos del microcontrolador ADCON y ADX11.

El tipo de convertidor A/D que utiliza el microcontrolador es del tipo de *aproximaciones sucesivas* y tiene una resolución de 10 bits. La conversión Analógica-Digital se efectúa tomando los datos en el rango de 0 - 5 Volts, ya que los datos de entrada están acondicionados a que manejen este rango (Vin max. = 5 Volts), de acuerdo a la ecuación:

$$\text{Resultado} = 1024 \times \left(\frac{V_{in} - AV_{ref-}}{AV_{ref+} - AV_{ref-}} \right) \quad (2-37)$$

Donde AVref+ y AVref- son las terminales que alimentan al convertidor A/D y fijan el voltaje de entrada a convertir. Para el presente trabajo AVref+ se fija a 5V y AVref- a tierra. Sustituyendo estos valores en la ecuación anterior se tiene:

$$\text{Resultado} = 1024 \times \left(\frac{V_{in} - 0}{5 - 0} \right) = 1024$$

de este resultado se desprende que la resolución del convertidor A/D es de

$$5 / 1024 = 4.88 \text{ mV}$$

Organización de la memoria

Dado que el microcontrolador incorpora como procesador central al 8051 el mapa de memorias es el mismo que se utiliza para este integrado.

Todos los dispositivos 80C51 tienen espacios separados de memoria para datos y programa, como se muestra en la figura 2.22. La separación lógica de datos de memoria y de programa permite que los datos sean accedidos por direcciones de 8-bits, los cuales pueden ser rápidamente almacenados y manipulados por el microcontrolador. Sin embargo, el direccionamiento y manipulación de 16 bits pueden ser generados a través del registro DPTR.

El programa de memoria (ROM, EPROM) solamente puede ser leído y no escrito. Se puede manejar 64K bytes de datos del programa. Para seleccionar el programa de memoria externo se utiliza la terminal PSEN del microcontrolador.

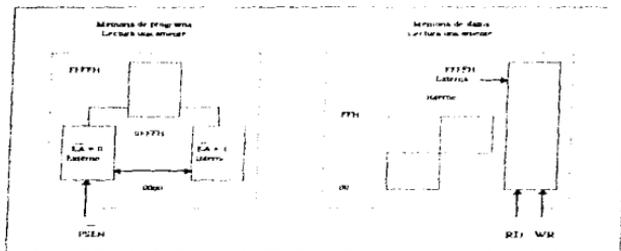


Figura 2.22 Estructura de la memoria.

En la figura 2.23 se muestra el mapa de la parte mas baja de la memoria del programa. Después de restablecer, la CPU comienza a ejecutar las instrucciones que se encuentran a partir de la localidad 0000H. Como muestra la figura 2.23, cada interrupcion es asignada a una localidad fija dentro de la memoria del programa. La interrupcion causa que la CPU salte a la localidad donde comenzará a ejecutarse el servicio de rutina.

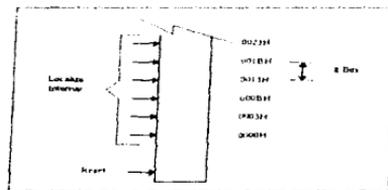


Figura 2.23 Memoria del programa.

En el diagrama de la figura 2.21 la terminal EA está a tierra porque solamente se utiliza una memoria ROM externa y todo el ciclo de busqueda se efectúa en esta memoria.

La parte derecha de la figura 2.22 muestra la memoria de datos interna y externa disponible en el microcontrolador. En la figura 2.21 se observa que el sistema no utiliza memoria RAM externa para manipulacion de datos, debido a que no es necesario y sólo se utiliza la memoria interna.

El mapa de la memoria interna se muestra en la figura 2.24.a. Este mapa se encuentra dividido en tres bloques, los cuales son referidos como la parte baja, parte alta y el espacio para registros especiales de funciones.

El direccionamiento de la memoria de datos es siempre de un byte, lo cual implica un espacio de direccionamiento de 256 bytes. Sin embargo, los modos de direccionamiento para la RAM interna pueden de hecho acomodar 364 bytes, utilizando un simple truco. Utilizando el modo de direccionamiento directo se pueden acceder una parte de la memoria y utilizando direccionamiento indirecto la otra parte.

Así la figura 2.24.a muestra los 128 de la parte superior y el espacio de registros especiales ocupando el mismo bloque de direcciones, R0H a FFH, sin embargo son entidades físicamente separadas.

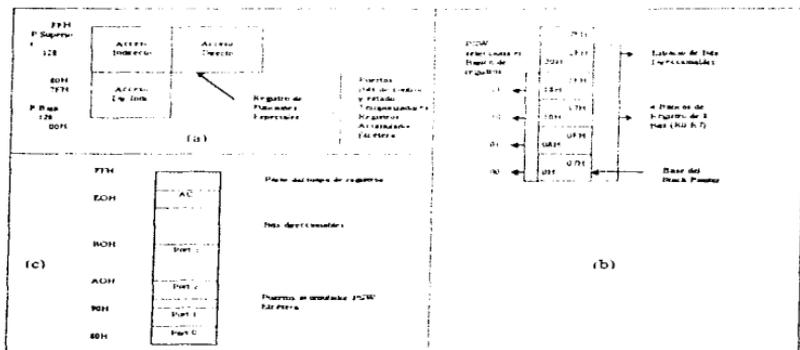


Figura 2.24 Memoria de datos interna

Los 128 bytes de la RAM están presentes en todos los 8051 y su mapa se muestra en la figura 2.24 b.

Los 32 bytes más bajos están agrupados en 4 bancos de 8 registros. Algunas instrucciones del programa pueden llamar estos registros como R0, R1 a R7. Dos bits del PSW seleccionan cual banco de registro es usado.

Después de los siguientes 16 bytes arriba del banco de registros, está un bloque en espacio de memoria de bits-direccionables, que pueden ser programados individualmente.

Finalmente, en la figura 2.24 c se da un breve vistazo al Registro de funciones especiales (SFR). SFRs incluyen los puertos, control de periféricos, temporizadores-timers, etc. Estos registros únicamente pueden ser seleccionados por direccionamiento directo.

El programa general utiliza el espacio de datos del programa para efectuar todos los cálculos necesarios sin recurrir a una memoria RAM externa.

Para almacenar el programa que realiza todas las instrucciones se utiliza una memoria EPROM 27C64A, la cual se puede borrar y reprogramar varias veces. La capacidad de esta memoria es de 8K x 8 y es de suficiente capacidad para lo que requiere el programa. Para almacenar la Tabla de valores lineales se utiliza la misma memoria EPROM, ya que los datos no superan los 2K.

Se utiliza el puerto cero y el puerto dos del microcontrolador para realizar el direccionamiento de los datos dentro de la ROM, el bus del puerto cero pasa por un Latch que al ser activado por PSEN del microcontrolador, activa la parte alta del direccionamiento de la misma. El direccionamiento de la parte baja de la memoria ROM se hace con el puerto 2 del microcontrolador y debido a su estructura interna no es necesario poner un Latch.

Terminales de control

En el capítulo II se discutió que era necesario realizar un cambio de retroalimentación a fin de recuperar datos de humedad bajo. Este cambio lo realiza el microcontrolador enviando una señal de nivel bajo a la terminal de control del los interruptores DS211 (En la sección 3.1 se efectúa el análisis para el cual el microcontrolador debe o no activa los interruptores)

Si se quiere la lectura de humedad o temperatura en el display, se manda un "1" o un "0" por medio del interruptor S1 (figura 2.21), el cual pone la terminal P3.1 en un nivel alto o bajo para desplegar una de las dos variables.

2.2.4 Display de cristal Líquido AND671

Los datos de salida, de humedad como de temperatura, son desplegados programando el display AND671, que es de 16 x 1, es decir, puede desplegar 16 caracteres en una línea. Este módulo puede desplegar 160 caracteres alfanuméricos, numéricos, símbolos, etc. Se alimenta con bajo voltaje +5V y tiene un consumo de potencia bajo (de unos 10 mW). El formato de los caracteres es de 5 X 7 con cursor de una línea y es de alto contraste.

El diagrama a bloques del AND671 es el siguiente

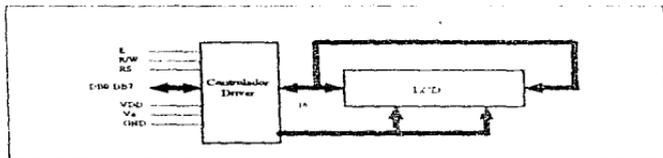


Figura 2.26 Diagrama a bloques del display AND671

Las señales E, R/W y RS son de control, DB0-DB7 es el bus de datos, y V_o es la señal de voltaje para ajustar el contraste y compensar por temperatura. El circuito que se utiliza para ajustar el contraste es el que se muestra en la figura 2.27

El puerto 1 utiliza 3 de sus terminales para controlar el display de cristal líquido y el puerto 4 es el bus que manda datos e instrucciones al display. Para controlar el contraste se utiliza un divisor de voltaje que alimenta al display.

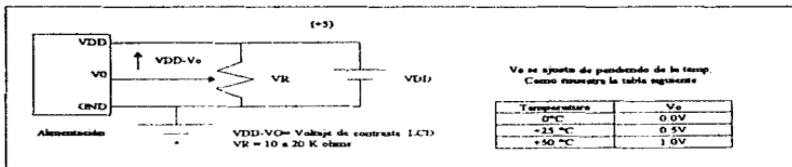


Figura 2.27. Fuente de alimentación para ajustar el contraste del display.

Funciones de los registros

En seguida se dan las diferentes funciones que tienen los registro internos del display

1. Registro de datos y registro de instrucciones

El controlador que viene integrado en el LCD tiene dos registros de 8 bits, un registro de instrucciones (IR) y un registro de datos (DR). El registro IR almacena los códigos de instrucciones tales como limpiar display, correr cursor, etc. almacena información del apuntador de la RAM de datos del display (DD RAM) y de la RAM generadora de caracteres (CG RAM).

El registro IR puede ser escrito por la CPU pero no puede ser leído.

El DR guarda temporalmente los datos a ser escritos en la DD RAM o la CG RAM como operación interna. También se utiliza el DR para almacenar datos cuando se lee de la DD RAM o la CG RAM. Cuando se escribe la dirección IR, el dato es transferido internamente de la DD RAM hacia DR. Entonces el CPU lee DR y la transferencia de datos se completa.

La señal RS (Register Selector) selecciona alguno de estos dos registros.

Tabla 2.5 Selección de Registros

RS	R/W	Operación
0	0	Se escribe a IR operaciones internas (limpia display, etc.)
0	1	Lectura de Busy Flag (DB7) y el contador de direcciones (DB0 a DB6)
1	0	Se escribe a DR como operación interna (DR \Rightarrow DD o CG RAM)
1	1	DR se lee como operación interna (DD o CG RAM \Rightarrow DR)

2. Busy Flag (BF)

Cuando la bandera de ocupado es "1", el módulo LCD está en modo de operación de interna, y no acepta instrucciones externas en este momento. Esta bandera es mostrada en DB7 cuando RS = 0 y R/W = 1. Para enviar una instrucción primero se debe verificar que la bandera sea "0".

3. Contador de dirección (AC)

El contador de dirección (AC) asigna las direcciones de la RAM DD y CG. Cuando se escribe en IR una instrucción para direccionar, la información es enviada de IR a AC.

La selección de la RAM DD ó CG se determina por una instrucción previa. Después de haber escrito (o leído) la RAM DD ó CG, el contador AC se incrementa automáticamente en uno (o decrementa). La dirección de AC está en DB6 a DB0 cuando Rs=0 y R/W=1.

4. RAM de datos del display

La RAM de datos del display (DD RAM) almacena los datos del display representados en códigos de 8 bits.

Comandos

El código de comandos se refiere a las instrucciones por medio de las cuales el módulo LCD es accionado por la CPU, el módulo LCD inicia una operación cuando recibe un código de entrada.

El módulo LCD realiza sus operaciones a un tiempo diferente (más lento) del ciclo del CPU. Por lo cual se debe revisar el estado de la bandera de ocupado (Busy Flag), hasta que esta sea "0".

Cuando la bandera de ocupado está en "1" el módulo LCD no ejecuta otro comando a excepción de la lectura de la bandera misma. Por esta razón la CPU debe verificar que ésta sea "0" para poder enviar el comando siguiente.

Los comandos están divididos en:

- Comandos que designan las funciones del módulo como formato del display, tamaño de los datos, etcétera.
- Comandos que dan direcciones de la RAM interna.
- Comandos que afectan la transferencia de datos en la RAM interna.
- Otros comandos.

A continuación se explican los diferentes comandos, los cuales se representan en la Tabla 2 ó

Tabla 2 ó Lista de comandos.

NO	Comando	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	Limpia display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Mandar a inicio	0	0	1	0	0	0	0	0	0	X
3	Establecer modo	0	0	0	0	0	0	0	0	1	MD
4	Control de cursor	0	0	0	0	0	0	1	0	0	C
5	Desplazamiento	0	0	0	0	0	1	00	ML	0	X
6	Establecer funciones	0	0	0	0	0	1	DL	0	0	X
7	Pasar la dirección de la RAM DD	0	0	0	1	A	A	A	A	A	A
8	Pasar la dirección de la RAM CG	0	0	0	1	A	A	A	A	A	A
9	Lee la bandera BF y dirección	0	1	0	0	A	A	A	A	A	A
10	Transferir datos a (RAMCG-RAMDD)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Lee datos de (RAMCG-RAMDD)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

1.- Limpia display

Este comando escribe un "20" (Hexadecimal) en todas las direcciones de la RAM DD, lo que limpia el display. El cursor regresa a la dirección 0.

2.- Mandar a inicio

Regresa el cursor a la posición "1" y regresa el cursor a la posición original si fue desplazado. El contenido de la RAM DD permanece sin cambio.

3- Establecer modo

I/D: Cuando se escribe o se lee un caracter de la RAM DD, incrementa (I/D=1) o decrementa (I/D=0) la dirección de la RAM DD. El cursor se mueve a la derecha cuando I/D=1, y a la izquierda cuando I/D=0.

S: Desplazar el display entero a la derecha (cuando I/D=0, S=1) o a la izquierda (cuando I/D=1, S=1), cuando se escribe en la RAM DD. Cuando se lee de la RAM DD, el display no se desplaza.

4- Control de encendido/apagado (on/off)

D: Enciende el display (D=1) o lo apaga (D=0). Cuando se apaga el display los datos de la RAM DD permanecen y pueden ser desplegados inmediatamente poniendo D=1.

C: El cursor es desplegado cuando C=1 y no desplegado cuando C=0. Aun si el cursor desaparece, la función de I/D no cambia. El cursor es mostrado en la octava línea cuando se seleccionan caracteres de 5x7 puntos.

B: El carácter en la posición del cursor parpadea cuando B=1. El parpadeo es hecho cambiando entre todos los puntos negros y caracteres desplegados en un intervalo de 0.4 segundos.

5- Desplazamientos

Desplaza la posición del cursor o la posición del display a la izquierda o a la derecha, sin escribir datos, de acuerdo a la siguiente tabla:

B/C	R/L	FUNCIÓN
0	0	Desplaza la posición del cursor a la izquierda. (AC se decrementa por uno).
0	1	Desplaza la posición del cursor a la derecha. (AC se incrementa por uno).
1	0	Desplaza todo el display a la izquierda. El cursor sigue el movimiento.
1	1	Desplaza todo el display a la derecha. El cursor sigue el movimiento.

6- Establecer funciones

DL: Establece el tamaño del bus de datos. Los datos son enviados o recibidos en 8 bits (DB7 a DB0) cuando DL=1 y en 4 bits (DB7 a DB3) cuando DL=0. Cuando se selecciona el tamaño de 4 bits, las instrucciones y datos deben ser enviados en dos pasos (parte alta y parte baja).

N: Establece el número de líneas. Una línea (N=0) y dos líneas (N=1).

F: Establece el tamaño de los caracteres. Caracteres de 5x7 puntos (F=0) y de 5x10 puntos (F=1).

7- Establecer la dirección de la RAM CG

Establece la dirección de I a RAM CG a un número binario AAAAAA (Actualiza el apuntador). Después de esta instrucción, todos los datos del CPU son escritos y leídos de la RAM CG.

8- Establecer la dirección de la RAM DD

Establece la dirección de la RAM DD a un número binario An A A A A A (An=0 para la primera línea, An=1 para la segunda línea). Después de esta instrucción los datos del CPU son escritos y leídos de la RAM DD.

9.- Leer la bandera de ocupado y dirección

Lee la bandera de ocupado y el valor del contador de dirección. BF=1 indica que se está efectuando una operación interna. BF=0 indica que el display está listo para recibir un nuevo comando o dato.

10.- Escribir datos a la RAM CG ó a la RAM DD.

Escribe un dato de 8 bits a la RAM CG ó a la RAM DD, dependiendo de cual se seleccionó en un paso anterior.

11.- Leer datos de la RAM CG ó de la RAM DD

Lee un dato de la RAM CG ó de la RAM DD, dependiendo de la selección hecha con anterioridad

Círculo eléctrico

Para el manejo del display se emplea la configuración de la figura 2.21. Con esta configuración es posible controlar el display en forma directa con el microprocesador, solo si se verifica constantemente el estado de la bandera (BF=0) para poder realizar cualquier operación con el mismo.

Transferencia de datos

Para controlar y mandar datos al display se utilizó el puerto 4 (envía datos) y parte del puerto 1 (para operaciones de control). En este caso se utilizó una palabra de 8 bits para enviar datos, el programa principal tiene que considerar cuando se deben mandar o recibir estos datos de acuerdo al diagrama de la figura 2.28.

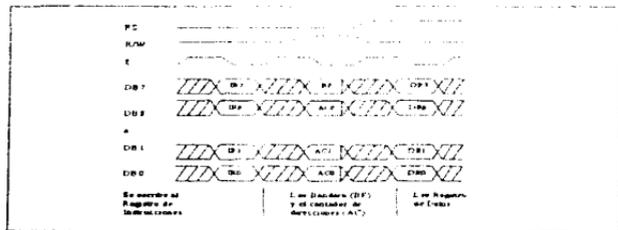


Figura 2.28 Transferencia de datos de 8 bits.

