

5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DE UN MEDIDOR ELECTRONICO DE
DENSIDAD PARA SOLUCIONES AZUCARADAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO ELECTRICO ELECTRONICO

P R E S E N T A:

DANIEL IGNACIO HERNANDEZ GARCIA



DIRECTOR DE TESIS: M. I. ANTONIO SALVA CALLEJA

MEXICO, D. F.

2001

299957



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.

“Lo propio del sofista, según Aristófanes, es inventar razones nuevas.

Procuremos inventar pasiones nuevas, o reproducir las viejas con pareja intensidad.

Analizo una vez más esta conclusión, de raíz pascaliana: la verdadera creencia está entre la superstición y el libertinaje.”

José Lezama Lima, *Tratados en La Habana*.

“Quizá el error estuviera en aceptar que ese objeto era un tornillo por el hecho de que tenía la forma de un tornillo. Picasso toma un auto de juguete y lo convierte en el mentón de un cinocéfalo.[...]

“Del tornillo a un ojo, de un ojo a una estrella... ¿Por qué entregarse a la Gran Costumbre?”

Julio Cortázar, *Rayuela*.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	5
OPERACIÓN BÁSICA DEL SISTEMA ÓPTICO Y SENSORES Y ACTUADORES ASOCIADOS	
I.I Refracción	5
I.II Geometría óptica utilizada	9
I.III Sensor óptico	16
I.IV Motor de pasos y controlador del mismo	22
I.V Optointerruptores de referencia	24
I.VI Microcontrolador MC68HC11A1	25
I.VII Fuente de alimentación	26
CAPÍTULO II	27
SOFTWARE DE ARBITRAJE DEL INSTRUMENTO, EJECUTABLE EN EL MICROCONTROLADOR	
II.I Introducción al microcontrolador MC68HC11A1	27
II.II Interface de comunicación serial	29
II.III Convertidor analógico digital	33
II. IV Proceso de medición	36
II.V Diagrama de flujo del programa	43
II.VI Programa fuente en lenguaje ensamblador	57
CAPÍTULO III	63
SOFTWARE EJECUTABLE EN UNA COMPUTADORA PERSONAL, ASOCIADO CON LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA	
III.I Puerto serial de una computadora personal	63
III.II Interfaz hombre-máquina y procedimiento	67
III.III Diagrama de flujo	72
III.IV Programa en lenguaje C	79

CAPÍTULO IV	104
PRUEBAS DEL INSTRUMENTO	
IV.I La densidad como función de la distancia	104
IV.II Tipos de error	110
IV. III Cálculo de errores del instrumento	112
IV. IV Origen y solución de los errores	121
CONCLUSIONES	123
APÉNDICE	128
BIBLIOGRAFÍA	130

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1. Principio de funcionamiento	3
2. Diagrama a bloques del proceso	3
3a. Fenómeno de refracción (sustancias a y b)	5
3b. Fenómeno de refracción (vacío y sustancia a)	6
3c. Fenómeno de refracción (vacío y sustancia a; vacío y sustancia b)	6
4. Desviación de un haz de luz por agua simple y por una solución azucarada	9
5. Elementos del sistema y principio de funcionamiento	10
6. Procedimiento de medición	11
7. Comportamiento de un haz de luz a través del tanque	12
8. Comportamiento de rayos con diferentes ángulos de incidencia	13
9. Distancia entre el punto de referencia y el de proyección	14
10. Aspecto del tanque	15
11. Manera en que el haz atraviesa al tanque	15
12. Diagrama de la fuente de corriente	16
13. Diagrama del amplificador de instrumentación	18
14. Diagrama del amplificador A4	19
15. Retroalimentación del amplificador A3	19
16. Corrientes y voltajes en el amplificador A3	20
17. Uso de diodos para la restricción del voltaje de entrada al ADC	21
18. Diagrama del controlador del motor de pasos	22
19. Sistema mecánico para el movimiento del sensor	23
20. Vista del fotoresistor y elementos circundantes	24
21. Diagrama y vista de un optointerruptor	24
22. Configuración básica del microcontrolador MC68HC11A1	25
23. Configuración del circuito MAX232	26
24. Diagrama de la fuente de alimentación	26
25. Diagrama a bloques del microcontrolador MC68HC11A1	27
26. Mapa de memoria del microcontrolador en modo Bootstrap	28
27. Operación de transmisión del SCI	29
28. Operación de recepción del SCI	30
29. Operación del convertidor analógico digital en un solo canal	34
30. Operación del convertidor analógico digital en canal múltiple	34
31. Vista anterior del instrumento y sus partes	36
32. Vista posterior del instrumento y sus partes	37
33. Disposición del sistema para realizar una medición	38
34. Recepción y transmisión en un UART	63
35. Presentación del programa ejecutable en una PC	68
36. Despliegue de resultados en el programa SENSOR.EXE	70
37. Mecanismo de ajuste del dispositivo láser	121
38. Control de la concentración de azúcar en una solución	125
39. Uso de tres optoresistores en un diseño futuro	126

ÍNDICE DE GRÁFICAS

1. Índice de refracción con respecto a la concentración de diferentes soluciones azucaradas	8
2. Número de pasos del motor con respecto al grado de concentración de las muestras	105
3. Grados Brix con respecto al grado de concentración de las muestras	106
4. Índice de refracción con respecto al grado de concentración de las muestras	107
5. Errores relativos en las mediciones hechas en el instrumento diseñado	113
6. Histograma y polígono de frecuencia	117
7. Histograma y polígono de frecuencia relativa	117

ÍNDICE DE ECUACIONES

1. Constante de la Ley de Snell	6
2. Ley de Snell para dos medios distintos	7
3. Ángulo crítico	13
4. Número de pasos como función de la proporción	104
5. Grados Brix como función de la proporción	104
6. Índice de refracción como función de la proporción	104
7. Proporción como función del número de pasos	109
8. Error relativo	112

INTRODUCCIÓN

Dentro de cualquier proceso industrial existe la necesidad de medir, lo que permite tener control sobre el sistema mediante la corrección de errores. Los métodos de medición son elegidos de acuerdo a las condiciones del entorno. Así, los dispositivos empleados, son tan numerosos como lo son las diferentes aplicaciones a las que son destinados.

El proceso de medición generalmente requiere el uso de un instrumento como medio físico para determinar la magnitud de una variable. Los instrumentos constituyen una extensión de las facultades humanas y en muchos casos permiten determinar el valor de una cantidad desconocida, la cual no podría medirse utilizando solamente facultades sensoriales.

El instrumento diseñado tiene el propósito de conocer la cantidad de azúcar disuelta en agua. Para lograrlo, es aprovechado el fenómeno óptico de refracción, que se presenta cuando la luz pasa a través del límite que separa a dos sustancias transparentes. En esa zona los haces luminosos modifican su dirección debido al cambio de su velocidad. Ello se debe a que viajan en ambientes con densidades diferentes.

Asociado a este hecho, existe un parámetro que caracteriza a una sustancia, llamado índice de refracción. Éste, como una medida de identificación química, es uno de los criterios usados desde hace mucho tiempo y sirve como base para la instrumentación analítica química.

De singular importancia son las soluciones azucaradas en la industria alimenticia. Ellas son utilizadas como base para otros productos, por ejemplo, refrescos y jugos. Por ello, el impacto del proyecto recae directamente sobre este tipo de artículos de consumo. La industria refresquera tiene trascendencia económica en nuestro país, ya que somos grandes consumidores a nivel mundial.

Estos productos constan esencialmente de agua, jarabe preparado y gas carbónico. El agua empleada en la elaboración de estas bebidas pasa primero por una planta de tratamiento. Posteriormente es filtrada y purificada, con lo cual está en condiciones sanitarias para ser ingerida. Más tarde, se bombea a la sala de preparación de jarabes y al salón de embotellado.

En la sala de jarabes, el agua se emplea para disolver el azúcar en los tanques de preparación del llamado jarabe simple, pasando después a un proceso de filtración. Entonces se bombea a los tanques de jarabe preparado, en los cuales se le agrega el concentrado con el sabor característico de la bebida. En todos los casos se favorece la mezcla por medio de la agitación mecánica. Después, se deja reposar la solución de 8 a 24 horas, dependiendo de las normas de control de calidad existentes para cada uno de los refrescos en el mercado. Enseguida, se hace pasar el producto por filtros y por un proceso de carbonatación, después del cual está en condiciones de ser embotellado.

La medición y control de la densidad de jarabes en la industria alimenticia son factores importantes para producir una calidad uniforme de los alimentos procesados. Se cuenta con diferentes tipos de instrumentos para este propósito. Éste en particular, representa otra alternativa, que puede ajustarse a las necesidades particulares de cualquier proceso similar.

Uno de los aparatos más utilizados en la industria alimenticia, es el refractómetro, que se usa como herramienta en la línea de producción. Es muy útil para controlar productos que deben ser concentrados, como jaleas, mermeladas y jugos. Tiene grandes ventajas para la medición de sólidos o gravedad específica, debido a que:

1. Los resultados son rápidos.
2. Los operadores pueden ser fácilmente capacitados.
3. La cantidad de muestras necesaria es pequeña.
4. Se obtienen valores precisos.

Las aplicaciones en el procesamiento de los alimentos son numerosas, los refractómetros suelen ser usados para medir la proporción y capacidad de disolución y agitación, en operaciones donde se agregan sólidos a líquidos. En estas situaciones, se debe cuidar que los solutos estén disueltos completamente y mezclados de manera homogénea, teniendo así una lectura estable. Generalmente sal, azúcar y saborizantes son agregados al agua y puede ser medida la concentración de cada uno de ellos.

El refractómetro es un instrumento usado para determinar el índice de refracción. Algunos instrumentos también leen el porcentaje de sólidos solubles o grados Brix. El valor del índice de refracción es constante para una sustancia pura, bajo condiciones estándar de temperatura y presión. El del agua, por ejemplo, es de 1.33299 a 20° C, mientras que el del aire es de uno.

El refractómetro compara la velocidad de la luz que pasa a través de una sustancia, con la que desarrolla cuando pasa a través del aire. Si el agua tiene un índice de refracción de 1.3, ello significa que la luz pasa a través del agua 1.3 veces más lento que cuando lo hace en el aire. Así, hay una relación directa entre el contenido de sólidos solubles totales y el índice de refracción de la solución.

En la actualidad existen muchos tipos de refractómetros en el mercado.

El *ABBE 56* puede medir desde 1.30 a 1.71 con una precisión de dos a cuatro decimales. El instrumento tiene un sistema enfriador de agua. Para obtener una precisión mayor puede ser conectado a un controlador automático de temperatura.

El *refractómetro manual Spencer* es un instrumento que mide desde 1.30 a 1.38 o 30% de sólidos. La escala está calibrada en incrementos de 0.2%. Además la precisión es de 0.1%. Tiene una fuente de luz propia integrada.

El *refractómetro de vacío Goldberg* ofrece a la industria un instrumento de aplicación directa, para el control de calidad durante el proceso de concentración.

Retomando al principio que gobierna al instrumento diseñado, se expone a continuación el procedimiento de operación.

Si se considera que se tiene un haz de luz, que hace un recorrido desde su origen (o fuente), hasta un objeto opaco que sirve como pantalla, entonces el rayo atraviesa, en este caso, solamente al aire (cuya densidad no varía), por lo que no existe una desviación. Este hecho puede ser comprobado al observar la zona iluminada en el objeto opaco.

Si se coloca un recipiente transparente, que contenga agua simple, entre la fuente de luz y la pantalla, podría ser apreciado el cambio de trayectoria, al mirar el desplazamiento que sufrió el punto de proyección. Se refiere a este lugar, desde este momento, como punto de referencia.

Si en vez de contener agua simple, el recipiente tuviera una solución acuosa (que es más densa que la primera) y se procediera de la misma manera, habría una separación entre el nuevo punto de proyección y el de referencia. Es decir, que puede ser medida, indirectamente, la densidad de una solución, usando la distancia que separa a ambos puntos. De esta manera es comparado el efecto óptico que produce la solución azucarada, con respecto al agua simple.

La figura siguiente ilustra el hecho. En esta se tienen dos recipientes transparentes, uno encima del otro. El superior contiene una solución azucarada, mientras que el inferior tiene agua simple.

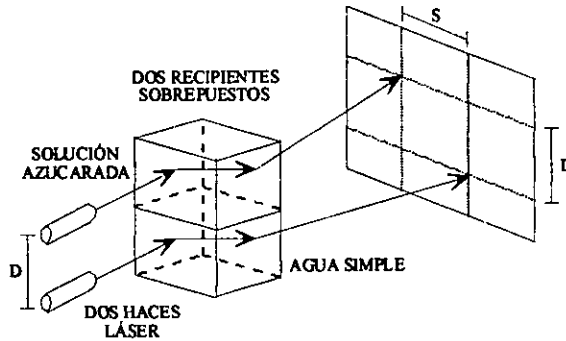


FIGURA 1

A través de cada líquido pasa un haz de luz láser, cuyas fuentes de origen también se encuentran una sobre otra, separados por una distancia D . Después de atravesar cada líquido, los rayos se proyectan sobre una pantalla. Como se puede ver en la figura, la distancia vertical entre los haces (D), no cambia. Pero, debido a que las sustancias tienen diferente densidad, la distancia horizontal (S) si es modificada.

De esta manera se puede conocer de manera indirecta la densidad de una solución azucarada, al medir la distancia S . El sistema puede ser usado en otros casos, repitiendo el mismo método, pero con otro líquido que tenga transparencia y sirva también como solvente, a fin de conocer la variación de densidad al agregar el soluto. Por ejemplo en la industria farmacéutica, donde la densidad de una solución es un factor importante para el control de calidad.

Los materiales usados en este caso (azúcar y agua) son no corrosivos, lo que facilita su manejo.

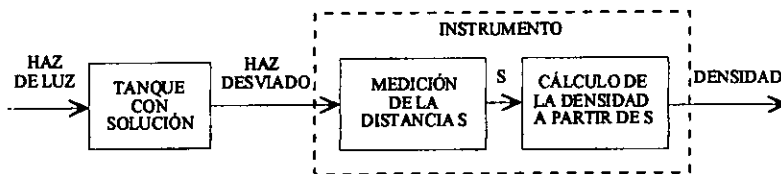


FIGURA 2

El instrumento puede ser insertado dentro de un sistema, que controle la disolución de una sustancia cualquiera, para así obtener un líquido a una concentración deseada, usado en otra etapa de un proceso de producción. La principal ventaja para hacerlo, es el carácter automático del aparato, a diferencia de otros instrumentos que operan de forma manual.

La condición fundamental que debe ser tomada en cuenta, es la transparencia de la solución, ya que el dispositivo está basado en una propiedad óptica. Como consecuencia, el líquido debe ser uno que no reaccione con la luz. Esto último, es también una cualidad, en caso de que se quiera evitar la contaminación de la sustancia a medir, ya que no existe contacto, más que con el recipiente que la contiene.

Comercialmente son usadas dos escalas fundamentales: la de grados Brix que relaciona la masa del solvente con la del soluto y la asociada al índice de refracción de la sustancia.

Por otra parte, el dispositivo resulta económico en su construcción, siendo importante para las nacientes empresas mexicanas, que no cuenten con los suficientes recursos para comprar equipo fabricado en el extranjero. De esta forma, no sólo se evitan los gastos de la adquisición de un aparato de medición, sino además, los involucrados en su mantenimiento y reparación. También podría impulsar a la industria nacional especializada en instrumentos de este tipo y evitar así, la dependencia directa hacia la tecnología de otros países.

Para facilitar su uso, el sistema se comunica con el operador por medio de una computadora personal, siendo el teclado y el monitor los elementos de mando y visualización del proceso de medición.

El dispositivo, por tratarse de un prototipo, puede ser modificado posteriormente para su mejora.

CAPÍTULO I

OPERACIÓN BÁSICA DEL SISTEMA ÓPTICO Y SENSORES Y ACTUADORES ASOCIADOS

El principio básico mediante el cual funciona el instrumento, es llamado refracción. Este es un fenómeno óptico que se puede ser observado en los llamados espejismos, o se manifiesta en la atmósfera, entre otras maneras, como halos luminosos alrededor del sol, causados por la refracción de la luz por cristales hexagonales de hielo.

Este fenómeno involucra un haz de luz que atraviesa dos sustancias diferentes y se explica a continuación.

1.1 REFRACCIÓN

La refracción ocurre cuando la luz incide en la superficie que separa dos medios ópticos (a y b), donde en parte es reflejada y en parte transmitida al segundo medio, como es ilustrado a continuación:

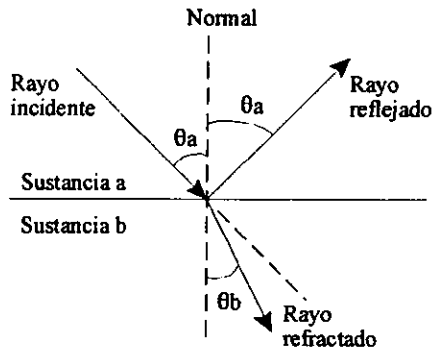


FIGURA 3a

En primer término, se tiene un haz de luz que incide sobre la superficie de un material transparente (frontera). Parte de este rayo luminoso es reflejado y el resto pasa a la segunda sustancia. Midiendo los ángulos que forman los haces con respecto a la normal, se pueden definir los ángulos de incidencia, de reflexión y de refracción.

Los primeros dos son iguales en magnitud, mientras que el segundo depende de las sustancias y de la longitud de onda de la luz. Los rayos incidente, reflejado y la normal se encuentran en un mismo plano. A estos dos principios se les conoce como la Ley de Reflexión.

Por otra parte, la razón del seno del ángulo de incidencia entre el seno del ángulo de refracción, es una constante. Además, los rayos incidente y refractado y la normal a la superficie están en un mismo plano. A estos dos principios se les conoce como la Ley de Snell.

Si se considera un haz de luz monocromática que se propaga en el vacío, formando un ángulo de incidencia θ_0 con la normal a la superficie de un medio a, y sea θ_a el ángulo de refracción en dicho medio, como la muestra la figura siguiente:

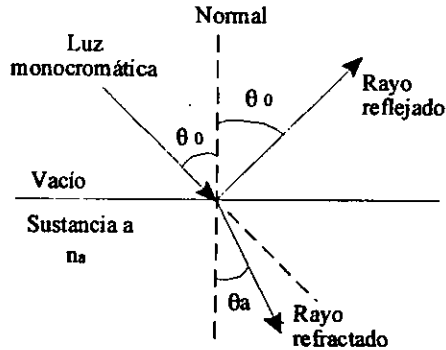


FIGURA 3b

Entonces la constante de la Ley de Snell se denomina índice de refracción del medio a, y se designa por n_a :

$$\frac{\text{sen } \theta_0}{\text{sen } \theta_a} = n_a$$

ECUACIÓN 1

El índice de refracción es siempre mayor que la unidad y no depende sólo del medio, sino también de la longitud de onda de la luz. El correspondiente al aire es de aproximadamente 1.0003 y puede tomarse como la unidad, el de la mayor parte de los vidrios se encuentra entre 1.46 y 1.96.

Aplicando la Ley de Snell a las refracciones que tienen lugar en las superficies comprendidas entre el vacío y la sustancia a, y entre el vacío y una sustancia b, resulta:

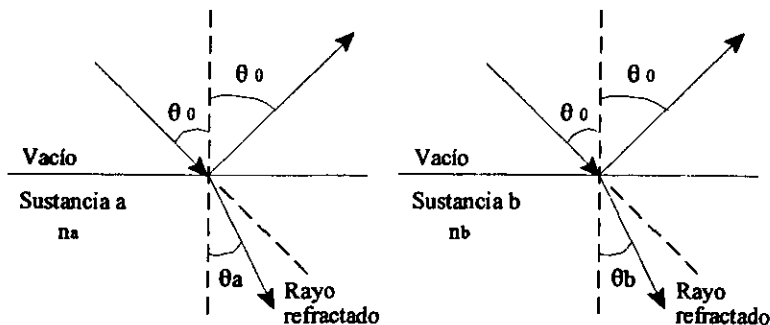


FIGURA 3c

De la misma manera en que se obtuvo la ecuación 1, se tiene también la relacionada a la sustancia b:

$$\frac{\text{sen } \theta_0}{\text{sen } \theta_a} = n_a \qquad \frac{\text{sen } \theta_0}{\text{sen } \theta_b} = n_b$$

De ambas ecuaciones se puede conseguir:

$$\frac{\text{sen } \theta_a}{\text{sen } \theta_b} = \frac{n_b}{n_a}$$

Finalmente, puede quedar como:

$$n_a \text{ sen } \theta_a = n_b \text{ sen } \theta_b$$

para $0 < \theta_a < \pi$

ECUACIÓN 2

De esta forma se tiene la relación entre dos medios ópticos distintos entre sí y diferentes al vacío, para el fenómeno de refracción.

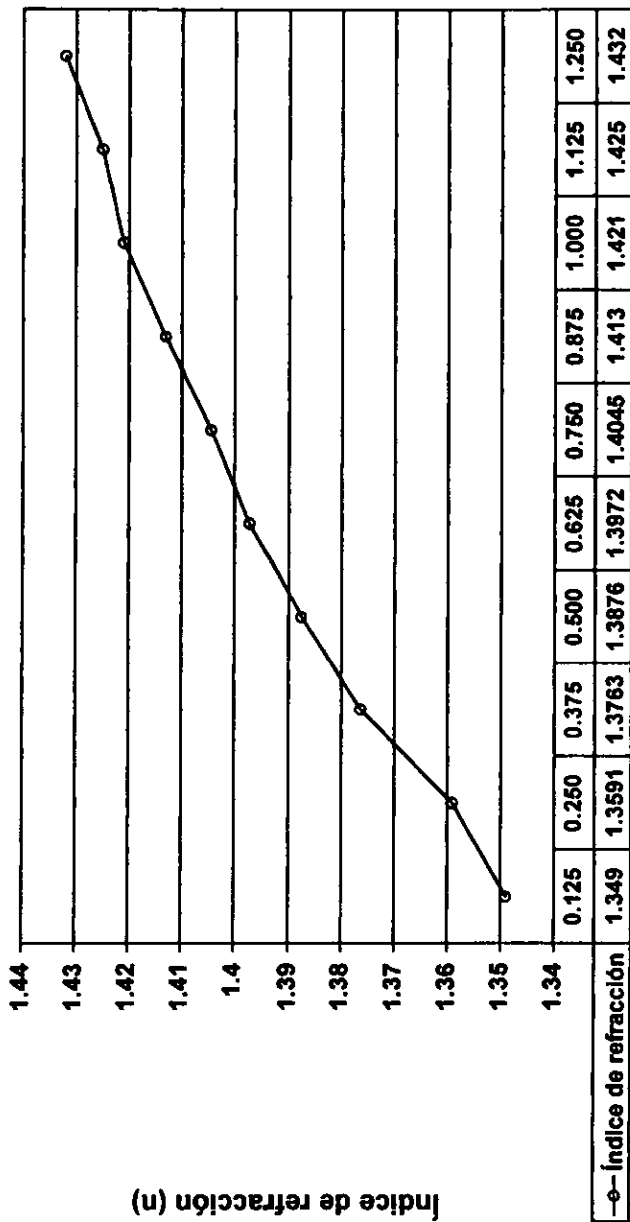
En caso de que $\theta_a = 0$, el fenómeno no existe. Cuando $\theta_a = \pi$ el haz es paralelo a la superficie de frontera.

Como se puede observar por la ecuación 2, la geometría de los rayos de incidencia y de refracción depende de los índices de las sustancias involucradas (que cambian con la densidad).

Siendo éstas, las soluciones que se utilizan como base en la industria alimenticia, se espera poder medir mezclas de agua y azúcar con una proporción máxima de 1.23 kg por litro.

Fue empleado un refractómetro de ABBE (589.3 nm de longitud de onda) para conocer el índice de refracción del tipo de solución usada en el instrumento. Para ello se prepararon diez sustancias con diferente concentración de azúcar a las que fue medida su índice de refracción. Los resultados se muestran en la GRÁFICA 1.

ÍNDICE DE REFRACCIÓN CON RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN DE DIFERENTES SOLUCIONES AZUCARADAS



Proporción azúcar-agua (g/ml)

NOTAS: Refractómetro ABBE de 589.3 nm de longitud de onda

GRÁFICA 1

LII GEOMETRÍA ÓPTICA UTILIZADA

En caso de que se tenga un haz que se propaga desde su fuente hasta un objeto opaco (que sirve como pantalla), el rayo atraviesa, en este caso, solamente aire (cuya densidad no varía), por lo que no existe el fenómeno de refracción.

Si se interpone un recipiente transparente (que contenga agua simple), entre la fuente de luz y la pantalla, puede ser apreciado el cambio de trayectoria al mirar el desplazamiento que sufrió el punto de proyección. Este puede ser llamado punto de referencia. Se debe considerar que $0 < \theta_a < \pi$ (según la ecuación 2).

Si en vez de contener agua simple, el recipiente tuviera una solución azucarada (que es más densa que el agua) y se procediera de la misma manera, habría una separación entre el nuevo punto de proyección y el de referencia. Es decir, que puede ser medida, indirectamente, la densidad de una solución, usando la distancia que separa a ambos puntos.

Ilustrando este hecho se tiene:

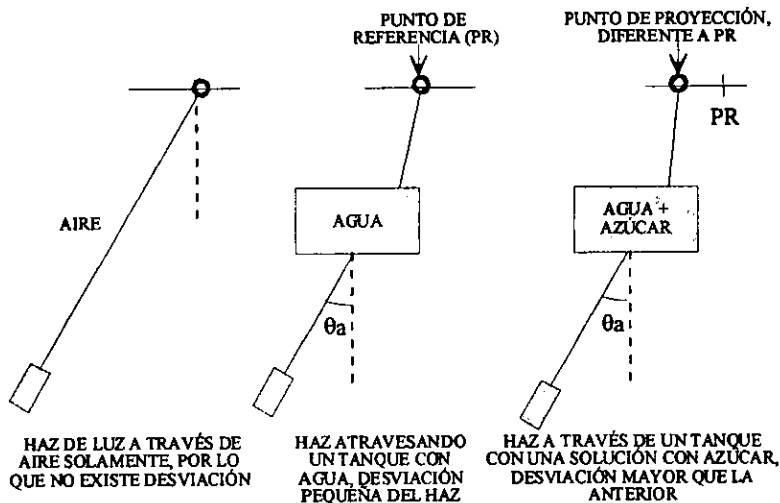


FIGURA 4

El dispositivo diseñado tiene como elemento primario un sensor óptico, construido a partir de un foto-resistor y un amplificador de instrumentación. El primero detecta un haz de luz visible (rojo), emanado por un diodo láser. La señal de intensidad luminosa se convierte en otra, en términos de voltaje. El amplificador de instrumentación se encarga entonces de amplificar la señal eléctrica analógica. Ésta se convierte en digital al entrar a un convertidor analógico - digital de un microcontrolador.

El rayo hace un recorrido desde su fuente hasta el foto-resistor, pasando a través de la muestra contenida en un recipiente transparente. Al hacerlo, se modifica su trayectoria, debido al fenómeno de refracción. El grado de desviación depende del índice n (que varía al hacerlo la densidad) y del ángulo de incidencia. Entonces, para soluciones con diferente concentración de azúcar, se tienen diferentes ángulos de

refracción. Este hecho causa que el punto de proyección del haz, cambie de lugar dependiendo de la densidad del líquido.

El sensor es movido horizontalmente por un motor de pasos (1.875° por paso), mediante una banda y un sistema de engranes y es guiado por una barra metálica que sirve como eje de su desplazamiento. Comienza su movimiento rectilíneo en el punto de referencia (indicado por un opto-interruptor) y se desplaza hacia un límite (opto-interruptor dos), que representa la concentración máxima que puede medir el instrumento. Las figuras 5 y 6 muestran el procedimiento.

En cualquier parte de ese trayecto, puede ser localizada la proyección del haz. Cuando ocurre este hecho, el motor se detiene y son contados los pasos que dio (es decir la distancia). De esta manera es comparado el efecto óptico que produce la solución azucarada con respecto al agua simple.

Todo el sistema es controlado por un microcontrolador MC68HC11A1. Éste tiene comunicación asíncrona con una computadora personal, por medio de su Interface de Comunicación Serial y uno de los puertos seriales del microprocesador.

Con ello se facilita el uso del instrumento, pues el operador puede conocer el desarrollo del proceso, al ejecutar un programa en la computadora que esté conectada al sistema.

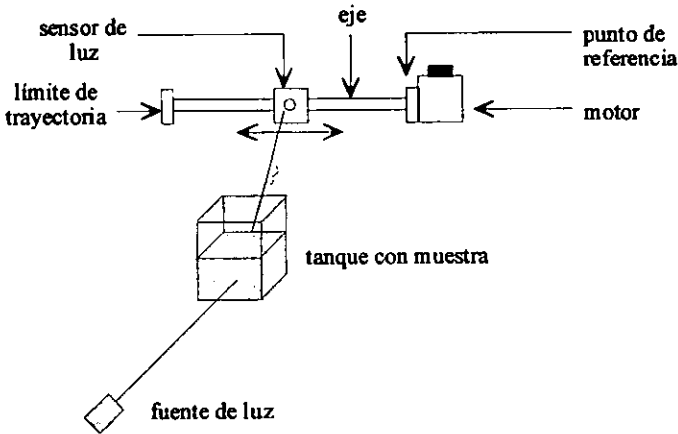


FIGURA 5

En la figura 5 se pueden apreciar la representación de los dos optointerruptores, colocados en el punto de referencia y en el límite de la trayectoria. El eje metálico sirve como guía al sensor durante su recorrido. Este a su vez se encuentra en una pieza plástica, que es movida por el motor.

En la figura siguiente se explica el procedimiento. Se debe asegurar que los elementos (fuente de luz, tanque e instrumento) no cambien de posición, por tratarse de un método óptico.

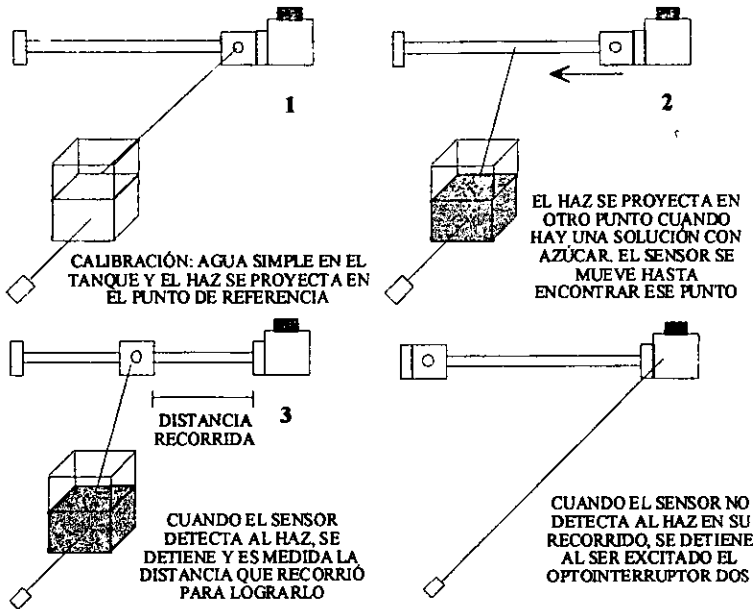


FIGURA 6

En primer lugar (1), se asegura que al tener agua simple en el tanque, el haz sea proyectado en el sensor y que éste se encuentre en la posición de referencia.

Cuando se cambia el agua simple por una solución azucarada (2), la proyección del haz se da en otro lugar, debido a la desviación de la luz por la refracción. Entonces el motor hace mover al sensor para que detecte el punto de proyección.

Una vez que sea encontrado el haz (3), el sensor se detiene y se mide la distancia que recorrió para lograrlo. La diferencia entre la posición de referencia y la del punto de proyección del haz es proporcional a la diferencia de densidades entre el agua simple y la solución azucarada.

En caso de que el sensor no haya encontrado la proyección del haz (por cualquier motivo) y llegue al final de su recorrido, es excitado el segundo optointerruptor. Éste manda una señal al microcontrolador para que sea detenido el motor y con ello al sensor.

Imaginando que se pudiera ver de frente, el plano que contiene al haz láser durante su recorrido a través del tanque (que contiene a la solución), sería posible observar los cambios de trayectoria del rayo, al paso por los diferentes medios (aire, acrílico y solución azucarada), como se ilustra enseguida. El plano imaginario, es perpendicular a las paredes del tanque.

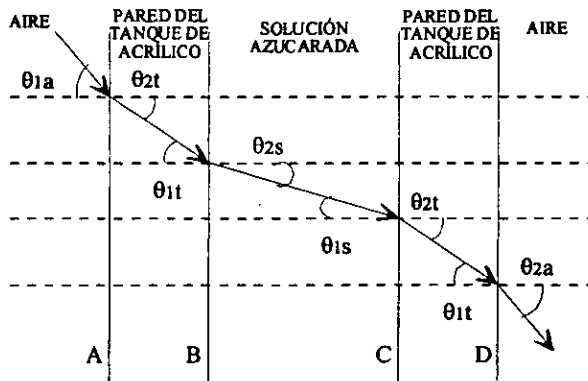


FIGURA 7

De los límites A, B, C y D se pueden obtener las siguientes relaciones.

Siendo los subíndices a, t y s los relacionados al aire, al tanque y a la solución respectivamente:

$$A: n_a \operatorname{sen} \theta_{1a} = n_t \operatorname{sen} \theta_{2t}, \text{ siendo } \theta_{2t} = \theta_{1t}$$

$$B: n_t \operatorname{sen} \theta_{2t} = n_s \operatorname{sen} \theta_{2s}, \text{ siendo } \theta_{2s} = \theta_{1s}$$

$$C: n_s \operatorname{sen} \theta_{2s} = n_t \operatorname{sen} \theta_{2t}, \text{ siendo } \theta_{2t} = \theta_{1t}$$

$$D: n_t \operatorname{sen} \theta_{2t} = n_a \operatorname{sen} \theta_{2a}$$

por lo tanto

$$n_a \operatorname{sen} \theta_{1a} = n_a \operatorname{sen} \theta_{2a}$$

entonces

$$\theta_{1a} = \theta_{2a}$$

Ello indica que, sea cual sea el número de medios por los que pase el haz de luz, los ángulos de entrada y salida serán iguales, siempre y cuando el rayo entre y salga por el mismo material.

Por otro lado, al ser atravesadas diferentes sustancias, puede ocurrir el fenómeno de *reflexión total interna*.

La siguiente figura muestra varios rayos que divergen de una fuente puntual P en un medio a de índice n_a e inciden con diferentes ángulos sobre la superficie de un segundo medio b de índice n_b , siendo $n_a > n_b$.

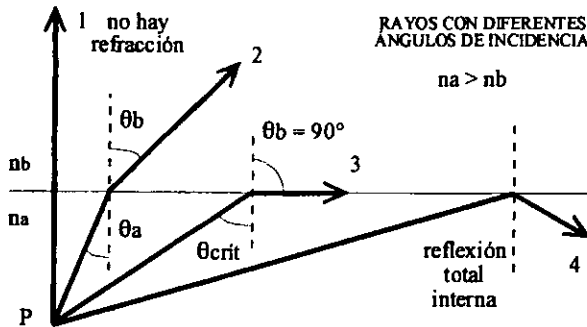


FIGURA 8

Según la ley de Snell (ecuación 2):

$$\text{sen } \theta_a = \frac{n_b}{n_a} \text{sen } \theta_b$$

El ángulo de incidencia, para el cual el rayo refractado, emerge tangente a la superficie se denomina *ángulo crítico* y se representa en el diagrama con el número 3. Si el ángulo de incidencia es mayor que el crítico, el rayo no pasa al segundo medio, sino que tiene una reflexión total interna en la superficie de separación.

La reflexión total interna sólo puede tener lugar, cuando un rayo incide sobre la superficie de un medio cuyo índice es menor que el del medio en el cual se propaga el rayo.

Siendo el ángulo de refracción igual a 90° se tiene:

$$\text{sen } \theta_{crit} = \frac{n_b}{n_a}$$

para $n_a > n_b$

ECUACIÓN 3

Por otro lado, un haz se aleja de la normal, cuando entra en un medio menos denso, como es ilustrado en por el rayo 2. Para el caso 1, cuando se hace incidir luz perpendicularmente a la superficie de separación, el fenómeno de refracción no existe.

Los índices n asociados a los materiales utilizados por el instrumento, son los siguientes:

Aire	Solución		Tanque de acrílico
	Agua simple	Concentración máxima	
1	1.33	1.432	1.49

Al observar la figura 7, se puede comprender que existen dos casos para los cuales puede haber reflexión total interna (por la diferencia en los índices de refracción): cuando el haz pasa del tanque a la solución y cuando pasa del tanque al aire que lo rodea.

El suponer que el ángulo θ_{2a} de la figura 7 es igual a 90° (condición para obtener el ángulo crítico), implica que el ángulo de incidencia θ_{1a} es también de 90° como se demostró con anterioridad.

Entonces, el ángulo de incidencia al tanque debe ser mayor a 0° y menor a 90° .

Por otro lado, a fin de conocer el tamaño del recipiente, se considera la siguiente figura, donde θ_{s1} corresponde al ángulo debido al agua y θ_{s2} a la solución en su concentración máxima. El efecto del acrílico ha sido ignorado. En este caso el haz pasa a un medio más denso (mayor índice de refracción), en comparación del medio en que se localiza su origen. Los índices son n_1 para el agua y n_2 para la solución.

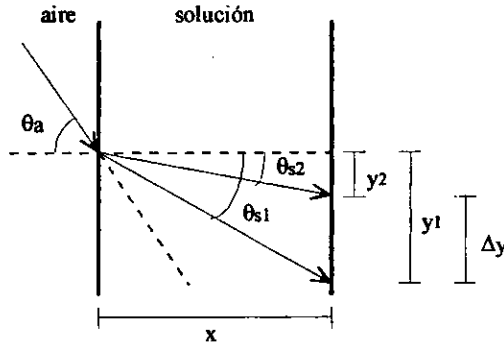


FIGURA 9

Aplicando la ecuación 2, se tiene:

$$\theta_{s1} = \text{ang} \operatorname{sen} \left(\frac{\operatorname{sen} \theta_a}{n_1} \right) \quad \text{y} \quad \theta_{s2} = \text{ang} \operatorname{sen} \left(\frac{\operatorname{sen} \theta_a}{n_2} \right)$$

por otro lado:

$$y_1 = x \tan \theta_{s1}, \quad y_2 = x \tan \theta_{s2}$$

$$\Delta y = y_1 - y_2$$

$$x = \frac{\Delta y}{\tan \theta_{s1} - \tan \theta_{s2}}$$

Considerando ángulos θ_a de 10° , 45° y 80° para un Δy igual a 10 cm se tienen los siguientes valores de x , al utilizar las ecuaciones anteriores.

θ_a	θ_{s1}	θ_{s2}	X (m)
10°	7.50°	6.96°	10.49
45°	32.11°	29.58°	1.67
80°	47.77°	43.44°	0.64

Como se puede apreciar, uno de los lados del tanque (si éste fuera un paralelepípedo rectangular o un cubo), sería muy grande para obtener una distancia de 10 cm entre los puntos de proyección del haz (Δy). Este intervalo debe ser más grande si se desea obtener una mayor precisión. Al ser grande, el tamaño del recipiente y la cantidad de solución también lo sería. Esto involucra un tanque de tipo industrial. Para el instrumento diseñado las dimensiones deben disminuir.

Para solucionar este problema, puede ser cambiada la forma del recipiente a la forma siguiente:

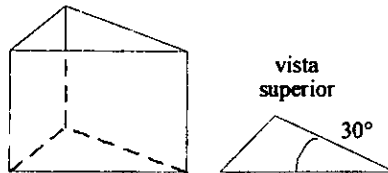


FIGURA 10

El haz atraviesa entonces a la muestra, así:

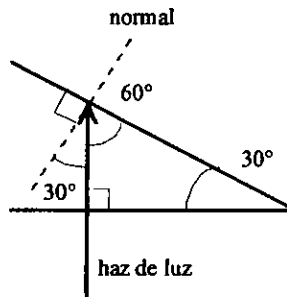


FIGURA 11

El haz de luz, al incidir perpendicularmente en uno de los lados del prisma, no es refractado. Antes de salir del tanque, incide sobre otro de sus lados con un ángulo de 30° con respecto a la normal. De esta forma, la luz pasa a un medio menos denso (aire), en comparación del medio del que parece provenir (la solución azucarada).

Observando nuevamente la figura 7, es necesario analizar el recorrido solución - tanque - aire que hace el rayo, para determinar las condiciones del sistema bajo esta condición. En este caso, el ángulo θ_{1s} es igual a 30° . Para que exista el fenómeno de reflexión total interna, es necesario que la luz incida sobre la superficie de un medio cuyo índice es menor que el del medio en el cual se propaga. Ello ocurre cuando el rayo pasa del tanque al aire. Basta recordar que el acrílico tiene un índice de refracción de 1.49

Empleando la ecuación 3, es posible obtener el ángulo crítico que es igual a 42.15°

Usando este valor como θ_{2t} de la figura 7 y usando la ecuación 2, que refiere a la Ley de Snell para la frontera entre la solución y el tanque (límite C de la figura), se tiene:

$$\text{sen } \theta_{1s} = \frac{n_t \text{ sen } \theta_{2t}}{n_s}$$

Calculando θ_{1s} , para el caso en que la solución consiste en agua ($n_s = 1.33$), se obtiene el valor de 48.74° . Cuando se tiene una concentración máxima de azúcar ($n_s = 1.33$), se tiene 44.28° .

De acuerdo a estos valores, para evitar el reflexión total interna es necesario que el ángulo de incidencia θ_{1s} , sea menor a los calculados. Ello se cumple, ya que es igual a 30° como lo muestra la figura 11.

Recordando que el sistema también hace uso de un sensor, un motor de pasos y dos optointerruptores. Las siguientes secciones están dedicadas a estos.

LIII SENSOR ÓPTICO

Un fotoresistor es el elemento principal del sensor óptico. La característica elemental de este dispositivo es que su resistencia es inversamente proporcional a la intensidad de la luz que lo ilumine.

Si se hace pasar a través de éste una corriente constante, la diferencia de voltaje entre sus terminales depende de la variación de la resistencia, y por lo tanto, de la energía luminosa que incide sobre él.

Fuente de corriente.

Para mantener una corriente constante se necesita una fuente de corriente.

Se eligió la siguiente por ser sencilla y por requerir pocos componentes, ya que también existen, entre otras, aquellas que usan amplificadores operacionales.

El diagrama es el siguiente:

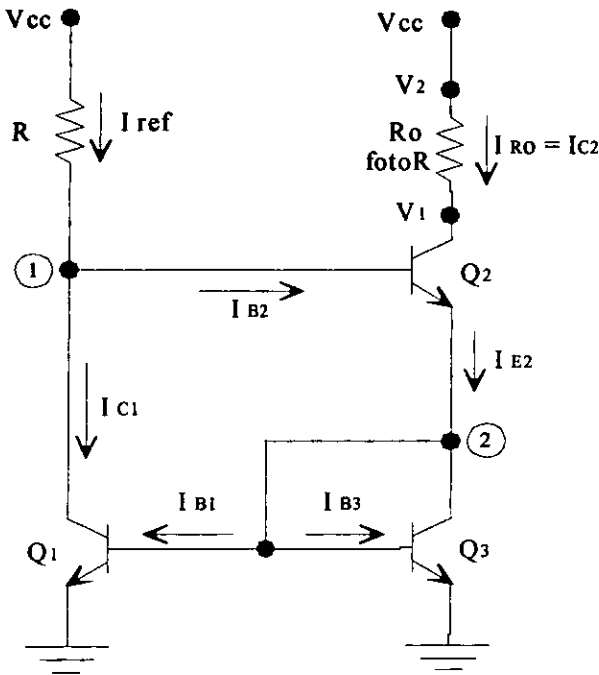


FIGURA 12

Todos los transistores son iguales, es decir $Q1 = Q2 = Q3 = BC547A$, el voltaje de alimentación $V_{cc} = +12\text{ V}$ y el resistor del cual depende el valor de la corriente constante es $R = 100\text{ k}\Omega$

Analizando al circuito por la suma de voltaje en una malla, se tiene:

$$I_{ref} = \frac{V_{CC} - V_{BE2} - V_{BE3}}{R}$$

Por la suma de corrientes en uno de los nodos:

En el nodo 2

$$I_{E2} = I_{B1} + I_{B3} + I_{C3}$$

Se deja el valor de las corrientes de base en términos de la corriente de colector y el factor de amplificación:

$$I_{E2} = \frac{I_{C1}}{\beta} + \frac{I_{C3}}{\beta} + I_{C3}$$

Para conocer el valor de la corriente de colector del transistor 1, en términos de la corriente de colector del transistor 3, se necesitan las relaciones siguientes:

$V_{BE1} = V_{BE3}$, debido a que los transistores 1 y 3 tienen el mismo punto de referencia y sus bases están conectadas entre sí,

$Q1 = Q2 = Q3$, siendo los tres transistores iguales, y considerando la ecuación

$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

que infiere que la corriente de colector para los transistores 1 y 3 son iguales puesto que están sometidos a las mismas características, involucradas en la ecuación anterior, y que son temperatura, voltaje base-emisor y corriente inversa de saturación.

Se llega a la conclusión de que:

$$I_{C1} = I_{C3}$$

Por lo que, la corriente de emisor del transistor 2 queda:

$$I_{E2} = I_{C3} \left(1 + \frac{2}{\beta} \right)$$

Por otro lado, se tiene que las corrientes de colector y emisor del transistor 2 se relacionan con el factor de amplificación de la siguiente manera:

$$I_{C2} = \left(\frac{\beta}{\beta + 1} \right) I_{E2}$$

Como ya se conoce el valor de la corriente de emisor del transistor 2, se sustituye ese valor y se tiene:

$$I_{C2} = \left(\frac{\beta}{\beta + 1} \right) \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) I_{C3}$$

Se sabe que la corriente de colector del transistor 1 es igual a la del colector del transistor 3, sustituyendo ese valor y después de desarrollar y despejar se llega a:

$$I_{C1} = I_{C2} \left(\frac{\beta + 1}{\beta + 2} \right)$$

En el nodo 1 se puede ver que la corriente de referencia, es igual a la suma de las corrientes, de colector 1 más la de base 2. Entonces, sustituyendo el valor de la corriente de colector del transistor 1, recién obtenido y

por la relación que existe entre las corrientes de base y de colector del transistor 2 con su factor de amplificación, se tiene:

$$I_{ref} = I_{C1} + I_{B2} = I_{C2} \left(\frac{\beta+1}{\beta+2} \right) + \frac{I_{C2}}{\beta}$$

Despejando la corriente de colector del transistor 2

$$I_{C2} = I_{ref} \left(1 + \frac{2}{\beta^2 + 2\beta + 2} \right)$$

Lo que muestra que la corriente a través del fotoresistor, depende de la corriente de referencia y del factor de amplificación de corriente directa.

Una vez que se tiene la configuración de la fuente de corriente, se puede asegurar que el voltaje en las terminales del fotoresistor, depende únicamente de la luz que incida sobre él. Para tener un manejo de esa diferencia de potencial se usa un amplificador de instrumentación.

Amplificador de instrumentación.

El voltaje entre las terminales V1 y V2 (fotoresistor) es amplificado al usar la configuración siguiente de amplificador de instrumentación.

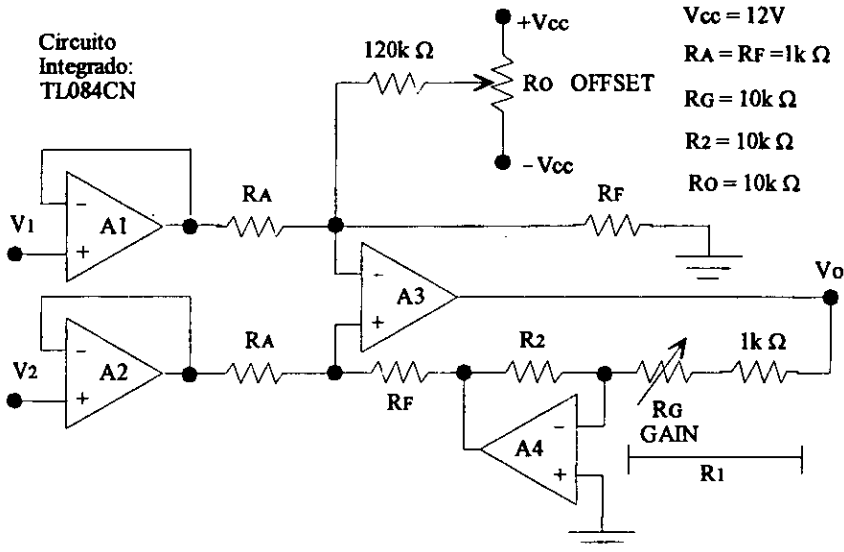


FIGURA 13

Como cualquier amplificador de instrumentación, tiene un par de seguidores de voltaje A1 y A2 (en que la diferencia de potencial de la entrada, es igual al de la salida para cada uno de ellos), con lo que aumenta la

impedancia de entrada. Además, tiene un ajuste del voltaje de offset y un ajuste lineal de la ganancia (con A4).

Se considera cada parte del circuito para su análisis.

Amplificador A4.

La etapa que interviene en el ajuste del voltaje de offset y de la ganancia, es la que involucra al amplificador operacional 4, que se describe a continuación:

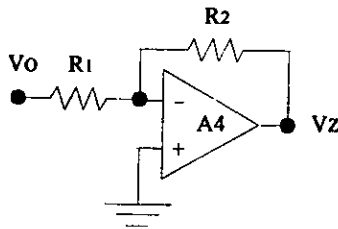


FIGURA 14

El amplificador operacional A4 tiene una configuración inversora, por lo que:

$$\frac{V_z}{V_o} = - \frac{R_2}{R_1}$$

Por lo tanto, al despejar el voltaje de salida:

$$V_z = - V_o \frac{R_2}{R_1}$$

Así se tiene una ecuación, que involucra el voltaje de salida del amplificador de instrumentación.

Amplificador A3.

Por otro lado, observando la etapa que involucra al amplificador operacional 3, pareciera que la retroalimentación en A3 es positiva (ver figura 13).

Basta analizar entonces, el efecto de A4 en A3, para darse cuenta que en realidad es retroalimentación negativa:

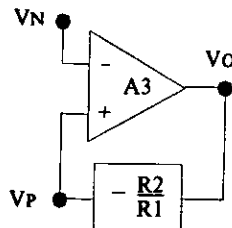


FIGURA 15

Para A3, el diagrama se puede dibujar como sigue:

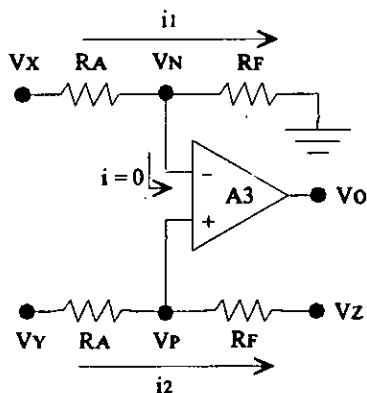


FIGURA 16

Se considera una corriente de entrada a la terminal negativa de cero.

Por la suma de voltajes a través de una malla (la que involucra la entrada negativa al amplificador A3):

$$V_X = R_A i_1 + V_N, \text{ entonces } i_1 = \frac{V_X - V_N}{R_A}$$

$$V_N = R_F i_1, \text{ entonces } i_1 = \frac{V_N}{R_F}$$

De la misma manera para la malla que involucra la entrada positiva al amplificador A3

$$V_Y = R_A i_2 + V_P, \text{ entonces } i_2 = \frac{V_Y - V_P}{R_A}$$

$$V_P = R_F i_2 + V_Z, \text{ entonces } i_2 = \frac{V_P - V_Z}{R_F}$$

Igualando i_1 :

$$\frac{V_X - V_N}{R_A} = \frac{V_N}{R_F}$$

$$R_F V_X - R_F V_N = R_A V_N$$

$$V_N = \frac{R_F V_X}{R_A + R_F}$$

Igualando i_2 :

$$\frac{V_Y - V_P}{R_A} = \frac{V_P - V_Z}{R_F}$$

$$R_F V_Y - R_F V_P = R_A V_P - R_A V_Z$$

$$V_P = \frac{R_F V_Y + R_A V_Z}{R_A + R_F}$$

Debido a que $V_P = V_N$ (se puede considerar así ya que hay retroalimentación negativa):

$$\frac{R_F V_X}{R_A + R_F} = \frac{R_F V_Y + R_A V_Z}{R_A + R_F}$$

Si $R_F = R_A = R$ y además:

$V_Z = -V_O \frac{R_2}{R_1}$, que es la ecuación que se obtuvo al analizar el amplificador A4, se tiene:

$$R V_X = R V_Y + R \left(-V_O \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$R(V_X - V_Y) = R \left(-V_O \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$V_O = \frac{R_1}{R_2} (V_Y - V_X)$$

Como $V_Y = V_2$ y $V_X = V_1$ (es decir las terminales del fotoresistor)

$$V_O = \frac{R_1}{R_2} (V_2 - V_1)$$

Esto nos indica que el voltaje a la salida del amplificador de instrumentación tiene como ganancia la razón entre los resistores uno y dos.

Voltaje de salida.

Experimentalmente, el voltaje de salida obtenido está en un intervalo entre cero volts (cuando la luz incide en el sensor) y un máximo de ocho volts (en oscuridad total).

El voltaje de salida V_O , está conectado a uno de los canales del convertidor analógico digital del microcontrolador. Los voltajes de referencia del ADC son: para un valor de 00 hex, cero volts y para FF hex, cinco volts. Entonces, para evitar una entrada al convertidor, menor a cero volts o mayor a cinco volts, se emplean un par de diodos de la forma:

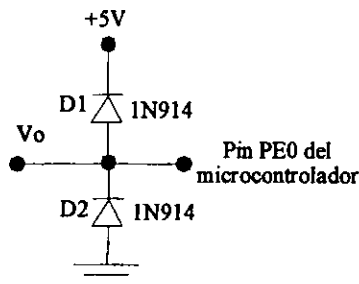


FIGURA 17

Así, cuando $V_O < 0$ V, el diodo dos se enciende y obliga a que el voltaje en PE0 sea de cero. Cuando $V_O > 5$ V, el diodo uno es el que se enciende y el voltaje en PE0 es de cinco.

I.IV MOTOR DE PASOS Y CONTROLADOR DEL MISMO

El motor de pasos usado se mueve a razón de 1.875° por paso y tiene una resistencia de devanado de 9Ω . La flecha del motor está acoplada a una pieza plástica (que sirve de base al sensor óptico), por medio de una banda y un sistema de engranes. La base del sensor se desplaza horizontalmente, guiada por una barra metálica, como fue comentado anteriormente (figuras 5, 6 y 19).

Los devanados del motor están conectados en paralelo, como se muestra a continuación:

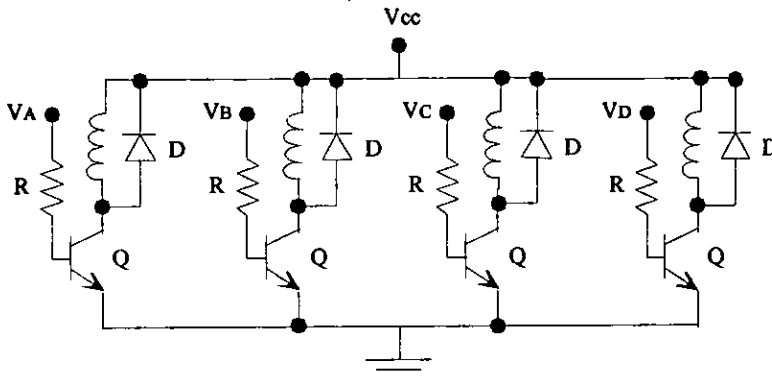


FIGURA 18

Donde

$V_{cc} = 12 \text{ V}$, que es el voltaje de alimentación a los devanados

$V_A = V_B = V_C = V_D = 5 \text{ V}$, que son las señales que determinan la secuencia de pasos del motor

$R = 2.2 \text{ k}\Omega$

Q : transistor de potencia TIP 29

D : diodo 1N4001

V_A , V_B , V_C y V_D son los voltajes de excitación de las diferentes fases, que saturan a cada uno de los transistores, ocasionando el cierre del circuito para cada devanado. La corriente que fluye por cada uno de ellos es de 1 A.

Debido a la inductancia de cada fase, la corriente no puede ser apagada instantáneamente al quitar el voltaje de excitación. En ese momento, el voltaje inducido entre el colector y emisor puede ser tan grande que ocasione algún daño al circuito de control del motor de pasos. Esto se evita, al disponer de una trayectoria alternativa para esa corriente, a través del diodo.

La secuencia de los voltajes en las bases de los transistores es regulada por el microcontrolador, a través de uno de sus puertos de salida.

La base del sensor (que es una pieza de plástico) está insertada en una barra metálica cilíndrica, que le sirve de guía durante el movimiento (ver figura siguiente).

El motor tiene acoplado a su flecha un engrane, que hace mover a una banda. Ésta transmite la potencia del motor a un par de engranes, uno de los cuales está acoplado a la base del sensor. Para visualizar el movimiento, puede ser consultada la figura siguiente.

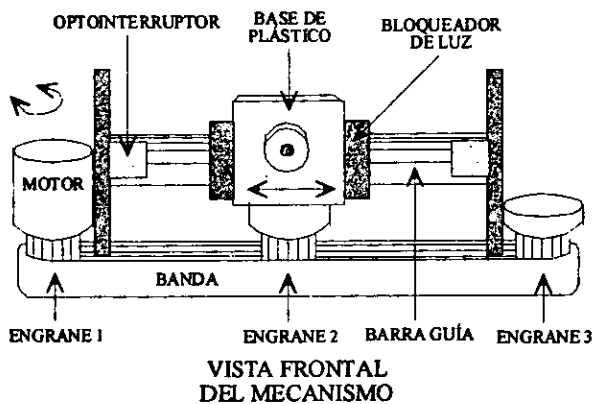


FIGURA 19

Cuando el motor mueve la flecha, lo hace también la banda por medio del engrane 1. Esto provoca un desplazamiento en los engranes 2 y 3.

Por estar acoplado la banda al engrane 2 (que forma parte de la base de plástico), existe un movimiento horizontal del sensor. Con ello es posible desplazar al fotoresistor a través de toda la barra, que sirve como soporte y guía.

Los límites del son los optointerruptores que se encuentran a ambos lados del sensor. De esta manera se transforma un movimiento circular en uno lineal.

I.V OPTOINTERRUPTORES DE REFERENCIA

Como se mencionó con anterioridad, el sensor está acoplado a una pieza de plástico (que es movida por el motor de pasos), como se muestra a continuación:

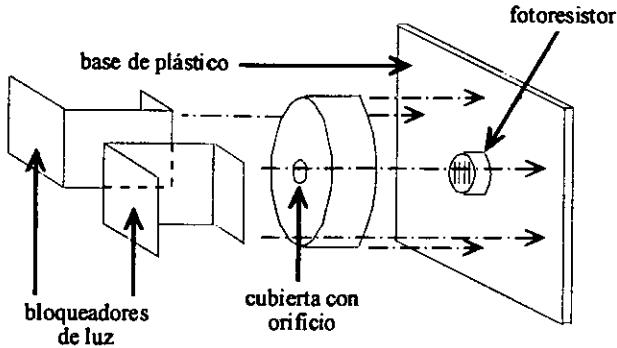


FIGURA 20

La cubierta con el orificio tiene el propósito de limitar la superficie sensora del fotoresistor. Éste, debe desplazarse desde un punto de referencia (debido al agua simple) a un punto de concentración máxima. Entonces, debe haber un dispositivo que indique esos lugares al microcontrolador.