Como se aprecia en el diagrama, cualquier acción que se quiera efectuar sucede siempre y cuando E pase de un nivel alto a un nivel bajo. De esta forma, no es necesario sincronizar el microcontrolador con el display, ya que con sólo indicar al P1.2 puse de un nivel alto a bajo en el programa principal se logra efectuar cualquier operación.

Ya se tiene el diseño del sistema analógico que procesa las variables de interés, solo falta diseñar el o los programas que pueda manipular y procesar estas variables. En el capítulo III se da el desarrollo de los programas utilizados para este fin.

CAPITULO III DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS PARA EL SISTEMA

Como se ha observado en los capítulos anteriores, uno de los problemas principales en el desarrollo del presente trabajo es la no linealidad del sensor de humedad. En este capítulo se describe el proceso de linealizar la respuesta del sensor, mediante la búsqueda de valores lineales integrados en una tabla generados a partir de un lenguaje de alto nivel de programación. También se hace un análisis del programa ensamblador diseñado para realizar la conversión analógica-digital, el multiplexaje de las señales de entrada, el cambio de retroalimentación, la búsqueda de los valores lineales, la compensación contra temperatura y finalmente la programación del *display*.

3.1 Linealización de la respuesta exponencial del sensor

Este método consiste en generar una serie de valores que tengan un comportamiento lineal en función del voltaje de entrada dado por el transductor de humedad, y almacenarlos en una tabla (ROM). Así, cuando se tiene un valor de entrada no lineal, se busca su correspondiente valor real o lineal en la tabla.

En el capítulo II se hizo un análisis para realizar la conversión de resistencia a voltaje en el rango de 15 al 100% de RH, se obtuvieron 2 ecuaciones para llevar cualquier cambio de resistencia del sensor a un cambio voltaje de salida de 0 a 5 Volts como máximo (ecuación (2.19) y (2.20)). Bien, en la Tabla 3.1 y 3.3 se da el rango de voltajes obtenidos mediante un programa (el cual se explicará más adelante) y que está en función de estas ecuaciones. De igual forma, se da el equivalente binario para cada nivel de voltaje considerando un convertidor de 10 bits, por medio del siguiente análisis:

En general, para un convertidor el número de etapas o niveles está dado por $2^n - 1$, que en este caso es de:

$$2^{10} - 1 = 1023 \text{ pasos.}$$

Los voltajes de entrada al convertidor están en el rango de 0 - 5 volts obtenidos previamente, de esta forma, la ecuación que define el número binario para cada valor de voltaje de entrada está dada por:

$$5 / 1023 = V_{out3} / EB \quad (3.1)$$

Donde EB es el número binario que corresponde a cada voltaje V_{out3}

En la columna seis de la Tabla 3.1 se dan los voltajes finales en el rango de 0-10 volts y su respectivo valor binario final que corresponde a la respuesta lineal deseada (figura 1.1). Este rango de voltajes es conveniente, si se requiere posteriormente convertir nuevamente los datos digitales a analógicos para controlar un proceso de control, además de que facilita la lectura de la humedad porque hay una relación proporcional con la humedad relativa: es decir, para 100% se tiene 10 volts, para 30% se tiene 3.0 volts, etcétera.

La ecuación que define el valor binario final para cada voltaje deseado es,

$$10 \text{ volts} / 1023 \text{ div.} = VF / EBF \quad (3.2)$$

Donde EBF corresponde al valor binario final por cada valor de voltaje deseado.

%RH	RS	Volt3	EB	HEX1	VF	EBF	RH%-F	EBFRIE X
100	1007.903	4.502697	921	399	10 0	1023	100	3PF
98	1096.157	4.443076	909	38D	9.8	1003	98	1EB
96	1184.598	4.382516	897	38E	9.6	982	96	306
94	1304.668	4.314619	883	373	9.4	962	94	3C2
92	1428.047	4.240971	868	364	9.2	941	92	JAD
90	1566.701	4.161149	851	353	9.0	921	90	399
88	1721.939	4.074729	834	342	8.8	904	88	384
86	1899.478	3.981101	815	32F	8.6	880	86	370
84	2099.533	3.880475	794	21A	8.4	859	84	333
82	2326.914	3.771904	772	304	8.2	839	82	347
80	2586.175	3.655302	748	28C	8.0	818	80	332
78	2887.684	3.530468	722	27B	7.8	798	78	31E
76	3222.993	3.387314	695	207	7.6	777	76	309
74	3614.923	3.255888	666	29A	7.4	757	74	2F3
72	4067.948	3.106415	636	27C	7.2	737	72	2E1
70	4593.576	2.949316	603	26B	7.0	716	70	2D0
68	5205.863	2.785327	570	23A	6.8	696	68	248
66	5922.042	2.615068	535	217	6.6	675	66	24J
64	6763.359	2.439948	499	1F3	6.4	655	64	28E
62	7756.137	2.261299	463	1C6	6.2	634	62	27A
60	8933.161	2.080608	426	1AA	6.0	614	60	266
58	10335.51	1.89782	389	185	5.8	593	58	251
56	12014.92	1.720649	352	160	5.6	573	56	23D
54	14037.06	1.545286	316	13C	5.4	552	54	228
52	16483.66	1.375501	281	119	5.2	532	52	214
50	19468.3	1.213138	248	F8	5.0	512	50	200
48	23124.21	1.059802	217	D9	4.8	491	46	1ER
46	27634.78	0.9168279	188	DC	4.6	471	44	1D7
44	33238.39	0.782255	161	A1	4.4	450	42	1C2
42	40250.57	0.6656581	136	8E	4.2	430	40	1AE
40	49092.86	0.5584322	114	72	4.0	409	40	199
38	60332.27	0.462511	95	5F	3.8	389	38	185
36	74444.67	0.38058	78	4F	3.6	368	36	170
34	93388.98	0.3090	63	3F	3.4	348	34	15C
32	117740.8	0.24812	51	33	3.2	327	32	147
30	149871	0.19649	40	28	3.0	307	30	133
28	192777.7	0.15447	32	20	2.8	285	28	11E
26	250575.6	0.119589	24	18	2.6	266	26	10A
24	329452.9	0.0914	19	13	2.4	246	24	P6
22	438624.8	0.06889	14	10	2.2	225	22	9
20	591728.4	0.0513	10	A	2.0	205	20	CB
18	809628.7	0.0375	8	A	1.8	184	18	184
16	1124681	0.02711	6	6	1.6	164	16	A4
14	1587965	0.01952	4	4	1.4	143	14	BE
12	2281698	0.0134	3	3	1.2	123	12	7B
10	3341004	0.00915	2	2	1.0	102	10	66
8	4992911	0.00613	1	1	0.8	82	8	52
6	7628184	0.00401	1	1	0.6	61	6	3D
4	1138104	0.00256	1	1	0.4	41	4	29
2	191784	0.00159	0	0	0.2	20	2	14
0	31.674	0.00096	0	0	0	0	0	0

Tabla 3.1 Comportamiento de los datos del Transductor de Humedad Relativa, con de Rf = 47K Ω .

Con lo voltajes de la Tabla 3.1 se hace un análisis del comportamiento de los ruidos, cuando se maneja un convertidor de 10 bits con una señal de escala completa de 5 Volts. El resultado se observa en la Tabla 3.2

%RH	RS	Vout3	AV	# DIV.	Δ %RH
100	1007 903	4 302697			
98	1096 137	4 443076	0 03762	11 789	0 16964
96	1194 398	4 382516	0 06235	12 799	0 13623
94	1304 668	4 314619	0 06789	11 891	0 14397
92	1428 047	4 240971	0 07164	13 068	0 13272
90	1566 701	4 161149	0 07922	16 331	0 12246
88	1722 939	4 074729	0 08641	17 681	0 11311
86	1899 478	3 981301	0 09342	19 115	0 10462
84	2099 533	3 880475	0 10082	20 628	0 09665
82	2326 914	3 771904	0 10857	22 211	0 09003
80	2586 175	3 655302	0 116601	23 856	0 08383
78	2882 684	3 530468	0 12483	25 541	0 07810
76	3222 993	3 387314	0 13315	27 243	0 07341
74	3614 925	3 251888	0 14142	28 935	0 06911
72	4067 948	3 106413	0 14947	30 582	0 06539
70	4591 376	2 949316	0 15709	32 142	0 06223
68	5203 865	2 783237	0 16440	33 570	0 05957
66	5922 042	2 615068	0 17018	34 816	0 05744
64	6763 339	2 439948	0 17531	35 829	0 05581
62	7736 117	2 261259	0 17968	36 359	0 05470
60	8933 161	2 080608	0 18065	36 961	0 05411
58	10333 31	1 899782	0 18082	36 997	0 05405
56	12014 92	1 720699	0 17909	36 642	0 05438
54	14037 06	1 543286	0 17540	35 887	0 05729
52	16485 66	1 375301	0 1697854	34 738	0 05737
50	19468 3	1 213338	0 162362	33 219	0 06205
48	23124 21	1 059807	0 15333	31 372	0 06373
46	27614 78	0 9168279	0 14297	29 925	0 06837
44	33238 19	0 782233	0 13160	26 925	0 07427
42	40250 17	0 6636381	0 11956	24 463	0 08173
40	49092 86	0 5584322	0 10722	21 938	0 09116
38	60313 27	0 46731	0 09491	19 4195	0 10029

Tabla 3.2. Discretización de los voltajes de entrada con un convertidor de 10 bits y con retroalimentación de $R_f=4.7K\Omega$ (continua)

%RH	RS	Vout3	ΔV	# DIV.	ΔRH
38	60333.27	0.46451	0.08293	16.968	0.11786
36	74744.67	0.38058	0.07153	14.636	0.1366
34	93388.98	0.3090	0.06917	12.463	0.16046
32	117740.8	0.24812	0.05121	10.478	0.19087
30	149877	0.19069	0.04250	8.696	0.22998
28	192721.7	0.13447	0.03482	7.124	0.28072
26	250325.6	0.119589	0.028154	5.760	0.34719
24	329452.9	0.0914	0.02460	4.595	0.4332
22	438624.8	0.0689	0.01767	3.613	0.5331
20	591728.4	0.0513	0.01370	2.804	0.7130
18	809628.7	0.0375	0.01047	2.143	0.9330
16	1124681	0.02711	0.00789	1.612	1.2401
14	1587965	0.0192	0.005833	1.193	1.6798
12	2281698	0.0134	0.004241	0.897	2.1046
10	3341004	0.00915	0.003026	0.639	2.8295
8	4992911	0.00613	0.002116	0.433	4.6176
6	7628164	0.00411	0.00144	0.296	6.7475
4	1119334	0.00256	0.0009683	0.1981	10.0946
2	191774	0.00159	0.0006109	0.127	15.493
0	31674	0.00096			

Tabla 3.2. Analisis considerando una discretizacion de 10 bits y con retroalimentación de $R_f=4.7k\Omega$

En la tabla se indica con ΔV la diferencia de voltajes de entrada para intervalos de 2%RH de acuerdo al siguiente análisis:

El número de divisiones que hay en cada intervalo está dado por

$$\# \text{ DIV.} \approx \Delta V / \text{Discretización} \quad (3.3)$$

Donde la discretización esta dada por la siguiente ecuación,

$$\text{Discretización} = 5 / 1023 \approx 4.88mV / \text{División (o etapa)} \quad (3.3')$$

Con esto se puede calcular el incremento de humedad relativa para cada intervalo de valores como sigue:

$$\Delta RH \approx \Delta \%RH / \text{Divisiones} \approx 2\%RH / \text{divisiones} \quad (3.4)$$

El $\Delta\%RH$ es constante a 2% RH porque el fabricante especifica este incremento.

El valor de ΔRH indica si la discretización alcanzada con un convertidor de 10 bits es aceptable o no. Si se fija como parámetro de diseño que haya incremento de %RH del 0.2% como máximo, se asegura un buen funcionamiento del sistema.

El mismo análisis se aplica para el caso cuando no hay retroalimentación (Tabla 3.3 y 3.4)

%RH	RS	Vout3	EB	HEX1	VF	EBF	RF%F	EBFRHE	X
100	1007.905	99.29633	20316	4F5C	10.0	1023	100	JFP	
98	1096.137	98.02561	20056	4E58	9.8	1003	98	JEB	
96	1194.398	96.64601	19774	4D3F	9.6	982	96	J96	
94	1304.668	95.14877	19467	4C30	9.4	963	94	J94	
92	1428.047	94.52457	19145	4ABF	9.2	941	92	JAD	
90	1566.701	94.76428	18775	4957	9.0	921	90	J99	
89	1722.939	89.8525	18185	37E1	8.8	900	88	J84	
86	1899.478	87.75916	17964	462C	8.6	880	86	J70	
84	2099.218	85.57468	17599	4465	8.4	859	84	J33B	
82	2326.914	83.1804	17019	427B	8.2	839	82	J47	
80	2586.175	80.60903	16494	406D	8.0	818	80	J32	
78	2882.884	77.85612	15925	3F39	7.8	798	78	J1E	
76	3222.981	74.91971	15329	3B81	7.6	777	76	J99	
74	3614.925	71.8009	14696	3962	7.4	757	74	J93	
72	4067.948	68.50462	14016	36C0	7.2	737	72	J2E1	
70	4593.576	65.04018	13307	34B3	7.0	716	70	J2CC	
68	5205.865	61.42181	12567	3177	6.8	696	68	J258	
66	5922.042	57.66913	11799	2E17	6.6	675	66	J2A3	
64	6763.359	53.80727	11009	2401	6.4	655	64	J2BF	
62	7756.137	49.86673	10203	21D8	6.2	634	62	J27A	
60	8933.161	45.88289	9388	24AA	6.0	614	60	J266	
58	10335.51	41.89518	8572	217E	5.8	593	58	J251	
56	12014.92	37.94572	7764	1E54	5.6	573	56	J24D	
54	14037.06	34.07763	6972	1B3C	5.4	552	54	J228	
52	16485.66	30.33441	6206	183F	5.2	532	52	J214	
50	19468.3	26.75288	5474	1562	5.0	512	50	J200	
48	23124.21	23.37142	4782	12AE	4.8	491	48	J193	
46	27634.78	20.21847	4137	1029	4.6	471	46	J197	
44	33238.19	17.31629	3541	0E27	4.4	450	44	J182	
42	40250.57	14.67951	3009	0BDF	4.2	430	42	J1AE	
40	49092.86	12.3149	2520	09D8	4.0	409	40	J199	
38	60333.3	10.22178	2091	82B	3.8	389	38	J183	
36	74764.57	8.392859	1715	6B5	3.6	368	36	J170	
34	91788.98	6.815274	1394	572	3.4	348	34	J16C	
32	117740.8	5.471877	1120	460	3.2	327	32	J147	
30	149897.7	4.342492	888	378	3.0	307	30	J133	
28	192721.7	3.405169	697	2B9	2.8	286	28	J11E	
26	250525.6	2.617721	540	21C	2.6	266	26	J10A	
24	329452.9	2.016388	413	19D	2.4	246	24	JF6	
22	438624.8	1.531067	311	137	2.2	225	22	E1	
20	591728.4	1.181327	231	E7	2.0	205	20	C3	
18	809628.7	0.8930118	170	A7	1.8	184	18	B8	
16	1124681	0.5979753	122	7A	1.6	164	16	A4	
14	1587963	0.424153	87	57	1.4	143	14	B6	
12	2281698	0.2955194	60	3C	1.2	123	12	7B	
10	3341086	0.2019837	41	29	1.0	102	10	66	
8	4992911	0.1352389	28	1C	0.8	82	8	52	
6	7628164	0.0885	18	12	0.6	61	6	3D	
4	11.9738	0.0366	12	8	0.4	41	4	2	
2	18.1784	0.0352	7	7	0.2	20	2	14	
0	31.6794	0.0213	4	4	0	0	0	0	

Tabla 3.3 Comportamiento de los datos del Transductor de Humedad Relativa para RF= 100 K Ω

%RH	RS	Vout3	INC.VOLT	# DIV.	ΔRH
32	117740.8	3.471877			
			1.1293	231.072	0.00863
30	149871	4.342492			
			0.9373	191.776	0.01042
28	192721.7	3.405169			
			0.7678	157.112	0.01272
26	230323.6	2.637271			
			0.6208	127.032	0.01574
24	329452.9	2.016386			
			0.4953	101.342	0.01973
22	438624.8	1.131067			
			0.3897	79.740	0.02308
20	591728.4	1.111327			
			0.4023	61.853	0.02231
18	809628.7	0.8290118			
			0.2310	47.270	0.0423
16	1124641	0.3979753			
			0.1138	35.564	0.05623
14	1387963	0.424133			
			0.128663	26.318	0.07399
12	2281698	0.2953194			
			0.09153	19.117	0.1045
10	3341004	0.2019837			
			0.06674	13.656	0.1464
8	4992911	0.1552349			
			0.04668	9.337	0.2098
6	7628164	0.0833			
			0.03194	6.536	0.3039
4	11.93M	0.0566			
			0.02135	4.369	0.4577
2	19.17M	00352			
			0.01391	2.846	0.7024
0	31.67M	0.0213			

Tabla 3.4 Análisis considerando una discretización de 10 bits y $R_f = 100 \text{ K}\Omega$

De las tablas anteriores se llegan a dos conclusiones y que son importantes para elegir al cambio de retroalimentación adecuado

Primero de la columna 3 de la Tabla 3.1 se observa que es necesario hacer un cambio de retroalimentación para recuperar los voltajes abajo del 20% RH, es decir, los voltajes en este rango son difíciles de manejar, por tanto se tienen que amplificar para que haya menos errores en la lectura. Sin embargo, con el cambio de retroalimentación existe saturación poco menos del 32% RH (Tabla 3.3). Por lo que hay que cambiar de nuevo la retroalimentación

Segundo, al elegir como parámetro de diseño que haya un incremento de humedad relativa de 0.2% para la discretización con 10 bits, se observa en la Tabla 3.2 que esto se cumple hasta el rango de 30 - 32% RH, abajo de 32% RH aumenta el incremento de humedad relativa. Para el caso que hay cambio de retroalimentación, este incremento se cumple hasta el intervalo de 6 - 8% RH

La figura 3.1 muestra los puntos donde se hace el cambio de retroalimentación (el programa ensablado le indica al micro-controlador cuando hacer estos cambios). En la gráfica se muestra la curva de histéresis generada por esta situación, en ella se puede observar que cuando la humedad relativa aumenta desde 0% lo hace con $R_f = 100\text{k}$ hasta que llega al punto 30.3% RH donde se realiza el cambio de retroalimentación con $R_f = 4 \text{ k}\Omega$ y continúa con esta ganancia hasta el rango de 100% RH. Cuando la humedad relativa disminuye desde 100% RH lo hace con $R_f = 4 \text{ k}\Omega$ hasta que llega al punto de 28% RH, donde se hace el cambio de retroalimentación con $R_f = 100\text{k}$ y continúa hasta el 0% RH

El ciclo se repite como se muestra en la figura 3.1.