Se usan para este propósito un par de opto-interruptores. Éstos consisten en un conjunto de diodos emisores de luz acoplados a fototransistores de la manera siguiente:

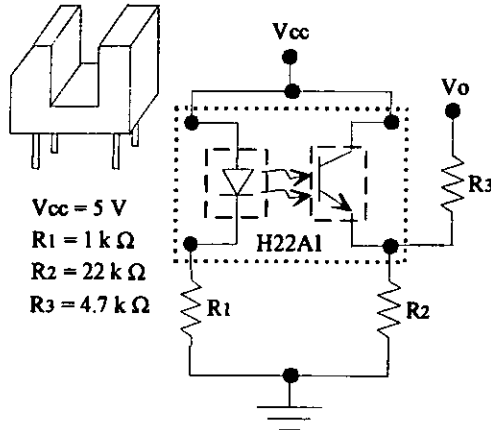


FIGURA 21

Cuando es bloqueado el espacio entre el diodo y el transistor, se tiene a la salida un cambio de estado, de encendido a apagado. Así, cuando el sensor se encuentra en cualesquiera de los puntos que acotan su trayectoria, los bloqueadores de luz (figura 20) interrumpen la señal emitida por el diodo. En ese momento, es mandada una señal al microcontrolador (V_o), a través de uno de sus puertos de entrada.

I.VI MICROCONTROLADOR MC68HC11A1

A continuación se presenta la configuración básica del microcontrolador MC68HC11A1 (sin mencionar los puertos u otros sistemas de entrada y/o salida).

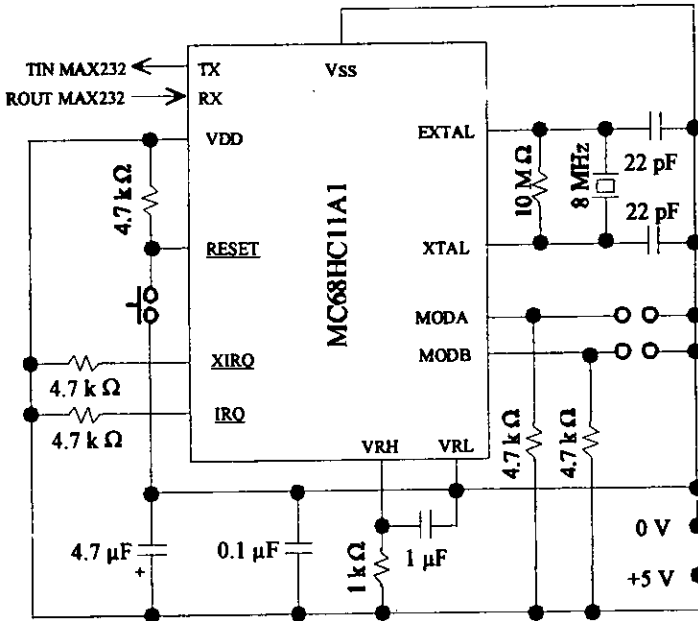


FIGURA 22

La figura 22 muestra el diagrama para un sistema simple en modo single chip (se sugiere consultar la introducción al microcontrolador MC68HC11A1 del capítulo II o a la bibliografía, si se desea adquirir información especializada de este dispositivo).

Como se puede ver, el circuito requiere de algunos capacitores y resistores principalmente. El cristal es necesario para la señal de reloj del sistema. Por otro lado, el conectar los pines MODA y MODB a tierra (ver figura 22), permite la elección del modo de operación del microcontrolador. El interruptor siempre abierto asociado al pin de RESET sirve para inicializar al sistema.

El circuito necesario para poder entablar una comunicación asíncrona con el microcontrolador es el circuito integrado MAX232 que permite el uso del protocolo 232. Con este, es posible la conexión de uno de los puertos seriales de un microprocesador con el sistema SCI del microcontrolador (ver capítulo II).

Al usar el circuito integrado MAX232 se elimina la necesidad de alimentación adicional de ± 12 V. Para este circuito no se requieren más que cuatro capacitores, como se muestra en la figura siguiente:

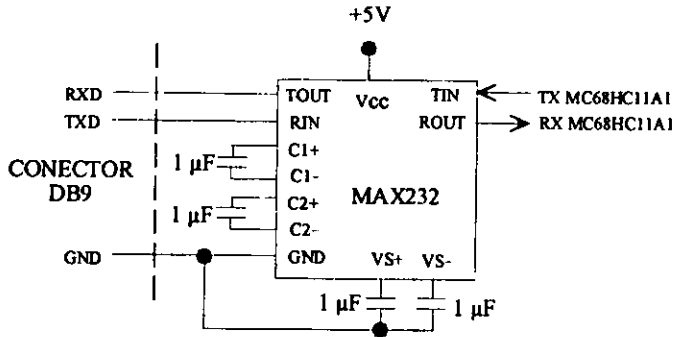


FIGURA 23

I.VII FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Por último, para poder suministrar el voltaje de alimentación se usaron reguladores fijos de voltaje positivo (+5 y +12V) y un regulador fijo de voltaje negativo (-5 V).

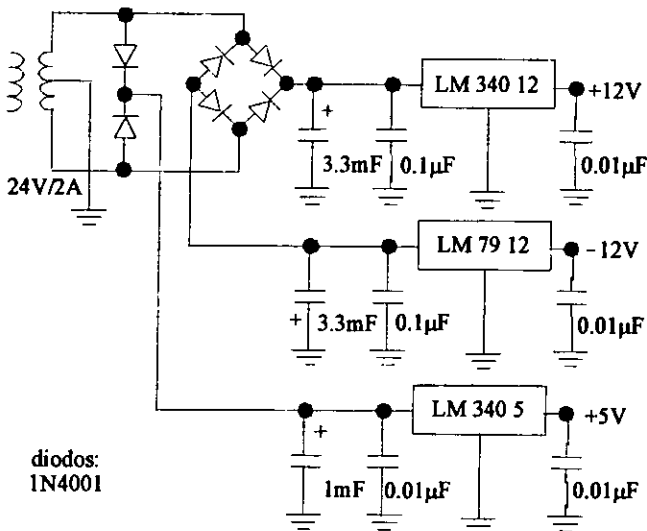


FIGURA 24

La señal senoidal del transformador es rectificada en onda completa al pasar por el puente de diodos. Más tarde es filtrada por los capacitores y regulada por los circuitos de regulación. Con estos, el voltaje de salida se mantiene en un valor establecido sin importar cambios en la carga o en el voltaje de entrada a ellos.

CAPÍTULO II

SOFTWARE DE ARBITRAJE DEL INSTRUMENTO,
EJECUTABLE EN EL MICROCONTROLADOR

II.1 INTRODUCCIÓN AL MICROCONTROLADOR MC68HC11A1

El microcontrolador usado es de ocho bits y tiene las siguientes características:

Hardware:

- 8 kbytes de ROM
- 512 bytes de EEPROM
- 256 bytes de RAM
- Un sistema de temporizador de 16 bits
- Un circuito acumulador de pulsos de 8 bits
- Una interface de comunicación serial NRZ (SCI)
- Una interface de comunicación periférica (SPI)
- Convertidor analógico-digital de 8 bits de ocho canales
- Circuito de interrupción en tiempo real

Software:

- Instrucciones basadas en el M6800/M68801
- División fraccional y entera de 16 X 16
- Manipulación de bits
- Modo en espera (WAIT)
- Modo en paro (STOP)

El diagrama de bloques correspondiente se presenta a continuación:

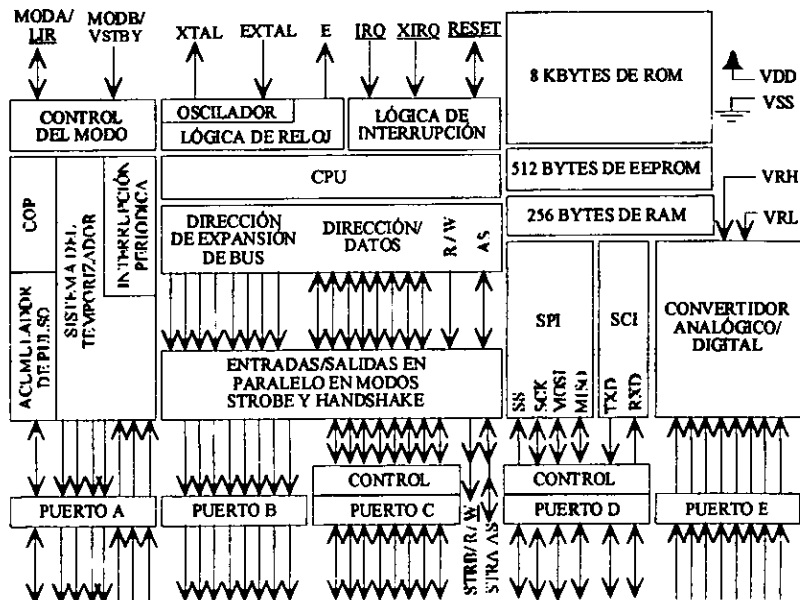


FIGURA 25

Este dispositivo tiene cuatro modos de operación:

Single chip. En el cual funciona como una sola unidad, sin buses externos de datos o de direcciones.

Expanded Multiplexed. En el cual se puede tener acceso a memoria adicional externa.

Special Bootstrap. Es un modo muy versátil, pues no hay limitaciones en el programa de propósito general, que puede ser cargado en la memoria RAM interna.

Special Test. Es un modo especial de operación. Para ser empleado en pruebas de fábrica.

El modo usado fue el Special Bootstrap. El mapa de memoria asociado a este modo es el siguiente:

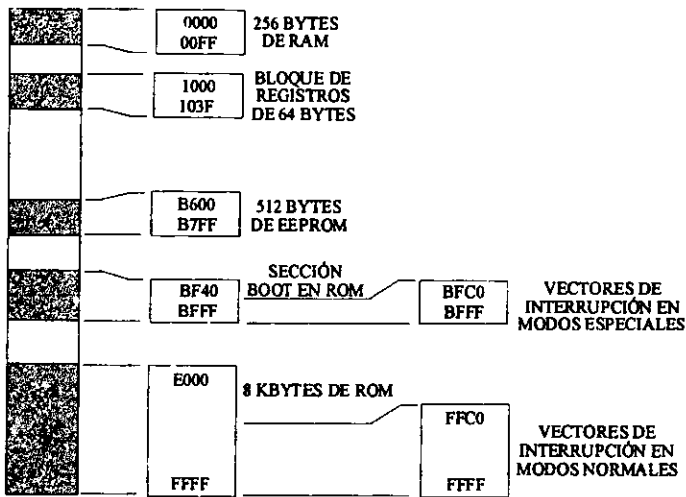


FIGURA 26

Los registros del CPU a los que tiene acceso el programador son:

- Dos acumuladores (A y B) de ocho bits cada uno, que pueden ser usados como uno solo de 16 bits (acumulador D).
- Dos registros índice (X, Y) de 16 bits cada uno.
- El apuntador del Stack o pila.
- El contador del programa.
- El registro de códigos de condición.

Los sistemas del microcontrolador empleados para el diseño del instrumento son los siguientes:

- El convertidor analógico - digital. El cual tiene ocho canales y entrada multiplexada. Es de aproximación sucesiva y función de muestreo y retén para minimizar los errores de conversión, causados por el cambio rápido de las señales de entrada. Tiene dos pins para los voltajes de referencia (VRH y VRL de 5 y 0 V respectivamente), que equivalen a FF y 00. Se usa en conjunto con el sensor de luz.

- La interface de comunicación serial (SCI). La cual permite la comunicación serial asíncrona con una PC. Consiste en un receptor – transmisor asíncrono universal (UART por sus siglas en inglés). Tiene un formato estándar de no regreso al cero (NRZ), es decir un bit de inicio, ocho o nueve de datos y un bit de paro. Están disponibles varias velocidades de transmisión, aunque la utilizada es la de 9600 bauds. El transmisor y el receptor son independientes, pero usan el mismo formato de datos y la misma velocidad.

También son usados dos puertos. Del A, son usados dos de sus pines de entrada, para recibir las señales de los optointerruptores. Del puerto B, cuatro pines de salida para controlar la secuencia del motor de pasos.

A continuación, se presenta con mayor detalle el convertidor analógico – digital y la interface de comunicación serial.

II.II INTERFACE DE COMUNICACIÓN SERIAL

Operación de transmisión.

El transmisor del SCI tiene un registro de datos de transmisión en paralelo (SCDR) y un registro de corrimiento en serie. El contenido de éste último sólo puede ser escrito a través del SCDR. Esto permite que un carácter sea transferido de manera serial, mientras otro está esperando en el SCDR para ser trasladado al registro de corrimiento serial. Mientras la transmisión está en progreso o disponible (indicada por el bit TE del registro de control de comunicación serial: SCCR2), son transmitidos los bits de datos, uno a uno, a través del pin TxD del microcontrolador. A grandes rasgos se puede ilustrar de la siguiente manera:

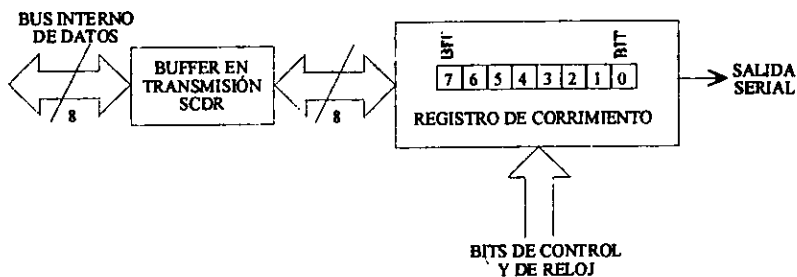


FIGURA 27

Operación de recepción.

Durante la recepción, la secuencia de transmisión se revierte. El registro de corrimiento serial recibe los datos que provienen del pin RxD y los transfiere al SCDR como una cadena de caracteres completa. Esto permite la entrada de los bits de manera serial, mientras que otros ya están en el SCDR. Un sistema de recuperación de datos distingue, aquellos que son válidos, del posible ruido. La información entrante es muestreada selectivamente para detectar los datos de recepción y un circuito determina el valor e integridad de cada bit.

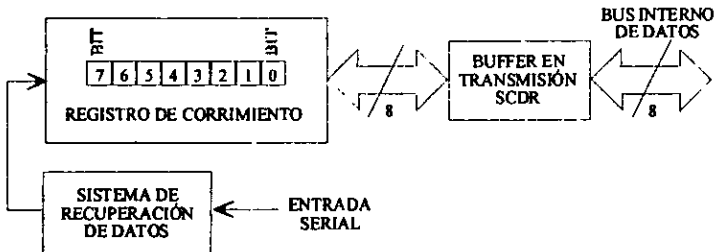


FIGURA 28

Detección de errores.

Pueden ocurrir tres tipos de error: por saturación del SCDR, por el ruido recibido y el de framing. Las banderas OR (overrun), NF (noise flag) y FE (framing error) del registro del estado de la comunicación serial (SCSR) indican si una de esas condiciones de error existen. El SCSR y el SCDR se explican posteriormente.

El bit OR indica cuando un byte está listo para ser transferido del registro de corrimiento al SCDR (durante la recepción) y éste ya está lleno (condición que es indicada por el bit RDRF del registro SCSR). Cuando ocurre este error, los datos que lo causaron se pierden y los que estaban en el SCDR no tienen modificación alguna. La bandera OR es limpiada cuando es leído el SCSR, seguido por una lectura del SCDR.

La bandera de ruido (NF) es activada, si hay ruido en cualquiera de los bits recibidos, incluyendo los de inicio y paro. Esta bit no es puesto en uno lógico hasta que la bandera RDRF también lo esté. NF se limpia cuando el SCSR es leído (con FE igual a uno) seguido por la lectura del SCDR.

Cuando no se detecta un bit de paro en los datos recibidos, es activada la bandera FE que se pone al mismo tiempo que el RDRF. Si el byte recibido causa los errores de framing y de saturación del SCDR, el procesador sólo reconoce al último. El FE inhibe la transferencia de datos al SCDR hasta que éste sea limpiado. El FE se desactiva cuando es leído el SCSR (con FE igual cero) seguido por la lectura del SCDR.

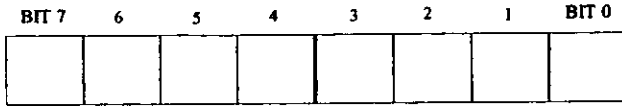
Registros del SCI.

Hay cinco registros asociados. Tres de ellos son de control: SCCR1, SCCR2 y BAUD. Uno es de datos: SCDR y otro, el SCSR, es del estado de la comunicación serial.

SCDR. *Registro de datos de comunicación serial.*

Es un registro en paralelo que tiene dos funciones: de recepción de datos cuando es leído y de transmisión cuando se escribe en él. Al leer, se tiene acceso al buffer de recepción de datos y al escribir, al buffer de transmisión.

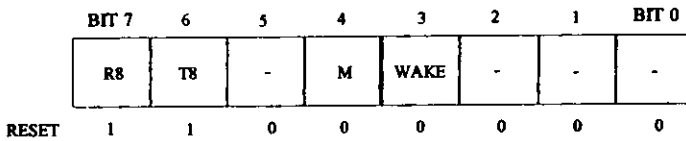
Dirección: **\$102F**



SCCR1. Registro uno del control de la comunicación serial.

Tiene los bits de control que determinan la longitud de palabra y selecciona el método usado para la función especial wakeup (que no es usada en el instrumento).

Dirección: \$102C



R8 Si el bit M está activado, R8 establece el noveno bit en la cadena de recepción.

T8 Si el bit M está activado, T8 establece el noveno bit en la cadena de transmisión.

M Selecciona el formato del carácter

0 = un bit de inicio, 8 bits de datos, un bit de paro.

1 = un bit de inicio, 9 bits de datos, un bit de paro.

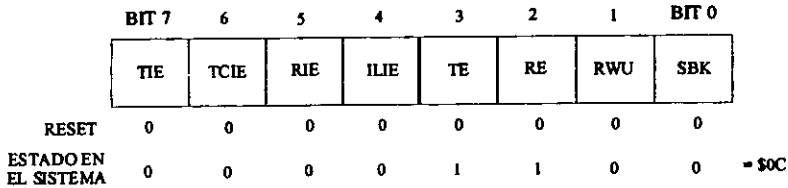
WAKE Función especial

Este registro permanece con los mismos valores asignados después de RESET, para el instrumento diseñado.

SCCR2. Registro dos del control de comunicación serial.

Tiene los bits de control que habilitan o deshabilitan las funciones individuales del SCI.

Dirección: \$102D



Banderas de interrupción: TIE, TCIE, RIE, ILIE

RWU Control de la función Wakeup del receptor

SBK Manda una señal de break

TE Habilita la transmisión. Cuando TE cambia de cero a uno, es mandada una cadena de unos lógicos como preámbulo.

0 = Transmisión deshabilitada

1 = Transmisión habilitada

RE Habilita la recepción

0 = Recepción deshabilitada; 1 = Recepción habilitada

SCSR. Registro del estado de la comunicación serial.Dirección: **\$102E**

	BIT 7	6	5	4	3	2	1	BIT 0
	TDRE	TC	RDRF	IDLE	OR	NF	FE	-
RESET	1	1	0	0	0	0	0	0

TDRE Bandera del registro de transmisión vacío. Se activa cuando el SCDR está vacío. Se desactiva al limpiar al SCSR y al escribir después en el SCDR.

- 0 = SCDR ocupado
- 1 = SCDR vacío

TC Bandera de transmisión completa. Se activa cuando el transmisor está en espera (sin datos, preámbulo o condición de break en progreso). Para limpiar el TC, se lee primero el SCSR y después se escribe en el SCDR

- 0 = transmisión ocupada
- 1 = transmisión desocupada

RDRF Bandera del registro de datos de recepción lleno. Se activa si un carácter recibido está listo para ser leído del SCDR. Se desactiva cuando son leídos, primero, el SCSR y después el SCDR.

- 0 = SCDR vacío
- 1 = SCDR lleno

IDLE Bandera de línea desocupada. Se activa si la línea del RxD está desocupada.

OR Bandera de error de saturación del SCDR

NF Bandera de error por ruido

FE Error de framing

Bit 0 No está implementado. Siempre es leído como cero.

BAUD. Registro de la velocidad de transmisión.

Elige la velocidad de transmisión dependiendo de la frecuencia del cristal que use el microcontrolador. Normalmente es escrito durante el inicio del proceso.

Dirección: **\$102B**

	BIT 7	6	5	4	3	2	1	BIT 0
	TCLR	-	SCP1	SCP0	RCKB	SCR2	SCR1	SCR0
RESET	0	0	0	0	0	*	*	*
ESTADO EN EL SISTEMA	0	0	1	1	0	0	0	0

VELOCIDAD 9600 bauds

Bits de prueba (no usados): TCLR, RCKB

Bits de selección de velocidad: SCP1, SCP0, SCR2, SCR1, SCR0

II.III CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL

Se trata de un convertidor de aproximación sucesiva, que usa una técnica de redistribución de carga en un arreglo de capacitores para convertir las señales analógicas a valores digitales. Por ello no requiere circuitos de muestreo y retén externos.

Es un sistema de ocho canales, de ocho bits y de entrada multiplexada. El voltaje de alimentación del microcontrolador es usado también para el convertidor. Puede estar en sincronía con el sistema de reloj del microcontrolador o con un oscilador RC (resistor - capacitor) interno. El sistema del convertidor consiste en cuatro bloques funcionales: multiplexor, convertidor analógico, control digital y almacenamiento.

Multiplexor.

Selecciona una de las entradas para conversión. La selección es controlada por el valor de unos bits en el registro ADCTL. Se usan los pins del puerto E como entrada para el convertidor, aunque podrían ser usados también como entradas digitales.

Convertidor analógico.

Contiene un arreglo de capacitores (DAC), un comparador y un registro de aproximación sucesiva (SAR). Cada conversión es una secuencia de ocho operaciones de comparación, comenzando con el bit más significativo (MSB). Cada comparación determina el valor de un bit en el registro de aproximación sucesiva.

El arreglo de capacitores realiza dos funciones. Actúa como un circuito de muestreo y retén durante la secuencia de conversión y provee un voltaje de comparación al comparador.

El resultado de cada cotejo sucesivo se almacena en el SAR. Cuando una secuencia de comparación está completa, los contenidos del SAR son transferidos al registro de resultados apropiado.

Control digital.

Todas las operaciones del convertidor son controladas por los bits del registro ADCTL. Además de seleccionar la entrada analógica que va a ser convertida, esos bits indican el estado y control de la conversión (sea única o múltiple).

Registros de resultado.

Cuatro registros de ocho bits (ADR1 al ADR4) almacenan los resultados de la conversión. Cada uno de ellos puede ser accedido por el procesador en el CPU. La bandera de conversión completa (CCF) indica cuando el dato está presente en esos registros.

Secuencia de conversión.

Las operaciones son realizadas en secuencias de cuatro conversiones cada una. Una secuencia puede repetirse continuamente o para, después de una iteración. La CCF es puesta en uno después de la cuarta conversión de una secuencia, para mostrar la disponibilidad de información en los registros de resultado.

Proceso de conversión.

La secuencia de conversión comienza un ciclo de reloj después de escribir al registro de control y estado (ADCTL). Los bits en éste seleccionan el canal y el modo de conversión.

Un voltaje de entrada igual al voltaje de referencia bajo significa un valor de \$00 y uno igual al voltaje de referencia alto se interpreta como \$FF (escala completa), sin indicar un desbordamiento.

Asignación de canales.

El multiplexor permite al convertidor seleccionar una de las 16 señales analógicas. Ocho de esos canales corresponden a las líneas de entrada del puerto E, otros cuatro son puntos de referencia interna (o funciones

de prueba) y los cuatro restantes están reservados. Es decir, que el programador tiene acceso sólo a ocho canales que corresponden a los pines del puerto E.

Operación en un solo canal.

Hay dos tipos de operación en este modo.

Cuando el bit $SCAN = 0$ (del registro ADCTL), un canal seleccionado es convertido cuatro veces consecutivas. El primer resultado es almacenado en el registro de resultado ADR1 y el cuarto en el ADR4. Después que la cuarta conversión ha sido completada, la actividad se detiene hasta que sea ordenada una nueva conversión (a través del ADCTL).

Cuando el bit $SCAN = 1$, las conversiones continúan en el canal seleccionado. La quinta conversión es almacenada en el ADR1 (sobrescribiendo el resultado de la primera conversión), la sexta sobrescribiendo el contenido de ADR2 y así sucesivamente.

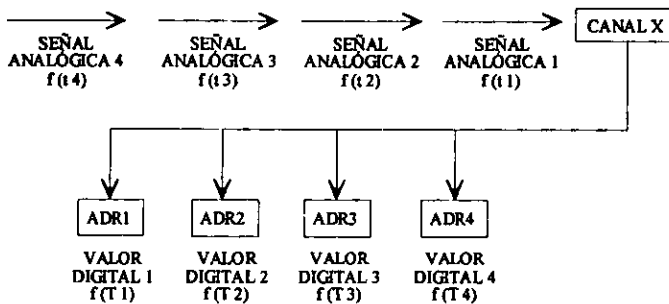


FIGURA 29

Operación en canal múltiple.

Hay dos tipos de operación en este modo.

Cuando $SCAN = 0$, un grupo seleccionado de cuatro canales es convertido cada vez. El primer resultado se almacena en ADR1 hasta el cuarto en ADR4. Después que la cuarta conversión se ha completado, toda la actividad se detiene hasta una nueva orden.

Cuando $SCAN = 1$, las conversiones continúan en el grupo seleccionado. La quinta conversión se almacena en ADR1 (reemplazando el resultado de la conversión primaria para el primer canal en el grupo), la sexta es sobrescrita en ADR2 y así sucesivamente.

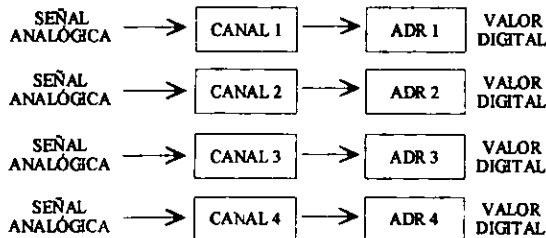


FIGURA 30

Registros del convertidor.

OPTION. Opciones de configuración del sistema.

La importancia de este registro es que habilita el funcionamiento del convertidor, cuando el bit 7 está en uno lógico. Después de ello, se requiere de 100 μ s aproximadamente para permitir que los voltajes analógicos sean estables.

Dirección: \$1039

	BIT 7	6	5	4	3	2	1	BIT 0	
	ADPU	CSEL	IRQE	DLY	CME	FCME	CR1	CR0	
RESET	0	0	0	1	0	0	0	0	
CONVERTIDOR EN FUNCIONAMIENTO	1	0	0	1	0	0	0	0	= \$90

Los bits IRQE, DLY, CME, FCME, CR1 y CR0 están relacionados con las interrupciones y no sufren modificación durante el proceso.

ADPU Encendido del convertidor

0 = apagado

1 = encendido

CSEL Selección del reloj

0 = El convertidor y la memoria EEPROM usan la señal de reloj E del microcontrolador

1 = El convertidor y la memoria EEPROM usan la señal de reloj interno RC

ADCTL. Estado y control del convertidor analógico - digital.

Todos los bits de este registro pueden ser leídos o escritos, excepto CCF (bit 7), que es de sólo lectura y el bit 6 que siempre contiene un cero. El escribir el ADCTL inicia una conversión. Para abandonar una conversión en progreso, basta escribir en el registro para que una nueva secuencia empiece inmediatamente.

Dirección: \$1030

	BIT 7	6	5	4	3	2	1	BIT 0	
	CCF	-	SCAN	MULT	CD	CC	CB	CA	
ESTADO EN EL SISTEMA	0	0	1	1	0	0	0	0	= \$30

CCF Bandera de conversión completa. Es un indicador de lectura solamente. Es puesto en uno cuando los cuatro registros de resultado contienen datos válidos de conversión. Cada vez que el ADCTL es sobrescrito, este bit se limpia automáticamente a cero y una secuencia de conversión es comenzada. En el modo continuo, CCF es puesto en uno al final de la primera secuencia de conversión.

Bit 6 No implementado. Siempre se lee cero.

SCAN Control de la exploración continua. Cuando este bit está en cero, las cuatro conversiones solicitadas se realizan una sola vez, para llenar con datos los cuatro registros de resultado. Cuando está en uno, las conversiones continúan cíclicamente con la actualización de los registros de resultado, tan pronto como la información esté disponible. Para el instrumento diseñado fue escogido el modo continuo.

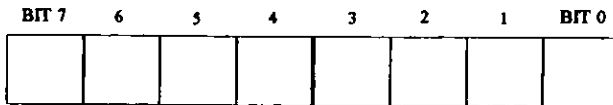
MULT Control de canal único / múltiple. Cuando el bit está en cero, el convertidor está configurado para realizar cuatro conversiones consecutivas, en el canal especificado por los bits CD, CC, CB, CA del ADCTL. Cuando el bit está en uno, se configura una conversión en cada uno de los cuatro canales, al que le corresponde un registro de resultado para cada uno.

CD, CC, CB, CA Selección de canales. Para el instrumento diseñado, se escogió el primer canal que corresponde al primer pin del puerto E y está asociado con el registro de resultado ADR1.

ADR1. Registro de resultado del convertidor analógico - digital.

Estos registros sólo pueden ser leídos. Almacenan los ocho bits del resultado de la conversión. El escribir a esos registros no tiene efecto. La información en ellos es válida cuando la bandera CCF en el registro ADCTL es puesta en uno, indicando que ha sido completada una secuencia de conversión.

Dirección: \$1031



II. IV PROCESO DE MEDICIÓN

Partes externas del aparato.

Antes de explicar el procedimiento que sigue el instrumento para realizar una medición, es importante tener como referencia los siguientes esquemas:

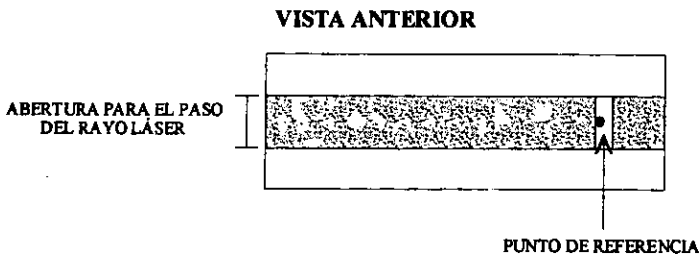
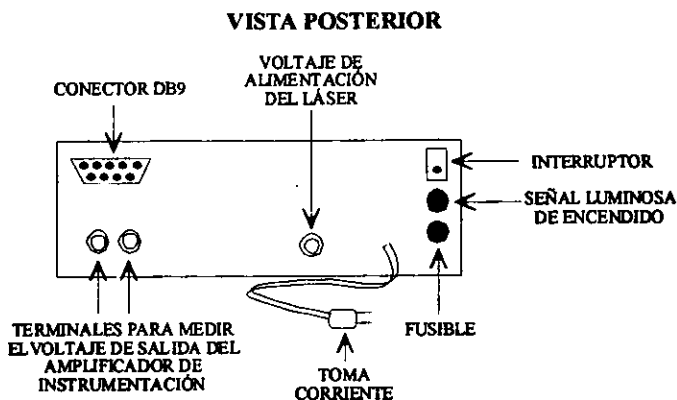


FIGURA 31

Debido a que el sistema es de origen óptico, la abertura permite el acceso del rayo láser al sensor. Así se evita al mismo tiempo, una exposición muy grande del fotoreistor, a otras fuentes de luz presentes en el lugar en que esté colocado el instrumento.

El punto de referencia sirve para poder inicializar al proceso. Consiste en un punto marcado sobre una tira de plástico que tapa en una región muy angosta, a la abertura antes referida. Si la proyección del rayo láser coincidiera en ese punto (cuando se tiene agua simple en el tanque) y el haz pasara a través de la tira de plástico, llegaría hasta el sensor colocado en su posición de referencia.



El conector DB9 permite (mediante un multicable), la conexión del instrumento con una computadora personal, vía su puerto serie uno.

Las terminales del voltaje de salida del amplificador de instrumentación permiten el ajuste del voltaje de offset y la ganancia, al modificar los valores de resistencia de los potenciómetros internos, localizados en la tarjeta electrónica. Estos tienen un tornillo para ese fin.

Para mantener encendido el dispositivo láser, es necesario conectarlo al instrumento, con un cable doble con conectores RCA. De esta manera se alimenta al diodo láser con 5 V.

Procedimiento.

Antes de que comience el sistema a funcionar hay que asegurar que esté conectado: a la línea eléctrica, al puerto serie uno de la PC y al dispositivo láser.

Una vez que el aparato es encendido, lo hace también el láser, por lo que hay que tener precaución con su manejo y evitar el contacto directo con los ojos.

Enseguida se coloca el tanque con agua simple y el dispositivo láser sobre su base. Esta consiste en una placa con dos aberturas para que no cambien de posición el haz de luz y la solución muestra. Además, asegura que el ángulo de incidencia del rayo, al tener éste el primer contacto con el tanque, sea de 90° .

Se debe recordar que la medición de la densidad de la solución se hace de manera indirecta, es decir, a través de la distancia que separa los puntos de proyección del haz. Al estar alejado el tanque del instrumento, la diferencia de ángulos de refracción (entre la condición de referencia y la de medición) provoca una separación mayor de los puntos de proyección y se tiene mejor resolución (ver figuras 4, 6 y 9).

La distancia que debe separar al aparato de la base, es de 1.60 m (entre los puntos D1 y D2, en la figura siguiente). Con esa separación se obtuvieron mejores resultados, en cuanto a visibilidad para el sensor. Además, bajo esas condiciones fue hecha la calibración del sistema.

Una vez que los elementos están en la posición adecuada, se debe asegurar que el haz (que atraviesa agua simple) se proyecte sobre el punto de referencia (ver figuras 6, 31 y 33).

En ese momento, es posible vaciar el tanque, para llenarlo con la solución muestra a la que se desea medir su densidad. Entonces, con la computadora encendida y conectada al sistema, se ejecuta el programa llamado SENSOR.EXE, bajo ambiente MS-DOS y programado en C.

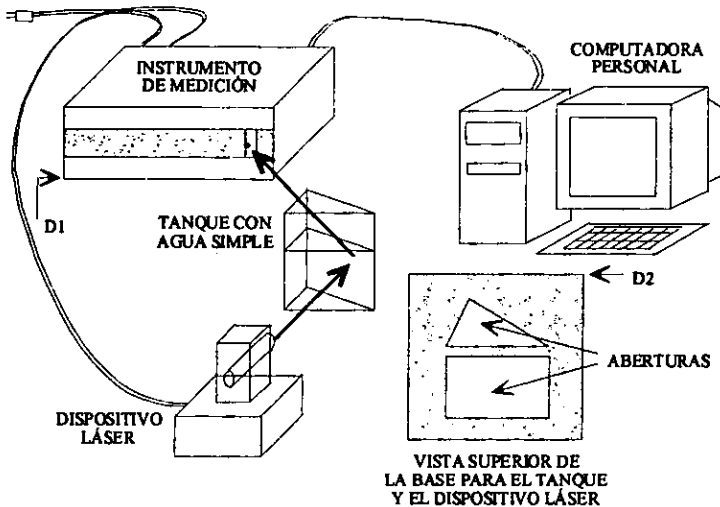


FIGURA 33

El programa SENSOR.EXE despliega al inicio una presentación y un menú de opciones.

Cuando se escoge la relacionada a la medición, comienza el sistema a funcionar, después de una serie de advertencias al usuario, en relación a las condiciones iniciales. El programa autoejecutable será explicado con detenimiento en el siguiente capítulo.

El que la PC y el SCI del microcontrolador estén conectados implica la posibilidad de transmisión y recepción de una terminal hacia la otra. Para el MC68HC11A1, fueron definidas dos localidades de memoria RAM (ocho bits cada una) para almacenar los datos de transmisión y de recepción, en las direcciones \$FE y \$FF respectivamente. A esos dos bytes se les nombra en el programa fuente (en lenguaje ensamblador) como REGTX (registro de transmisión) y REGRX (registro de recepción).

Los pasos que sigue el instrumento, para medir la cantidad de azúcar en una solución, son los que siguen: Se recomienda observar, a la par de los siguiente párrafos, el diagrama de flujo en la sección posterior.

- *Al escoger la opción en el programa SENSOR. EXE de inicio del proceso, la PC transmite un byte de ceros (\$00) al microcontrolador. Ello obliga a que se ejecute la instrucción que se localiza al inicio de la memoria EEPROM (\$B600) del MC68HC11A1, que es la localidad de memoria donde comienza el programa en lenguaje ensamblador que realiza la medición.*
- El programa en el microcontrolador comienza por inicializar al sistema (apuntador de pila o stack pointer en \$FD, banderas de estado, parámetros de comunicación).

Después son habilitadas la transmisión y la recepción del SCI, ello provoca que sea transmitido un preámbulo de diez bits de unos lógicos.

Entonces, es revisado el estado del TC (del SCSR) para saber si el transmisor está ocupado. De no estarlo, entonces se espera la recepción de una señal de inicio por parte de la PC (\$62).

Para la **RECEPCIÓN**, primero es revisada la bandera RDRF del registro SCSR (de estado de la comunicación), para saber si el SCDR (registro de datos de recepción) está vacío. Enseguida es leído el SCDR y su contenido es guardado en el REGRX para su uso posterior.

- *Mientras el SCI está en espera, la PC despliega un mensaje indicando que está listo el sistema para su funcionamiento. Cuando el usuario ordena la continuación del proceso, la PC transmite una señal de inicio (\$62).*
- Al recibirla (leyendo el REGRX), se transmite una señal a la PC (\$63) para informar que el sensor será colocado en el punto de referencia. Para hacerlo, el microcontrolador, a través del puerto B (de salida), hace mover el motor de pasos en la secuencia adecuada.

Antes de hacer mover al motor un pasos, es revisado uno de los pines de entrada del puerto A (asociado al optointerruptor de referencia), para saber el momento en que el sensor ha llegado a su destino.

Después que se ha hecho el desplazamiento de un paso, se ejecuta un retardo (para el cual es usado el registro índice X), para que la excitación al controlador del motor (que alimenta a los devanados), sea suficiente para vencer la inercia.

Cuando la salida del **OPTOINTERRUPTOR DE REFERENCIA** cambia de estado (cuando el sensor está en la posición de referencia), es detenido el motor de pasos (quitando la excitación).

Se transmite a la PC una señal (\$64), indicando que la posición de referencia ha sido encontrada. Esa señal es cargada en el REGTX.

Durante la **TRANSMISIÓN**, se verifica el estado de la bandera TDRE del SCSR, para saber si el registro de transmisión está vacío. Enseguida es cargado el dato del REGTX en el SCDR y es verificado el valor del TC (del SCSR), para saber si el transmisor está ocupado.

Una vez en la posición de referencia, se limpia el registro índice Y, usado como contador de pasos del motor y se habilita al convertidor analógico digital, definiendo conversiones en modo continuo y por un solo canal (al modificar el registro ADCTL).

Para dar tiempo a que el convertidor haga la primera lectura se ejecuta la subrutina de retardo.

En el **RETARDO**, se carga el registro índice X con un valor, el cual es decrementado en una unidad durante varias veces. Esta subrutina consiste en:

			Número de ciclos de instrucción	Comentarios
DELAY	LDX	#\$ 411A	3	Carga en el registro índice X (IX) el número hexadecimal 411A = 16 666 decimal
CICLOD	DEX		3	Decrementa IX
	BNE	CICLOD	3	Si IX es diferente de cero salta a CICLOD
	RTS			Salida de la subrutina

Sin considerar la primer línea (DELAY LDX #\$ 411A), las siguientes dos se repetirán 16 667 veces. Debido a que cada ciclo de instrucción dura 1 μ s, entonces el tiempo del retardo aproximado es de:

$$t = (\text{número de repeticiones}) (\text{número de ciclos}) (\text{tiempo de cada ciclo})$$

$$t = (16\ 667) (3 + 3) (1\ \mu\text{s}) = 0.100002\ \text{s}$$

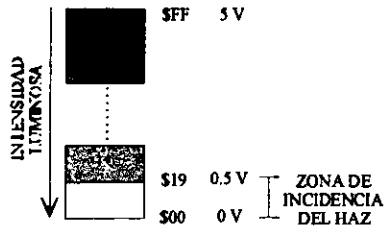
Estando el sensor en la posición de referencia, comienza la búsqueda del punto de proyección láser. Para detectar al haz, es necesario tener acceso a las lecturas del convertidor analógico digital.

LECTURA DEL CONVERTIDOR. Primero, se limpia el bit de acarreo del registro de códigos de condición o estado (CCR), se lee el contenido del ADR1 y se hace una diferencia de este valor con 1A (hexadecimal), es decir $\text{ADR1} - 1A$. La razón de esta operación matemática es la siguiente:

Cuando existe oscuridad absoluta, al convertidor entra una señal de 5 V, que se traduce en un valor \$FF en una conversión. Cuando el láser incide directamente sobre el sensor, se tiene a la entrada del convertidor una señal de 0 V, es decir un valor de \$00.

Para evitar la influencia de la luz del entorno en que se encuentre el instrumento, se decidió que el microcontrolador aceptaría la incidencia luminosa a partir del 90% del máximo. Ello implica que, el sistema reconoce que el haz incide sobre el fotosistor, cuando se tiene 0.5 V a la entrada del convertidor o un valor de \$19 (hexadecimal).

Como $\$1A > \19 , entonces la resta $\$19 - \$1A$, tiene como consecuencia un número negativo, que se expresa en el registro acumulador del microcontrolador, como \$FFFFFFF, causando un desbordamiento. Esta condición es indicada en el bit de acarreo del CCR como un uno.



Resumiendo, cuando el ADR1 tiene un valor mayor de \$19, se puede considerar que la luz que incide sobre el sensor es la del ambiente, pero no la del haz láser, lo que no causa desbordamiento. Cuando se tiene un valor menor de \$19, se considera que se debe a la incidencia directa del rayo, causando un uno en el bit de acarreo (por el desbordamiento). La lectura del CCR y específicamente el bit de acarreo proporciona la información para tomar una decisión.

Pueden existir entonces dos condiciones:

- * que el sensor encuentre al haz, en algún punto de su recorrido o
- * que el sensor llegue al segundo optointerruptor, sin haber encontrado la luz láser.

- **SI EL HAZ FUE ENCONTRADO**

Se hace detener al motor de pasos, se deshabilita al convertidor y es transmitida una señal (\$65) a la PC, para indicar al usuario que el haz ha sido encontrado. Espera entonces una señal (\$66) que proviene de la PC, para comenzar a transmitir 8 de los 16 bits del registro índice Y, usado para almacenar el número de pasos que dio el motor para encontrar al haz de luz.

- *La PC al recibir la señal \$65, le informa al usuario del estado del proceso y transmite \$66 al microcontrolador (cuando el usuario lo indique), para comenzar a transmitir parte del resultado. Queda en espera hasta recibirla (la mitad de la información del número de pasos dados por el motor).*
- Cuando el microcontrolador recibe \$66, está listo para transmitir el byte más significativo (MSB) contenido en IY. Debido a que éste registro es de dos bytes, se utilizan los registros acumuladores A y B como uno solo: el registro acumulador D. Es copiado el IY en ACC D (acumulador D). Se carga en el REGTX el MSB (es decir, el valor del ACC A) y se transmite el resultado. Queda en espera hasta recibir la orden (\$67) de transmisión de los siguientes ocho bits del registro acumulador D.
- *Cuando la PC recibe el MSB, lo almacena en una localidad de memoria y espera a que el usuario dé una orden, para que el microcontrolador realice la transmisión del byte menos significativo (LSB), mediante la señal \$67. Queda en espera hasta recibir el LSB.*
- Cuando el microcontrolador recibe la señal \$67 transmite el LSB, es decir, el valor del ACC B mediante el REGTX. Queda en espera de una señal por parte de la PC para efectuar otra medición (\$6A) o para salir del programa (\$69). En caso de escoger la segunda opción es deshabilitada la transmisión y la recepción.
- *La PC, al tener completo el número de pasos, calcula el índice Brix, el índice de refracción y la proporción agua-azúcar de la muestra. La manera en que lo hace a partir del desplazamiento del motor, se explica en el capítulo IV. La PC espera a que el usuario indique una nueva medición o el fin del proceso. En cualesquiera de los dos casos, es transmitida una señal al microcontrolador (\$69 o \$6A).*

- **SI EL HAZ NO FUE ENCONTRADO**

Si el sensor luminoso no detecta al haz durante su recorrido, entonces es necesario avanzar un o varios pasos del motor. Por cada uno, es incrementado el registro índice Y, usado como contador de estos. Después de cada movimiento, es leído el segundo optointerruptor (que se encuentra al final de la trayectoria del sensor)

Para leer al **SEGUNDO OPTOINTERRUPTOR** es necesario revisar uno de los pins del puerto de entrada usado. Si no cambia su estado, continua la secuencia de excitación del motor, para hacer mover al fotoresistor. El cambio del estado del optointerruptor, indica que el sensor ha llegado a uno de los extremos, sin haber encontrado la proyección del haz láser. En ese caso, es detenido el motor y es deshabilitado el convertidor analógico digital. Enseguida se transmite a la PC una señal (\$68) que indica que el haz no fue encontrado. Queda en espera de una señal para reiniciar el proceso (\$6A) o para salir del mismo (\$69).

- La PC recibe la señal del microcontrolador (\$68), que indica que el punto de proyección no fue localizado. Después de informar esta condición al usuario, espera la orden dada por éste, para reiniciar el proceso de medición o para darlo por terminado. En el primer caso es transmitido al MC68HC11A1 la señal \$6A y en el segundo caso \$69.

Notas.

- El programa ocupa 355 bytes (de los 512 disponibles): de la dirección \$B600 a la \$B762 de la memoria EEPROM (ver mapa de memoria, figura 26).
- Las entradas y salidas al sistema a través de los puertos son las siguientes:

ENTRADAS:

Sensor de luz, a través del puerto E (convertidor), pin PEO

Optointerruptores: Puerto A de entrada

De referencia, pin PA0

Segundo optointerruptor, pin PA1

SALIDAS

Controlador del motor, puerto B de salida, pines PB0, PB1, PB2, PB3

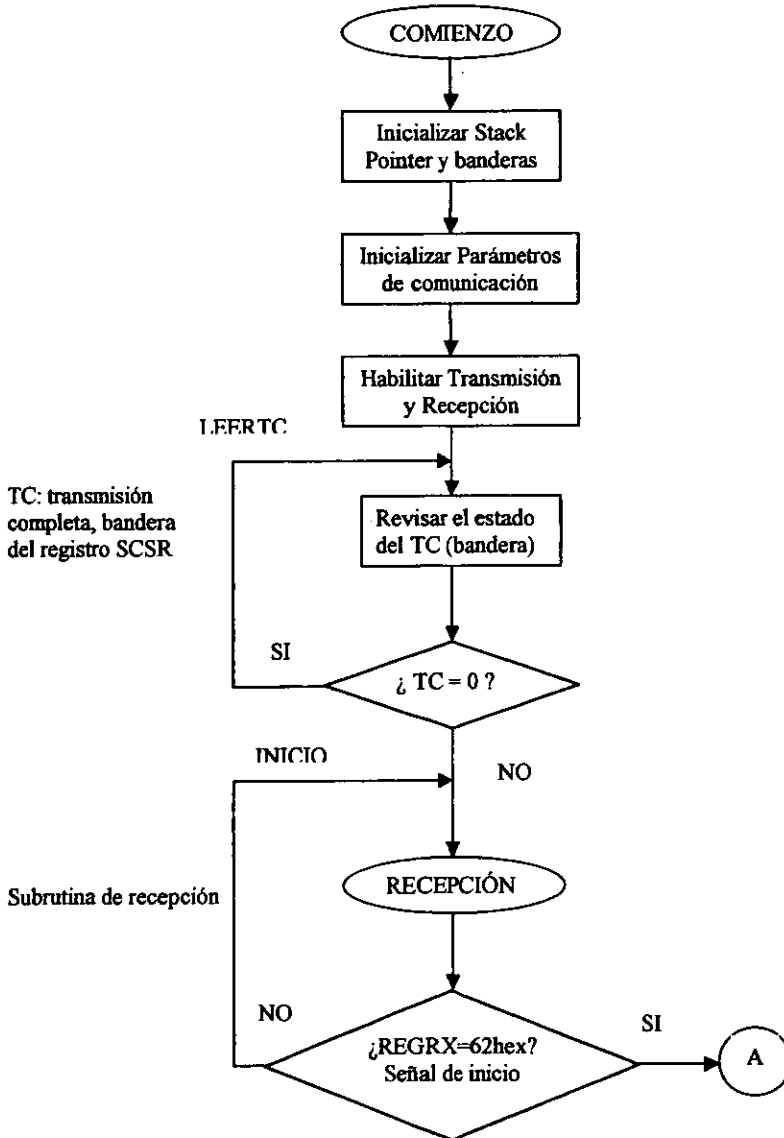
- El Stack Pointer o apuntador de pila comienza en la dirección \$FD de la memoria RAM
- Los registros índice son usados, uno como contador para la subrutina de retardo (IX) y el otro como contador de los pasos que da el motor (IY).
- Para poder leer cada uno de los bits del registro SCSR (del estado de la comunicación), se realiza la operación AND entre el valor del SCSR y un byte compuesto por siete ceros y un solo uno. La posición del uno depende del bit del SCSR al cual se quiere obtener su estado. Así el resultado de la operación puede ser comparado con los siguientes números hexadecimales, para conocer cuando se han activado cada uno de los bits del SCSR:

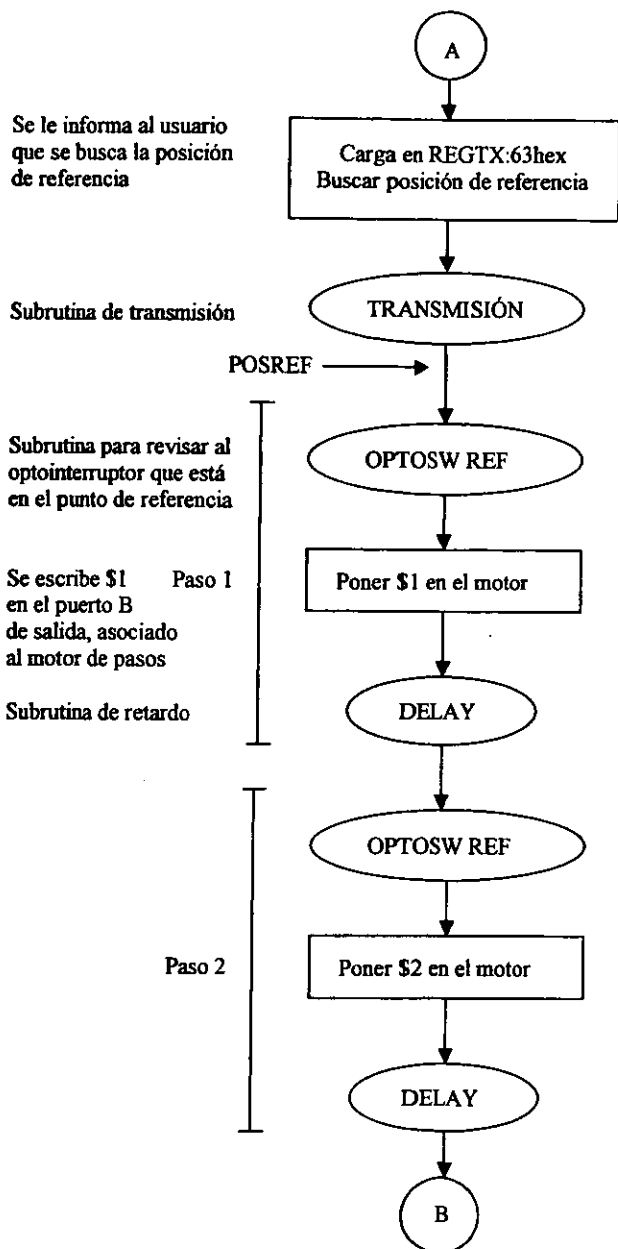
	BIT 7	6	5	4	3	2	1	BIT 0	
	TDRE	TC	RDRF	IDLE	OR	NF	FE	-	
TDRE	1	0	0	0	0	0	0	0	= \$80
TC	0	1	0	0	0	0	0	0	= \$40
RDRF	0	0	1	0	0	0	0	0	= \$20

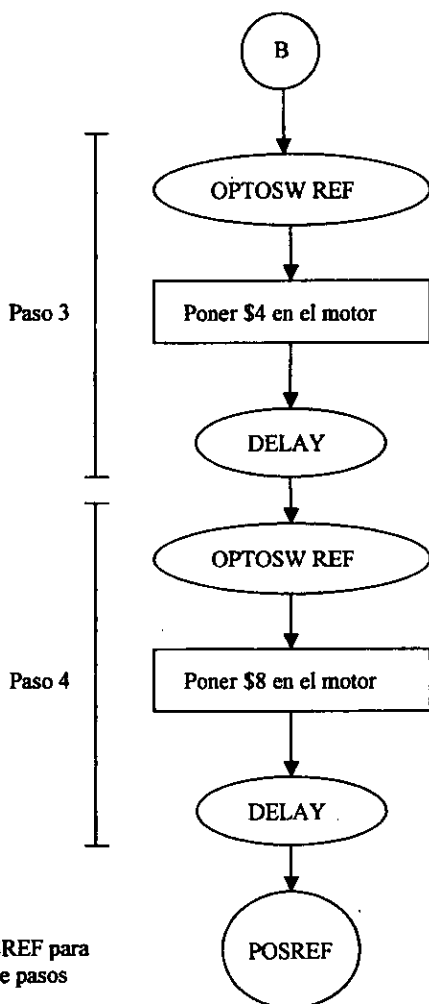
Las siguientes secciones están dedicadas al diagrama de flujo y al programa fuente en lenguaje ensamblador.

II.V DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA

PROGRAMA PRINCIPAL

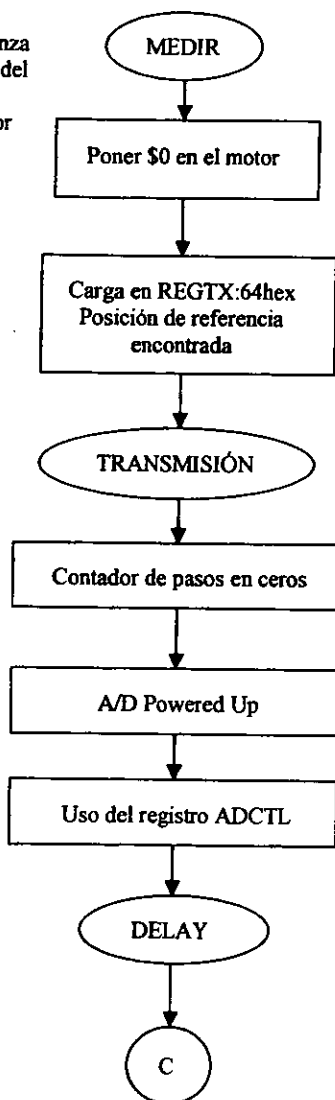






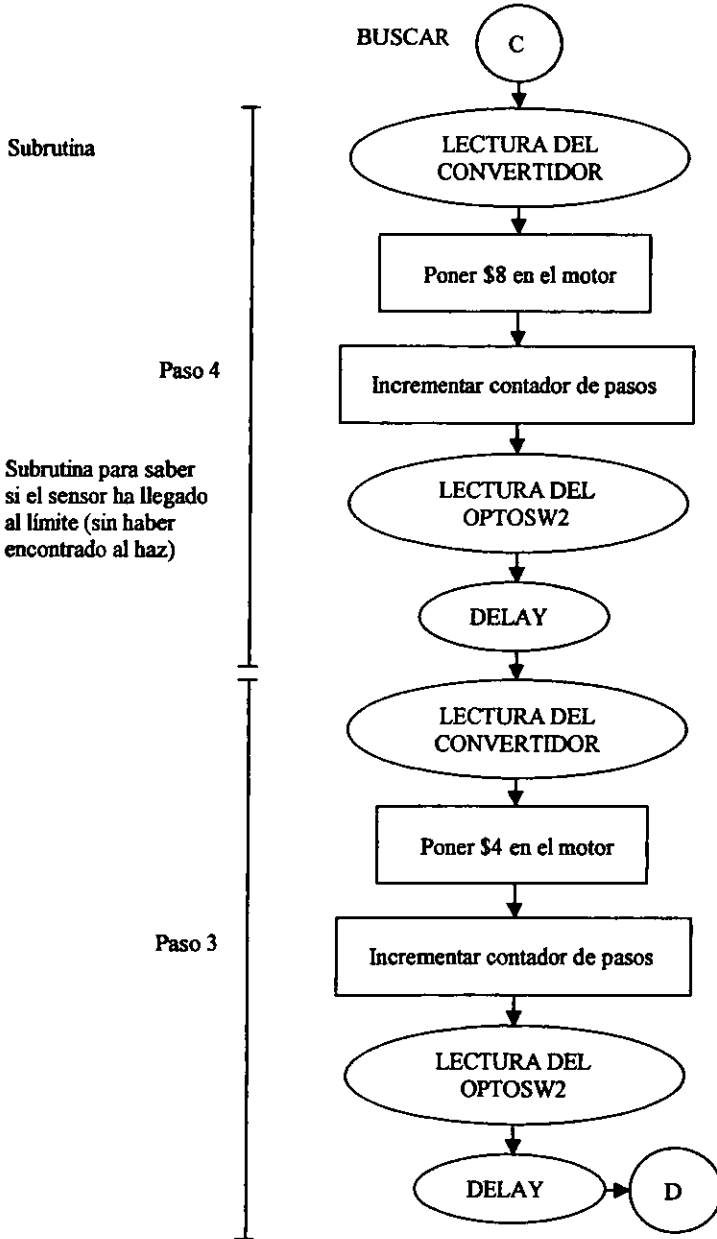
Regresa la etiqueta POSREF para continuar la secuencia de pasos