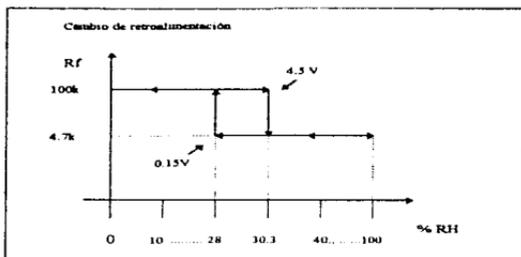


Figura 3.1. Ciclo de histéresis debido al cambio de retroalimentación.

Proceso de linealización

En la Tabla 3.1 y 3.3 se indica el valor final que se desea para todo el rango de humedad relativa, esto es de 0 a 10 volts. Como el microcontrolador realiza el proceso de linealización en la Tabla 3.1 y 3.3 se indica el equivalente binario de la señal de entrada que corresponde a un convertidor de 10 bits. De igual forma se da el equivalente binario para el voltaje de salida deseado.

En la figura 3.2 se muestra la línea recta requerida y la señal generada por la tarjeta de acondicionamiento de humedad relativa, para una retroalimentación de 4.7k Ω . Con ello se puede apreciar que hay una distancia grande de la señal de entrada a un comportamiento lineal.

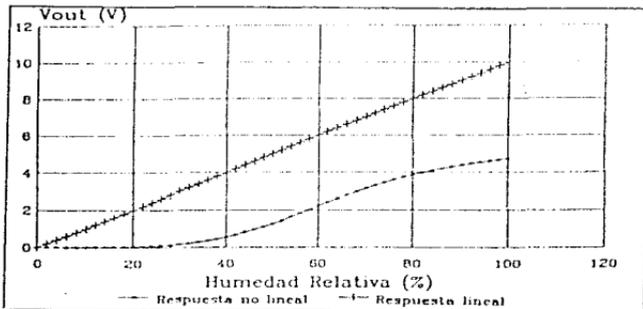


Figura 3.2. Respuesta lineal deseada y respuesta no lineal de la tarjeta de humedad.

Para simplificar el proceso de linealización tomemos el equivalente binario de la señal de entrada y el equivalente binario final de la señal deseada para dos puntos de la Tabla 3.1, esto es para 100 y 98 % RH (incremento del 2% RH) figura 3.3.

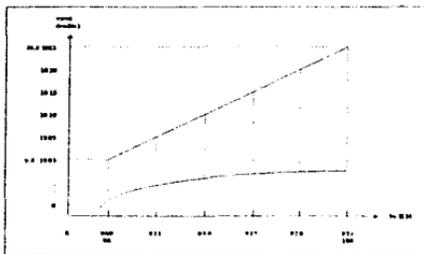


Figura 3.3 Proceso de linealización para dos puntos de la curva del sensor

La linealización de la curva se lleva a cabo obteniendo una serie de valores que generen una línea recta entre cada par de puntos de la curva del sensor, como se puede apreciar en la figura 3.3

Para obtener los valores linealizados se emplea la ecuación 3.5 de la *recta dos-puntos*, que se aplica a cada par de puntos mediante un programa realizado para este propósito

$$Y = ((Y2 - Y1) / (X2 - X1)) * (X - X1) + Y1 \quad (3.5)$$

Así, por ejemplo, tomando los puntos externos de la figura 3.3 y los sustituimos en la ecuación 3.5

$$Y = (1023 - 1003) / (100 - 98) * (X - 98) + 1003 \quad (3.6)$$

Lo que indica que para cualquier valor de entrada "X" (%RH) se tiene su correspondiente valor final lineal "Y". Para este primer par de puntos se calcularon 12 valores como se muestra en la Tabla 3.1, ya que solo se emplean valores enteros porque no existen valores fraccionarios decimales para las palabras binarias generadas.

Los valores generados se guardan en una tabla tanto para cuando hay retroalimentación como para cuando no hay retroalimentación. No es necesario generar todo el rango de valores del 0 al 100% RH para cuando RH = 100%, solamente del 0 al 32 % RH, de igual forma para el rango de 28 al 100 % RH con RH=4.7%.

3.2 Programa de alto nivel para la generación de datos lineales

Las tablas generadas anteriormente (Tabla 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4) y los datos lineales que se almacenan en la memoria ROM fueron desarrolladas en BASIC, el cual es un lenguaje de programación de alto nivel sencillo de manejar. La figura 3.4 muestra el diagrama de flujo del programa y en el apéndice B 16 se da el listado del mismo.

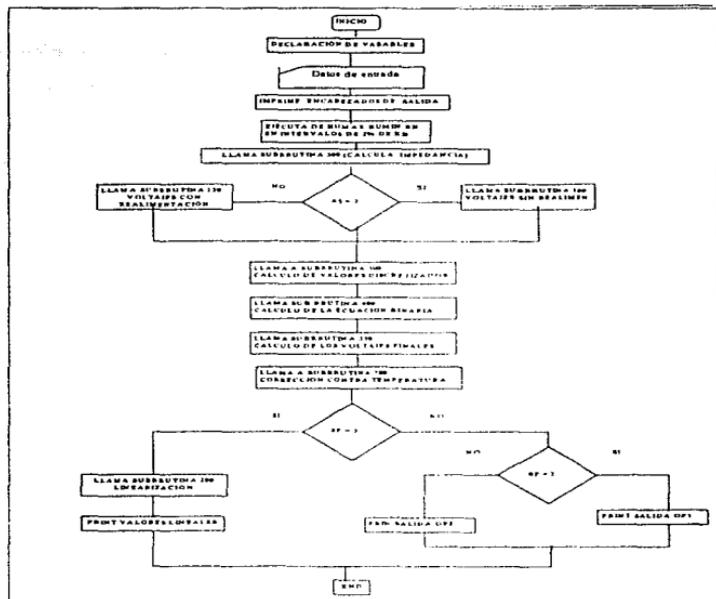


Figura 3.4. Diagrama de flujo para generar valores lineales

El programa inicia con la declaración de variables, donde se indica cuales variables son enteras, cuales son de doble precisión y cuales son alfanuméricas.

Posteriormente, es posible generar tres tablas:

- 1) Tabla de valores discretizados
- 2) Tabla de voltajes y datos binarios
- 3) Tabla de valores linealizados o datos reales

Dependiendo de la tabla seleccionada, el programa pide los siguientes datos de entrada:

- a) HMAX (Humedad máxima), HUMIN (Humedad mínima)
- b) Con retroalimentación (CRE = 4.7 K Ω) o sin retroalimentación (SR = 100 K Ω)
- c) Resolución del convertidor A/D a utilizar (BITS)
- d) Resistencia de encendido del canal del interruptor analógico (RC = 100 Ω para el integrado DG211)
- e) Voltaje de referencia (VI = 6.76 para este caso)
- f) Temperatura (TEM)

Los datos de entrada de los ítems b), d), y e) son datos que dependen de la tarjeta de acondicionamiento de la humedad y el ítem c) depende de la resolución del convertidor analógico-digital utilizado, el cual es de 10 bits para el sistema desarrollado aquí, pero se puede indicar otro valor de resolución para motivos de comparación.

Para la Tabla A y B del programa es posible desplegar los resultados en cualquier intervalo de humedad relativa que se requiera (0 al 100% RH). Para la Tabla C solo es posible generar resultados por separado en intervalos de 2% RH de incremento.

La instrucción FOR de BASIC se utiliza para indicar el intervalo en que se van efectuar los cálculos, dependiendo de HUMAN Y HUMIN.

La resistencia de la humedad relativa (ecuación (2.12)) se calcula en la subrutina 300.

Si la tabla a generar es con Rf = 4.7 k Ω o 100k Ω , se llama a la subrutina 100 o 150 respectivamente. Estas subrutinas hacen uso de las ecuaciones (2.19) y (2.20) que se obtuvieron con el análisis del capítulo II.

De acuerdo al análisis de la sección 3.1 es posible generar los valores discretizados (subrutina 500) y los valores finales que se requieren con las ecuaciones 3.1, 3.2, 3.3, 3.4.

Antes de efectuar el proceso de linealización se compensan los datos calculados contra la temperatura. Esto ayuda a tener una idea visual de los datos reales que se deben tener a la salida del sistema a diferentes temperaturas.

Para generar los datos lineales o reales (Tabla C) se utiliza la ecuación *dos-puntos de la recta* (ecuación 3.5).

Finalmente dependiendo de la tabla seleccionada se entrega el listado final al correr el programa.

Cada acción se muestra en el diagrama de flujo y cada acción se explica a continuación:

El programa comienza con la declaración de variables que se van a utilizar; el registro HUM1 Y HUM2 son para almacenar los datos de humedad y los registros TEM1 Y TEM2 los de temperatura. D0, D1, Y D2 se utilizan para generar retardos. Posteriormente se inicia el programa en la dirección 80H.

Inicialización del display

En la sección 2.2.4 se describió las partes que constituyen el display AND671. Así como, los comandos (Tabla 2.6) que se pueden efectuar programando dos de sus registros internos (Tabla 2.5).

Para que el display pueda ser accedido y manipulado por el microcontrolador, el fabricante especifica una rutina de inicialización que debe seguir el programa para que el display esté activo (figura 3.6). Después de esta inicialización, se podrá mandar cualquier comando, como es limpiar cursor, escribir un 5, mover el cursor a la derecha, etcétera.

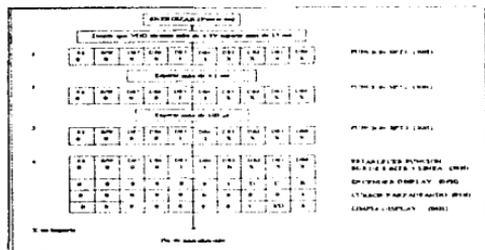


Figura 3.6. Rutina de inicialización para el display con datos de 8 bits

Como se observa en el diagrama, hay que generar una serie de retardos en las tres primeras etapas. Con la ayuda de los registros D0, D1, y D3 y la instrucción DJNZ es posible realizar la rutina de retardo (ver programa apéndice B 1). Para que sea aceptada cada instrucción, "E" (terminal P1.2) debe pasar a nivel bajo.

A partir de la cuarta etapa es necesario preguntar por el estado de BF, si es cero, se puede mandar instrucciones al display, de otra forma no. En esta etapa se especifica las características del display N=1 para una línea y F=0 para un bus de datos de 8 bits (lo que corresponde a 30H).

Conversión Analógica Digital de las variable de entrada

En el capítulo tres se indicó que hay dos registros del microcontrolador que efectúan la conversión A/D. Se mencionó también que el tipo de convertidor tienen una resolución de 10 bits y es del tipo de aproximaciones sucesivas.

Para iniciar la conversión A/D primero se activa el vector de interrupciones que indica que se va hacer una conversión. Esto es, IE se carga con 80H y a continuación se activa la dirección AEH con la instrucción SETB. Hecho esto se programa el registro ADXCON para iniciar la conversión, así como seleccionar el canal de entrada a convertir, el primer dato a convertir es el voltaje de salida de la tarjeta de humedad (terminal P5.1) y a continuación el voltaje de salida de la tarjeta de temperatura (terminal P5.2). El registro R2 se utiliza como apuntador, que indica cual canal se va a leer.

De acuerdo al análisis de la sección 3.1 es necesario efectuar un cambio de retroalimentación si se rebasan los puntos críticos mostrados en la figura 3.1. El sistema inicia con una ganancia dada por $R_F=100k$ debido a que no se conoce el estado del transductor de humedad en el momento de comenzar el programa (P3.4 = 0).

De esta forma al iniciar la conversión, los datos obtenidos pasan por un rutina de comparación que analizan que estén dentro del rango (figura 3.1), si se cumple, el programa decrementa R2 y lee ahora el canal de temperatura.

Retardo generado para leer el valor de humedad cuando hay cambio de retroalimentación

Como se mencionó anteriormente, el transductor de humedad relativa integra un filtro paso bajas para eliminar la señal generada cuando los interruptores conmutan. El filtro provoca un retardo en el asentamiento de la señal, el cual debe ser tomado en cuenta para evitar que el voltaje proporcionado al microcontrolador sea incorrecto.

Al observar el diagrama de flujo de la figura 3.5, el microcontrolador realiza un retardo cuando se presenta un cambio en el valor de la retroalimentación del circuito de conversión del sensor de humedad relativa. Es bajo esta condición que se presenta la mayor variación de voltaje y por lo cual, es necesario esperar un cierto tiempo para asegurar una buena lectura.

Si el microcontrolador no considera el tiempo de espera en el caso para el 30.3% de RH, el voltaje adquirido puede tener cualquier valor entre 4.5 V y 0.19 V, dependiendo del tiempo de adquisición, provocando un error en el valor de la humedad relativa. Esto también sucede cuando el cambio ocurre al 28% de RH.

Para asegurar que el voltaje sea el adecuado, se calcula la constante de tiempo del filtro RC de la figura 2.13.

$$T = R10 * C3 = (121k) * (10nF) = 1.21 \text{ ms}$$

Si se desea asegurar que el voltaje en el capacitor pueda alcanzar un valor fijo, se considera la condición de cinco constantes de tiempo:

$$\text{Tiempo de espera} = 5T = 6.05 \text{ ms}$$

Por lo que es necesario esperar 6 ms para asegurar que el voltaje de la lectura sea estable al realizar un cambio en la retroalimentación del circuito de humedad relativa.

Los primeros datos de humedad son almacenados en el registro R0(MSB) y en la dirección 75H(LSB). Cuando son datos válidos se almacenan en HUM1(MSB) y HUM2(LSB).

Los datos de temperatura son almacenados temporalmente en TEM1 y TEM2. Los cuales deben pasar por una rutina de comparación que los colocan en tres partes diferentes dentro del programa como se verá en el siguiente análisis.

Algoritmo para compensar contra temperatura

En la figura 3.7 se muestran una serie de curvas de humedad relativa en función de la temperatura. Como se aprecia hay un corrimiento en la curva de humedad con respecto a la curva estándar a 25 °C. Para realizar la compensación, el fabricante explica una serie de pasos que se tienen que seguir para encontrar el valor real de humedad a cierta temperatura.

Hay dos formas para encontrar la variación de humedad relativa contra temperatura, la primera es cuando la temperatura es igual o mayor a 25 °C y la segunda forma es cuando la temperatura es menor a 25 °C.

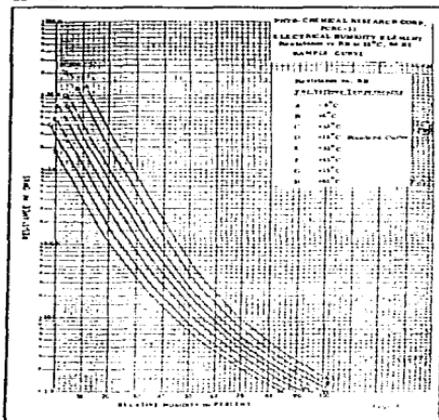


Figura 3.7. Comportamiento del sensor a diferentes temperaturas

• **Compensación de % RH arriba de 25 °C**

Supóngase el siguiente ejemplo, se dese saber cual es el valor real de humedad relativa con una resistencia de 5.9kΩ a una temperatura de 45 °C. En seguida se muestran los pasos a seguir en forma sencilla y posteriormente se vera como lo hace el programa principal

1. El primer paso es obtener la humedad relativa sustituyendo la resistencia de 5.6kΩ en la ecuacion 2.12, la cual equivale aproximadamente 66% de RH (ver Tabla 3.1)

2. A continuacion se obtiene el incremento de temperatura a 25 °C

$$\Delta t = 45 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 20 \text{ °C}$$

3. Se multiplica el incremento de temperatura obtenido por el coeficiente de variación del sensor

$$\Delta \%RH = \Delta t * (-0.36/\text{°C}) = 20 * (-0.36) = -7.2\% \text{ RH}$$

4. Finalmente este valor de incremento de humedad se resta al valor inicial

$$\%RH_{\text{real}} = 66\% - 7.2\% = 58.8\% \text{ RH}$$

con lo que se tiene el valor real de humedad a una temperatura de 45 °C.

• **Compensación contra temperatura a bajo de 25 °C**

Para hacer la compensación contra temperatura abajo de los 25 grados se realizan los mismos pasos del 1 al 3, sólo cambia el paso 4 en que en vez de restar el incremento de humedad se suma al valor inicial. Ejemplo, si se desea saber cual es la humedad relativa real del ejemplo anterior a 10 °C se tiene:

1. A 5.9kΩ => 66% RH
2. Δt = 10 °C - 25 °C = -15 °C
3. Δ%RH = -15 * (-0.36) = 5.4 % RH
4. %RH_{real} = 66% + 5.4% = 71.4% RH

De esta forma continuando con el diagrama de flujo del programa principal, dependiendo del valor de TEM1 y TEM2 el programa sigue tres caminos

- Si la Temp. = 25 °C salta a TEM_A
- Si 0 ° < Temp < 25 °C salta a TEM_B
- Si la Temp. < 0 ° salta a TEM_C

Esta división del programa facilita los calculos para cada caso.

Voltajes reales de temperatura

En el capítulo II se diseñó el circuito de temperatura, el cual entrega un voltaje positivo para todo el rango de temperaturas de -10 a 120 °C. Los voltajes negativos fueron escalados a positivos para evitar utilizar un bit de signo. Es necesario manejar estos voltajes a su valor original para poder hacer la compensación de temperatura en forma adecuada.

En la Tabla 3.5 se da nuevamente los voltajes de salida obtenidos por el Transductor de Temperatura.

T °C	T °K	VI °K	VI °K · 2.63	VI	FCR	HEX	ECBF	HEXF
		(Volts)		Av = 3.846				
-10	263	2.63	0	0	0	0	-102.3	66
0	273	2.73	0.1	0.3846	78.691	4F	0.4	0
10	283	2.83	0.2	0.7692	157.382	9D	102.3	B6
20	293	2.93	0.3	1.1538	236.067	EC	204.587	CD
25	298	2.98	0.35	1.3461	275.419	113	255.744	100
30	303	3.03	0.4	1.5384	314.764	13B	306.893	133
40	313	3.13	0.5	1.923	393.455	189	409.19	199
45	318	3.18	0.55	2.1153	432.801	1B1	460.342	1CC
50	323	3.23	0.6	2.3076	472.147	1D8	511.491	1FF
60	333	3.33	0.7	2.6922	550.838	227	613.789	266
70	343	3.43	0.8	3.0768	629.529	276	716.088	2CC
80	353	3.53	0.9	3.4614	708.20	2C4	818	332
90	363	3.63	1.0	3.846	786.8916	312	921	399
100	373	3.73	1.1	4.2306	865.58	361	1023	3FF
110	383	3.83	1.2	4.6152	944.2699	3B0	1125	465
120	393	3.93	1.3	4.9998	1022.98	3FF	1227.6	4CC

Tabla 3.5. Comportamiento de los datos del Transductor de Temperatura.

En la tabla se muestra el equivalente binario y hexadecimal (col 6 y 7) para cada valor de voltaje entregado por el transductor. Las dos últimas columnas se da el equivalente binario que realiza el programa ensamblador para regresar los datos a sus valores originales de acuerdo al análisis siguiente:

De igual forma como se hizo para la humedad relativa, la ecuación binaria para obtener el equivalente binario de la Tabla 3.5 para cada valor de voltaje de entrada, está dada por la siguiente ecuación:

$$5 / 1023 = V1 / ECB$$

Así, por ejemplo, cuando la temperatura es de 25 °C el voltaje entregado por el transductor es de 1.3461, el cual substituyendo en la ecuación anterior, se obtiene un valor binario de 275 419.

En la figura 3.7 se muestra los niveles de voltajes reales que deben ser considerados para poder hacer la compensación de temperatura, en el rango de -10 a 120 °C. Así para 120 °C se tiene 12 volts de salida, para -10 °C el voltaje de salida es de -1 volts, etcétera

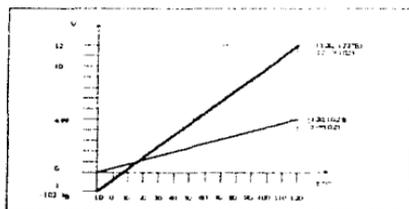


Figura 3.7 Voltajes reales de temperatura

En la columna 8 de la Tabla 3.5 se muestra el equivalente binario final para cada nivel de voltaje real, de acuerdo a la siguiente relación:

$$10 / 1023 = Vreal / ECBF \quad (3.7)$$

Por ejemplo, a 120°C le correspondería un voltaje real de 12 volts, por lo que la palabra binaria para este voltaje de acuerdo a la ecuación (3.7) es:

$$ECBF = Vreal * 1023 / 10 = 12 * 1023 / 10 = 1227.6 (4CBH)$$

Se puede utilizar la ecuación (3.7) para generar todos los valores binarios en función de los voltajes de entrada mediante un lenguaje de programación e incorporarlos en una tabla (ROM), posteriormente se puede utilizar el mismo método para la búsqueda del valor lineal como se hizo para la humedad. Sin embargo, se ocuparía más espacio en memoria para almacenar los datos.

El método que se propone en este trabajo para ahorrar espacio en memoria es generar una ecuación que al incorporarla al programa principal, efectúe la conversión directa de los voltajes de entrada a su correspondiente valor binario.

En la figura 3.7 se muestra la palabra binaria dada por la ecuación (3.1) y la palabra binaria correspondiente al valor real deseado dada por la relación (3.7).

De la gráfica se desprende de que si se toma la palabra binaria de entrada como "X" y la palabra binaria final como "Y", se puede aplicar la ecuación de la recta dos puntos, y de esta forma encontrar la relación que convierta cualquier valor de entrada a su correspondiente valor real como sigue:

De la ecuación (3.5) y tomando dos puntos de la gráfica 3.7 se tiene,

$$\begin{matrix} X_2 & Y_2 & X_1 & Y_1 \\ (1023, 1227.6) & & (0, -102.3) \end{matrix}$$

$$Y = [(1227.6 - (-102.3)) / (1023 - 0)] * (X - 0) + (-102.3)$$

$$Y = 1.3 * X - 102.3 \quad (3.8)$$

La ecuación (3.8) convierte cualquier voltaje binario de entrada a su correspondiente valor binario final. Como el microcontrolador no maneja valores fraccionarios la ecuación (3.8) se multiplica por 10 y se obtiene la ecuación (3.9).

$$Y = 13X - 1023 \quad (3.9)$$

Esta ecuación se incorpora al programa principal

Continuando con la explicación del programa, después de que se lee la temperatura y se clasifica en cualquiera de los tres grupos (ITEM_A-ITEM_B-ITEM_C) se procede a realizar las operaciones necesarias de acuerdo a la ecuación (3.9). Así se hacen las rutinas que deben seguir cada clasificación para obtener el valor verdadero de temperatura.

Búsqueda del valor lineal de humedad

La opción 3 de del programa BASIC contiene los valores lineales verdaderos que serán almacenados en la memoria ROM, estos valores se guardan en forma de tabla (apéndices B.11 a B.14). Para ejemplificar el proceso de búsqueda, en la Tabla 3.6 se muestra una parte de los datos generados por el programa BASIC en el intervalo de 76% a 74% RH.

ROMH	ITEM	ITEM	ITEM	ITEM	ITEM
74	666	29A	74 99003	757	2F5
74 06912	667	29B	74 09379	758	2F6
74 12824	668	9C	74 09379	759	2F6
74 30736	669	29D	74 19355	759	2F7
74 27647	670	29E	74 2913	760	2F8
74 2456	671	29F	74 2913	760	2F8
74 41471	672	2A0	74 18905	761	2F9
74 48183	673	2A1	74 4868	762	2FA
74 55295	674	2A2	74 38456	763	2FB
74 62207	675	2A3	74 38456	763	2FB
74 69118	676	2A4	74 6823	764	2FC
74 76031	677	2A5	74 5806	765	2FD
74 82942	678	2A6	74 39006	765	2FD
74 89854	679	2A7	74 87781	766	2FE
74 96766	680	2A8	74 97556	767	2FF
75 03678	681	2A9	74 97556	767	2FF
75 1059	682	2AA	75 07311	768	300
75 17502	683	2AH	75 17107	769	301
75 24413	684	2AC	75 17107	769	301
75 31326	685	2AD	75 26881	770	302
75 38237	686	2AE	75 36657	771	303
75 45149	687	2AF	75 46432	772	304
75 52061	688	2B0	75 46432	772	304
75 58973	689	2B1	75 56207	773	305

TABLA 3.6. Valores linealizados generados por el programa BASIC (76% - 74% de RH). (continúa)

75 61884	690	2812	75 65982	774	306
75 72797	691	2813	75 65982	774	306
75 79708	692	2814	75 75758	775	307
75 86622	693	2815	75 85532	776	308
75 93532	694	2816	75 85532	776	308
76 00444	695	2817	75 95308	777	309

Tabla 3.6. Valores linealizados generados por el programa BASIC (76% - 74% de RH)

La última columna muestra el dato verdadero que debe ser almacenado en la ROM. Hay dos formas para almacenar estos datos dentro de la memoria ROM

La primera de ellas es utilizando la instrucción DW que, al colocarla al inicio de cada línea de los valores linealizados que serán almacenados dentro del programa (Tabla 3.7), el ensamblador convierte automáticamente cada número decimal en la tabla a su forma binaria utilizando dos bytes por cada valor que se almacenan en las localidades sucesivas de la memoria, colocando en primer lugar el byte más significativo y en la siguiente localidad de memoria el byte menos significativo. La cantidad de datos a almacenar son alrededor de 850 para cuando RH = 3.7552 y 850 para cuando RH = 100kΩ. Pero como cada dato se guarda en dos bytes, el total de datos que se almacenarían con este método es aproximadamente 3.4K bytes.

DW 757, 758, 758, 759, 760, 660, 761, 762, 764, 763
DW 764, 765, 765, 766, 767, 767, 768, 769, 770, 771
DW 772, 772, 773, 774, 774, 775, 776, 776, 777

Tabla 3.7. Datos que serían almacenados utilizando DW

El sistema puede trabajar adecuadamente si se utiliza la memoria de 8k, sin embargo, si se observa con atención los datos de la Tabla 3.6, todos los datos arriba del 75.03678 de RH empiezan con 3 Hexadecimal (hasta el rango del 100% RH que no se observa) y todos los demás datos empiezan con 2H hasta el de 49.9762 de RH (Corner programa BASIC). Así, el programa genera rutinas de comparación en estos límites, de tal forma que cuando se detecte un valor arriba de 75.03678 de RH el programa genere un 3H y cuando este abajo genere un 2H. El segundo valor (LSB) del dato a almacenar se guarda en una tabla con la ayuda de la instrucción DB colocada al inicio de la línea de valores lineales (Tabla 3.8). Este proceso también se aplica en el límite de 49.9762 de RH donde el microcontrolador entrega ahora un 1 Hexadecimal en lugar de 2 Hexadecimal y nuevamente hay un cambio en 24.94 donde el microcontrolador entrega ahora un cero

DB F5H, F6H, F6H, F7H, F8H, F8H, F9H, F9H, FAH, F9H, FBH
DB FCH, FDH, FDH, FEH, FEH, FFH, FFH, 00H, 01H, 01H, 02H
DB 03H, 04H, 04H, 05H, 06H, 06H, 07H, 08H, 08H, 09H

Tabla 3.8. Parte de la tabla de datos utilizando DB (76 - 74% de RH).

De esta forma se puede ahorrar la mitad de datos, ya que el ensamblador genera solamente un byte por cada dato hexadecimal (LSB). La otra parte (MSB) la genera el programa con rutinas de comparación (ver programa).

El proceso de búsqueda del valor lineal es como sigue

Una vez que se ha leído el dato de humedad relativa el microcontrolador procede a buscar en la tabla de linealización respectiva, el valor final que corresponde al valor leído con ayuda de su registro DPTR (Data pointer) de 16 bits y la instrucción MOVC, diseñada para esta aplicación.

Para explicar el proceso de linealización, considere que el microcontrolador lee del convertidor A/D el dato 681 que equivale a 75.036 de RH (Tabla 3.6), el microcontrolador entra en un proceso de comparación de tal forma que entrega un 2 Hexadecimal (MSB) y a continuación procede a buscar en la tabla de inicialización respectiva, el valor final (FFH (15H)) que corresponde al valor leído con la ayuda de su registro DPTR (Data pointer) de 16 bits y la instrucción MOVC, diseñada para esta aplicación.

El registro DPTR se carga con la dirección donde inicia la tabla de linealización (2000 para cuando Rf= 4.7K y 4000 para Rf=100k). A la dirección de inicio se suma el valor 681 con lo cual, se apunta a la localidad donde se encuentra almacenado la parte LSB del dato linealizado 767 (Tabla 3.8) que se guarda en el registro DPTR. Para leerlo, el microcontrolador utiliza la instrucción MOVC A, @A + DPTR, cuya función es cargar el acumulador con un byte de la memoria fijado por la dirección A + DPTR.

Este proceso de búsqueda se integra al programa principal, con lo cual se aprovecha el lenguaje ensamblador del 80C552.

Proceso de compensación final

Después de que el dato de temperatura es llevado a su valor real y el dato de humedad lineal es obtenido de la tabla se procede a realizar todos los cálculos necesarios para realizar la compensación contra temperatura de acuerdo al algoritmo discutido en la página 62.

Para entender como el programa efectúa el proceso de compensación contra temperatura se exponen a continuación tres ejemplos.

Ejemplo 1

Sea nuevamente el ejemplo de la pag. 63 donde se desea obtener la compensación contra temperatura a 45 °C a una humedad relativa del 66%.

1.- Primero el programa obtiene el valor real de temperatura de acuerdo a la ecuación (3.9) como sigue

De la Tabla 3.5 se observa que a 45 °C se tiene la palabra binaria 432.8 (1B1H) y sustituyendo en la ecuación (3.9) se tiene,

$$Y = 13X - 1023 = 13(432.8) - 1023 = D(1B1H) - 3FFH = 11FE$$

Dividiendo entre 10 (A1H) el resultado anterior se tiene

$$Y = 1CC$$

2.- Segundo, se procede a obtener el incremento de temperatura con respecto a 25 °C. De la Tabla 3.5 se tiene que a 25 °C le corresponde 255.744 (decimal (100FH) Realizando la resta del dato anterior (45 °C) y el dato de este último dato se tiene

$$\Delta T = 1CCH - 100H = CCH$$

3.- El valor anterior se multiplica por el coeficiente de variación que es de 0.36 % RH/°C que vale aproximadamente

$$0.36 * 1023 / 10 = 36.82 \approx 24H$$
$$\Delta \%RH = (24H) * (CCH) = 1CB0H$$

Dividiendo entre 10 dos veces se tiene

$$\Delta \%RH = 49H (73D)$$

4.- Finalmente, se resta este valor al valor de humedad sin compensar para obtener el valor de humedad final:

A 66 % de RH y una temperatura de 45 °C le corresponde un palabra binaria de 675 (ver Tabla 3.1)

Restándole 73D al valor anterior se tiene

$675 - 73 = 602D = 25AH$ (que equivale a 58.85 % de RH real)

Ejemplo 2

Cual es el valor real de humedad a 10 °C para el ejemplo 1 ?

En seguida se muestran los pasos ya sin explicación

1.- $Y = 13 * (157.37) - 1023 + 10 * (9D) + 3FF = 3FAH$

$Y / 10 = 65H$

2.- $\Delta T = 65H - 100H = FF66$

Se saca el complemento para obtener la resta

$\Delta T = 99H$

3.- $\Delta \%RH = (24H) * (99H) = 1584H$

Dividiendo entre 100

$\Delta \%RH = 37H (55D)$

4.- $675 + 55D = 730 = 2DAH$ que equivale 71.4% de RH.

El programa principal realiza todos los pasos para obtener el valor final de Humedad Relativa

3.4 Despliegue de la información

Por último, falta desplegar el dato de humedad y de temperatura, para ello el siguiente análisis

Humedad relativa

Los datos de humedad ya compensados contra temperatura se tienen guardados en los registros RO (MSB) y R1 (LSB). Estos datos se encuentran en forma binaria y están repartidos en dos bytes. Para poder ser desplegados en el cristal líquido, es necesario aplicar un procedimiento que convierta estos datos binarios a una representación decimal.

Para un convertidor de 10 Bits se puede manejar la siguiente relación:

$100\% \Rightarrow 1023$

Lo que equivale a,

$100 / 1023 = 97.75 \text{ E } -3$

Esta relación permite obtener cualquier dato de humedad a su representación verdadera como sigue:

Si se multiplica cualquier dato de humedad por 9775 (262FH) y luego se divide entre 1000 (3E8H) se puede visualizar el valor de humedad a desplegar.

De la Tabla 3.1 se observa que a 100% de RH le corresponde una palabra de 1023 (3FFH), si ahora se multiplica por el factor 9775 se tiene:

$$1023 * 9775 = 9999825 \text{ o en forma hexadecimal } 3FF * 262F = 9895D1$$

y se divide entre 1000 se obtiene

$$9999825 / 1000 = 9999 \text{ (} 9895D1 / 3E8 = 270FH \text{)}$$

Si el dato corresponde a 90% de humedad, de la Tabla 3.1 se tiene

$$921 * 9775 = 9002775 / 1000 = 9002 \text{ (} 90.02\% \text{)}$$

La ventaja de utilizar el display de cristal líquido AN10671 es de que maneja el código ASCII para mandar datos (apéndice B.5). Así se puede aplicar divisiones sucesivas a la palabra a desplegar y guardar el residuo en algún registro para poder ser enviado al display (subrutina ASCII del programa).

Para el ejemplo del 100% de RH se obtuvo 9999 (270FH), si se aplica una primera división se tiene

$$9999 / 10 = 999 \text{ o}$$

El residuo se guarda en algún registro para ser enviado posteriormente al display. Nuevamente se toma la parte entera y se realiza una nueva división

$$999 / 10 = 99 \text{ y así sucesivamente hasta obtener el dato completo a enviar}$$

El display puede enviar cualquier número que esté en forma binaria como se puede observar en el apéndice A.8, a 0000B le corresponde, por ejemplo un "0", a una palabra de 1001 le corresponde un "9" etcétera

El microcontrolador se programa para que mande la información, y el display visualiza lo siguiente:

%RH = 99.9

Temperatura

El mismo procedimiento se puede aplicar a la temperatura. De la Tabla 3.5 se tiene:

$$120 \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow 1227 \text{ h} \Rightarrow 120 * 1227 \text{ h} = 9775 \text{ h} * 3$$

Por lo que nuevamente el factor multiplicativo es 9775

Así por ejemplo, a 25 °C se tiene una palabra binaria de 256 y si se multiplica por 9775 se tiene

$$256 * (9775) = 2502400 \text{ y entre } 1000 \text{ } 2502400 / 1000 = 2502$$

Así, el programa realiza el mismo procedimiento para obtener la temperatura. El mensaje de salida es como sigue

T °C = 25.0

En el capítulo IV se aborda la integración del sistema. Desarrollado la parte analógica y digital, como los programas, lo que queda es relacionar las dos partes

IV INTEGRACION DEL SISTEMA

En el presente capítulo se describe el proceso de integración, pruebas y puesta en funcionamiento del Medidor de Humedad Relativa diseñado. Primero, se explica la forma como debe ajustarse los voltajes entregados por los transductores de acuerdo al análisis del capítulo II, y segundo, se da la forma en que se calibraron los sensores de humedad y temperatura.

El esquema del circuito final se muestra en la figura 4.1, en el cual se muestran las partes que lo constituyen. El sistema contiene tanto el transductor de humedad como el de temperatura, de igual forma se presenta la conexión del sistema analógico con el sistema digital. Se puede observar nombres y valores de los componentes, como, los puntos de prueba que indican los niveles de voltaje que se deben tener para ajustar todo el sistema.