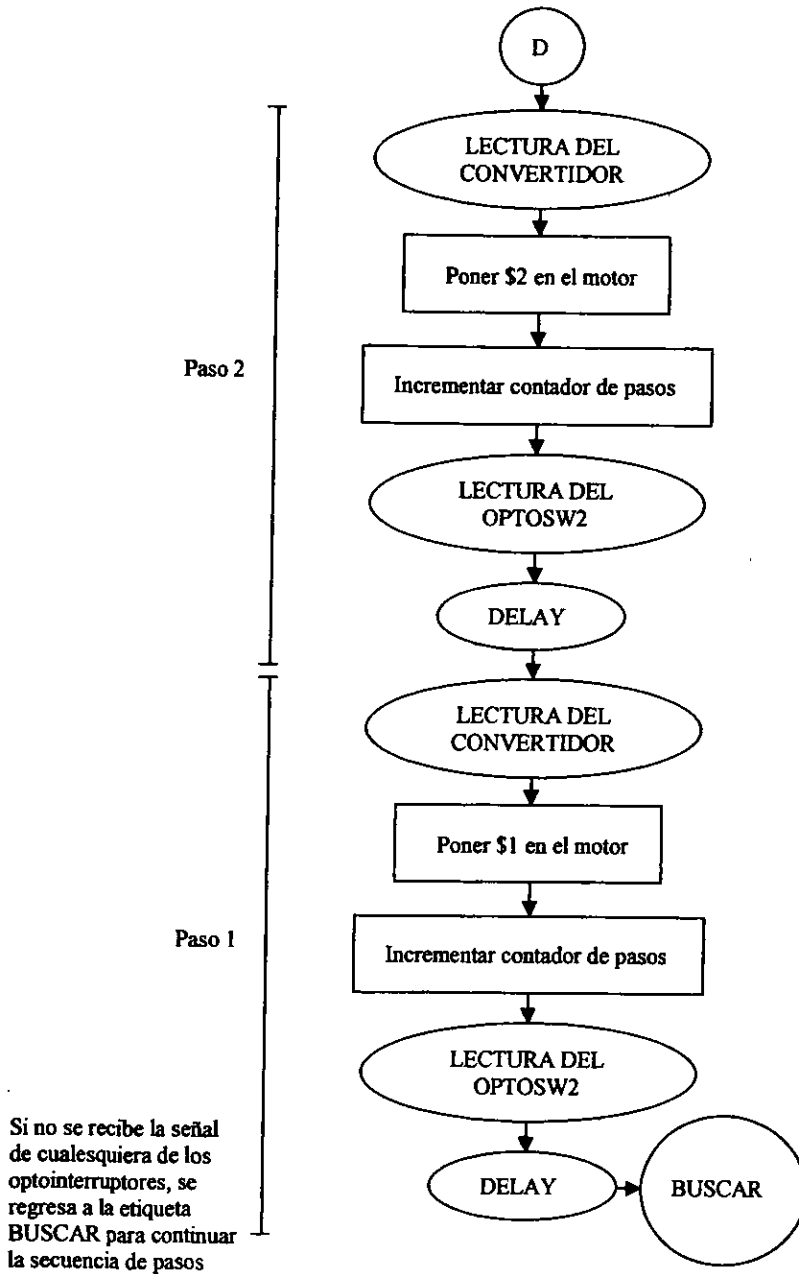
Cuando se ha encontrado la posición de referencia, comienza la búsqueda de la proyección del haz, es decir propiamente la medición. Es detenido el motor



Se le informa al usuario que la posición de referencia ha sido encontrada

Se habilita al convertidor

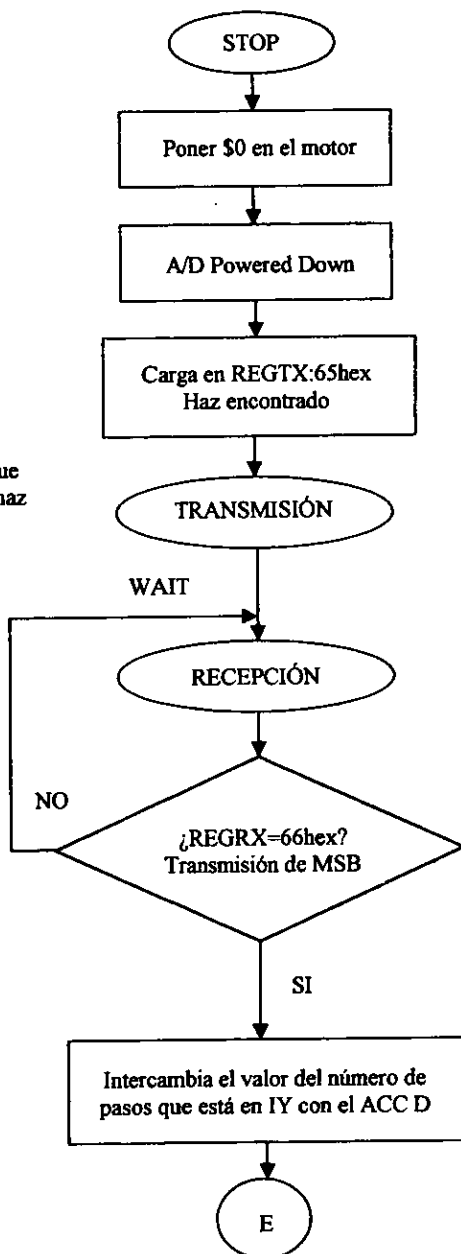


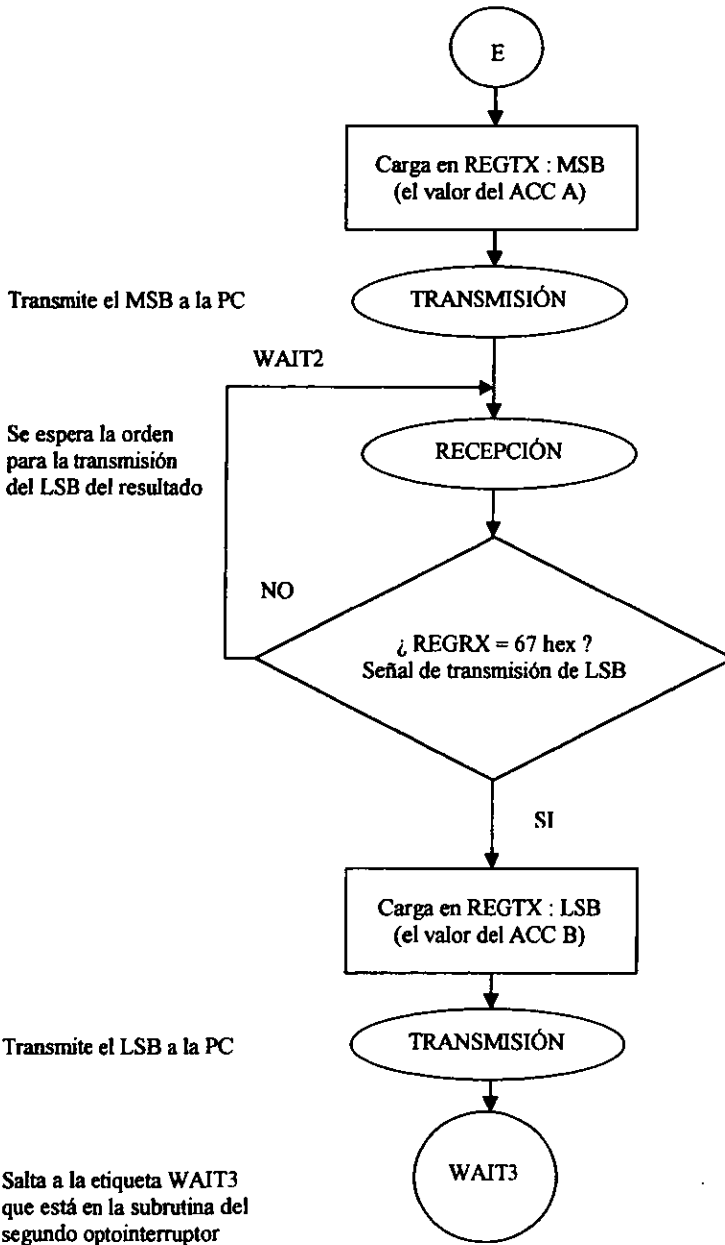


Si el haz fue encontrado

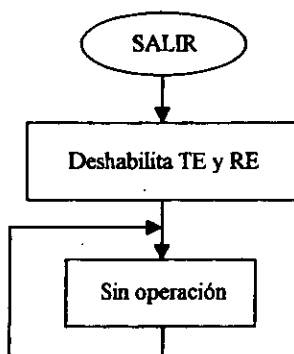
Se le informa al usuario que el sensor ha detectado al haz

Se espera la orden para la transmisión del MSB del resultado



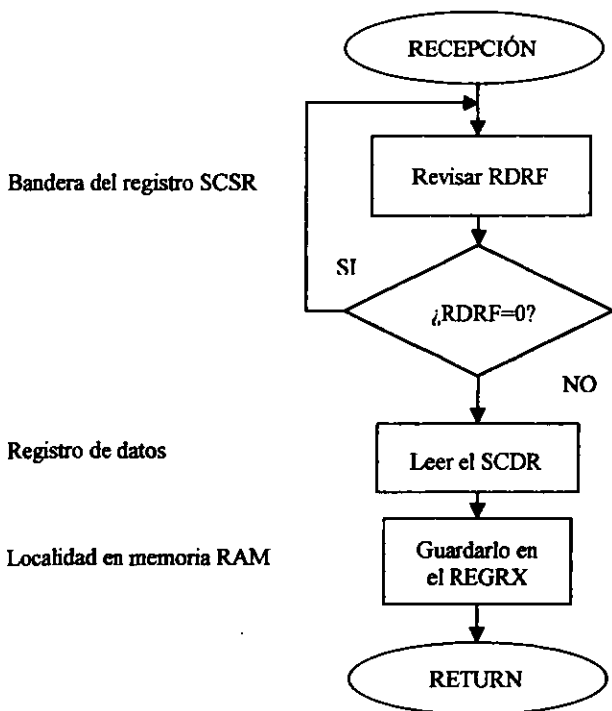


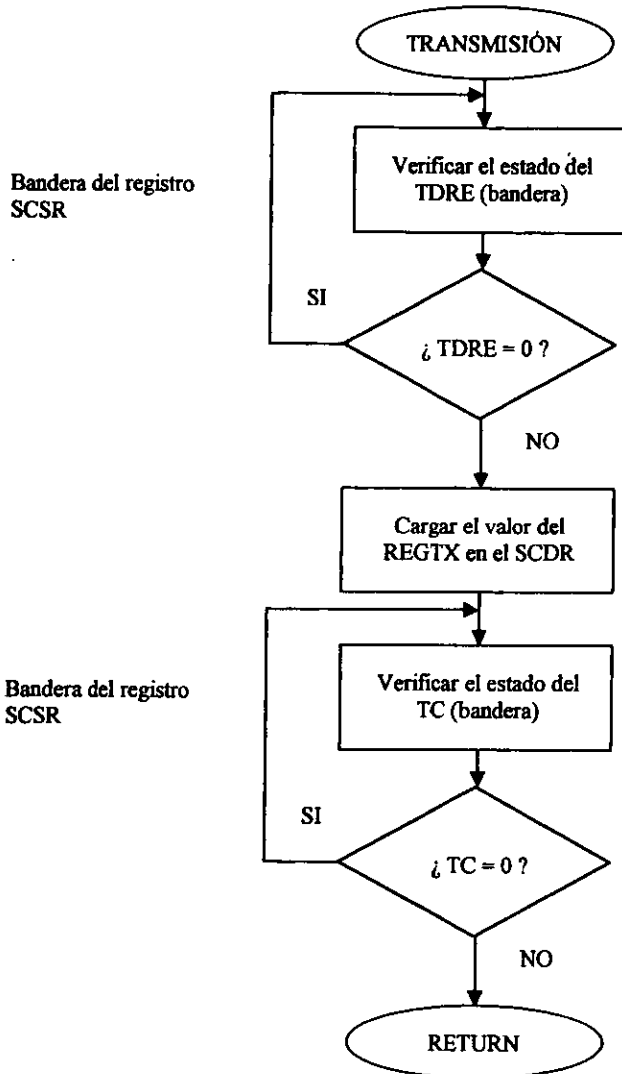
Fin del proceso



SUBRUTINAS

SUBROUTINA DE RECEPCIÓN

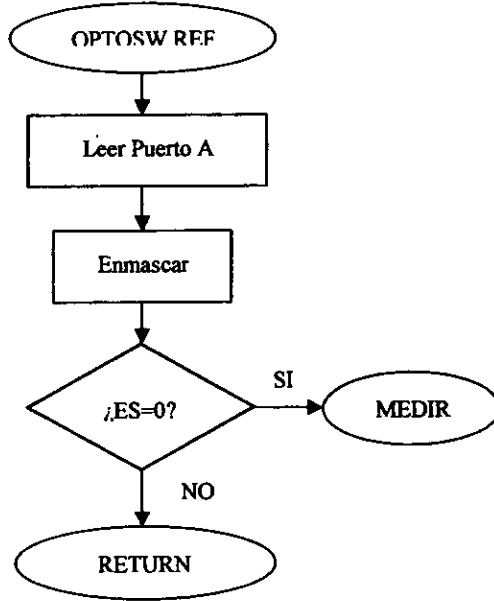


SUBROUTINA DE TRANSMISIÓN

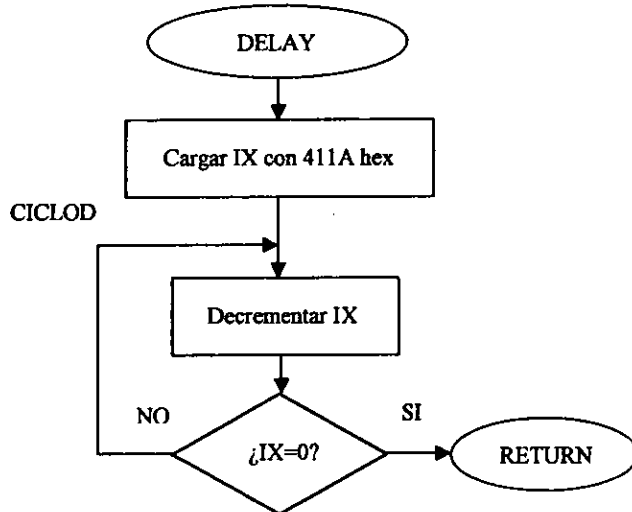
SUBROUTINA DEL OPTOINTERRUPTOR DE REFERENCIA

Operación (PUERTO A) AND \$1
Para leer solamente al primer bit
del puerto A (pin A0)

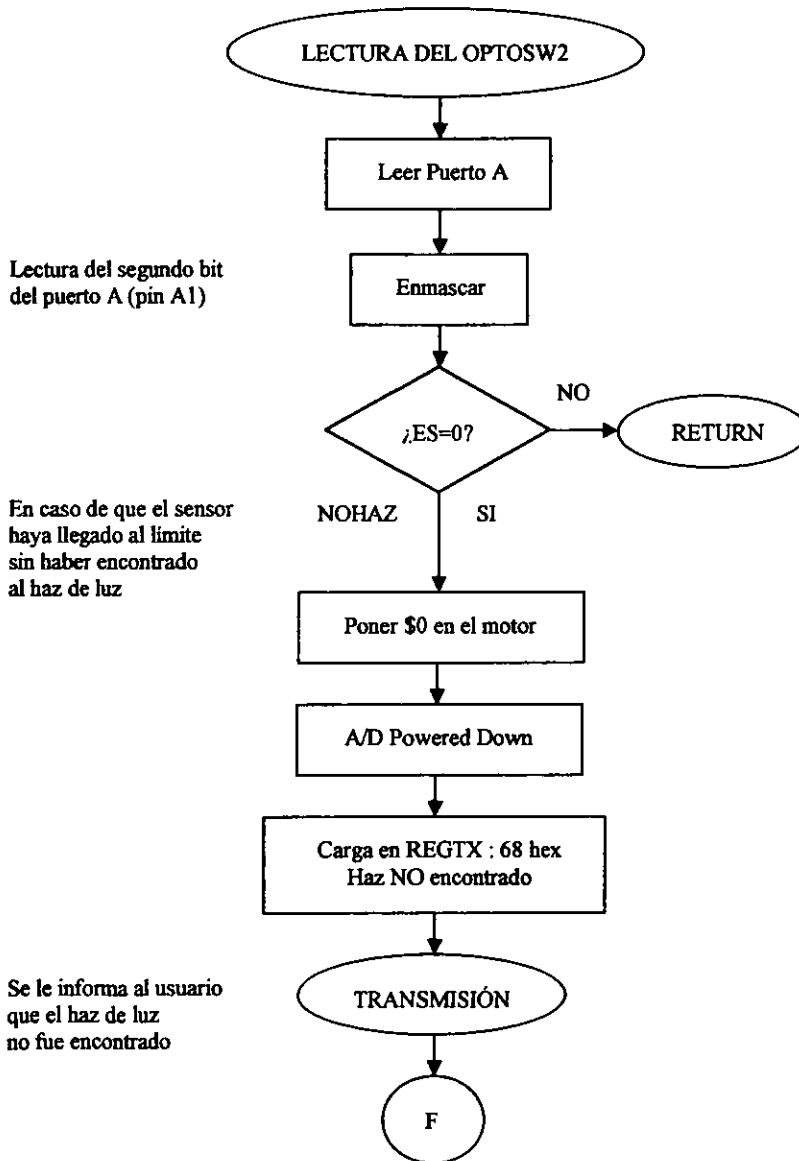
En caso de haber encontrado la
posición de referencia, comenzar
la búsqueda del haz láser

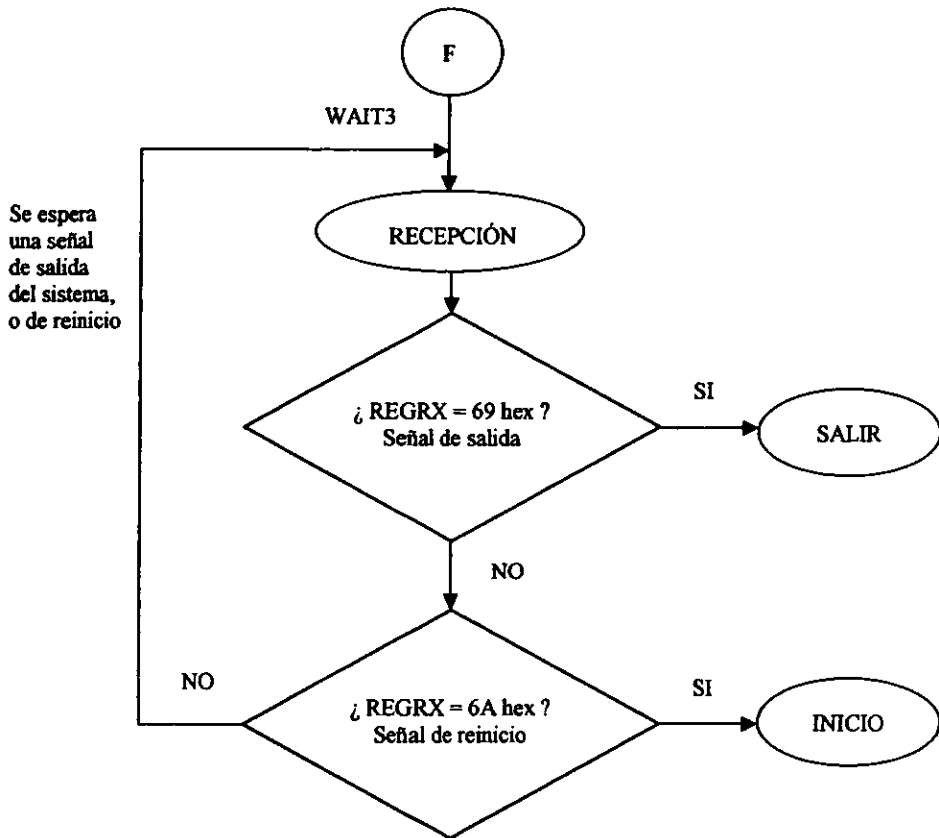


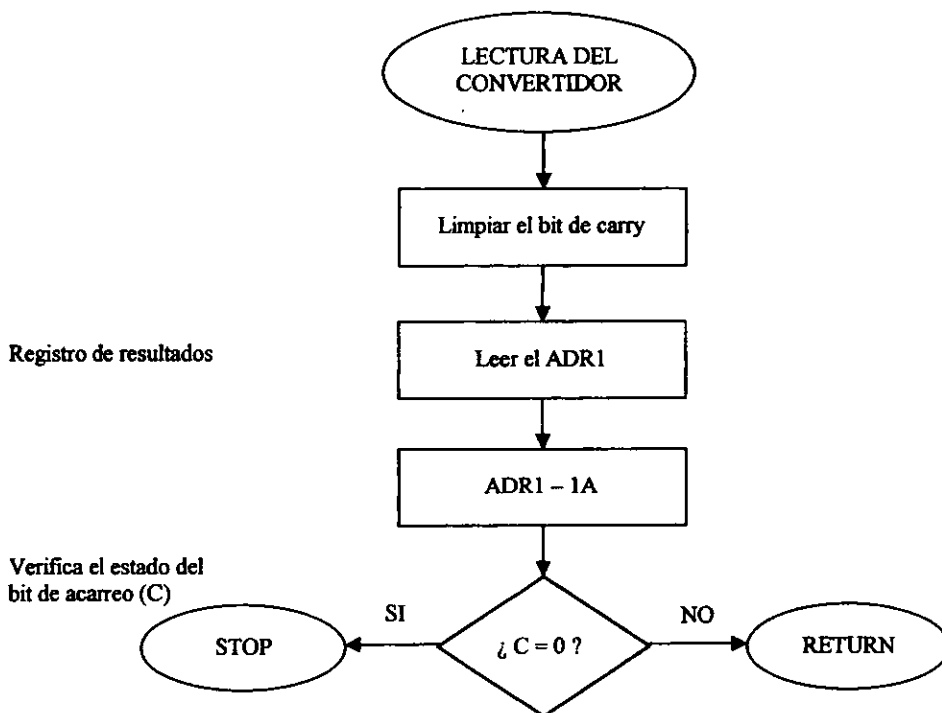
SUBROUTINA DEL RETARDO



SUBROUTINA DEL SEGUNDO OPTOINTERRUPTOR





SUBROUTINA DEL CONVERTIDOR ANALÓGICO - DIGITAL

II.VI PROGRAMA FUENTE EN LENGUAJE ENSAMBLADOR

```

; SENSOR.ASM PROGRAMA DE LA TESIS PARA CONTROLAR AL SENSOR DE DENSIDAD
;
; UNA VEZ ENCENDIDO EL DISPOSITIVO Y LA PC, ESTA ÚLTIMA TRANSMITE AL
; DISPOSITIVO CEROS, PARA QUE COMIENZE EL PROGRAMA QUE ESTA GRABADO EN
; EEPROM DEL MC68HC11A1. LA PC ESPERA UNA SEÑAL PROVENIENTE DE UN
; INTERRUPTOR, INDICANDO QUE EL DISPOSITIVO ESTÁ LISTO.
; A LA ORDEN DEL USUARIO, LA PC MANDA UN MENSAJE DE INICIO, ENTONCES EL
; SENSOR SE MUEVE HASTA ENCONTRAR LA POSICION DE REFERENCIA, MIENTRAS LO
; HACE SE LO INDICA A LA PC.
; UNA VEZ EN LA POSICION DE REF, EL SENSOR LE MANDA UNA SEÑAL A LA PC,
; INDICANDO QUE BUSCA AL HAZ, COMIENZA EL CONTEO DEL NUM DE PASOS DEL
; MOTOR Y SE MUEVE AL SENSOR.
; SI LO ENCUENTRA, SE DETIENE EL MECANISMO, SE LO COMUNICA A LA PC Y
; MANDA EL NUM DE PASOS DEL MOTOR QUE SE HAYAN DADO.
; SI NO LO ENCUENTRA Y HA HECHO TODO SU RECORRIDO, SE LO COMUNICA A LA
; PC Y ESPERA UNA SEÑAL PARA REINICIAR O FINALIZAR.

```

```

ORG      $B600

```

```

; registros de comunicación

```

```

BAUD    EQU    $102B
SCCR2   EQU    $102D
SCSR    EQU    $102E
SCDR    EQU    $102F

```

```

; registros del convertidor Analógico - Digital

```

```

ADCTL   EQU    $1030
OPTION  EQU    $1039
ADR1    EQU    $1031

```

```

; puertos usados

```

```

PORTA   EQU    $1000
PORTB   EQU    $1004
PORTE   EQU    $100A

```

```

; localidades de memoria RAM

```

```

REGRX   EQU    $FF
REGTX   EQU    $FE

```

```

LDS     #$FD    ; Stack Pointer
CLRA
STAA    REGRX
STAA    REGTX

```

```

LDAA    #$30    ; parámetros de comunicación
STAA    BAUD

```

```

LDAA    #$C     ; habilitar transmisión y recepción
STAA    SCCR2

```



```

LEERTC  LDAA    #$40    ; revisa el estado de TC
        ANDA    SCSR
        CMPA    #$40
        BNE    LEERTC

INICIO  JSR     RECEP   ; carga en REGRX el dato recibido
        LDAA    REGRX
        CMPA    #$62
        BNE    INICIO  ; espera hasta recibir 62h

        LDAA    #$63   ; carga en REGTX 63h
        STAA    REGTX
        JSR     TRANS

POSREF  JSR     SWREF   ; paso 1 del motor
        LDAA    #$1
        STAA    PORTB
        JSR     DELAY

        JSR     SWREF   ; paso 2 del motor
        LDAA    #$2
        STAA    PORTB
        JSR     DELAY

        JSR     SWREF   ; paso 3 del motor
        LDAA    #$4
        STAA    PORTB
        JSR     DELAY

        JSR     SWREF   ; paso 4 del motor
        LDAA    #$8
        STAA    PORTB
        JSR     DELAY

        BRA    POSREF

MEDIR  CLRA
        STAA    PORTB

        LDAA    #$64   ; carga en REGTX 64h
        STAA    REGTX
        JSR     TRANS

        LDY    #$0     ; contador de pasos en ceros

        LDAA    #$90   ; A/D Powered Up
        STAA    OPTION

```

```

        LDAA    #$30    ; Uso del registro ADCTL
        STAA    ADCTL

        JSR     DELAY

BUSCAR  JSR     ADC      ; paso 4 del motor
        LDAA    #$8
        STAA    PORTB
        INY
        JSR     SW2
        JSR     DELAY

        JSR     ADC      ; paso 3 del motor
        LDAA    #$4
        STAA    PORTB
        INY
        JSR     SW2
        JSR     DELAY

        JSR     ADC      ; paso 2 del motor
        LDAA    #$2
        STAA    PORTB
        INY
        JSR     SW2
        JSR     DELAY

        JSR     ADC      ; paso 1 del motor
        LDAA    #$1
        STAA    PORTB
        INY
        JSR     SW2
        JSR     DELAY

        BRA     BUSCAR

STOP    CLRA
        STAA    PORTB

        LDAA    #$10    ; A/D Powered Down
        STAA    OPTION

        LDAA    #$65    ; carga en REGTX 65h
        STAA    REGTX
        JSR     TRANS

WAIT    JSR     RECEP
        LDAA    REGRX

```

```

    CMPA    #$66    ; recibe la orden para transmitir el MSB 66h
    BNE     WAIT

    XGDY                    ; intercambia IY con ACC D

    STAA   REGTX    ; guarda MSB en REGTX
    JSR   TRANS

WAIT2  JSR   RECEP
    LDAA  REGRX
    CMPA  #$67    ; recibe la orden para transmitir el LSB 67h
    BNE  WAIT2

    STAB  REGTX    ; guarda LSB en REGTX
    JSR   TRANS

    JMP   WAIT3    ; espera orden de reinicio o salida

SALIR  CLRA                    ; deshabilita TE y RE
    STAA  SCCR2

FIN     NOP
    BRA   FIN

; SUBRUTINAS

; TRANSMISIÓN

TRANS  LDAA  #$80    ; verificar el TDRE
    ANDA  SCSR
    CMPA  #$80
    BNE  TRANS

    LDAA  REGTX    ; escribe el valor del REGTX en SCDR
    STAA  SCDR

TCTX   LDAA  #$40    ; revisar estado del TC
    ANDA  SCSR
    CMPA  #$40
    BNE  TCTX
    RTS

; RECEPCIÓN

RECEP  LDAA  #$20    ; revisa el RDRF
    ANDA  SCSR
    CMPA  #$20
    BNE  RECEP

```

```
LDATO  LDAA  SCDR   ; leer el SCDR y guardarlo en REGRX
        STAA  REGRX
        RTS
```

```
; LECTURA DEL OPTOINTERRUPTOR DE REFERENCIA
```

```
SWREF  LDAA  PORTA  ; leer pin PA0
        ANDA  #$1    ; enmascarar
        CMPA  #$0
        BEQ  MIDE
        RTS
MIDE   JMP  MEDIR
```

```
; RETRASO
```

```
DELAY  LDX  #$411A
CICLOD DEX
        BNE  CICLOD
        RTS
```

```
; LECTURA DEL CONVERTIDOR
```

```
ADC    CLC          ; limpiar el bit de carry
        LDAA  #$1A   ; ADRX - 1A
        SUBA  ADR1
        BCC  STOP
        RTS
```

```
; LECTURA DEL SEGUNDO OPTOINTERRUPTOR
```

```
SW2    LDAA  PORTA  ; leer pin PA1
        ANDA  #$2    ; enmascarar
        LSRA
        CMPA  #$0
        BEQ  NOHAZ
        RTS
```

```
NOHAZ  CLRA          ; poner $0 en el motor
        STAA  PORTB

        LDAA  #$10   ; A/D Powered Down
        STAA  OPTION

        LDAA  #$68   ; carga en REGTX 68h
        STAA  REGTX
        JSR  TRANS
```

```
WAIT3 JSR RECEP
      LDAA REGRX
      CMPA #$69 ; salida 69h
      BEQ SALIDA

      LDAA REGRX
      CMPA #$6A ; inicio 6Ah
      BNE WAIT3

      JMP INICIO
SALIDA JMP SALIR
```

CAPÍTULO III

SOFTWARE EJECUTABLE EN UNA COMPUTADORA PERSONAL, ASOCIADO CON LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA

El sistema usa una PC como interfaz entre el usuario y el instrumento de medición, debido a la facilidad que presentan, tanto el teclado (para dirigir al proceso), como el monitor (para visualizarlo). La comunicación entre el microprocesador y el microcontrolador es permitida, gracias a uno de los puertos seriales del primero y el SCI del segundo. Del SCI se discutieron sus principales características en el capítulo anterior, en las siguientes secciones, se expone información relacionada con uno de los puertos de una PC.

III.1 PUERTO SERIAL DE UNA COMPUTADORA PERSONAL

El puerto serial de una computadora debe enviar cada bit aislado a través de la línea, uno detrás de otro, y no ocho a la vez como lo hace el puerto paralelo. Utiliza por lo tanto, menos cableado que una comunicación paralela.

En la conexión a través de líneas eléctricas, se debe distinguir entre comunicación síncrona y asíncrona.

En la primera, una señal de reloj debe ser transmitida a través de la interfase serial. Cada bit de datos debe ser sincronizado con las transiciones de esa señal.

En la segunda, la transmisión de cada bit de datos no requiere una señal de reloj. Sin embargo, las transferencias deben efectuarse a una velocidad común entre el emisor y el receptor.

El microcontrolador del sistema se comunica de manera asíncrona con la computadora personal a una velocidad de 9600 baud.

UART.

En el interior del puerto serie hay un circuito especial para la entrada y salida de caracteres. Su función principal es la de convertir las palabras de datos, en las señales para el puerto. Se le denomina UART. Estas siglas corresponden a emisor y receptor asíncrono universal.

El UART dispone de diez registros accesibles desde el exterior (vía software). Además, tiene algunos otros registros adicionales, éstos de acceso interno solamente. Entre ellos podemos contar por ejemplo, el registro de corrimiento de recepción y el de transmisión, que juegan un papel fundamental en la transferencia de caracteres.

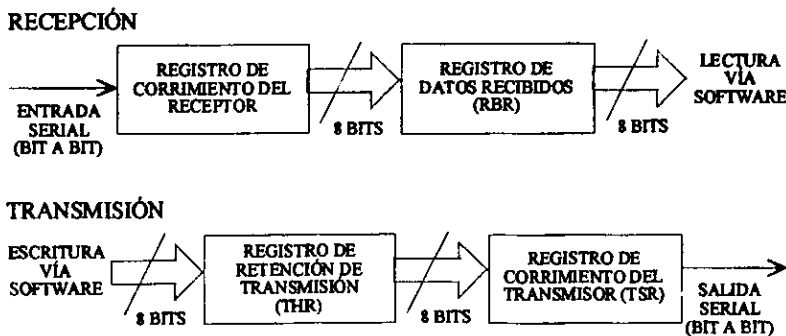


FIGURA 34

Si el UART recibe un byte, los diferentes bits que se van recibiendo se “amontonan” primero en el registro de corrimiento de recepción, hasta que se completa una palabra de datos (como en el SCI del MC68HC11A1). Si no aparece ningún error, el byte es transferido al registro de datos de recepción desde donde puede ser leído vía software.

En el sentido contrario, el software escribe primero los datos a enviar en el registro de retención de transmisión. De ahí el UART, lo traslada al registro interno de corrimiento de transmisión, para desde ahí, transmitir los diferentes bits, uno detrás de otro, a través de la línea.

Modos de comunicación.

La comunicación entre el software y el UART puede darse tanto en modo polling, como en modo interrupción.

En modo polling, es responsabilidad del software consultar a través del registro de control de la línea el estado del UART, a espacios de tiempo regulares. Sólo así puede determinar si se ha recibido un nuevo carácter, o si el último que ha sido enviado se encuentra realmente en camino. En este modo los programas son fáciles de programar, pero la desventaja está en que la CPU está todo el tiempo ocupada con el dispositivo, aunque los caracteres, comparándolo con la velocidad del CPU, son enviados y recibidos de manera muy lenta.

En modo interrupción, la CPU tiene que utilizar el puerto serie cuando realmente llega un carácter o hay un error. En estas situaciones, inicia el UART una interrupción y activa con ello el administrador de interrupciones.

Para el instrumento diseñado, se eligió el modo polling por su facilidad en la programación.

Acceso a los registros.

Los registros del UART son accesibles desde diferentes puertos, que se orientan por la dirección base del puerto serie. Esta dirección base puede, teóricamente, escogerse a voluntad. En la práctica, los dos primeros puertos serie de una PC (COM1 y COM2), son accesibles a través de las direcciones base 3F8h (hexadecimal) y 2F8h. Para COM3 y COM4 (si están presentes), normalmente se utilizan las direcciones base 3E8h y 2E8h.

Tabla de registros

Registro	Abreviatura	Lectura	Escritura	Puerto base +	Bit 7 del LCR
Retención de transmisión	THR		*	0	0
Datos recibidos	RBR	*		0	0
De velocidad LSB	DLL	*	*	0	1
De velocidad MSB	DLM	*	*	1	1
Habilitación de interrupciones	IER	*	*	1	0
Identificación de interrupciones	IIR	*		2	-
Control de línea	LCR	*	*	3	-
Control de MODEM	MCR	*	*	4	-
Estado de línea	LSR	*	*	5	-
Estado del MODEM	MSR	*	*	6	-

Existen dos direcciones (puerto base +0 y puerto base +1) que son ocupadas por varios registros, para tener acceso a ellos es necesario modificar antes el bit 7 del LCR.

Inicialización del UART.

Para establecer conexión con otro puerto serie, el UART primero debe ser inicializado. Especialmente en lo que concierne a los diferentes parámetros de comunicación, es decir, la velocidad de transmisión, la longitud de palabra de datos y el número de bits de paro.

Una buena práctica consiste en llevar a cabo una lectura al registro de datos recibidos (RBR). Si algún programa anterior ha dejado ahí algún carácter, existe el peligro de que se interprete éste, como el primero de la conexión que se está a punto de establecer. Si, por el contrario, no existe ningún carácter en ese registro, la lectura no tiene ningún efecto, por lo que no se comete algún error.

Al configurar los diferentes parámetros de la comunicación, no se debe olvidar el empezar por la velocidad, pues al escribir en los distintos registros, el UART inicializa el resto de los parámetros. Así, si se configuran estos registros antes de indicar la velocidad, tendrán que configurarse otra vez.

Para la determinación de la velocidad, existen los registros *DLL* y *DLM*. El valor deseado no se escribe directamente, sino como un cociente con respecto a la frecuencia del UART, que es de 1.8432 MHz. El valor de la velocidad comunica al UART cuán rápido debe generar los diferentes bits, con respecto a su frecuencia de reloj.

Para 9600 baud los valores son: 00h para el DLM y 0Ch para el DLL.

El resto de parámetros, como la longitud de palabra, el número de bits de paro y la utilización de bits de paridad se configuran a través del *Registro de Control de Línea (LCR)*, que se encuentra en la dirección relativa 3, con respecto a la dirección base del puerto serie. Este registro se puede escribir para llevar a cabo nuevas configuraciones, pero también se puede leer si se quiere averiguar la configuración actual.

LCR

PUERTO BASE + 3

BIT 7	6	5	4	3	2	1	BIT 0	
1	0	0	0	0	0	0	0	= 80h
HABILITA REGISTROS DLL Y DLM								
0	0	0	0	0	0	1	1	= 03h
8 BITS DE DATOS, 1 BIT DE PARO, SIN PARIDAD								

Bits 1 y 0. Longitud de palabra.

00 = 5 bits, 01 = 6 bits, 10 = 7 bits, 11 = 8 bits

Bit 2. Longitud del bit de paro.

0 = 1 bit

1 = 1.5 bits en longitud de palabra de 5 y 2 bits en longitud de palabra de 6 a 8

Bit 3. 1 = Comprobación y generación de paridad activada

Bit 4. Paridad constante, sólo importa si el bit 3 = 1

0 = impar, 1 = par

Bit 5. Paridad constante, sólo importa si bit 3 = 1

0 = sin bit de paridad constante

1 = bit de paridad siempre 0 o 1 sin relación al contenido de datos (0, si bit 4 = 1 y 1, si bit 4 = 0)

Bit 6. 1 = La línea de datos se coloca en 0 lógico independientemente del contenido de los demás registros (Spacing Condition), para enviar al receptor una especie de señal de alarma. El UART vuelve a su modo de funcionamiento normal, en cuanto este bit se vuelva a colocar en 0.

Bit 7. Decide durante el acceso a los puertos 0 y 1 del UART (puerto base +0 o puerto base +1), a qué registro interno se ha de acceder.

0 = según el puerto, uno de los registros THR, RBR o IER

1 = según el puerto, uno de los registros DLL o DLM

El estado actual del UART.

La información del estado de la emisión y recepción de caracteres y del estado de línea de transmisión, puede ser consultada a través del *Registro de Estado de Línea (LSR)*. Éste, muestra también todos los errores, pero sin tomar medidas al respecto, pues corresponde al software de comunicación, desarrollar los mecanismos capaces de avisar a emisor y receptor, sobre transmisiones defectuosas.

LSR	PUERTO BASE + 5							
BIT 7	6	5	4	3	2	1	BIT 0	
-	1	1	0	0	0	0	0	= 60h
SI LOS REGISTROS DE TRANSMISIÓN ESTÁN VACÍOS								
-	0	0	0	0	0	0	1	= 01h
SI HAY UN CARACTER EN RBR								

Bit 0. 1 = Hay un caracter leído en el *RBR (registro de datos recibidos)*

Bit 1. 1 = Se depositó un caracter nuevo en el RBR antes de haber leído el anterior.

Bit 2. 1 = Error de paridad al recibir el último caracter

Bit 3. 1 = Error de transferencia al recibir el último carácter

Bit 4. 1 = Alarma de la parte contraria mediante un estado continuo de la línea a cero

Bit 5. 0 = El *registro de retención de transmisión (THR)* contiene un byte que se ha de transmitir

1 = THR vacío

Bit 6. 0 = El *registro de corrimiento de la transmisión (TSR)*, aún contiene un byte que se está enviando

1 = TSR está vacío

Bit 7. No implementado

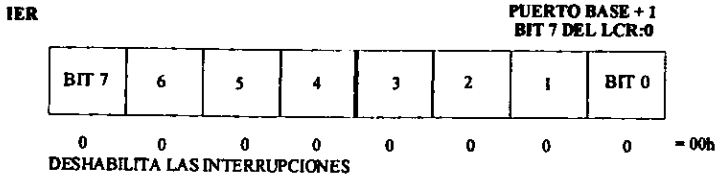
Control por interrupciones.

Si la lectura de los caracteres que van llegando, se realiza mediante la interrupciones, son indispensables dos registros.

Uno, el *Registro de Habilitación de Interrupciones (IER)* determina las situaciones en que éstas deben ser llevadas a cabo.

El otro, denominado *Registro de Identificación de Interrupciones (IIR)*, alerta al administrador de interrupciones del puerto serie.

Debido a que el sistema diseñado no usa interrupciones, no se muestra al IIR.



Bit 0. 1 = Disparar interrupción en cuanto haya un caracter preparado en el RBR

Bit 1. 1 = Disparar interrupción en cuanto el registro THR esté vacío y se puedan transferir más caracteres

Bit 2. 1 = Disparar interrupción en cuanto se modifique el estado de la línea en LSR

Bit 3. 1 = Disparar interrupción en cuanto se modifique el estado del módem en MSR

Bits 4, 5, 6 y 7. No implementados. Siempre son cero

Registros del módem.

Del mismo modo en que el Registro del Estado de Línea (LSR) y el Registro de Control de Línea (LCR) se ocupan de controlar y gobernar la conexión entre dos puertos serie, el *Registro del Estado del Módem (MSR)* y el *Registro de Control del Módem (MCR)* se responsabilizan de vigilar y gobernar la conexión entre el puerto serie y uno de los módems conectados.

Debido a que el sistema diseñado no usa interrupciones no se muestran con detalle ambos registros.

Notas.

- En el sistema no son utilizadas las interrupciones, puesto que es comunicación asíncrono en modo polling.
- Los registros que se utilizan son los siguientes: THR, RBR, DLL, DLM, LCR y LSR.
- La velocidad de transmisión es de 9600 baud.
- Cada palabra de comunicación consiste: en un bit de inicio, ocho de datos y un de paro. No hay bits de paridad.

III.II INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA Y PROCEDIMIENTO

Interfaz hombre-máquina.

El programa SENSOR.EXE (hecho en lenguaje C de programación), tiene la finalidad de facilitar el manejo del instrumento por el usuario. De esta manera, su operación es sencilla y no es necesario conocer a detalle el microcontrolador y el resto de los circuitos involucrados en el sistema.

Se puede conseguir este fin teniendo un entorno sin complicaciones, por el cual el usuario pueda estar informado de lo que ocurre durante cada etapa del proceso.

Después de la presentación del programa, se presenta un menú con las siguientes opciones:

1. *Procedimiento.* Donde se explica con detalle los pasos que efectúa el instrumento para hacer una medición.
2. *Especificaciones técnicas.* En ésta se exponen las principales características del sistema.
3. *Comenzar a medir.* En la cual comienza a trabajar el aparato.
4. *Salir.* Da por terminado el programa.

Al escoger la tercera opción, se indica al operador que verifique las condiciones iniciales del sistema. Entonces, aparece una ventana dividida en las siguientes áreas:

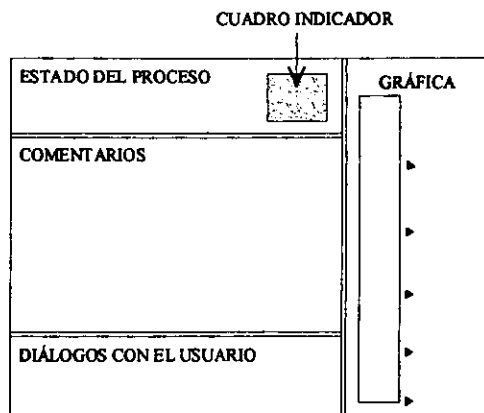


FIGURA 35

Estado del proceso. En esta ventana, se le indica al usuario del estado del proceso mediante mensajes breves y claros, escritos con el mismo color del cuadro indicador.

Cuadro indicador. Se trata de una señal visual para el usuario, que cambia de color dependiendo de la etapa en la que esté operando el sistema. Es análogo a un semáforo: azul, cuando el sistema está listo y durante la obtención de resultados; amarillo, cuando se busca la posición de referencia y cuando ésta ya ha sido encontrada; verde, mientras el sensor detecta al haz de luz y rojo si no se encontró la proyección del rayo láser, debido a un posible error en el manejo del instrumento.

Comentarios. Donde el estado del proceso es explicado con mayor detalle. Le indica al operador lo que debe de hacer. Al final del procedimiento, aparecen en esta área los resultados de la medición.

Diálogos con el usuario. Se muestran ahí, las indicaciones para continuar con el proceso (como algún menú de opciones, el introducir algún dato o simplemente el oprimir una tecla).

Gráfica. La barra que aparece en esta área sirve para mostrar la proporción azúcar-agua de manera gráfica. Tiene graduaciones cada 0.5 g de azúcar por ml de agua y se llena en color gris, hasta al nivel que representa el valor del resultado.

De esta manera, la comunicación con el operador no es solo con mensajes escritos, sino también con señales visuales.

Procedimiento.

Para esta explicación, se recomienda revisar el capítulo II, sección II.IV, referente a la ejecución del programa en lenguaje ensamblador del microcontrolador.

- En el momento en que el sistema está listo para comenzar a hacer la medición, le es indicado al operador de ello. Al oprimir cualquier tecla, el usuario puede hacer que opere el aparato. En la ventana del estado del proceso se puede leer: "El dispositivo está listo."

Como comentario se indica: *"El dispositivo está listo para empezar. En cuanto oprima cualquier tecla, el dispositivo comenzará a trabajar."*

El cuadro indicador aparece en azul.

- Después de dar la orden de inicio, la computadora manda una señal. Esta consiste en un byte de ceros, para la ejecución del programa que se encuentra en memoria EEPROM del microcontrolador. El sensor entonces se mueve, para localizar el punto de referencia.

Estado del proceso: *"Buscando la posición de referencia."*

Comentario: *"El dispositivo se colocará en la posición de referencia, en la que el haz se proyecta cuando la muestra consiste en agua simple."*

Cuadro en amarillo.

- Una vez que el sensor está en la posición de referencia, le manda una señal al microcontrolador (a través del optointerruptor) y éste a su vez le transmite otra a la computadora. El motor entonces cambia la dirección de su movimiento y son contados los pasos que sean dados durante el recorrido.

Estado del proceso: *"Buscando al haz láser."*

Comentario: *"El dispositivo ha encontrado la posición de referencia y está buscando la proyección del haz láser en el sensor, para así determinar la concentración de la muestra. Espere unos segundos."*

Cuadro en verde.

- **SI EL HAZ FUE ENCONTRADO.** Si el aparato detecta el rayo láser, el motor se detiene y es transmitida una señal a la PC.

Estado del proceso: *"Haz láser encontrado."*

Comentario: *"El sensor ha encontrado la proyección del haz láser. La obtención del valor de la medición se llevará a cabo en dos partes, al oprimir cualquier tecla, iniciará la primera de ellas."*

Cuadro en amarillo.

- El número de pasos (que el motor dio para encontrar la proyección) está almacenada en un registro de 16 bits. La transmisión del resultado se da en dos pasos, un byte por cada uno.

Estado del proceso: *"Obteniendo el valor de la concentración."*

Comentario: *"Primera parte concluida. Al oprimir cualquier tecla iniciará la última parte."*

Cuadro en azul.

- Es transmitido el segundo byte.

Estado del proceso: *"Obteniendo el valor de la concentración."*

Comentario: *"El dispositivo fue calibrado con una muestra a temperatura ambiente (20° C, 68° F aprox.), si ésta cambia, lo hace también el valor de la densidad. Para conocer el nuevo valor EN GRADOS BRUX es necesario que introduzca el valor de la temperatura a la cual desea conocer la concentración. Si escoge esa opción aparecerán también las mediciones a temperatura ambiente."*

Cuadro en azul.

- Se tiene entonces, la opción de teclear una valor de temperatura diferente a 20° C, para hacer una compensación en temperatura, del resultado en grados Brix.

Estado del proceso: *"Obteniendo el valor de la concentración."*

Ventana de diálogos con el usuario: *"Teclee el valor de la temperatura entre 10° C y 30° C (un decimal, por ejemplo: 21.0)."*

Fue acotado a ese rango de temperatura debido a que en la industria alimenticia, las soluciones tienen esos valores. Al teclear el número no es necesario oprimir Enter o el punto decimal, así es más fácil introducir el dato. El programa no acepta valores mayores de 30 o menores de 10.

En la ventana de comentarios aparecen los resultados: grados Brix, índice de refracción y proporción azúcar – agua. De acuerdo a éste último número se llena la barra gráfica.

La manera de calcular los resultados a partir del número de pasos que dio el motor, se explica en el capítulo siguiente.

En la ventana de diálogos con el usuario aparecen dos opciones: salir del programa (y con ello, dar por terminado el proceso) o reiniciar (con el fin de hacer otra medición).

Los resultados se despliegan de la siguiente manera:

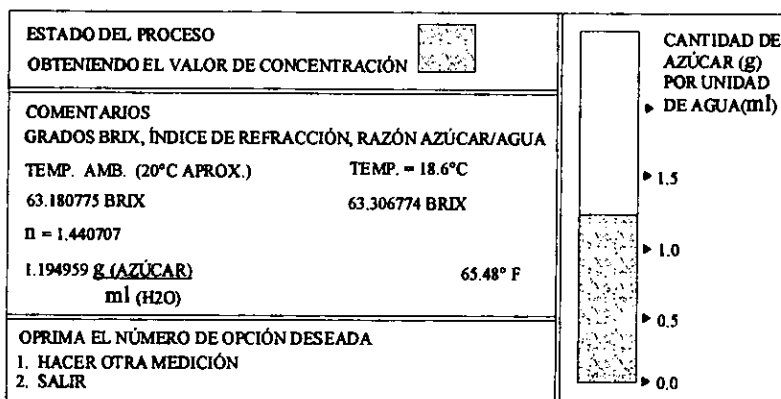


FIGURA 36

El sistema ofrece una corrección del valor en grados Brix, para un ambiente con más, o menos de 20° C. Debido a que el índice de refracción es una medida de la velocidad de la luz, ésta es afectada por la temperatura. Si un material se expande cuando se calienta, entonces será menos denso, la luz es más lenta y el índice de refracción decrece. Para una solución azucarada, el incremento es de 0.5% de azúcar por cada 10° F. Esto es, si una solución midiera 20% a 70° F, al calentarla a 80° F, la misma muestra mediría 19.5%.

- **SI EL HAZ NO FUE ENCONTRADO.** Si el aparato no detecta el rayo láser, significa que el sensor realizó todo su recorrido, hasta llegar al segundo optointerruptor. El motor se detiene y es transmitida una señal a la PC. Se informa al operador de las posibles causas del error.

Estado del proceso: "Haz láser NO encontrado."

Comentarios: "El sensor NO encontró la proyección del haz láser. Ello se pudo deber a cualesquiera de las siguientes razones:

1. No existe muestra en el tanque.
2. La muestra es demasiado opaca para permitir el paso de la luz.

3. *El dispositivo láser no está encendido. Revise que exista un rayo láser que atraviese el tanque y llegue hasta el sensor de luz. ¡RECUERDE NO VER DIRECTAMENTE LA LUZ LÁSER!*
4. *Todo el sistema está mal alineado. Revise que tanto el tanque, el dispositivo láser, como el sensor estén en su sitio. Debido a que el principio físico que permite la medición, es óptico, cualquier error en la alineación de los elementos mencionados, puede causar que el haz láser se proyecte fuera de la trayectoria que recorre el sensor.*
5. *Existe un objeto opaco que interrumpe al haz, en cualquier punto de su trayectoria."*

Cuadro en rojo.

Entonces se dan dos opciones: salir del programa o reiniciar el proceso. Si se escoge ésta última, se sugiere hacer las correcciones necesarias, para que funcione adecuadamente el instrumento.

III.III DIAGRAMA DE FLUJO

El programa realiza las siguientes funciones:

- Define las librerías, constantes y funciones

Las constantes del programa principal son las siguientes:

PORT1 Especifica el puerto serial uno de la computadora (COM1) como 3F8 en hexadecimal.

Señales a transmitir (del la PC al MC68HC11A1)			Señales a recibir (del MC68HC11A1 a la PC)		
Constante	Valor hexadecimal	Comentarios	Constante	Valor hexadecimal	Comentarios
START	62	Inicio	BUSCAPOSREF	63	Buscar posición de referencia
TRANSMSB	66	Transmisión del bit más significativo del resultado	POSREFENCON	64	Posición de referencia encontrado
TRANSLSB	67	Transmisión del bit menos significativo del resultado	HAZENCON	65	Proyección del haz encontrada por el sensor
FIN	69	Finalizar	HAZNOENCON	68	Proyección del haz no encontrada por el sensor
INICIO	6 A	Reiniciar			

Las funciones son las siguientes:

- Presentación () Portada de introducción al programa
- Marcos () Dibuja las ventanas de trabajo (ver figura 35)
- Menu () Presenta el menú principal de opciones
- Conocer () Explicación por pasos, del procedimiento
- Especif () Especificaciones técnicas
- Salir () Función para salir del programa
- Warning () Despliega una serie de advertencias, antes de comenzar la medición
- Edoproceso () Escribe en la ventana del estado del proceso los mensajes correspondientes.
Depende de la etapa en la que se encuentre la medición
- Cuadro () Cambia el color del cuadro indicador.
Depende de la fase en la que se encuentre el procedimiento
- Borrarcomen () Borra el área de comentarios
- Comentarios () Escribe en el área de comentarios los mensajes correspondientes.
Depende de la etapa en la que se encuentre el proceso
- Cursor () Deja el cursor en una misma posición

Grafica ()	Rellena la barra del resultado gráfico.
Compensat ()	Depende de uno de los valores del resultado (el de la razón azúcar / agua) Calcula el valor de los grados Brix a una temperatura diferente a 20° C Depende del resultado en grados Brix calculado a 20° C

FUNCIÓN PRINCIPAL

- Declaración de variables.

Variable	Tipo	Comentario
opcion	Caracter	Opción del menú principal
opcion2	Caracter	Opción del menú para escoger temperatura
opcion3	Caracter	Opción del menú para reiniciar o salir del programa
rx	Caracter	Dato a recibir del MC68HC11A1
lsr	Caracter	Variable para conocer el estado del registro LSR
lsb	Entero sin signo	Byte menos significativo del registro índice Y (IY)
msb	Entero sin signo	Byte más significativo del registro índice Y (IY)
regy	Entero sin signo	Valor del registro índice Y (IY)
numpasos	Punto flotante	Número de pasos que da el motor
indicen	Punto flotante	Guarda el valor del índice de refracción
razon	Punto flotante	Guarda el valor de la razón azúcar / agua
brix	Punto flotante	Guarda el valor de la densidad en grados Brix
x, y	Enteros	Indica las coordenadas en la pantalla

- Despliegue de una portada de introducción al programa, le sigue el menú de opciones. Si se escoge iniciar el proceso, se le sugiere al operador revisar las condiciones iniciales.
- Transmisión al MC68HC11A1 de una señal de ceros, para que empiece la ejecución del programa en EEPROM. Enseguida se le agrega un retardo para dar tiempo al procesador.
- Definición de los parámetros de comunicación del puerto serial uno (COM1).
- Trazo de las ventanas de trabajo y despliegue de un mensaje, en el cual se indica la espera de la orden de inicio, por parte del operador.
- Al recibirla se transmite al microcontrolador una señal.
Durante la transmisión: es revisado el registro LSR del puerto serial uno y se verifica que los registros de transmisión estén vacíos para poder enviar un dato más tarde. Se da un tiempo de retardo.
- Espera de la recepción de la señal que indique que el dispositivo busca la posición de referencia.
Durante la recepción, es revisado el registro LSR del puerto serial uno y se comprueba que haya un dato en el registro RBR. Éste se guarda en la variable rx.
- Espera de la recepción de una señal, que indica que el dispositivo ha encontrado la posición de referencia.
- Recepción de la señal que indica que el sensor ha encontrado el haz láser o por el contrario, no lo ha hecho.

- **SI EL SENSOR ENCONTRÓ AL HAZ.** Es informado el operador de la situación. Se espera a que éste ordene la transmisión del primer byte del resultado.
- Envío al microcontrolador de la señal que ordene la transmisión del byte más significativo del resultado (MSB).
- Recepción del byte más significativo del registro índice Y.
- Envío al microcontrolador de la señal que ordene la transmisión del byte menos significativo del resultado (LSB).
- Recepción del byte menos significativo del registro índice Y.
- Es elegida la corrección del valor en grados Brix para una temperatura diferente a 20° C.
- Manipulación de los bytes del resultado (cada uno ocupa 16 bits)

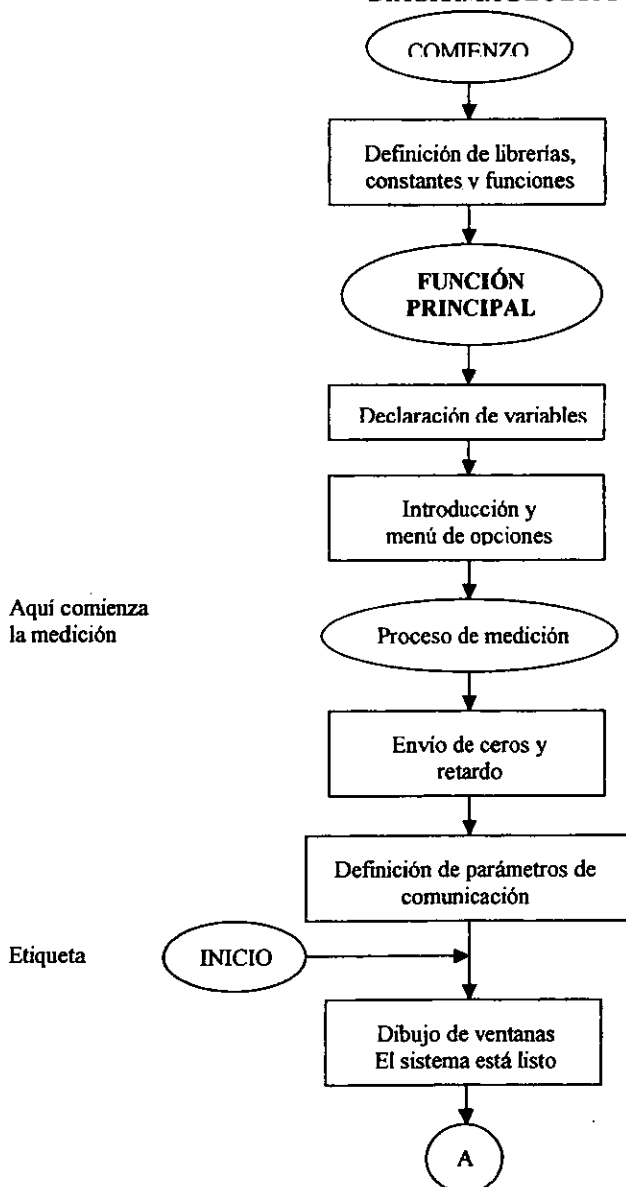
Se recorre al MSB, ocho bits a la izquierda, para quedar	XX00
Se mantiene al LSB a la derecha, para quedar	00XX
Operación lógica OR entre MSB y LSB, para quedar	XXXX

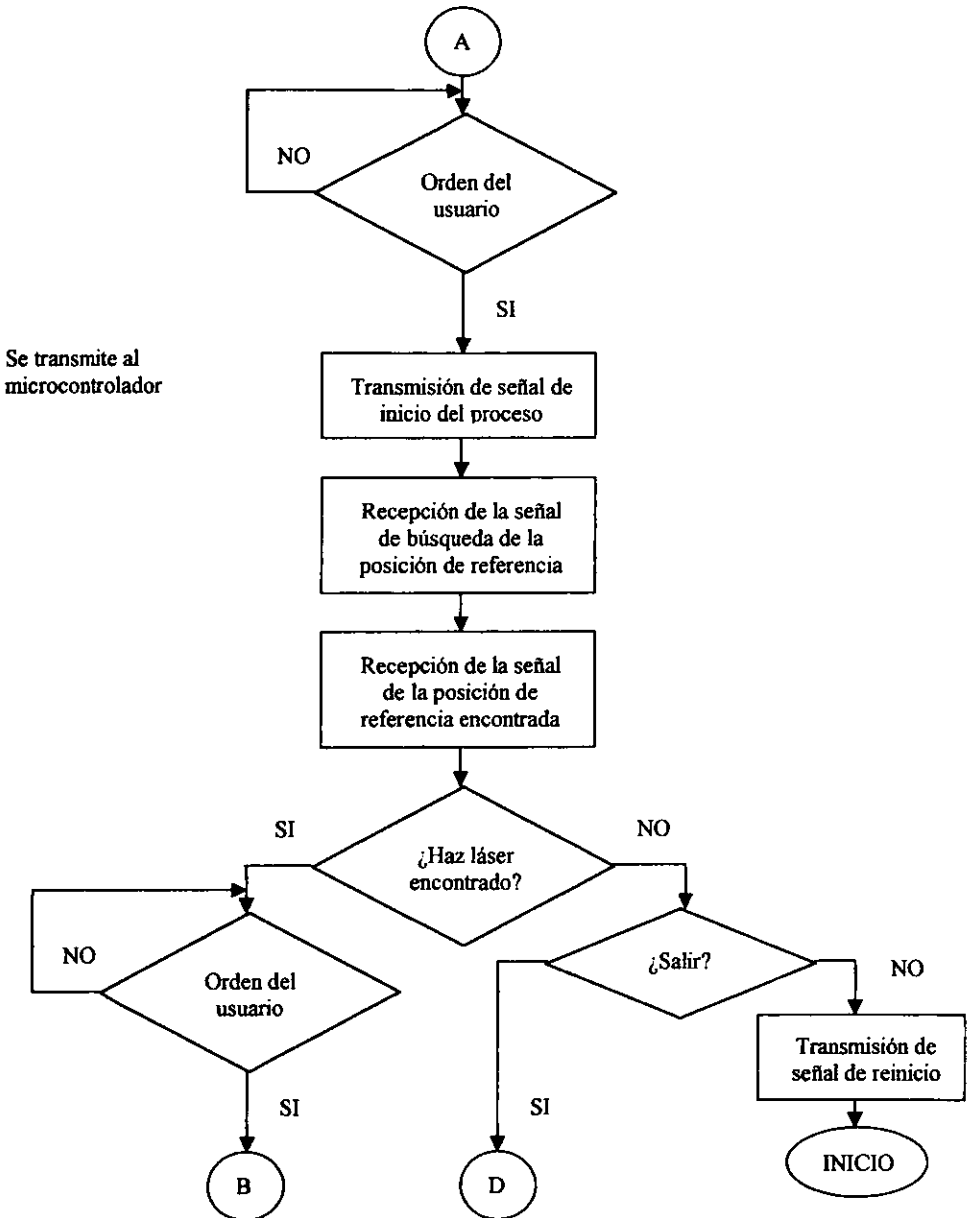
 El resultado está en una sola variable de 16 bits, nombrada como regy
- En base a ese valor (regy = número de pasos del motor), se calcula el resto de los parámetros, es decir, los grados Brix, el índice de refracción y la razón azúcar / agua. **El cálculo se explica con mayor detalle en el siguiente capítulo.**
- Es iluminada de manera proporcional la barra gráfica, de acuerdo al valor de la razón azúcar / agua.
- Aparece el menú para salir del programa o reiniciar y se transmite al microprocesador alguna de dos señales, relacionadas a esas dos opciones.
- En caso de escoger el reinicio, el programa es ejecutado desde una de sus líneas (a partir de que es esperada la orden de inicio por el operador).
- **SI EL SENSOR NO ENCONTRÓ AL HAZ.** Aparece el menú para salir del programa o reiniciar y se transmite al microprocesador alguna de dos señales, relacionadas a esas dos opciones.
- En caso de escoger el reinicio, el programa es ejecutado desde una de sus líneas (a partir de que es esperada la orden de inicio por el operador).