Antes de iniciar los ajustes al sistema es necesario comprobar que todo esté conectado convenientemente. Para iniciar las pruebas es necesario colocar una resistencia variable en lugar del sensor PCRC-11 al transductor de humedad, posteriormente se pueden iniciar dichas pruebas. También debe estar conectado el sensor de temperatura para que el voltaje a la salida del mismo transductor de temperatura no vaya a dañar al microcontrolador.

4.1 Ajustes de los voltajes del Transductor de Humedad Relativa

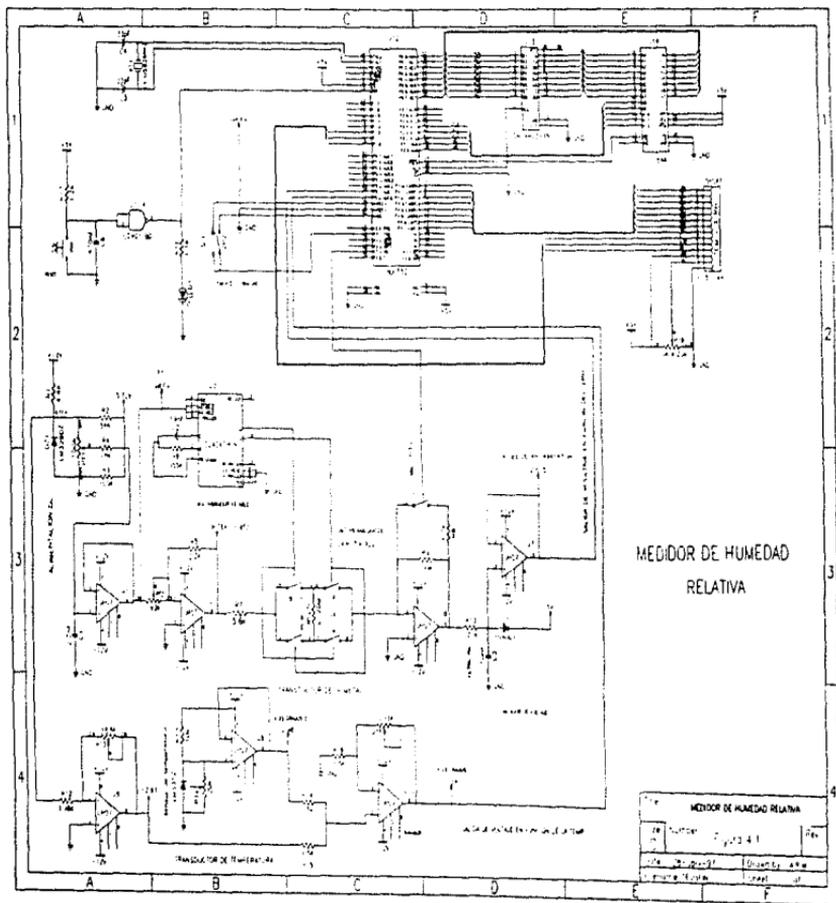
El primer voltaje que se debe verificar es el del operacional U1, cuya salida debe ser de 5V exactos. Con el potenciómetro PT1 es posible dar el ajuste necesario. Este voltaje es importante porque fija el voltaje de referencia en la terminal AVREF del microcontrolador, y que sirve para asegurar el rango de voltajes de entrada (voltaje de los transductores) que serán convertidos a digital.

El voltaje a la salida de U2 debe estar a $\pm 0.70V$, si no es así, se ajusta el potenciómetro PT2 a fin de entregar dicho valor (Este voltaje alimenta al sensor de PCRC-11 y es el voltaje que pide el programa BASIC para la obtención de los datos lineales, por lo que no debe variar).

Después de confirmar que se tiene los voltajes anteriores, el siguiente paso es comprobar que el voltaje a la salida del integrado U7 sea el adecuado para alimentar al microcontrolador, ya que si se tiene un voltaje mayor a 5V puede dañarlo. Los voltajes a la salida del transductor deben variar de acuerdo a los datos mostrados en las tablas 3.1 y 3.3. Por ejemplo, en la figura 4.1 se muestra que el voltaje a la salida del operacional U7 debe indicar aproximadamente 2.015 V para un valor de humedad relativa del 66% ($R_{sen} = 5.9 \text{ K}\Omega$). De esta forma se puede verificar todo el rango de voltajes que debe entregar el transductor para un intervalo de humedad relativa del 15 al 100%, simplemente cambiando el valor de la resistencia. Si se requiere, es posible con el programa BASIC, para obtener rangos más pequeños de humedad en forma visual y constatar su adecuado funcionamiento.

4.1.1 Calibración del sensor de humedad PCRC-11

El siguiente paso es calibrar el sensor de humedad relativo PCRC-11 y es precisamente aquí donde se conecta el sensor al circuito. Antes de realizar la calibración, es forzoso contar con una referencia patrón, que nos indique qué valor de humedad es el que se encuentra en ese momento. Para ello se utilizó el calibrador HMK 11 (figura 4.2), que está basado sobre el equilibrio de la presión del vapor de agua en el aire, arriba de la superficie del líquido de la solución agua/sal saturada mantenida en contenedores cerrados. Es posible conocer tres niveles de humedad relativa a la vez, eso es, cualquiera de las tres soluciones de LiCl (12%), NaCl (75%) y K_2SO_4 (97%). El calibrador tiene una exactitud de $\pm 2\%$ RH y el sensor es colocado dentro del recipiente para poder ser calibrado.



MEDIDOR DE HUMEDAD RELATIVA		
№	Proyecto	Rev.
1	1	1
Auto. Elaborado	Diseno	Auto.
Elaborado	Revisado	Auto.

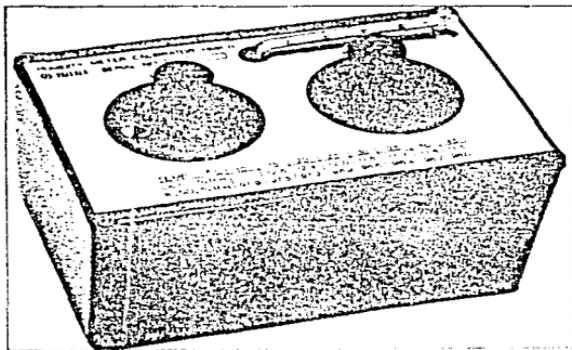


Figura 4.2. Calibrador de humedad (MK-1)

Antes de iniciar la calibración es necesario considerar el efecto de histéresis que presentan la mayoría de los higrometros, y descrita por el sensor 75%RH al recorrer el rango de medición primero en forma creciente y luego en forma decreciente, generando un error de 2.5% RH, este error se presenta en la parte media de la curva (50% de RH). Es importante colocar el sensor en el calibrador por lo menos una hora a 70% o 75% de RH y 28 °C antes de calibrar el circuito electrónico para reducir errores debido a la histéresis.

Instrucciones generales para iniciar calibración

Hay que asegurarse que la temperatura del calibrador y del lugar a donde se va realizar dicha calibración tengan una temperatura suficientemente parejas. Cambios bruscos de temperatura deben ser evitados. Cuidar que las fuentes de calor como lamparas, cañones etc., no estén muy cerca del calibrador y evitar también los rayos del sol.

La diferencia entre la temperatura de la sala de prueba y el calibrador no debe exceder el 1 °C.

Calibración normal

La calibración normal se refiere medir la humedad en el rango de 0 – 75 %RH, o medidas cortas en el rango de 0 – 100 %RH.

Procedimiento de calibración

- Quitar el filtro protector del sensor de humedad (tener mucho cuidado de no dañar al sensor)
- Esperar al menos 30 minutos antes de comenzar la calibración para dejar que la temperatura del sensor se iguale con la temperatura ambiente del local.
- Colocar el sensor dentro del calibrador en el orificio del recipiente de LiCl.
- Observar la temperatura del contenido y leer el valor correspondiente de la humedad (% RH) en la tabla de calibración (Tabla 4.1).

- Después de 10 minutos de colocar el sensor dentro del recipiente de la solución LiCl, ajustar el transductor para que la señal de salida del sensor corresponda al valor dado en la tabla (aire seco)
- Colocar el sensor dentro del recipiente que contiene la solución NaCl en el calibrador de humedad.
- Observar la temperatura del contenedor y lee la correspondiente valor de humedad en la Tabla 4.1
- Después de 10 minutos de colocar el sensor en la solución de NaCl, ajustar la ganancia del transductor para que la señal de salida corresponda al valor dado en la tabla (aire húmedo)

Como los ajustes se afectan entre si, deben repetirse hasta que la señal de salida se mantenga en el valor dado con una tolerancia de $\pm 0.5\%$ RH

Temperatura	°C	10	15	20	25	30	35	40	45
LiCl	% RH	—	—	12.4	12.0	11.8	11.7	11.6	11.5
NaCl	% RH	75.2	75.3	75.8	75.8	75.6	75.5	75.4	75.1
K ₂ SO ₄	% RH	97.9	97.5	97.2	96.9	96.6	96.4	96.2	96.0

Tabla 4.1 Tabla de calibración del calibrador Wexler

4.2 Ajustes de los voltajes del Transductor de Temperatura

El primer voltaje que hay que verificar es el del operacional U8, que debe dar un voltaje de salida de -2.63 V, con la ayuda del potenciómetro PT3 es posible realizar el ajuste necesario

Segundo, se debe comprobar el voltaje a la salida del integrado U9, el cual, esta en función del sensor del Temperatura. Para una temperatura de 25°C se debe obtener un voltaje de 2.98 volts

Por ultimo, se debe confirmar que el voltaje a la salida del integrado U10 sea 1.34 V a una temperatura de 25°C

4.2.1 Calibración del sensor de Temperatura LM335Z

El sensor de temperatura debe ser calibrado primero a una temperatura de 0°C , poniendo en contacto el sensor con un cubo de hielo de agua destilada se logra alcanzar dicha temperatura. Se espera dos minutos antes de regular el voltaje a la salida del operacional U9 con PT4, el cual deberá indicar 0.1 V (Tabla 2.4). También es posible visualizar la temperatura en el display de cristal líquido

Segundamente se sustituirá el cubo de hielo por otro recipiente que contenga agua tibia a una temperatura comprendida entre 36 y 40°C , medida con *termómetro clínico*, del modelo normal que posee cualquier persona. Se regulará el potenciómetro PT5 hasta que presente el display la misma indicación que el termómetro, después de esperar otro periodo de dos minutos

Para conseguir mejor precisión en el calibrado se repetirán estas operaciones dos veces, con lo que se podrá estar seguro de la correcta medida del sistema

4.2 Unificación del sistema

Realizado los ajustes necesarios a la tarjeta de humedad y temperatura, se puede verificar los datos de los mismos con la ayuda del display de cristal líquido. Es posible observar si el valor obtenido de humedad es el correcto, si no es así, se deben verificar los puntos de prueba

De igual forma se puede observar el valor de la temperatura del sensor y observar la variación que sufre al ser expuesto a diferentes condiciones de la misma. Con el interruptor 2 es posible leer la humedad o la temperatura

Una forma de verificar si la humedad relativa es correcta cuando cambia la temperatura, es corriendo el programa BASIC del apéndice B 16 a diferentes temperaturas y examinar en las tablas del programa el valor que debe ser observado

Si el sistema no responde, se debe aplicar un reset al mismo con el botón rojo.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Como se vio en el presente trabajo, el diseño del medidor dependió principalmente de las características de operación del sensor PCRC-11. Las cuales sirvieron para plantear la metodología a seguir a la solución del mismo. El principal problema a resolver fue la linealización de la respuesta del Transductor de Humedad.

Esta linealización se pudo haber hecho usando únicamente electrónica analógica, utilizando semiconductores que presenten una parte no lineal en su curva característica. La ventaja de utilizar un sistema híbrido (Analógico-Digital), es que es posible manipular los datos, como es sumar, multiplicar, dividir, e incluso modificar, utilizando un microcontrolador como el 880C552. Debido a que se puede programar para realizar cualquier tarea como fue realizar el proceso de linealización y compensación contra temperatura, que de otra forma se tendrían que haber hecho con circuitería analógica, provocando un error mayor al sistema.

El medidor de humedad diseñado trabaja adecuadamente en el rango de 1% al 90% de Humedad Relativa, con un error de $\pm 1.88\%$ RH. Este resultado difiere un poco del 1% RH que se planteó como objetivo, sin embargo, se puede considerar adecuado, ya que el error obtenido es el resultado del error inherente al sensor y a la circuitería utilizada.

La Temperatura fue importante cuantificarla, ya que la humedad relativa como fenómeno físico en sí, depende de ella. Además, si se quiere conservar el 1% de error de Humedad Relativa hay que compensar la variación que sufre el sensor de humedad PCRC-11.

La temperatura a la que puede trabajar el sistema está en el rango de -10 a 50°C con una precisión de $\pm 1\%$, aunque puede trabajar satisfactoriamente en un rango mayor de -40 a 90°C .

Una de las ventajas del medidor de Humedad Relativa es de que se puede visualizar la Humedad y la Temperatura con la ayuda del display de cristal líquido AND671. Lo cual fue muy útil al momento de calibrar el sistema, y además el usuario puede saber lo que está pasando con el sistema.

Otra de las ventajas es de que se puede usar el sistema para aplicaciones donde se tenga que controlar un proceso, por ejemplo, en áreas donde utilizan computadoras, es necesario acondicionar el lugar a cierto porcentaje de Humedad, esto hace que el equipo esté atezado constantemente y no genere carga estatica en el lugar. El medidor se puede programar de tal forma que a cierto valor de humedad relativa, el sistema mande una señal de control, que indique o que active un mecanismo para activar o desactivar el aire acondicionado.

Otra de las ventajas es de que es compatible con los sistemas desarrollados en el instituto de ingeniería, ya que muchos de los proyectos desarrollados ahí utilizan el microcontrolador 880C552.

El sistema puede mejorar utilizando un convertidor analógico-digital de 12 bits, sin embargo, con un convertidor de 10 bits el sistema trabaja adecuadamente. Además el microcontrolador incorpora internamente el convertidor, con lo que se ahorra circuitería de más.

Si las condiciones para las cuales va a trabajar son críticas como el caso de invernaderos, es posible cambiar el sensor PRC-11 por el sensor PRC-11H, el cual está diseñado para trabajar en ambientes más difíciles. El costo del sensor se incrementa pero se tiene un mayor tiempo de vida en operación.

Es preciso aclarar que el medidor de humedad fue desarrollado y probado en una tableta experimental, por lo que el siguiente paso para mejorarlo es diseñar el prototipo final. Esto trata con el diseño del circuito impreso, el diseño del gabinete donde se fijará el circuito para su presentación final, etcétera.

Se espera que el presente trabajo contribuya, aunque modestamente, a la realización de este tipo de medidores, de tal forma que su construcción sea más eficiente.

BIBLIOGRAFIA

- (1) **Transductores y medidores electrónicos**
Serie mundo electrónico, 1983
- (2) **Environmental science**
Encyclopedia
Edit. McGraw-Hill
- (3) **Sensores y analizadores**
Harry N. Norton
Colección electrónica/informática
Edit. Prentice-Hall
- (4) **Termodinámica**
Kenneth Wark
Edit. McGraw-Hill
- (5) **Instrumentación Electrónica y Medición**
William David Cooper
Edit. Prentice-Hall
- (6) **Designers And Manufactures of humidity
Sensors And Instruments**
Phys-Chemical Research Corporation.

**ESTA TESTIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Características más importantes del diodo zener LM329DZ

Corriente de polarización	0.6 (mA) a 15 (mA)
Impedancia Dinámica	10 (Ω)
Coefficiente de Temperatura	0.001 % / $^{\circ}$ C
Tolerancia	5 %
Estabilidad Térmica	0.002 %
Vz - voltaje zener	6.7 (V)
Bajo Costo	

APENDICE A
HOJA DE ESPECIFICACIONES

OP07C, OP07D, OP07Y LOW-OFFSET VOLTAGE OPERATIONAL AMPLIFIERS

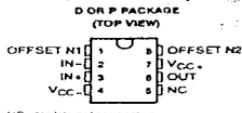
D8787, OCTOBER 1983 (REVISED SEPTEMBER 1981)

- **Low Noise**
- **No External Components Required**
- **Replaces Chopper Amplifiers at a Lower Cost**
- **Single-Chip Monolithic Fabrication**
- **Wide Input Voltage Range**
0 to ± 14 V Typ
- **Wide Supply Voltage Range**
 ± 3 V to ± 18 V
- **Essentially Equivalent to Fairchild μ A714 Operational Amplifiers**
- **Direct Replacement for PMI OP07C and OP07D**

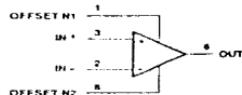
description

These devices represent a breakthrough in operational amplifier performance. Low offset and long-term stability are achieved by means of a low-noise, chopperless, bipolar-input transistor amplifier circuit. For most applications, external components are required for offset nulling and frequency compensation. The true differential input, with a wide input voltage range and outstanding common-mode rejection, provides maximum flexibility and performance in high-noise environments and in noninverting applications. Low bias currents and extremely high input impedances are maintained over the entire temperature range. The OP07 is unsurpassed for low-noise, high-accuracy amplification of very low-level signals.

These devices are characterized for operation from 0°C to 70°C.



symbol



AVAILABLE OPTIONS

T _A	V _{IOmax} at 25°C	PACKAGE		CHIP FORM (*)
		SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (P)	
0°C to 70°C	150 μ V	OP07CD OP07D	OP07CP OP07P	OP07Y

The D package is available taped and reeled. Add the suffix R to the device type (e.g., OP07CDR). The chip form (*) is tested at T_A = 25°C.

Microfilm, microfiche and hard copy editions of this data sheet are available. For more information, contact your nearest Texas Instruments office. This data sheet contains information that is not intended for use in safety-critical applications. Texas Instruments assumes no responsibility for any errors or omissions in this data sheet.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

Copyright © 1981, Texas Instruments Incorporated

DG211/212

Low Cost 4-Channel Monolithic SPST CMOS Analog Switches

FEATURES

- ± 15 V Analog Signal Range
- TTL Compatibility
- Logic Inputs Accept Negative Voltages
- ON-Resistance $< 175 \Omega$

ADVANTAGES

- Wide Signal Range
- Simple Logic Interface
- Reduced Power Consumption

APPLICATIONS

- Disk Drives
- Test Equipment
- Communication Systems

DESCRIPTION

The DG211 and DG212 are low cost quad single pole single throw analog switches for use in general purpose switching applications in communications, instrumentation and process control. These devices differ only in that the digital control logic is inverted, as shown in the truth table. The use of both p and n channel devices minimizes ON-resistance variations over the analog signal range.

Designed with the Siliconix PLUS-40 CMOS process to combine low power dissipation with a high breakdown voltage rating of 40 V, both switches will handle ± 15 V

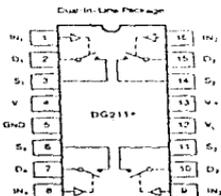
input signals, with ease, and have a continuous current rating of 20 mA. An epitaxial layer prevents latchup.

Both devices feature fast bi-directional performance (with no offset voltages) in the ON condition, and will block signals to 30 V peak to peak in the OFF condition.

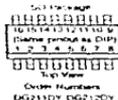
For new designs we recommend the Siliconix gate DG444/445 upgrade.

Packaging for this series includes 16 pin plastic DIP and smaller outline options. Performance grades include both commercial, C (0 to 70°C) and industrial, D (sub 0 to 85°C) temperature ranges.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM, PIN CONFIGURATION AND TRUTH TABLES



Top View
Order Numbers
DG211GJ, DG212GJ
*Switches shown for Logic "1" level



Order Numbers
DG211DY, DG212DY

Truth Table

Logic	DG211	DG212
0	ON	OFF
1	OFF	ON

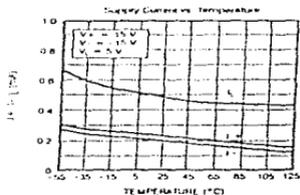
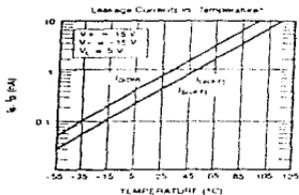
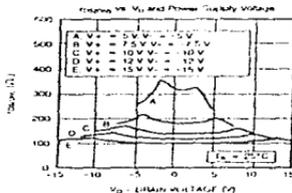
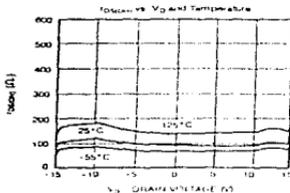
Logic "0" ≤ 0 V
Logic "1" ≥ 2.4 V

DG211/212

TYPICAL CHARACTERISTICS



The electrical characteristic table guarantees the DG211 and DG212 for operation at ± 15 V, $\pm 10\%$; however, functional operation occurs over the designed range of ± 5 V to ± 20 V power supplies. These characteristic graphs show the effect of device parameters over several parameter permutations including power supply variations. These graphs are for design aid only and are not subject to production testing.



* The net leakage into the source is that if the n-channel leakage minus the p-channel leakage. This difference can be positive, negative, or zero depending on the biasing voltage and temperature, and will vary greatly from unit to unit.



CD4047BM/CD4047BC Low Power Monostable/Astable Multivibrator

General Description

CD4047B is capable of operating in either the monostable or astable mode. It requires an external capacitor (between pins 1 and 2) and an external resistor (between pins 2 and 3) to determine the output pulse width in the monostable mode, and the output frequency in the astable mode.

Astable operation is enabled by a high level on the astable input or low level on the astable input. The output frequency (at 50% duty cycle) at Q and Q outputs is determined by the timing components. A frequency twice that of Q is available at the Oscillator Output. A 50% duty cycle is not guaranteed.

Monostable operation is obtained when the device is triggered by low-to-high transition at \bar{A} trigger input or high-to-low transition at \bar{B} trigger input. The device can be retriggered by applying a simultaneous low-to-high transition to both the \bar{A} trigger and \bar{B} trigger inputs.

A high level on Reset input resets the outputs to low. Q is high.

Features

- Wide supply voltage range: 3.0V to 15V
- High noise immunity: 0.45 Vpp (No 1)
- Low power TTL compatibility: Fan out of 2 driving 741 or 1 driving 74LS

SPECIAL FEATURES

- Low power consumption: special CMOS oscillator configuration
- Monostable (one shot) or astable (free-running) operation
- True and complemented buffered outputs
- Only one external R and C required

MONOSTABLE MULTIVIBRATOR FEATURES

- Positive or negative edge trigger
- Output pulse width independent of trigger pulse duration
- Retriggerable option for pulse width expansion
- Long pulse widths possible using small HC components by means of external counter provision
- Fast recovery time, essentially independent of pulse width
- Pulse width accuracy maintained at duty cycles approaching 100%

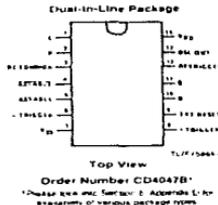
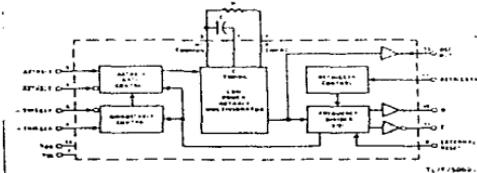
ASTABLE MULTIVIBRATOR FEATURES

- Free-running or datable operating modes
- 50% duty cycle
- Oscillator output available
- Good stable frequency stability:
 - typical: $\pm 2\%$ @ 0.07% ΔV_{CC} @ 100 kHz
 - frequency: $\pm 10\%$ @ 0.01% ΔV_{CC} @ 10 kHz deviation
 - (limits limited to frequency $V_{CC} = 10V \pm 10\%$)

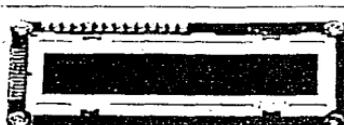
Applications

- Frequency discriminators
- Timing circuits
- Time-delay applications
- Inverse deflection
- Frequency multiplier
- Frequency division

Block and Connection Diagrams



CHARACTERS x.1 LINE CHARACTER AND 6.7

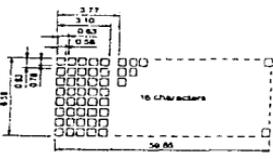


The AND671 is a compact LCD module having a dot matrix LCD panel, a controller and driver circuit. This module can display 160 kinds of alphabets, numerals, symbols and "kana" letters, as well as 8 custom characters.

FEATURES

- compact integrated display module
- high contrast, clear display with large characters
- low voltage, $\pm 5V$ single power supply
- wide operating temperature range (0°C to +50°C)
- x.1 7 dot character format and cursor line
- built-in control LSI with display RAM and character generator ROM
- direct interface to 4 or 8 bit CPU
- 8 commands for control
- backlightable module is available as an option

Dot Matrix Dimensions (in millimeters)



Physical Characteristics

Item	Specification	Unit
line Dimension	80 W × 38 H × 12 D	mm
display Size	31.0 W × 21.5 H	mm
number of characters	16 × 1 (16) Characters (51 × 7 line = cursor)	-
character Height	0.63 W × 0.63 H	mm
line Spacing at Opening	0.54 W × 0.78 H	mm
Size	0.54 W × 0.78 H	mm
Pin Pitch	0.63 W × 0.63 H	mm
Weight	approx. 2%	gram

Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Rating	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	7	V
Input Voltage	V_{in}	0 to V_{CC} (V _{in})	V
Operating Temperature	T _{op}	0 to +50	°C
Storage Temperature	T _{stg}	-20 to +70	°C

Electrical Characteristics (T_A = 25°C)

Item	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	4.75	5.0	5.25	V
Contrast	(CON)	0	-	-	-
"H" Level Input Voltage (V _{in} = 3.0V)	V_{iH}	2.2	-	-	V
"L" Level Input Voltage (V _{in} = 5.0V)	V_{iL}	-	-	0.6	V
"H" Level Output Voltage (I _{OL} = 0.7 mA)	V_{oH}	2.4	-	-	V
"L" Level Output Voltage (I _{OL} = 1.2 mA)	V_{oL}	-	-	0.4	V
Power Consumption	P _D	-	5.0	-	mW

Optical Characteristics (T_A = 25°C, $\theta = 25^\circ$, 0 = 0°)

Item	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Viewing Angle	θ	10	25	40	degree
Contrast	C	-	3.0	-	-
Turn On Time	t _{on}	-	200	400	ms
Turn Off Time	t _{off}	-	250	400	ms

Note: Refer to Applications Section for the following definitions: (θ) θ and (C) Viewing Angle, (t_{on}) Turn On and Turn Off Time.

Connector Pin Assignment

Pin No.	Signal	Function
1	(GND)	Power Supply
2	V_{CC}	
3	V_{CC}	LCD Drive Voltage (CV to V _{CC})
4	RD	"H" Data Input "L" Command Input
5	R/W	"H" Data Read (Module = CPU) "L" Data Write (CPU = Module)
6	E	Enable Signal
7	DN0	Data Bus
8	DN1	
9	DN2	
10	DN3	
11	DB4	8-bit Bus
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	

Table 3. Character Pattern and Character Code

Upper 4 bit Lower 4 bit	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
XXXX0000	CC (1)												
XXXX0001	(2)												
XXXX0010	(3)												
XXXX0011	(4)												
XXXX0100	(5)												
XXXX0101	(6)												
XXXX0110	(7)												
XXXX0111	(8)												
XXXX1000	(1)												
XXXX1001	(2)												
XXXX1010	(3)												
XXXX1011	(4)												
XXXX1100	(5)												
XXXX1101	(6)												
XXXX1110	(7)												
XXXX1111	(8)												

APENDICE B

LISTADO DE LOS PROGRAMAS DESARROLLADOS

```

-----
PROGRAMA ENSAMBLADOR
-----
PARA MEDIR HUMEDAD RELATIVA
-----
Y LA TEMPERATURA
-----
-10 °C <= TEM <= 120 °C
-----
DEL 2 AL 100 %RH
-----

```

***** DECLARACION DE VARIABLES *****

```

ADCON : EQU 0C5H
ADCH  : EQU 0C6H
P4    : EQU 0C0H
P4.7  : EQU 0C7H
D0    : EQU 06AH      , REGISTROS DE RETARDO
D1    : EQU 06BH
D2    : EQU 06CH
HUM1  : EQU 06DH
HUM2  : EQU 06EH
TEM1  : EQU 050H
TEM2  : EQU 051H
TEM3  : EQU 071H
TEM4  : EQU 072H
TEM5  : EQU 073H

```

INICIO DEL PROGRAMA

```

ORG 00H
AJMP INICIO
ORG 80H

```

***** INICIALIZACION DEL DISPLAY *****

```

INICIO CLR P1.0
      CLR P1.1
      MOV P1,#00H      , PUERTO DE CONTROL
      MOV D0,#08H
      MOV D1,#0FFH
      MOV D2,#0FFH
      ACALL PAUSA
      MOV P4,#30H      , FUNCION SET 1 *****
      SETB P1.2
      CLR P1.2
      MOV D0,#04H
      MOV D1,#0FFH
      MOV D2,#0FFH      , 2do ret de 5s
      ACALL PAUSA
      MOV P4,#30H      , FUNCION SET 2 *****
      SETB P1.2
      CLR P1.2
      MOV D0,#01H
      MOV D1,#01H
      MOV D2,#19H      , RETARDO DE 13ms
      ACALL PAUSA
      MOV P4,#30H      , FUNCION SET 3 *****
      SETB P1.2
      CLR P1.2
      MOV R6,#30H
      ACALL COMDIS
      MOV R6,#0FH
      ACALL COMDIS
      MOV R6,#01H
      ACALL COMDIS
      MOV R6,#06H
      ACALL COMDIS

```

***** FIN DE INICIALIZACION *****

 * * * * * PROGRAMA PRINCIPAL * * * * *

LECTURA DE LOS DOS CANALES

```

PRINC1: MOV B,#00H    ; HABILITA INTERRUPCIONES A/D
        SETB BAEF     ; HABILITA COVER A/D
PRINC1: SETB P3.4     ; INICIA SIN RETROALIMENTACION
CANAL1: MOV R2,#01H  ; CANAL 1 (%RH)
PRINC2: MOV A,#08H
        ADD A,R2
        CLR F0
        MOV ADCONLA  ; INICIA CONVERSION A/D (CANAL 2 - %RH)
ESPERA: JNB F0,ESPERA ; ESPERA FIN DE CONVERSION
        MOV A,ADCFH
        RI A
        RI A
        MOV 751LA    ; GUARDA EN 75H LOS 8 BITS MAS SIGNIFICATIVOS
        ANL A,#01H   ; RECUPERACION Y ALMACENAMIENTO DE
        MOV R0,A     ; LOS DOS BITS MAS SIGNIFICATIVOS EN R0
        ANL 75H,#0FCH
        MOV A,ADCONH
        RI A
        RI A
        ANL A,#03H   ; RECUPERACION DE LOS DOS BITS MENOS SIGNIF.
        ORL 751LA
        MOV A,R7     ; VERIFICACION DE CANAL
        JZ M_TEMP    ; SALTA SI A=0 A M_TEMP
;
; **** ACTIVACION DEL SWITCH ANALOGICO ****
; **** PARA EL RANGO DE 10.1029 - 100 %RH ****
;
MOV A,R0
JZ MINI          ; SALTA A MIN SI R0 = 0
CJNE A,#03H,CONV1
MOV A,#75H
ADD A,#67H
JNC CONV2       ; SALTA A CONV2 SI C = 0 (DATO DENTRO DEL RANGO)
CLR C
CLR P3.4        ; CAMBIO DE RETROALIMENTACION
ACALL PARO
AJMP PRINC2     ; LEE NUEVAMENTE EL DATO DE ENTRADA
;
; **** VALORES ABAJO DEL 10 %RH ****
;
MINI: JB P3.4,CONV2 ; (SALTA A CONV2 SI P3.0 = 1)
        MOV A,#75H
        CJNE A,#20H,COMP
        AJMP CONV2
COMP: JC CAMBIO   ; R0 < 20H ; ABAJO DEL 20 %RH
        AJMP CONV2 ; R0 > 20H
;
CAMBIO CLR C
        SETB P3.4
        ACALL PARO
        AJMP PRINC2
;
CONV1: JC CONV2   ; R0 < 03H
        CLR P3.4 ; SI R0 > 03H CAMBIA RETROALIMENTACION Y LEE NUEVAMENTE
        ACALL PARO
        AJMP PRINC2
;
CONV2: DEC R2     ; LECTURA DE LA TEM (CANAL 0)
        CLR C     ; R0 < 01H
        MOV HUM1,R0 ; ALMACENAMIENTO DE RH DEL CANAL 1
        MOV HUM2,75H ; EN LAS LOCALIDADES HUM1 Y HUM2
        AJMP PRINC2
  
```

```

.....
.....MEDICION DE LA TEMPERATURA.....
.....
M_TEMP: MOV TEM1,R0      ; BITS MAS SIGNIFICATIVOS
        MOV TEM2,75H     ; BITS MENOS SIGNIFICATIVOS
        MOV R1,75H
.....
.....COMPARACION CONTRA TEMPERATURA.....
.....
CJNE R0,#01H,COM2      ; COMPARA Y SALTA SI TEM1 NO ES IGUAL A 01
CJNE R1,#13H,COM3     ; SI SI ES IGUAL , COMPARA TEM2 CON 13 Y SALTA
                        ; A COM3 SI NO ES IGUAL
.....
.....RUTINAS DE COMPARACION.....
.....
COM2: JC COM4          ; DATO MENOR A 01H (TEM = 25)
      AJMP TEM_B      ; DATO MAYOR A 01H (TEM = 25)
.....
COM3: JC TEM_A        ; TEM = 25
      AJMP TEM_B      ; TEM > 25
.....
COM4: CJNE R1,#4FH,COM5
      AJMP TEM_A      ; TEM = 0
.....
COM5: JC TEM_C        ; TEM = 0
      AJMP TEM_A      ; 0 < TEM < 25
.....
.....0 < TEMPERATURA <= 25 GRADOS C.....
.....
TEM_A: CLR C
      ACALL EXTRA
      MOV TEM0,#001H
      ACALL DIV_1
      MOV TEMH,TEM1    ; VALORES DE TEM_A DESPLEGAR
      MOV TEML,TEM2
      ACALL REST
      ACALL COMP_D
      ACALL MULT
      ACALL DIV_1
      ACALL DIV_1      ; INC DE TEM PARA COMP
      ACALL LINE1     ; LLAMADO A SUBRRUTINA QUE SACA EL VALOR LINEAL(MSB)
      ACALL LINE2     ; BUSQUEDA DE DATO LINEAL MENOS SIGNIFICATIVO
      ACALL VRHLCA    ; VALOR LINEAL DE RH COMPEZ CONTRA TEM
      JNB P3.1,ETL_A  ; SI P3.0 NIDE HUMEDAD)
DESP: ACALL DESP_T1
      AJMP CANAL1
ETL_A: ACALL DESP_HUM
      AJMP CANAL1
.....
.....TEMPERATURA > A 25 GRADOS C.....
.....
TEM_B: CLR C
      ACALL EXTRA
      MOV TEM0,#00H
      ACALL DIV_1
      MOV TEMH,TEM1    ; VALOR DE TEMPERATURA A DESPLEGAR (MSB)
      MOV TEML,TEM2    ; " " " " (LSB)
.....

```

```

ACALL REST
ACALL MULT
ACALL DIV_1
ACALL DIV_1      : INC. DE TEMPERATURA PARA COMPESACION
ACALL LINE1     : SACA EL VALOR LINEAL DE RH% (MSB)
ACALL LINE2     : " " " (LSB)
ACALL VRHLCB   : LLAMA A SUB. DE COMP. DEL VALOR LINEAL (RH%)
JNB P3 LETI_B
ACALL DESP_T1
AJMP CANAL1
ETI_B ACALL DESP_HUM
      AJMP CANAL1

```

```

.....TEMP ENTRE 0 Y 10 GRADOS CENT.....
.....

```

```

TEM_C CLR C
ACALL EXTRA
MOV R6,TEM2
MOV R7,TEM1
ACALL COMP_D
MOV TEM2,R6
MOV TEM1,R7
MOV TEM0,#00H
ACALL DIV_1
MOV TEM1,TEM1
MOV TEM2,TEM2
ACALL SUM
ACALL MULT
ACALL DIV_1
ACALL DIV_1
ACALL LINE1
ACALL LINE2
ACALL VRHLCB
JNB P3 LETI_C
ACALL DESP_T1
AJMP CANAL1
ETI_C ACALL DESP_HUM
      AJMP CANAL1

```

```

.....SURRUTINAS.....
.....
.....DESPLIEGUE DE HUMEDAD.....
.....