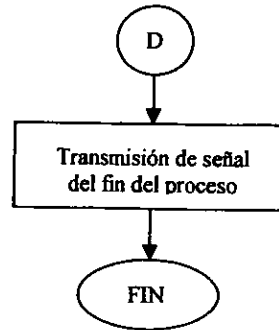
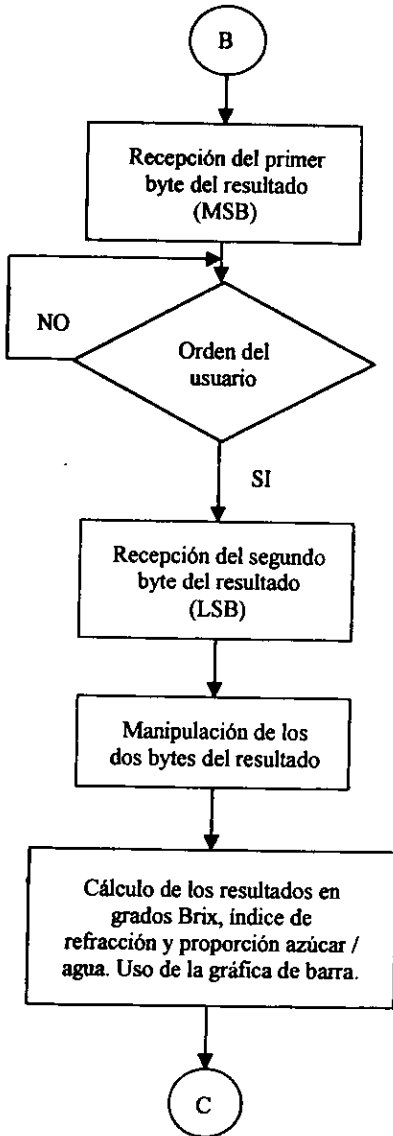
Notas.

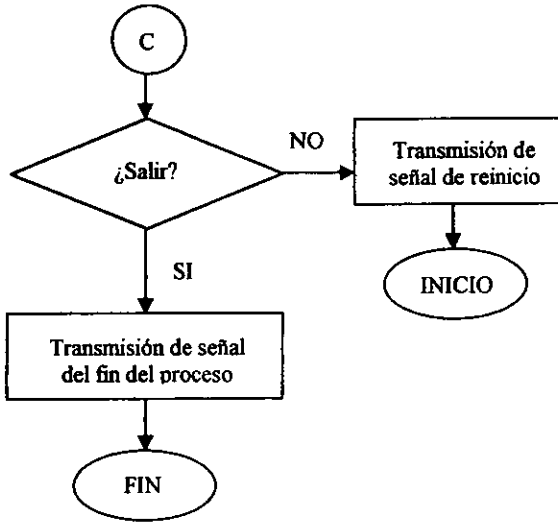
- Para el dibujo de líneas se usan caracteres gráficos, como líneas horizontales (-).
- Para evitar problemas, en caso de que el usuario teclee un letra, en vez de un número, se usan caracteres en cualquier tipo de dato que el operador deba proporcionar.
- Se hace uso de colores como ayuda visual.
- El cálculo de los resultados (grados Brix, índice de refracción y razón azúcar / agua), a partir del número de pasos que dio el motor, se explica con detalle en el siguiente capítulo.

DIAGRAMA DE FLUJO









ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

79

III.IV PROGRAMA EN LENGUAJE C

```
/* ***** */
/* SENSOR.C PROGRAMA DE LA TESIS PARA CONTROLAR AL SENSOR DE DENSIDAD */
/* ***** */
/* UNA VEZ ENCENDIDO EL DISPOSITIVO Y LA PC, ESTA ULTIMA TRANSMITE AL*/
/* DISPOSITIVO CEROS PARA QUE COMIENZE EL PROGRAMA QUE ESTA GRABADO EN*/
/* EEPROM DEL MC68HC11A1. LA PC ESPERA UNA SEÑAL PROVENIENTE DE UN */
/* INTERRUPTOR INDICANDO QUE EL DISPOSITIVO ESTA LISTO. */
/* A LA ORDEN DEL USUARIO LA PC MANDA UN MENSAJE DE INICIO, ENTONCES */
/* EL SENSOR SE MUEVE HASTA ENCONTRAR LA POSICION DE REFERENCIA, */
/* MIENTRAS LO HACE SE LO INDICA A LA PC. */
/* UNA VEZ EN LA POSICION DE REF, EL SENSOR LE MANDA UNA SEÑAL A LA */
/* PC INDICANDO QUE BUSCA AL HAZ, COMIENZA EL CONTEO DEL NUM DE PASOS */
/* DEL MOTOR Y SE MUEVE BUSCANDO AL HAZ. */
/* SI LO ENCUENTRA, SE DETIENE EL MECANISMO, SE LO COMUNICA A LA PC */
/* Y MANDA EL NUM DE PASOS DEL MOTOR QUE SE HAYAN DADO. */
/* SI NO LO ENCUENTRA Y HA HECHO TODO SU RECORRIDO, SE LO COMUNICA A */
/* LA PC Y ESPERA UNA SEÑAL PARA REINICIAR O FINALIZAR. */
/* ***** */
```

```
#include <dos.h>
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdarg.h>
#include <math.h>
```

```
#define PORT1 0x3F8
```

```
/* señales a transmitir de la PC al HC11A1 */
#define START 0x62 /* inicio del proceso */
#define TRANMSB 0x66 /* orden de la transmisión del MSB */
#define TRANLSB 0x67 /* orden de la transmisión del LSB */
#define FIN 0x69 /* finalizar el proceso */
#define REINICIO 0x6A /* reiniciar el proceso */
/* señales a transmitir del HC11A1 a la PC */
#define BUSCAPOSREF 0x63 /* el dispositivo busca la posición de ref. */
#define POSREFENCON 0x64 /* posición de referencia encontrada */
#define HAZENCON 0x65 /* haz láser encontrado */
#define HAZNOENCON 0x68 /* haz láser NO encontrado */
```

```
void presentacion (void);
void marcos (void);
int menu (void);
void conocer (void);
void especific (void);
void salir (void);
```

```

void warning (void);
void marcos (void);
void edoproceso (int a);
void cuadro (int b);
void borrarcomen (void);
void comentarios (int c);
void cursor (void);

```

```

void grafica (float razon);
void compensat (float brix);

```

```

main ()

```

```

{
    char opcion=0; /* opción del menú principal */
    char opcion2=0; /* opción del menú para escoger temperatura */
    char opcion3=0; /* opción del menú para reiniciar o salir */

    char rx=0; /* dato a recibir */
    char lsr=0; /* variable intermedia para conocer el edo. del LSR*/

    unsigned int lsb=0; /* byte menos significativo del reg. índice Y */
    unsigned int msb=0; /* byte mas significativo del reg. índice Y */
    unsigned int regy=0; /* valor del reg. índice Y */
    /* son no signados para evitar que al hacer */
    /* corrimiento a la derecha agregue 0xFF */

    float numpasos=0; /* num. de pasos que dio el motor */
    float indicen=0; /* índice de refracción */
    float razon=0; /* valor de la razón: g(azúcar) / ml(H2O) */
    float brix=0; /* densidad en grados brix */

    int x,y; /* coordenadas en la pantalla */

    clrscr();
    presentacion ();
    again:
    opcion=menu();
    if (opcion==49) conocer(); /* ASCII de "1"=49 */
    if (opcion==50) especific(); /* de "2"=50 */
    if (opcion==52) salir(); /* de "4"=52 */
    if (opcion!=51) goto again; /* de "3"=51 */

    /* FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR */

    warning (); /*para asegurar que el sensor este encendido */

```

```

outportb(PORT1,0);      /* TRANSMISION DE 00 AL HC11A1 PARA EJECUTAR */
delay(1000);           /* EL PROGRAMA EN EEPROM */

                        /* PARAMETROS DE COMUNICACION */
outportb(PORT1+3,0x80); /* habilita los registros DLL y DLM */
outportb(PORT1+0,0x0C); /* acceso a DLL: 9600 bps */
outportb(PORT1+1,0x00); /* acceso a DLM */
outportb(PORT1+3,0x03); /* 8 bits, 1 bit de paro, sin paridad */
outportb(PORT1+1,0x00); /* Deshabilita las interrupciones en PORT1 */

inicio:

marcos ();

edoproceso(2); /* ventana del estado del proceso : dispositivo listo*/
cuadro(9);     /* cuadro azul claro */
borrarcomen();
comentarios(2); /* comentario : dispositivo listo */
gotoxy(2,21);
cprintf("OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR");

gotoxy(40,21);
cscanf("%c"); /* espera la orden para transmitir */
cursor();

                        /* TRANSMISION DE LA SEÑAL DE INICIO */
lsr=inportb(PORT1+5); /* revisa al LSR */
if ((lsr&0x60)==0x60) /* si los reg. de transmisión están vacíos */
{
    outportb(PORT1,START);
    delay(1000);
}

                        /* RECEPCION DE LA SEÑAL QUE INDICA QUE EL */
                        /* DISPOSITIVO BUSCA LA POSICION DE REFERENCIA*/
do
{
    lsr=inportb(PORT1+5); /* revisa al LSR */
    if ((lsr&1)==1)      /* si hay un caracter en RBR */
    {
        rx=inportb(PORT1); /* lee el dato recibido */
    }
}
while (rx!=BUSCAPOSREF); /*leerá al PORT1 mientras no llegue(c)=0x63*/

edoproceso(3);
cuadro(14);

```



```

borrarcomen();
comentarios(3);
textbackground(0);
gotoxy(2,21); /* borra la primer línea de la ventana inferior */
cprintf("
");
cursor();

/* RECEPCION DE LA SEÑAL QUE INDICA QUE EL */
/* DISPOSITIVO HA ENCONTRADO LA POS DE REF */
do
{
    lsr=inportb(PORT1+5);
    if ((lsr&1)==1)
    {
        rx=inportb(PORT1);
    }
}
while (rx!=POSREFENCON); /*leerá al PORT1 mientras no llegue(d)=0x64*/

edoproceso(4);
cuadro(10);
borrarcomen();
comentarios(4);
cursor();

/* RECEPCION DE LA SEÑAL QUE INDICA QUE EL */
/* SENSOR HA ENCONTRADO EL HAZ LASER O QUE */
/* POR EL CONTRARIO NO LO HA HECHO */
do
{
    lsr=inportb(PORT1+5);
    if ((lsr&1)==1)
    {
        rx=inportb(PORT1);
    }
}
while ((rx!=HAZENCON) && (rx!=HAZNOENCON));
/* espera cualesquiera de dos señales: (e)=0x65 o (h)=0x68 */

/*****
/* SI EL SENSOR ENCONTRO AL HAZ */
*****/
if (rx==HAZENCON)
{
    edoproceso(5);
    cuadro(14);
    borrarcomen();
}

```

```

comentarios(5);

gotoxy(2,21); /* ventana de diálogos con el usuario */
cprintf("OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR");

gotoxy(40,21);
cscanf("%c"); /* espera la orden para transmitir */
cursor();

                /* TRANSMISION DE LA SEÑAL QUE ORDENA LA */
                /* LA TRANS DEL MSB DEL VALOR DE DENSIDAD */
lsr=inportb(PORT1+5);
if ((lsr&0x60)==0x60)
{
    outportb(PORT1,TRANSM5B);
    delay(1000);
}

                /* RECEPCION DEL MSB DEL VALOR DE DENSIDAD */
do
{
    lsr=inportb(PORT1+5);
}
while ((lsr&1)!=1); /*espera hasta recibir un caracter */
rx=inportb(PORT1);
msb=rx;

edoproceso(6);
cuadro(9);
borrarcomen();
comentarios(6);

gotoxy(40,21);
cscanf("%c"); /* espera la orden para transmitir */
cursor();

                /* TRANSMISION DE LA SEÑAL QUE ORDENA LA */
                /* LA TRANS DEL LSB DEL VALOR DE DENSIDAD */
lsr=inportb(PORT1+5);
if ((lsr&0x60)==0x60)
{
    outportb(PORT1,TRANSL5B);
    delay(1000);
}

```

```

/* RECEPCION DEL LSB DEL VALOR DE DENSIDAD */
do
{
    lsr=inportb(PORT1+5);
}
while ((lsr&1)!=1); /*espera hasta recibir un carácter */
rx=inportb(PORT1);
lsb=rx;

borrarcomen();
comentarios(7);

gotoxy(2,21); /* ventana de diálogos con el usuario */
cprintf("Oprima el NUMERO de la opción deseada ");
textcolor(2);
gotoxy(2,22);
cprintf(" 1. A temp. ambiente (20° C aprox.) ");
gotoxy(2,23);
cprintf(" 2. A otra temperatura ");
textcolor(15);
do
{
    gotoxy(40,21);
    cscanf("%c",&opcion2);
    gotoxy(40,21);
    cprintf(" ");
}
while (opcion2!=49 && opcion2!=50); /*solo acepta "1"=49 o "2"=50*/

msb=msb<<8; /* recorre 8 bits a la izq. el msb (de 16 bits) */
lsb=lsb<<8; /* al recorrer a la izq. queda: 0x**00 */
lsb=lsb>>8; /* al recorrer a la der. queda: 0x00** */

regy=msb | lsb; /* msb OR lsb: msb= 0x**00 */
/*                      lsb= 0x00** */
/*                      regy= 0x**** queda una sola */
/*                      variable */

numpasos=regy; /* para evitar errores de redondeo */

/* FUNCIONES */

/* razon = f(numpasos) */
razon = (numpasos - 41.5454) / 1018.54 ;

/* brix = f(razon) */
brix = 5.01363 + (48.9*razon) ;

```

```

/* indicen = f(razon) */
indicen = 1.3399 + (0.08436*razon) ;

grafica(razon); /* función para la gráfica */

borrarcomen();
textcolor(7);
gotoxy(2,8);
cprintf("GRADOS BRUX, INDICE DE REFRACCION, RAZON AZUCAR/AGUA");
gotoxy(2,10);
cprintf("TEMP. AMB. (20° C APROX.)");
gotoxy(2,12);
cprintf("%f Brix", brix);
gotoxy(2,14);
cprintf("n = %f", indicen);
gotoxy(2,16);
cprintf("%f g (azúcar)", razon);
gotoxy(11,17);

cprintf("%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c" ,196,196,196,196,196,196,196,196,196,
196);
gotoxy(12,18);
cprintf("ml (H2O)");
textcolor(15);

textbackground(0); /* borra las 3 primeras líneas de la */
gotoxy(2,21); /* ventana de diálogos con el usuario */
cprintf(" ");
gotoxy(2,22);
cprintf(" ");
gotoxy(2,23);
cprintf(" ");

if (opcion2==50)
{
    compensat(brix); /* calcula grados brix para una tem=!20°C */
}

/* FUNCION PARA SALIR O HACER OTRA MEDICION */
textcolor(15);
gotoxy(2,21);
cprintf("Oprima el NUMERO de la opción deseada ");
textcolor(2);
gotoxy(2,22);
cprintf(" 1. HACER OTRA MEDICION ");
gotoxy(2,23);
cprintf(" 2. SALIR ");

```

```

textcolor(15);
do
{
    gotoxy(40,21);
    cscanf("%c",&opcion3);
    gotoxy(40,21);
    cprintf(" ");
}
while (opcion3!=49 && opcion3!=50); /*solo acepta"1"=49 o "2"=50*/

if (opcion3==49)
{
    gotoxy(40,21);
    cscanf("%c"); /* espera la orden para transmitir */

    /* TRANSMISION DE LA SEÑAL QUE ORDENA */
    /* EL REINICIO */
    lsr=inportb(PORT1+5);
    if ((lsr&0x60)==0x60)
    {
        outportb(PORT1,REINICIO);
        delay(1000);
    }
    goto inicio;
}

if (opcion3==50)
{
    textbackground(0); /* borra las 3 primeras líneas de la */
    gotoxy(2,21); /* ventana de diálogos con el usuario */
    cprintf(" ");
    gotoxy(2,22);
    cprintf(" ");
    gotoxy(2,23);
    cprintf(" ");
    textcolor(4);
    gotoxy(2,21);
    cprintf("OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA SALIR ");
    cscanf("%c");
    gotoxy(2,22);
    cprintf("CONFIRMA SU SALIDA?");
    cscanf("%c");
    textcolor(15);
}

```

```

                                /* TRANSMISION DE LA SEÑAL QUE ORDENA */
                                /* LA SALIDA DEL PROGRAMA */
                                */
    lsr=inportb(PORT1+5);
    if ((lsr&0x60)==0x60)
    {
        outportb(PORT1, FIN);
        delay(1000);
    }

    textcolor(7);
    clrscr();
    exit(1);
}

}

                                /*****
                                /* SI EL SENSOR NO ENCONTRO AL HAZ */
                                *****/
if (rx==HAZNOENCON)
{
    edoproceso(8);
    cuadro(4);
    borrarcomen();
    comentarios(8);

    gotoxy(2,21); /* ventana de diálogos con el usuario */
    cprintf("Oprima el NUMERO de la opción deseada ");
    textcolor(4);
    gotoxy(2,22);
    cprintf(" 1. Salir del programa ");
    gotoxy(2,23);
    cprintf(" 2. Reiniciar el proceso ");
    textcolor(15);
    do
    {
        gotoxy(40,21);
        cprintf(" ");
        gotoxy(40,21);
        cscanf("%c",&opcion3);
    }
    while (opcion3!=49 && opcion3!=50); /*solo acepta "1"=49 o "2"=50*/

    if (opcion3==50) /* REINICIAR EL PROCESO */
    {
        clrscr();
        textcolor(4);
        gotoxy(20,12);

```

```

cprintf("      DETECTE EL TIPO DE FALLA Y ");
gotoxy(20,13);
cprintf("  HAGA LAS CORRECCIONES NECESARIAS");
gotoxy(20,15);
cprintf("Oprima cualquier tecla para continuar.");
cursor();
textcolor(15);

opcion=0;
opcion2=0;
opcion3=0;

gotoxy(40,21);
cscanf("%c");      /* espera la orden para transmitir */

                    /* TRANSMISION DE LA SEÑAL QUE ORDENA */
                    /* EL REINICIO      */
lsr=inportb(PORT1+5);
if ((lsr&0x60)==0x60)
{
    outportb(PORT1,REINICIO);
    delay(1000);
}
goto inicio;
}
if (opcion3==49)
{
    gotoxy(40,21);
    cscanf("%c");      /* espera la orden para transmitir */

                    /* TRANSMISION DE LA SEÑAL QUE ORDENA */
                    /* LA SALIDA DEL PROGRAMA      */
lsr=inportb(PORT1+5);
if ((lsr&0x60)==0x60)
{
    outportb(PORT1,FIN);
    delay(1000);
}

    textcolor(7);
    clrscr();
    exit(1);          /* sale a OS cerrando los archivos que */
                    /* se hayan abierto */
}
}
}

```

```

/* COLORES USADOS */
/* 0 NEGRO    1 AZUL        2 VERDE        4 ROJO        7 GRIS CLARO */
/* 9 AZUL CLARO 10 VERDE CLARO 12 ROJO CLARO 14 AMARILLO 15 BLANCO */

/* FUNCIONES */
/* PORTADA DE PRESENTACION */
void presentacion (void)
{
    int x,y;

    textcolor(1);
    for (x=18;x<61;x++)
    {
        for (y=5;y<17;y++)
        {
            gotoxy(x,y);
            cprintf("%c",219);
        }
    }
    textbackground(1);
    textcolor(15);
    gotoxy(20,6);
    cprintf ("UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO");
    gotoxy(20,8);
    cprintf ("    MEDIDOR ELECTRÓNICO DE DENSIDAD    ");
    gotoxy(20,9);
    cprintf ("    PARA SOLUCIONES AZUCARADAS    ");
    gotoxy(20,11);
    cprintf ("                TESIS PROFESIONAL");
    gotoxy(20,13);
    cprintf ("                FACULTAD DE INGENIERIA");
    gotoxy(20,15);
    cprintf ("                DANIEL HERNANDEZ GARCIA");
    textbackground(0);
    for (x=18;x<61;x++)
    {
        gotoxy(x,4);
        cprintf("%c",205);
        gotoxy(x,17);
        cprintf("%c",205);
    }
    for (y=4;y<17;y++)
    {
        gotoxy(17,y);
        cprintf("%c",186);
        gotoxy(61,y);
        cprintf("%c",186);
    }
}

```



```

gotoxy(17,4);
cprintf("%c",201);
gotoxy(61,4);
cprintf("%c",187);
gotoxy(17,17);
cprintf("%c",200);
gotoxy(61,17);
cprintf("%c",188);

for (x=1;x<80;x++)
{
    gotoxy(x,20);
    cprintf("%c",205);
}
textcolor(4);
gotoxy(1,21);
cprintf("Oprima cualquier tecla para continuar ");
cscanf("%c"); /* Hace una pausa antes de continuar, */
clrscr(); /* se usa cscanf() para poder manejar caracteres */
textcolor(15);
}

/* MENU PRINCIPAL */
int menu (void)
{
    int x;
    char opcion;

    textcolor(15);
    clrscr();
    gotoxy(25,10);
    cprintf ("MENU");
    gotoxy(25,12);
    cprintf ("1. Procedimiento");
    gotoxy(25,13);
    cprintf ("2. Especificaciones técnicas");
    gotoxy(25,14);
    cprintf ("3. COMENZAR A MEDIR");
    gotoxy(25,15);
    cprintf ("4. Salir");

    for (x=1;x<80;x++)
    {
        gotoxy(x,20);
        cprintf("%c",205);
    }
    textcolor(2);
    gotoxy(1,21);

```

```

cprintf("Oprima el NUMERO de la opción deseada ");
cscanf("%c",&opcion);
return (opcion);
textcolor(15);
}

/* EXPLICACION DEL PROCESO */
void conocer (void)
{
    textcolor(15);
    clrscr();
    printf ("          MEDIDOR DE AZUCAR DISUELTA EN AGUA          ");
    printf ("\n\n El principio básico del dispositivo es un fenómeno
óptico conocido como");
    printf ("\n refracción. Al pasar la luz por cualquier objeto
transparente, cambia de");
    printf ("\n dirección debido a esta propiedad.          ");
    printf ("\n Asociado a este hecho, existe una cifra llamada índice
de refracción, cuyo");
    printf ("\n valor depende de la densidad de la sustancia y en
menor grado de la");
    printf ("\n variación de la temperatura.          ");
    printf ("\n\n Estando la muestra en el tanque se hace pasar por ella
un haz de luz. Esto");
    printf ("\n origina que el ángulo de refracción varíe con respecto al
que es causado por");
    printf ("\n agua simple en el recipiente(condición de referencia).As;
puede ser conocida");
    printf ("\n indirectamente, la cantidad de azúcar disuelta; al medir
la distancia que hay");
    printf ("\n entre los puntos de proyección del haz para ambos casos.
");
    printf ("\n\n\n\n\n\n\n Oprima cualquier tecla para continuar...");
    cscanf("%c");
    clrscr();

    printf ("          PROCEDIMIENTO          ");
    printf ("\n\n El dispositivo encendido y conectado a la PC (vía
puerto serial 1) puede");
    printf ("\n comunicarse (de manera asíncrona) con la computadora.
Haciendo uso de este");
    printf ("\n programa puede controlar las etapas de operación del
sistema.          ");
    printf ("\n La primer acción es dar una orden de inicio al aparato,
que contiene como");
    printf ("\n circuito principal un microcontrolador (MC68HC11A1).
Éste, al recibir dicha");

```

```

printf ("\n señal hace mover al sensor de luz (usando un motor de
pasos) hasta encontrar");
printf ("\n la posición de referencia. Cada etapa del proceso es
conocida por medio de");
printf ("\n mensajes que pueden ser vistos en el monitor.      ");
printf ("\n Cuando llega a la posición de referencia, el sistema
busca al haz de luz.");
printf ("\n Si lo encuentra, se detiene el mecanismo y espera la
orden para transmitir");
printf ("\n el valor de la medición. En caso de que el sensor haya
llegado al final de");
printf ("\n su recorrido SIN haber encontrado un punto luminoso, el
dispositivo indica");
printf ("\n las posibles causas del error y espera la señal para
reiniciar o finalizar. ");
printf ("\n\n\n\n\n\n Oprima cualquier tecla para continuar...");
cscanf("%c");

```

```

}

/* ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL SENSOR */
void especific (void)
{
textcolor(15);
clrscr();
printf (" Las especificaciones técnicas son... ");

```

APARECEN EN EL APÉNDICE

```

printf ("\n Oprima cualquier tecla para continuar ");
cscanf("%c");

```

```

}

/* PARA SALIR DEL MENU PRINCIPAL */
void salir (void)
{
char salir;

do
{
textcolor(4);
gotoxy(1,22);
cprintf("Confirma que desea salir? 1. SI      2. NO ");
cscanf("%c",&salir);
textcolor(15);
}
while (salir!=49 && salir!=50);

```

```

if (salir==49) /* ASCII de "1"=49 */
{
    textcolor(7);
    clrscr();
    exit(1); /* sale a OS cerrando los archivos que */
            /* se hayan abierto */
}
}
/*si salir==50 (NO) entonces sale de la función para volver al menú */

/* ADVIERTE AL USUARIO DE ASEGURARSE QUE EL SENSOR ESTE PRENDIDO */
void warning (void)
{
    char barra;

    clrscr();
    textcolor(4);
    gotoxy(20,7);
    cprintf("VERIFIQUE LAS SIGUIENTES CONDICIONES");
    gotoxy(20,9);
    cprintf(" * Que el dispositivo esté encendido ");
    gotoxy(20,10);
    cprintf(" * Que la muestra se encuentre en el tanque y ");
    gotoxy(20,11);
    cprintf(" * Que el sensor esté conectado al puerto ");
    gotoxy(20,12);
    cprintf("      serial 1 de su computadora ");
    gotoxy(20,15);
    cprintf(" Oprima LA BARRA ESPACIADORA para continuar");
    gotoxy(40,17);
    cscanf("%c",&barra);
    while (barra!=32) /* barra espaciadora */
    {
        gotoxy(40,17); /* pone el cursor en medio */
        cscanf("%c",&barra);
    }
    textcolor(15);
}

/* MARCOS DE PRESENTACION DEL FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR */
void marcos (void)
{
    int x,y;
    float z;

    clrscr();
    textcolor(15);
}