```

```

DESP_HUM ACALL MUL_DIS      : VALOR LINEAL ES MULTIPLICADO POR 9775D
ACALL DIV_1
ACALL DIV_1
ACALL DIV_1      : FIN DE DIVISION ENTRE 1000
ACALL AJUR_DIS
MOV DPTR,#MENUE1
ACALL DESPMEN
ACALL ASCII
ACALL D_HUM
RET

```

```

.....DESPLIEGUE DE TEMPERATURA.....
DESP_T1 MOV R1,TEM2
MOV R0,TEM1
ACALL MUL_DIS
ACALL DIV_1
ACALL DIV_1
ACALL DIV_1
ACALL AJUR_DIS
MOV DPTR,#MENUE2
ACALL DESPMEN
ACALL ASCII

```

ACALL D_TEM
RET

-----ASCII-----
ASCI: ACALL DIV_1
MOV A,B
ADD A,#30H
MOV 7B1A, ; PRIMER VALOR A DESPLEGAR
ACALL DIV_1
MOV A,B
ADD A,#30H
MOV 7C1A, ; SEGUNDO VALOR A DESPLEGAR
ACALL DIV_1
MOV A,B
ADD A,#30H
MOV 7D1A, ; TERCER VALOR A DESPLEGAR
ACALL DIV_1
MOV A,B
ADD A,#30H
MOV 7E1A, ; CUARTO VALOR A DESPLEGAR
RET

D_HUM: MOV R6,#64H
ACALL COMDIS
MOV A,7EH
ACALL INFOR2
MOV R6,#65H
ACALL COMDIS
MOV A,7DH
ACALL INFOR2
MOV R6,#66H
ACALL COMDIS
MOV A,#0A1H ; PUNTO
ACALL INFOR2
MOV R6,#67H
ACALL COMDIS
MOV A,7CH
ACALL INFOR2
ACALL VIS_DISP
RET

D_TEM: MOV R6,#811H
ACALL COMDIS
MOV A,#0DFH
ACALL INFOR2
MOV R6,#84H
ACALL COMDIS
MOV A,7EH
ACALL INFOR2
MOV R6,#85H
ACALL COMDIS
MOV A,7DH
ACALL INFOR2
MOV R6,#86H
ACALL COMDIS
MOV A,#0A1H ; PUNTO
ACALL INFOR2
MOV R6,#87H
ACALL COMDIS
MOV A,7CH
ACALL INFOR2
ACALL VIS_DISP
RET

```

***** MANEJO DEL DISPLAY *****
AJUS: DES:MOV R6,#0EH
      ACALL COMDIS
      MOV R6,#80H
      ACALL COMDIS
      RET

***** DEPLEGA MENSAJE *****
DES:DES:MOV A,#0EH
      MOV C,A,BA+DPTR
      CJNE A,#03H,CONDISP      , FIN MENSAJE
      AJMP REGRE
CONDISP: JC D0-D0AT
INFDAT: CLR C
        ACALL INFOR2
        INC DPTR
        AJMP DES:PAUSEN
REGRE:  RET

***** PERMITE VER EN EL DISPLAY LA INFORMACION *****
VIS_DISP:MOV D0,#0EH
         MOV D1,#0FH1
         MOV D2,#0FH1
         ACALL PAUSA
         MOV R6,#01H
         ACALL COMDIS
         RET

***** PAUSA *****
PAUSA:  MOV R7,D0
        EP1  MOV R4,D2
        EP2  MOV R3,D1
        EP3  DJNZ R3,EP3
            DJNZ R4,EP2
            DJNZ R7,EP1
            RET

***** LEE BANDERA DE OCUPADO *****
BAND:  MOV P1,#02H      , R/W=1, RS=0
        SETB P1.2      , F=1
        JB P4.7,EP4    , LEE BANDERA
        CLR P1.2
        RET

***** COMDIS *****
COMDIS: ACALL BAND
        MOV P1,#00H    , R/W=0, RS=0
        MOV P4,R6     , CARGA INFORMACION
        SETB P1.2     , F=1
        CLR P1.2     , E=0
        RET

***** INFOR2 *****
INFOR2: ACALL BAND
        MOV P1,#01H    , W/B=0, RS=1
        MOV P4,A      , ESCRIBE DATO
        SETB P1.2     , F=1
        CLR P1.2     , E=0
        CLR P1
        RET

***** PAHO *****
PAHO:  MOV R3,#0FH1
RET4:  MOV R4,#0FH1
RET3:  DJNZ R4,RET3
      DJNZ R3,RET4
      RET

```



```

MOV R3,A      ; R3 = 00 BYTE MAS SIGNIFICATIVO
MOV A,R7      ; A = FF
ANL A,#0F0H   ; A = F0
RL A
RL A
RL A          ; A = 0F
MOV R4,A      ; R4 = 0F
MOV A,#0F0H
SUBB A,R4     ; A = 00
RL A
RL A
RL A
RL A          ; A = 00
ORL A,R3      ; A = 00
MOV R7,A      ; R7 = 00

----- +1 +----+
MOV A,R6
ADD A,#010H
MOV R6,A      ; BYTE MENOS SIGNIFICATIVO FINAL
MOV A,R7
ADD A,#000H
MOV R7,A      ; BYTE MAS SIGNIFICATIVO FINAL
CLR C
RET

:-----+-----+
:*****MULTIPLICANDO POR 37*****
:-----+-----+
MULT  MOV A,R6      , CARGA BYTE MENOS SIGNIFICATIVO
      MOV B,#251H
      MUL AB
      MOV TEM2,A    , PRIMER BYTE MENOS SIGNIFICATIVO
      MOV R6,B
      MOV A,R7      , CARGA BYTE MENOS SIGNIFICATIVO
      MOV B,#251H
      MUL AB
      ADD A,R6
      MOV TEM1,A    , SEGUNDO BAYTE MENOS SIGNIFICATIVO
      MOV R7,B      , BYTE MAS SIGNIFICATIVO
      RET

:-----+-----+
:***** VALORES LINEALES (LSB) *****
:-----+-----+
LINE1 JB P3.4,TAB_REA , SALTA A TAB_REA SI P3.0 = 1
:-----+-----+
:***** DATOS LINEALES CON RETROALIMENTACION *****
      MOV A,HUM1     , MSH
      CJNE A,#02H,RETOR1 , COMPARACION CON 6R2 (2AAH)
      MOV A,HUM2     , LSH
      CJNE A,#0AAH,RETOR2
VALIN: MOV R0,#03H   , DATO LINEAL LSB
      AJMP SALIDA

RETOR1 JC TAB1      , RH < A 02H
      AJMP VALIN    , RH > A 02H

RETOR2 JC TAB2      , %RH1 = 75 1059 %
      AJMP VALIN    , %RH1 > 75 1059 %

TAB2: CLR C
      MOV R0,#02H
      AJMP SALIDA

TAB3: CLR C

```

```

CINE A,#01,TAB4      -----CHECAR LSB DEL VALOR DE COMPARACION-----
SAL:  MOV R0,#02H
      AJMP SALIDA

TAB4: JC TAB5        ;%RH = 50%
      AJMP SAL        ;%RH = 50%

TAB5: CLR C
      MOV AJUM2
      CINE A,#0F9H,TAB6 . COMPARA CON 50.100% APROX.
      AJMP SAL

TAB6: JC TAB7        ;%RH = 50%
      AJMP SAL

TAB7: MOV R0,#01H
      AJMP SALIDA

TAB_REA: ***** VALORES SIN RETROALIMENTACION *****
      MOV AJUM1      . INICIO DE COMPARACION CON 4.70 (1166H-24.96% RH)
      CINE A,#01H,TAB8
      MOV AJUM2
      CINE A,#0D6H,TAB9
      CARGA: MOV R0,#01H . R0 SE CARGA CON EL VALOR MSB DEL VALOR LINEAL
      AJMP SALIDA
      TAB8: JC TAB10 . MENOS DEL 24.96% RH
      AJMP CARGA
      TAB9: JC TAB10
      AJMP CARGA
      TAB10: CLR C
      MOV R0,#00H . R0 SE CARGA CON EL VALOR MSB (MENOS DEL 24.96% RH)
      AJMP SALIDA

SALIDA: RET
.
. ***** SUBROUTINA PARA LEER DATO *****
. ***** DE LA TABLA DE RH (MSB) *****
.
LINE2: JB P3.4,SIN_R . SALTA SI P3.0 = 1 A TAB. DE VALORES SIN REAL.

CON_R: MOV DPTR,#07D0H . INICIO DE LA TABLA (2000)
      AJMP BUSQUE
SIN_R: MOV DPTR,#0FA0H . INICIO DE LA TABLA (4000)
      AJMP BUSQUE

BUSQUE: MOV AJUM2
      ADD ADPL
      MOV DPLA . LSB DEL DATO DE LA TABLA
      MOV AJUM1
      ADDC ADPH
      MOV DPHL . MSB DEL DATO DE LA TABLA
      CLR C
      CLR A
      MOVCA,@A+DPTR . OBTIENE EL DATO LINEAL DE RH
      MOV R1,A . DATO LINEAL LSB
      RET

***** COMPENSACION DEL VALOR LINEAL DE RH *****
***** 0 = TEM = 25 *****
VRHICA: MOV A,R1 . LSB DE RH%
      ADD A,TEM2 . SUMA LSB DE INC.TEM Y RH%
      MOV R1,A . ALMACENA EL DATO LINEAL COMP (LSB)
      MOV A,R0 . MSB DE RH%
      ADDC A,TEM1 . SUMA MSB DE INC.TEM Y RH%
      MOV R0,A . SUMA EL VALOR DATO LINEAL COMP (MSB)
      CLR C
      RET

```

***** COMPAESACION DE RH LINEAL *****
 ***** 25 < TEM *****

```
VRHLCB: CLR C
MOV A,R1
SUBB A,TEM2
MOV R1,A
MOV A,R0
SUBB A,TEM1
MOV R0,A
CLR C
RET
```

```
***** MUL DIS *****
MUL DIS: MOV A,R1
MOV B,#2FH
MUL AB ***** 15H 1 *****
MOV TEM2,A
MOV 751B
MOV A,R1
MOV B,#26H
MUL AB
MOV 761B
ADD A,751H
MOV 751A
MOV A,#00H
ADDC A,76H
MOV 761A
*****
MOV A,R0
MOV B,#2FH
MUL AB
MOV 771A
MOV A,R0
MOV B,#26H
MUL AB
MOV 781A
MOV A,75H
ADD A,77H ***** 15B2 *****
MOV 75M1A
MOV A,76H
ADDC A,78H ***** MS1 *****
MOV TEM0,A
RET
```

```
***** MENSAJES *****
: 1234567812345678
MENJE1 DB %RH-
DB 03H
MENJE2 DB ' C-
DB 03H
```

```
***** VALORES LINEALES *****
:1032-1078 (28% AL 36% DE R11)
ORG 7FDH
DB 1EHL20H,23H,25H,26H,2AHL,2CH,2FH,31H,35H
DB 37H,39H,3DH,3EHL,3EHL,40H,42H,44H,46H,48H
DB 49H,4AHL,4CFL,4EHL,4FH,51H,53H,54H,56H,58H
DB 5AHL,5BHL,5DH,5FH,60H,61H,63H,64H,66H,67H
DB 68H,6AHL,6BH,6CH,6EHL,6FH,70H
1079-1136 (38% AL 42% DE R11)
DB 71H,72H,74H,75H,76H,77H,79H,7AHL,7BL,7CH
DB 7EHL,7FH,80H,81HL,83HL,84HL,85HL,86H,87HL,88H
DB 89HL,8AHL,8BHL,8CH,8EHL,8EHL,8FH,90H,91H,92H
DB 93HL,94HL,95HL,97HL,98HL,99HL,9AHL,9BHL,9CH,9DH
DB 9EHL,9FH,0A0H,0A1H,0A2H,0A3H,0A4H,0A5H,0A6H
DB 0A7H,0A8HL,0A9H,0AAH,0ABH,0ACH,0ADH,0AEH
:1137-1217 (42% AL 48H% DE R11)
```

DB 0A7F,0B0H,0B0H,0B1H,0B2H,0B3H,0B4H,0B5H,0B6H,0B7H,
0B8H,0B9H,0BAH,0BBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,
DB 0CDH,0C1H,0C2H,0C2H,0C3H,0C4H,0C4H,0C5H,0C6H,0C7H
DB 0C8H,0C9H,0CAH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,
DB 0D2H,0D2H,0D3H,0D4H,0D5H,0D5H,0D6H,0D6H,0D7H,0D8H,0D8H,
DB 0D9H,0DAH,0DAH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,
DB 0DFH,0E0H,0E1H,0E1H,0E2H,0E2H,0E3H,0E4H,0E4H,0E5H,0E5H

DB 0E6H,0E7H,0E7H,0E8H,0E9H,0F0H,0F0H,0F1H,0F2H,
. 1218-1281 (48% AL 32% DE RH)

ORG 8AAH

DB 0E7H,0E7H,0EDH,0EEH,0EEH,0EEH,0EEH,0EEH,0EEH,0EEH,0EEH,
DB 0F1H,0F1H,0F4H,0F4H,0F5H,0F6H,0F6H,0F7H,0F8H,0F8H,
DB 0F9H,0FAH,0FAH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,
DB 0FFH,00H,00H,01H,02H,02H,03H,03H,04H,04H,05H,
DB 05H,06H,07H,07H,08H,08H,09H,09H,0AAH,0AAH,
DB 0C7H,0C7H,0DH,0EH,0EH,0EH,0EH,0EH,0EH,0EH,0EH,0EH,
DB 12H,13H,13H,14H

. 1282-1352 (58% AL 56% DE RH)

DB 14H,15H,15H,16H,16H,17H,17H,18H,19H,19H,
DB 1AH,1AH,1BH,1BH,1CH,1DH,1DH,1EH,1EH,1FH,1FH,
DB 20H,20H,21H,21H,22H,22H,23H,23H,24H,24H,25H,
DB 25H,26H,26H,27H,28H,28H,29H,29H,29H,29H,2AH,
DB 2AH,2BH,2CH,2CH,2DH,2DH,2EH,2EH,2FH,2FH,30H,
DB 30H,31H,31H,32H,32H,33H,33H,34H,34H,35H,35H,
DB 36H,37H,37H,38H,38H,39H,3AH,3AH,3BH,3BH,3BH,
DB 3CH,3CH,3DH

. 1353-1426 (56% AL 60% RH)

DB 3EH,3EH,3FH,3FH,40H,40H,41H,41H,42H,42H,
DB 44H,44H,45H,45H,46H,46H,47H,47H,48H,48H,
DB 49H,49H,4AH,4BH,4BH,4CH,4CH,4DH,4DH,4EH,4EH,
DB 4EH,4FH,4FH,50H,50H,51H,52H,52H,53H,53H,
DB 54H,54H,55H,56H,56H,57H,57H,58H,58H,59H,
DB 5AH,5AH,5BH,5BH,5CH,5CH,5DH,5DH,5EH,5EH,5FH,
DB 5FH,60H,60H,61H,61H,62H,62H,63H,63H,64H,64H,
DB 65H,65H,66H

. 592H = 1427 DECIMAL (60% DE RH)

ORG 970H

DB 66H,67H,67H,68H,68H,69H,69H,6AH,6AH,6AH,6AH,
DB 6BH,6CH,6CH,6DH,6EH,6EH,6FH,6FH,70H,70H,
DB 71H,71H,72H,72H,73H,74H,74H,75H,75H,76H,
DB 76H,77H,77H,78H,78H,79H,79H,7AH,7AH,7BH,7BH,
DB 7CH,7CH,7DH,7DH,7EH,7FH,7FH,80H,80H,81H,
DB 81H,82H,82H,83H,84H,84H,85H,85H,86H,86H,
DB 87H,88H,88H,89H,8AH,8AH,8BH,8BH,8CH,8CH,
DB 8DH,8EH,8EH,8FH,90H,90H,91H,91H,92H,92H,
DB 93H,93H,94H,95H,95H,96H,96H,97H,97H,98H,
DB 99H,99H,9AH,9AH,9BH,9BH,9CH,9CH,9DH,9DH,9EH,
DB 9EH,9EH,9FH,9AH,9AH,9AH,9AH,9AH,9AH,9AH,9AH,9AH,9AH,
. 1334-1603

DB 0A4H,0A4H,0A5H,0A5H,0A6H,0A6H,0A7H,0A7H,0A8H,0A8H,0A9H,
DB 0AAH,0AAH,0ABH,0ABH,0ABH,0ABH,0ABH,0ABH,0ABH,0ABH,0ABH,
DB 0ADH,0ADH,0ADH,0ADH,0ADH,0ADH,0ADH,0ADH,0ADH,0ADH,0ADH,
DB 0B6H,0B6H,0B7H,0B8H,0B8H,0B9H,0B9H,0BAH,0BAH,0BBH,
DB 0BCH,0BCH,0BDH,0BDH,0BDH,0BDH,0BEH,0BEH,0BFH,0BFH,0C0H,0C0H,0C1H,
DB 0C2H,0C2H,0C3H,0C3H,0C4H,0C4H,0C5H,0C5H,0C6H,0C6H,0C7H,
DB 0C7H,0C8H,0C9H,0C9H,0CAH,0CAH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,
. 1604-1666

DB 0C7H,0C8H,0C9H,0C9H,0CAH,0CAH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,
DB 0D3H,0D4H,0D4H,0D5H,0D5H,0D6H,0D6H,0D7H,0D8H,0D8H,0D9H,
DB 0DAH,0DAH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,
DB 0E0H,0E1H,0E2H,0E2H,0E3H,0E3H,0E4H,0E4H,0E5H,0E6H,
DB 0E6H,0E7H,0E8H,0E8H,0E9H,0EAH,0EAH,0EAH,0EAH,0EAH,0EAH,
DB 0EDH,0EDH,0EDH,0EDH,0EDH,0EDH,0EDH,0EDH,0EDH,0EDH,0EDH,
DB 0FH,0FH,0FH

. 1666-1722

DB 0F5H,0F6H,0F6H,0F7H,0F7H,0F8H,0F8H,0F9H,0F9H,0FAH,0FAH,0FBH

DB 0FC2H,0FD3H,0FD9H,0FE2H,0FF1H,0FF3H,001H,011H,01H,02H-
 DB 031H,04H,04H,05H,06H,06H,07H,08H,08H,09H
 DB 0A1H,0B1H,0B1H,0C1H,0D1H,0E1H,0E1H,0F1H,10H,11H
 DB 11H,12H,13H,14H,15H,15H,16H,17H,18H,18H
 DB 19H,1AH,1BH,1CH,1D1H,1E1H
 :172-177
 DB 1F1H,20H,20H,21H,22H,23H,23H,24H,25H,26H
 DB 27H,27H,28H,29H,2AH,2BH,2BH,2CH,2CH,2D1H,2EH
 DB 2EF1,2F1,30H,31H,32H,32H,33H,34H,35H,36H
 DB 36H,37H,38H,39H,3AH,3BH,3CH,3D1H,3D1H,3E1H
 DB 3F1H,40H,41H,42H,43H,44H,44H,45H,46H,47H
 :177-1813
 DB 481H,49H,4AH,4BH,4CH,4CH,4D1H,4E1H,4F1H,50H
 DB 51H,52H,53H,54H,55H,55H,56H,57H,58H,59H
 DB 5AH,5BH,5CH,5D1H,5D1H,5F1H,60H,61H,62H,63H
 DB 64H,65H,66H,67H,68H,69H,69H,6AH,6BH,6CH,6DH
 DB 6E1H,6F1H,70H
 :1816-1851
 DB 71H,72H,73H,74H,75H,76H,77H,78H,79H,7AH
 DB 7CH,7D1H,7E1H,7F1H,80H,81H,82H,83H,84H,85H
 DB 86H,88H,89H,8AH,8BH,8CH,8E1H,8F1H,90H,91H
 DB 92H,93H,95H,96H,97H,98H
 :1852-1883
 DB 9AH,9BH,9DH,9EH,9F1H,0A0H,0A2H,0A3H,0A4H,0A5H
 DB 0A6H,0A8H,0A9H,0AAH,0AB1H,0AD1H,0AE1H,0AF1H,0B0H,0B1H
 DB 0B3H,0B4H,0B5H,0D7H,0B8H,0BA1H,0BH1H,0C1H,0B3H,0BF1H
 DB 0C7H,0C7H
 :1884-1921
 DB 0C7H,0C5H,0C6H,0C7H,0C9H,0C9H,0C7H,0C7H,0C7H,0C7H,0D0H
 DB 0D2H,0D3H,0D5H,0D6H,0D8H,0D9H,0D9H,0D9H,0D9H,0E0H,0E0H
 DB 0E1H,0E3H,0E5H,0E6H,0E8H,0EA1H,0E1H,0E2H,0E2H,0E2H,0E2H
 DB 0F3H,0F3H,0F7H,0F9H,0FAH,0F7H,0F7H,0F7H

***** VALORES LINEALES SIN RETORNOAJEDEN *****

JINICIO EN 3007 (2 AL 18 % DE RH) Y TERMINA EN LA DIR. 3170
 CRG OF A 7H
 DB 14H,19H,1E1H,22H,27H,29H,2C1H,2F1H,32H,35H
 DB 38H,3BH,3F1H,41H,44H,46H,48H,4AH,4CH,4FH
 DB 51H,52H,53H,55H,56H,58H,59H,5BH,5CH,5EH
 DB 5F1H,61H,62H,64H,66H,67H,68H,69H,6AH,6BH
 DB 6DH,6EH,6F1H,70H,71H,72H,73H,74H,75H,76H
 DB 78H,79H,7AH,7BH,7CH,7CH,7DH,7D1H,7E1H,7F1H
 DB 80H,81H,82H,83H,84H,84H,85H,86H,86H,87H
 DB 88H,89H,89H,8AH,8BH,8CH,8E1H,8F1H,8F1H,8F1H
 DB 90H,90H,91H,91H,92H,93H,93H,94H,94H,95H
 DB 95H,96H,97H,97H,98H,98H,99H,9AH,9AH,9BH
 DB 9BH,9CH,9D1H,9D1H,9E1H,9E1H,9F1H,9A0H,9A0H,9A1H
 DB 0A1H,0A2H,0A3H,0A3H,0A4H,0A4H,0A5H,0A6H,0A6H,0A6H,0A7H
 DB 0A7H,0A7H,0A8H,0A8H,0A9H,0A9H,0AAH,0AAH,0AAH,0AAH,0A8H
 DB 0AH1H,0ACH,0AC1H,0AC1H,0AD1H,0AD1H,0AE1H,0AE1H,0AF1H,0AF1H
 DB 0AH1H,0B0H,0B0H,0B1H,0B1H,0B1H,0B2H,0B2H,0B2H,0B3H,0B3H
 DB 0B4H,0B4H,0B5H,0B5H,0B5H,0B6H,0B6H,0B7H,0B7H,0B7H,0B7H
 DB 0B8H,0B8H
 :3171-3230 (18 AL 26 % DE RH)
 DB 0B8H,0B9H,0B9H,0B9H,0C1H,0A0H,0A2H,0A4H,0B1H,0B1H,0B1H,0B1H
 DB 0BCH,0BCH,0BCH,0BCH,0BD1H,0RD1H,0BD1H,0BE1H,0BE1H,0BE1H
 DB 0BF1H,0BF1H,0C0H,0C0H,0C0H,0C0H,0C1H,0C1H,0C1H,0C1H,0C1H
 DB 0C1H,0C1H,0C1H,0C1H,0C1H,0C1H,0C2H,0C2H,0C2H,0C2H,0C2H
 DB 0C2H,0C2H,0C2H,0C2H,0C2H,0C2H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H
 DB 0C4H,0C4H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H
 :3231-3311 (20 AL 22 % DE RH)
 DB 0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H
 DB 0D0H,0D0H,0D0H,0D0H,0D1H,0D1H,0D1H,0D1H,0D1H,0D1H,0D1H
 DB 0D2H,0D2H,0D2H,0D3H,0D3H,0D3H,0D3H,0D4H,0D4H,0D4H,0D4H
 DB 0D5H,0D5H,0D5H,0D6H,0D6H,0D6H,0D6H,0D6H,0D7H,0D7H,0D7H
 DB 0D7H,0D7H,0D8H,0D8H,0D8H,0D8H,0D9H,0D9H,0D9H,0D9H,0D9H
 DB 0DAH,0DAH,0DAH,0DAH,0DAH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH
 DB 0DCH,0DCH,0D1H,0DD1H,0DD1H,0DD1H,0DEH,0DEH,0DEH,0DEH,0DEH

***** RETORNO DE INTERRUPCION *****
ORG 53H
SETD 70
ANL ADCON,#0EFH : LIMPIA ADC1 PARA NUEVA CONV
RETI
END

□

```

-REM ***** PROGRAMA EN LENGUAJE BASIC PARA *****
REM *****+ GENERAR TABLAS DE LINEALIZACION *****+
REM ***** CON COMPENSACION CONTRA TEMPERATURA *****+
REM ***** PARA EL MEDIDOR DE HUMEDAD RELATIVA (0-100%RH) *****+
REM
REM ***** DECLARACION DE VARIABLES *****
DEFING A-G, J-L, N, R, T-Z
DEFINT H, O-P

REM ***** DATOS DE ENTRADA *****

10 CLS
PRINT : PRINT
PRINT "TIENES 3 OPCIONES "
PRINT : PRINT "OPCION (1) " TABLA DE VALORES DISCRETIZADOS "
PRINT : PRINT "OPCION (2) " TABLA DE VOLTAJES Y EC. BINARIA "
PRINT : PRINT "OPCION (3) " TABLA DE VALORES LINEALIZADOS "
PRINT : PRINT
INPUT "CUAL OPCION QUIERES (1), (2) o (3) ", OP

CLS
PRINT : PRINT " SOBRE QUE INTERVALO QUIERES TRABAJAR, ELLE DEL 0-100%RH"
PRINT
INPUT " VALOR DE HUMEDAD RELATIVA MAXIMA " SRH1 ", HUMAX
INPUT " VALOR DE HUMEDAD RELATIVA MINIMA " SRH1 ", HUMIN
CLS
PRINT : PRINT PRINT
PRINT " NUEVAMENTE TIENES DOS OPCIONES " PRINT
INPUT " CON RETROALIMENTACION (CR) O SIN RETROALIMENTACION (SR) ", AS
CLS
REM
PRINT : PRINT PRINT
INPUT " DE CUANTOS BITS ES TU CONVERTIDOR A/D ", BITS
PRINT : PRINT
INPUT " DAME EL VALOR DE LA RESISTENCIA DEL CANAL ", RC
PRINT : PRINT
INPUT " DAME EL VALOR DE DE LA RESISTENCIA DE RETROALIMENTACION ", RF
PRINT : PRINT
INPUT " DAME EL VALOR DEL VOLTAJE DE ENTRADA ", VI
PRINT : PRINT
INPUT " CUAL ES LA TEMPERATURA EN ESTE MOMENTO ", TEM
CLS

REM ***** LETREROS DE SALIDA *****

IF OP = 3 THEN
REM "LETRERO DE SALIDA PARA LA OPCION (3)
PRINT : PRINT TAB(30), "TABLA", OP, "C"
PRINT TAB(30), "-----"

ELSEIF OP = 2 THEN
REM "LETRERO DE SALIDA PARA OPCION (2)"
PRINT : PRINT : PRINT TAB(30), "TABLA", OP, "B"
PRINT TAB(30), "-----";
PRINT : PRINT TAB(39), " " A ", TAB(63), TEM, TAB(68), "C-CENT "
PRINT TAB(2), "SRH1", TAB(10), "RS", TAB(23), "VI", TAB(41), "RN", TAB(39), "TBEX", TAB(46), "VF", TAB(33), "EBF",
TAB(60), "R1P-P", TAB(68), "EBRIEX"
PRINT TAB(2), " ", TAB(10), " ", TAB(23), " ", TAB(34), " ", TAB(39), " ", TAB(46), " ", TAB(33), " ";
TAB(60), " ", TAB(68), " "
REM
ELSEIF OP = 1 THEN
REM "LETRERO DE SALIDA PARA OPCION (1)"
PRINT : PRINT PRINT : PRINT TAB(30), "TABLA", OP, "A"
PRINT TAB(30), "-----"; PRINT
PRINT TAB(2), "SRH", TAB(9), "VOIT1 "; TAB(22), "INC VOLT", TAB(36), "DIVISIONES", TAB(50), "INC SRH"

```

```

PRINT TAB(2), " ", TAB(9); " ", TAB(22); " ", TAB(36); " ", TAB(50); " "
- END IF

REM *****FIN DE LETREROS DE SALIDA*****

REM *****PROGRAMA PRINCIPAL*****

FOR HUMAX = HUMAX TO (HUMIN + 2) STEP 2

  GOSUB 300 'SUB PARA CALCULAR LA IMPEDANCIA
  W = 3600 + 2 * RC + ZSEN
  T = 3600 + 2 * RC + USIEN

  REM ***** CON RETROALIMENTACION O SIN RETROALIMENTACION ? *****

  CANT = LEN(A3)
  IF CANT = 2 THEN
    GOSUB 100 'CALCULA EL VOLTAJE SIN RETROALIMENTACION
    ELSEIF CANT = 1 THEN
      GOSUB 150 'CALCULA EL VOLTAJE CON RETROALIMENTACION
    END IF

  REM ***** FIN DE CAMBIO DE RETROALIMENTACION *****

  GOSUB 500 'LLAMA A SUB QUE CALCULO VALORES DISCRETIZADOS
  GOSUB 400 'LLAMA SUB PARA CALCULAR ECTN BINARIA
  GOSUB 350 'LLAMA SUB PARA CALCULO VOLTAJES FINALES (LINEALES)
  GOSUB 600 'LINEARIZACION
  GOSUB 700 'CORRECCION CONTRA TEMPERATURA

  IF OP = 3 THEN

    REM ***** LLAMA SUB PARA HACER EL CALCULO DE VALORES LINEALES ****
    GOSUB 200

    ELSEIF OP = 2 THEN
      REM ***** IMPRESION DE LA TABLA DE VOLTAJES Y EC BINARIA ****
      PRINT 'PRINT TAB(1), HUMAX, TAB(6), ZSEN, TAB(20), VOUT1, TAB(32), ECTN, TAB(39), HEX$(ECTN%), TAB(45);
      TAB(53), Q1%, TAB(60), VREAL, TAB(70), HEX$(VREAL%)
    ELSEIF OP = 1 THEN
      REM ***** IMPRESION DE LA TABLA DE VALORES DISCRETIZADOS ****
      PRINT 'PRINT TAB(1), HUMAX, TAB(6), VOUT1, PRINT, TAB(20), INC, TAB(38), RESTA%, TAB(48); KRL, TAB(60);
    END IF

    NEXT HUMAX
    PRINT 'PRINT
    INPUT 'QUEERES REALIZAR OTRO CALCULO (S/N) ? ', Q3
    IF Q3 = "S" THEN GOTO 10
    IF Q3 = "N" THEN GOTO 60
  60 END

100 REM ***** VOLTAJES SIN RETROALIMENTACION *****

  VOUT1 = RF * (V1 / W)
  VOUT2 = RF * (V1 / T)
  RETURN

150 REM ***** VOLTAJES CON RETROALIMENTACION *****

  VOUT1 = (100000 * (RF + RC / 2) / (RF + RC / 2 + 100000)) * (V1 / W)
  VOUT2 = (100000 * (RF + RC / 2) / (RF + RC / 2 + 100000)) * (V1 / T)
  RETURN

200 REM ***** CALCULO DE VALORES PARA LA TABLA 3 *****

  X = X1
  L = 0
  I = 0
  REM ***** LETREROS DE SALIDA PARA LA TABLA 3 ****

  PRINT 'PRINT TAB(25), "No DIVISIONES =", TAB(40), RESTA%, TAB(60); "TEM A", TAB(67), TEM, TAB(74); "G-CENT"

```

```

- PRINT: PRINT TAB(1); "Y = (" TAB(6); Y2%; TAB(12); "-"; TAB(14); Y1%; TAB(23); ") / (" TAB(28); X2; TAB(34); "-";
TAB(36); X1; TAB(40); ") * (" TAB(46); "X"; TAB(49); "-"; TAB(51); X1; TAB(55); ") * (" TAB(59); Y1%;
PRINT: PRINT
PRINT TAB(2); " = %RH"; TAB(14); ZSEN; TAB(24); "VOUT1"; TAB(32); "ECB"; TAB(37); "HEX1"; TAB(46); "VF";
TAB(52); "Y"; ECB%; TAB(60); "HEX"; TAB(67); "%RH"; TAB(75); "HEX";
PRINT TAB(2); " = "; TAB(14); " "; TAB(24); " "; TAB(32); " "; TAB(37); " "; TAB(46); " "; TAB(52); " ";
TAB(60); " "; TAB(67); " "; TAB(75); " ";

```

ETI:

```

X = X1 + 1
ZSEN = EXP(1 / (000867 * X + 0579))
W = 5600 + 2 * RC + ZSEN
IF CANT = 2 THEN
VOUT1 = RF * (V1 / W)
ELSEIF CANT = 3 THEN
VOUT1 = (100000 * (RF + RC / 2) / (RF + RC + 2 + 100000)) * (V1 / W)
ENDIF
Y = ((Y2% * Y1%) / (X2 - X1)) * (X - X1) + Y1%
PRO% = Y
VF = 10 * PRO% / PALA
GO SUB 700
ECB% = VOUT1 * PALA / 5
EX1 = X / 10
REAL1 = EX1 - VF
E11 = REAL / EX1 * 100
PRINT TAB(0); X; TAB(11); ZSEN; TAB(21); VOUT1; TAB(31); ECB%; TAB(37); HEX(HEX%); TAB(41); VF; TAB(52);
PRO%; TAB(60); HEX(V); TAB(65); VTRAL1; TAB(70); HEX(HEX2%);
I = KRH * 1 + KRH
L = L + 1
IF I <= RESTA% GOTO ETI
RETURN

```

300 REM ***** SUBROUTINA PARA CALCULAR Z EN FUNCION DE LA %RH *****

```

A = 000867
B = 0579
L = 1 / (A * HUMAX + B)
ZSEN = EXP(L)
HUMAX = HUMAX - 2
N = 1 / (A * HUMAX + B)
USEN = EXP(N)
HUMAX = HUMAX + 2
RETURN

```

350 REM ***** VOLTAJE FINAL Y EC BINARIA FINAL (VALORES LINEALES) *****

```

VF = HUMAX / 10
PALA = 2 * (BITS) - 1
G1% = VF * PALA / 10
G2% = (VF - 2) * PALA / 10
RETURN

```

400 REM ***** SUBROUTINA PARA CALCULAR EC BINARIA *****

```

PALA = 2 * (BITS) - 1
ECB% = VOUT1 * PALA / 5
ECB1% = VOUT1 * PALA / 5
RESTA% = ECB% - ECB1%
RETURN

```

500 REM ***** SUBROUTINA PARA OBTENER LOS VALORES DISCRETIZADOS Y LINEALES *****

```

INC = VOUT1 - VOUT2
DRC = 5 / (2 * (BITS) - 1)
C = INC / DISC
KRH = 2 / C
RETURN

```

600 REM ***** CAMBIO DE VARIABLES *****

X2 = HUMAX
X1 = HUMIN
Y2% = G1%
Y1% = G2%
RETURN

700 REM ***** CORRECCION CONTRA TEMPERATURA *****

IF TEM > 25 THEN
TEM1 = TEM - 25
INCRH1 = TEM1 * (.36)
VFREAL = (HUMAX) + INCRH1
VFREAL2 = VF + INCRH1 / 10
VFREAL3 = (VF + INCRH1 / 10) * 10
EBFR2% = VFREAL2 * PALA / 10
EBFR% = VFREAL2 * PALA / 10
ELSEIF TEM < 25 THEN
TEM2 = 25 - TEM
INCRH2 = TEM2 * (.36)
VFREAL = (X2) + INCRH2
VFREAL2 = VF + INCRH2 / 10
VFREAL3 = VFREAL2 * 10
EBFR2% = VFREAL2 * PALA / 10
EBFR% = VFREAL2 * PALA / 10
END IF
RETURN