```

```

for (x=1;x<55;x++)
{
    gotoxy(x,20);
    cprintf("%c",205);
}
for (x=1;x<55;x++)
{
    gotoxy(x,6);
    cprintf("%c",205);
}
for (y=1;y<26;y++)
{
    gotoxy(55,y);
    cprintf("%c",186);
}
gotoxy(55,6);          /* esquinas de los marcos */
cprintf("%c",185);
gotoxy(55,20);
cprintf("%c",185);

/* VENTANA DEL ESTADO DEL PROCESO */
gotoxy(2,2);
cprintf("ESTADO DEL PROCESO");

/* VENTANA DE COMENTARIOS Y DATOS */
gotoxy(2,7);
cprintf("COMENTARIOS");

/* VENTANA DE DIALOGOS CON EL USUARIO */
/*gotoxy(2,21);          */

/* VENTANA DE LA GRAFICA */
gotoxy(68,2);
cprintf("CANTIDAD DE");
gotoxy(68,3);
cprintf(" AZUCAR(g) ");
gotoxy(68,4);
cprintf(" POR UNIDAD");
gotoxy(68,5);
cprintf("DE AGUA(ml)");

gotoxy(70,19);
cprintf(" azúcar ");
gotoxy(70,20);
cprintf(" blanca ");
gotoxy(70,21);
cprintf("refinada");

```

```

gotoxy(57,1);
cprintf("%c",218);
gotoxy(58,1);
cprintf("%c%c%c",196,196,196);
gotoxy(61,1);
cprintf("%c",191);

gotoxy(57,25);
cprintf("%c",192);
gotoxy(58,25);
cprintf("%c%c%c",196,196,196);
gotoxy(61,25);
cprintf("%c",217);

for(y=2;y<25;y++)
{
    gotoxy(57,y);
    cprintf("%c",179);
    gotoxy(61,y);
    cprintf("%c",179);
}
for(y=25,z=0;y>1;y-=5,z+=5)
{
    gotoxy(62,y);
    cprintf("%c",16);
    gotoxy(63,y);
    cprintf("%.1f",z/10);
}
}

/* CAMBIA LA VENTANA DEL ESTADO DEL PROCESO */
void edoproceso (int a)
{
    gotoxy(2,4);
    if (a==2)
    {
        textcolor(9);
        cprintf("El dispositivo está listo      ");
    }
    if (a==3)
    {
        textcolor(14);
        cprintf("Buscando la posición de referencia  ");
    }
}

```

```

if (a==4)
{
    textcolor(10);
    cprintf("Buscando al haz láser          ");
}
if (a==5)
{
    textcolor(14);
    cprintf("Haz láser encontrado          ");
}
if (a==6)
{
    textcolor(9);
    cprintf("Obteniendo el valor de concentración ");
}
if (a==8)
{
    textcolor(12);
    cprintf("Haz láser NO encontrado          ");
}

textcolor(15);
}

/* CAMBIA EL COLOR DEL CUADRO INDICADOR */
void cuadro (int b)
{
    int x,y;

    textcolor(b);
    for (x=47;x<53;x++)
    {
        for (y=2;y<5;y++)
        {
            gotoxy(x,y);
            cprintf("%c",219);
        }
    }
    textcolor(15);
}

/* BORRA EL AREA DE COMENTARIOS */
void borrarcomen (void)
{
    int x,y;

    textcolor(0);

```

```
for (x=2;x<54;x++)
{
    for (y=9;y<20;y++)
    {
        gotoxy(x,y);
        cprintf("%c",219);
    }
}
textcolor(15);
}

/* CAMBIA LA VENTANA DE COMENTARIOS */
void comentarios (int c)
{
    textcolor(15);
    gotoxy(2,9);

    if (c==2)
    {
        cprintf(" El dispositivo está listo para empezar.");
        gotoxy(2,10);
        cprintf(" En cuanto oprima cualquier tecla, el dispositivo");
        gotoxy(2,11);
        cprintf("comenzar a trabajar. ");
    }
    if (c==3)
    {
        cprintf(" El dispositivo se colocar en la posición de ");
        gotoxy(2,10);
        cprintf("referencia, en la que el haz se proyecta cuando");
        gotoxy(2,11);
        cprintf("la muestra consiste en agua simple.");
    }
    if (c==4)
    {
        cprintf(" El dispositivo ha encontrado la posición de");
        gotoxy(2,10);
        cprintf("referencia y esta buscando la proyección del");
        gotoxy(2,11);
        cprintf("haz l ser en el sensor para así determinar");
        gotoxy(2,12);
        cprintf("la concentración de la muestra.");
        gotoxy(2,13);
        cprintf(" Espere unos segundos.");
    }
}
```



```

if (c==5)
{
    cprintf(" El sensor ha encontrado la proyección del haz");
    gotoxy(2,10);
    cprintf("1 ser. ");
    gotoxy(2,11);
    cprintf(" La obtención del valor de la medición");
    gotoxy(2,12);
    cprintf("se llevar a cabo en dos partes, al oprimir ");
    gotoxy(2,13);
    cprintf("cualquier tecla iniciar el primero de ellos.");
}
if (c==6)
{
    cprintf(" Primera parte concluida. Al oprimir cualquier");
    gotoxy(2,10);
    cprintf("tecla iniciar la última parte.");
}
if (c==7)
{
    cprintf(" El dispositivo fue calibrado con una muestra a");
    gotoxy(2,10);
    cprintf("temperatura ambiente (20° C aprox.), si ésta");
    gotoxy(2,11);
    cprintf("cambia, lo hace también el valor de la densidad.");
    gotoxy(2,13);
    cprintf(" Para conocer el nuevo valor EN GRADOS BRIX es");
    gotoxy(2,14);
    cprintf("necesario que introduzca el valor de la temperatura");
    gotoxy(2,15);
    cprintf("a la cual desea conocer la concentración.");
    gotoxy(2,16);
    cprintf(" Si escoge esa opción aparecer n también las");
    gotoxy(2,17);
    cprintf("mediciones a temperatura ambiente.");
}
if (c==8)
{
    cprintf(" El sensor NO encontró la proyección del haz");
    gotoxy(2,10);
    cprintf("1 ser. Ello se pudo deber a cualesquiera de las");
    gotoxy(2,11);
    cprintf("siguientes razones:");
    gotoxy(2,12);
    cprintf(" 1. No existe muestra en el tanque.");
    gotoxy(2,13);
    cprintf(" 2. La muestra es demasiado opaca para permitir");
    gotoxy(2,14);
}

```

```

cprintf(" el paso de la luz.");
gotoxy(2,15);
cprintf(" 3. El dispositivo 1 ser no esta encendido.");
gotoxy(2,16);
cprintf(" Revise que exista un rayo 1 ser que atraviese");
gotoxy(2,17);
cprintf(" el tanque y llegue hasta el sensor de luz.");
textcolor(12);
gotoxy(2,18);
cprintf(" RECUERDE NO VER DIRECTAMENTE LA LUZ LASER");
textcolor(15);
gotoxy(2,19);
cprintf("                Oprima cualquier tecla para continuar...");
cscanf("%c");

```

```

borrarcomen();
gotoxy(2,9);
cprintf(" 4. Todo el sistema está mal alineado.");
gotoxy(2,10);
cprintf("Revise que tanto el tanque, el dispositivo ");
gotoxy(2,11);
cprintf("láser, como el sensor estén en su sitio. ");
gotoxy(2,12);
cprintf("Debido a que el principio físico que permite");
gotoxy(2,13);
cprintf("la medición, es óptico, cualquier error en ");
gotoxy(2,14);
cprintf("la alineación de los elementos mencionados,");
gotoxy(2,15);
cprintf("puede causar que el haz láser se proyecte ");
gotoxy(2,16);
cprintf("fuera de la trayectoria que recorre el sensor");
gotoxy(2,17);
cprintf(" 5. Existe un objeto opaco que interrumpe al ");
gotoxy(2,18);
cprintf("haz, en cualquier punto de su trayectoria.");

```

```

}

```

```

}

```

```

/* MANTIENE EL CURSOR EN UNA POSICION FIJA DE LA VENTANA DE DIALOGOS */
void cursor (void)
{
    textcolor(15);
    gotoxy(40,21); /* ventana de diálogos */
    cprintf(" "); /* mantiene el cursor en esa posición fija */
}

```

```

/* MUESTRA GRAFICAMENTE EL VALOR DE LA RAZON */
void grafica (float razon)
{
    int ciclo;
    int x,y;

    textcolor(7);
    ciclo=ceil(razon*10); /* ceil() .regresa entero mayor mas cercano */

    for (x=58;x<61;x++)
    {
        for (y=25-ciclo;y<25;y++)
        {
            gotoxy(x,y);
            cprintf("%c",219);
        }
    }
    textcolor(15);

    gotoxy(2,21);
    cprintf("                                ");
    gotoxy(2,22);
    cprintf("                                ");
}

/* CALCULA GRADOS BRUX A UNA TEMP != 20°C */
void compensat (float brix)
{
    char decena,uni,dec; /* variables para introducir datos */
    float de;
    int d,u; /* manipulación de los caracteres en enteros */
    float tempc; /* dato introducido, tipo float, centígrados */
    float tempf; /* temperatura en grados Fahrenheit */
    float brix; /* incógnita */

    textcolor(2);
    gotoxy(2,21); /* ventana de diálogos con el usuario */
    cprintf("Teclee el valor de la temperatura entre 10° C y 30° C");
    gotoxy(2,22);
    cprintf("(un decimal, por ejemplo: 21.0) ");

    do
    {
        gotoxy(35,22);
        cscanf("%c",&decena);
    }
    while (decena!=49&&decena!=50&&decena!=51); /*"1"=49,"2"=50,"3"=50 */

```

```
if (decena==51) goto tmax;
do
{
    gotoxy(36,22);
    cscanf("%c",&uni);
}
while (uni!=48 && uni!=49 && uni!=50 && uni!=51 && uni!=52 && uni!=53
&& uni!=54 && uni!=55 && uni!=56 && uni!=57);

gotoxy(37,22);
cprintf(".");

do
{
    gotoxy(38,22);
    cscanf("%c",&dec);
}
while (dec!=48 && dec!=49 && dec!=50 && dec!=51 && dec!=52 && dec!=53
&& dec!=54 && dec!=55 && dec!=56 && dec!=57);

switch (decena)
{
    case 49:d=1;
        break;
    case 50:d=2;
        break;
    case 51:d=3;
        break;
}
switch (uni)
{
    case 48:u=0;
        break;
    case 49:u=1;
        break;
    case 50:u=2;
        break;
    case 51:u=3;
        break;
    case 52:u=4;
        break;
    case 53:u=5;
        break;
    case 54:u=6;
        break;
    case 55:u=7;
        break;
}
```

```

        case 56:u=8;
                break;
        case 57:u=9;
                break;
    }
    switch (dec)
    {
        case 48:de=0;
                break;
        case 49:de=1;
                break;
        case 50:de=2;
                break;
        case 51:de=3;
                break;
        case 52:de=4;
                break;
        case 53:de=5;
                break;
        case 54:de=6;
                break;
        case 55:de=7;
                break;
        case 56:de=8;
                break;
        case 57:de=9;
                break;
    }
    d=d+10;
    de=de*0.1;
    tempc=d+u+de;

tmax:
    if (decena==51) tempc=30;

    tempf=((9*tempc)/5)+32;

    /* por cada 0.01øF aumenta o disminuye 0.0005% (grados Brix) */
    if (tempc<20) /* 20° C = 68° F */
    {
        brix=brix+((68-tempf)*(0.05));
    }
    if (tempc>20)
    {
        brix=brix-((tempf-68)*(0.05));
    }
    if (tempc==20) brix=brix;

```

```
textcolor(7);
gotoxy(33,10);
cprintf("TEMP. = %.1f °C",tempc);/*%.1f escribe float,primer decimal*/

gotoxy(33,12);
cprintf("%f Brix",brixt);

gotoxy(42,18);
cprintf("%.2f °F",tempf);

textcolor(15);
gotoxy(2,21);
cprintf("                                ");
gotoxy(2,22);
cprintf("                                ");
}
```

CAPÍTULO IV

PRUEBAS DEL INSTRUMENTO

Recordando que el instrumento diseñado, tiene el propósito de hacer mediciones en la industria alimenticia, es necesario situar las condiciones en las cuales operan este tipo de empresas. El jarabe simple, que sirve como base de cualquier bebida refrescante, tiene como ingredientes azúcar y agua tratada, en una proporción de 1.23 kg por litro. Este dato puede dar una idea del intervalo de medición para soluciones de este tipo.

Como se ha mencionado, el instrumento mide la densidad de una manera indirecta, al medir la distancia que existe, entre el punto de referencia y el punto de proyección cuando se tiene una muestra azucarada. Esto implica conocer el número de pasos del motor que se hayan dado durante el recorrido del sensor.

IV.1 LA DENSIDAD COMO FUNCIÓN DE LA DISTANCIA

Obtención de las funciones características del sistema.

Se debe saber entonces, la relación entre el número de pasos y las unidades empleadas por el instrumento (grados Brix, índice de refracción y proporción azúcar-agua).

De manera experimental se obtuvieron tres funciones:

1. Número de pasos (Np), a partir de la proporción azúcar-agua (P).
2. Grados Brix (GB), a partir de P.
3. Índice de refracción (n), a partir de P.

Para ello, fueron preparadas diez soluciones de distinta proporción azúcar-agua, desde un valor de 0 a 1.0 g de azúcar por ml de agua, en intervalos de 0.1

Se utilizó el instrumento diseñado para conocer el número de pasos, así como un refractómetro de ABBE comercial para saber el índice de refracción y los grados Brix de cada solución. Como fue mencionado en el capítulo I, los grados Brix representan el porcentaje de sólidos solubles.

Al graficar cada par de valores: (P, Np), (P, GB) y (P, n), se observó un comportamiento lineal como el presentado en la gráfica 1. Las curvas aparecen en las páginas siguientes.

Cada conjunto de pares fue relacionado por el método de mínimos cuadrados. Se obtuvo entonces:

$$Np = 41.5454 + (1018.54) P$$

Coeficiente de correlación : 0.98716

ECUACIÓN 4
(GRÁFICA 2)

$$GB = 5.01363 + (48.9) P$$

Coeficiente de correlación : 0.95839

ECUACIÓN 5
(GRÁFICA 3)

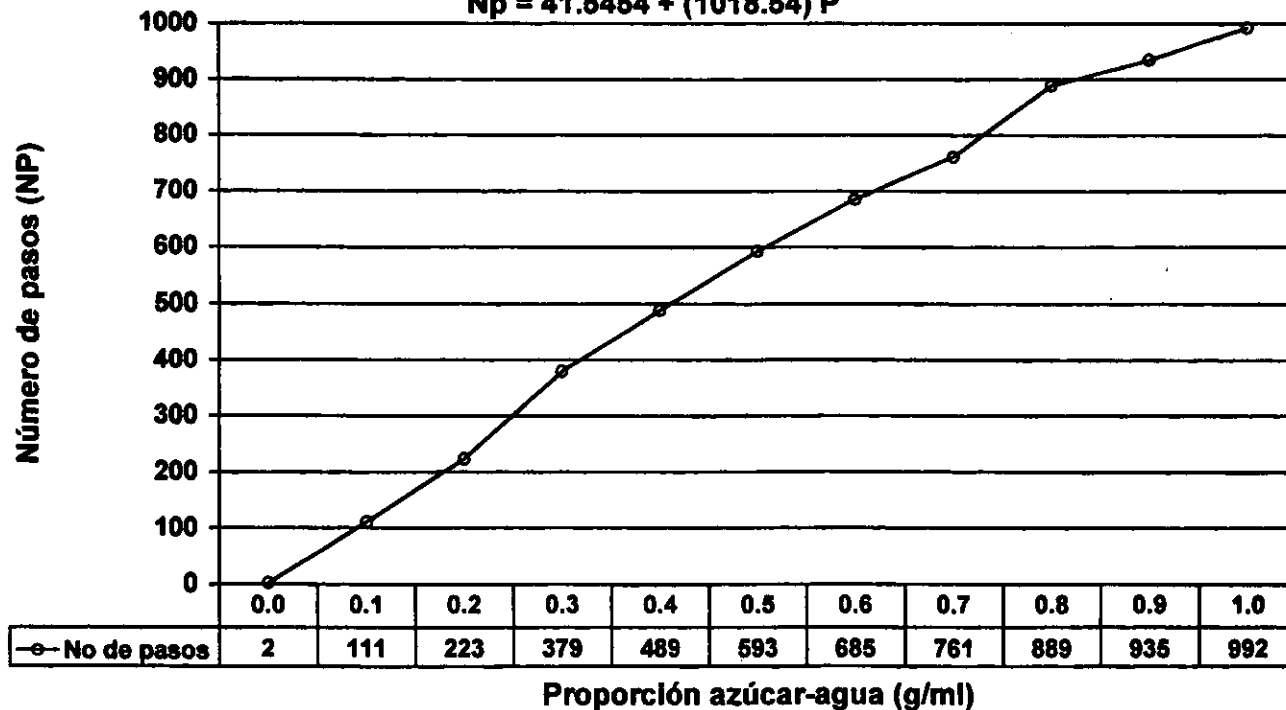
$$n = 1.33990 + (0.08436) P$$

Coeficiente de correlación : 0.97606

ECUACIÓN 6
(GRÁFICA 4)

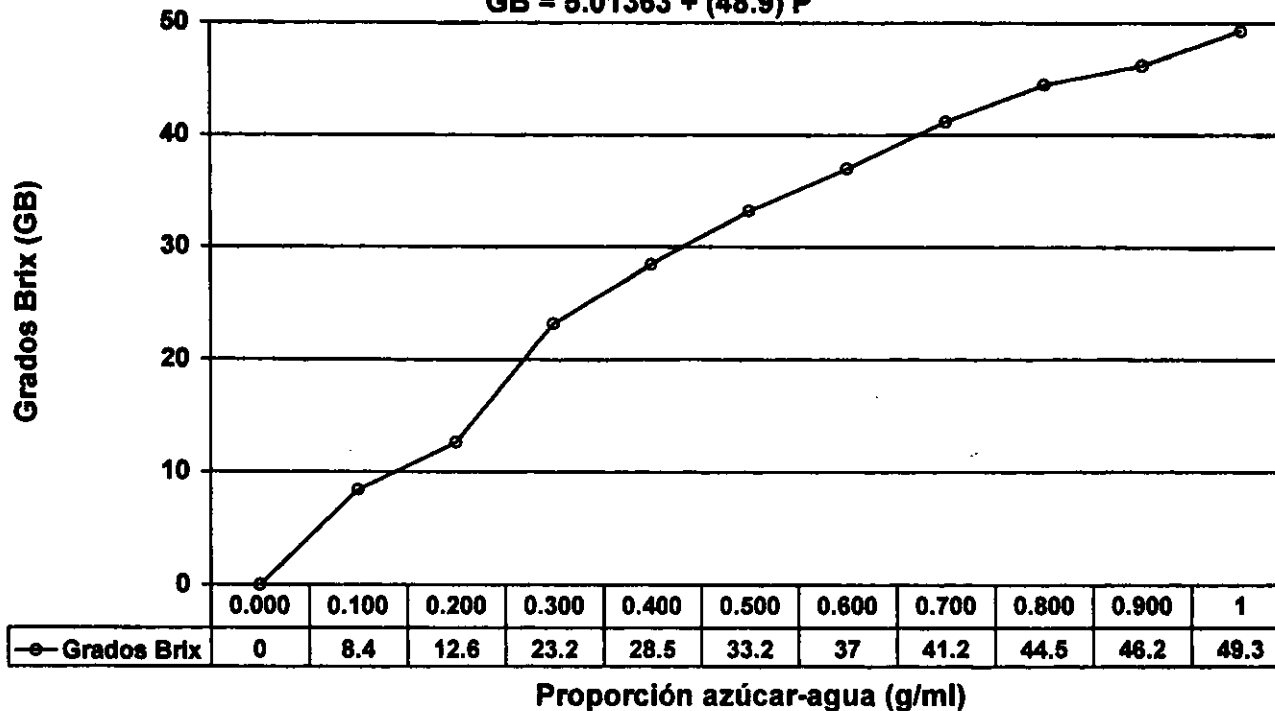
**NÚMERO DE PASOS DEL MOTOR CON RESPECTO
AL GRADO DE CONCENTRACIÓN DE LAS MUESTRAS**

$$N_p = 41.5454 + (1018.54) P$$



GRÁFICA 2

**GRADOS BRUX CON RESPECTO
AL GRADO DE CONCENTRACIÓN DE LAS MUESTRAS**
GB = 5.01363 + (48.9) P

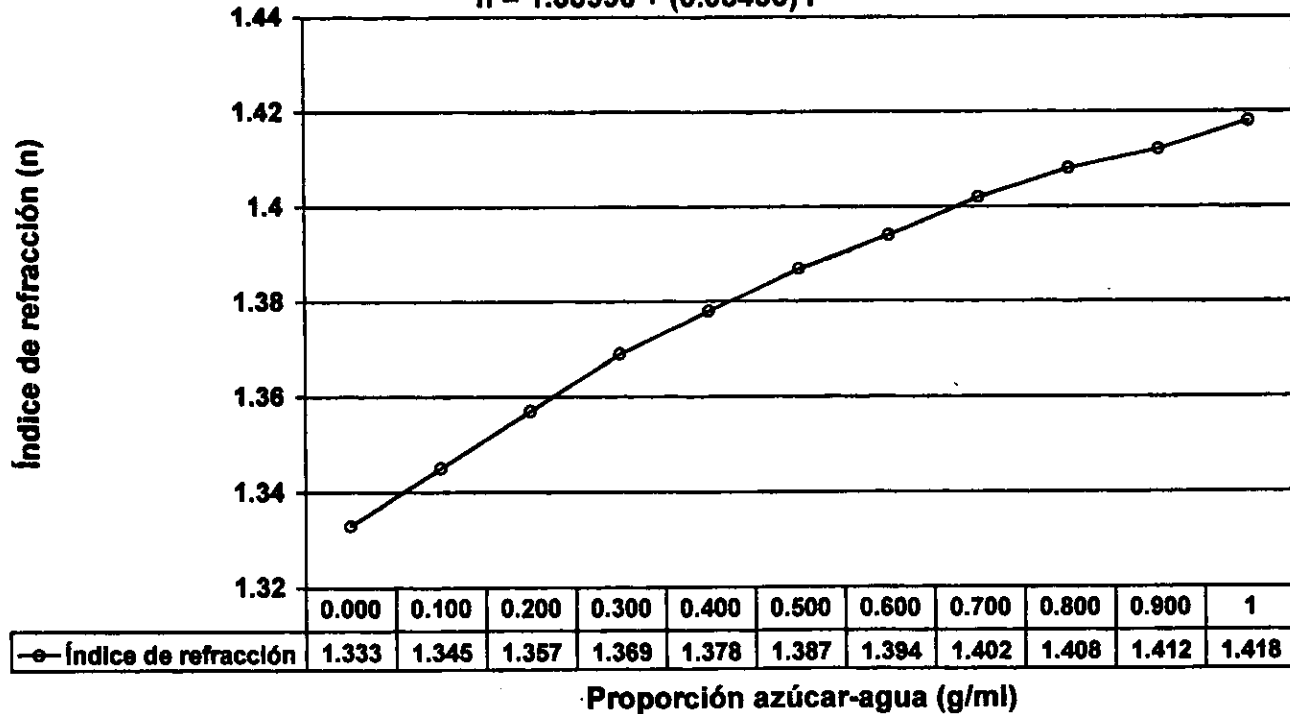


NOTAS: Muestras medidas con un refractómetro ABBE de 589.3 nm de longitud de onda

GRÁFICA 3

**ÍNDICE DE REFRACCIÓN CON RESPECTO
AL GRADO DE CONCENTRACIÓN DE LAS MUESTRAS**

$$n = 1.33990 + (0.08436) P$$



NOTAS: Muestras medidas con un refractómetro ABBE de 589.3 nm de longitud de onda.

GRÁFICA 4

Las unidades de P son: g (azúcar) / ml (agua)

$$N_p = 41.5454 + (1018.54) P$$

ECUACIÓN 4

$$GB = 5.01363 + (48.9) P$$

ECUACIÓN 5

$$n = 1.33990 + (0.08436) P$$

ECUACIÓN 6

Despejando P de la ecuación 4:

$$P = \frac{N_p - 41.5454}{1018.54}$$

ECUACIÓN 7

Se tiene entonces el valor de la proporción azúcar-agua en función del número de pasos, es decir, en función de la distancia que recorrió el sensor para detectar la proyección de la luz láser.

Se usan las ecuaciones 7, 5 y 6 en el programa SENSOR.EXE para determinar los resultados.

Valor mínimo teórico de una medición.

Es posible observar errores en las ecuaciones. Cuando se tiene una proporción de cero g de azúcar por cada ml de agua, es decir, hay agua simple en el tanque, los valores deberían ser: $N_p = 0$, $GB = 0$ y $n = 1.3333$

De la ecuación 7, también se puede apreciar que el sensor necesita un desplazamiento de 42 pasos, para que el valor de P sea positivo y la lectura sea válida. Ello implica que no es recomendable usar muestras muy cercanas a una proporción de cero, que tengan muy poco contenido de azúcar.

En la siguiente sección se describen con mayor detalle los errores, así como sus causas y posibles soluciones.

El trabajo de medición emplea una serie de términos, los cuales son:

Instrumento. Dispositivo para determinar el valor o la magnitud de una cantidad o variable.

Exactitud. Aproximación con la cual, la lectura de un instrumento se acerca al valor real de la variable medida.

Precisión. Medida de la reproducibilidad de las mediciones; esto es, dado el valor fijo de una variable, la precisión es una medida del grado con el cual las mediciones sucesivas difieren una de otra.

Sensibilidad. Relación de la señal de salida, o respuesta del instrumento respecto al cambio de la entrada o de la variable medida.

Resolución. Cambio más pequeño en el valor medido al cual responde el instrumento.

Error. Desviación a partir del valor real de la variable medida.

La resolución teórica del instrumento diseñado puede obtenerse conociendo el valor que representa un paso de desplazamiento por parte del motor. Es sustituido entonces el valor de $N_p = 42$ en la ecuación 7 y se obtiene un valor de $P = 4.463 \times 10^{-4}$. Para un valor de $N_p = 43$, $P = 1.4281 \times 10^{-3}$. Haciendo la diferencia entre ambos números, se tiene que el valor mínimo teórico medible por el instrumento, es de 9.8179×10^{-4} g/ml, que es la proporción por cada paso. De la misma manera, se tiene que cada paso que da el motor, equivale a 0.048 grados Brix y a una variación de 8.2824×10^{-5} en el índice de refracción.

Hay que subrayar que para tener una proporción de cero, a partir de la ecuación 7, son necesarios 41.5454 pasos (aunque en realidad deberían ser 42: la cantidad de pasos es un número entero).

Alcance máximo del instrumento.

Dado que el motor debe dar, 2253 pasos para que el sensor recorra la distancia que separa los dos optointerruptores, el valor máximo (teórico) que puede medir el instrumento es de 2.1712 g / ml, 111.1853 grados Brix y 1.5230 como índice de refracción (usando las ecuaciones 7, 5 y 6, respectivamente).

Características del azúcar empleada.

El azúcar que se empleó para calibrar el instrumento, fue azúcar blanca y refinada, a una temperatura ambiente, 20° C aproximadamente.

IV.II TIPOS DE ERROR

Ninguna medición se puede realizar con una exactitud perfecta, pero es importante descubrir cuál es la exactitud real y cómo se generan los diferentes errores en las mediciones. Éstos pueden provenir de diferentes fuentes y por lo general se clasifican en tres categorías principales:

Errores graves. Son en gran parte de origen humano, como una mala lectura de los instrumentos, ajuste incorrecto y aplicación inapropiada, así como equivocaciones en los cálculos.

Errores sistemáticos. Se deben a fallas de los instrumentos, como partes defectuosas o gastadas y efectos ambientales sobre el equipo.

Errores aleatorios. Ocurren por causas que no se pueden establecer directamente, debido a variaciones aleatorias en los parámetros o en los sistemas de medición.

Errores graves.

Se deben principalmente a fallas humanas en la lectura o en la utilización de los instrumentos, así como en el registro y cálculo de los resultados de las mediciones. Un error común y frecuente es el uso inapropiado de un instrumento.

Un gran número de errores graves son atribuidos a descuidos o malos hábitos, como lecturas inadecuadas, registro de los resultados en forma diferente a las lecturas obtenidas o ajuste incorrecto de los instrumentos.

Otro error grave puede ocurrir cuando el instrumento no está ajustado a cero antes de tomar la medición, entonces todas las lecturas estarán mal.

Errores como estos no se pueden tratar a nivel matemático, se evitan teniendo cuidado en la lectura y registro de los datos de medición. Una buena práctica es efectuar más de una lectura de la misma cantidad, de preferencia por diferentes observadores. Hay que evitar depender de una sola lectura, teniendo como opción un mínimo de tres separadas, preferentemente en condiciones en que los instrumentos se enciendan para hacer la medición.

Errores sistemáticos.

Por lo general se dividen en dos categorías:

1. Errores instrumentales. Referentes a los defectos de los instrumentos.
2. Errores ambientales. Debidos a las condiciones externas que afectan las mediciones.

Los errores instrumentales son inherentes a los instrumentos de medición a causa de su estructura mecánica. En esta clasificación también se incluyen los de calibración, lo que hace que el instrumento dé lecturas altas o bajas a lo largo de toda su escala. El descuido al no ajustar el dispositivo a cero antes de efectuar una medición tiene un efecto semejante.

Hay muchas clases de errores instrumentales, según el tipo de instrumento empleado. Las fallas en los instrumentos se pueden detectar verificando si hay comportamiento errático, así como la estabilidad y la reproducibilidad de los resultados. Una forma rápida y fácil de verificar un instrumento es compararlo con otro de las mismas características o con uno más exacto.

Los errores instrumentales se pueden evitar: al seleccionar el instrumento adecuado para la medición particular, al aplicar los factores de corrección después de definir la cantidad del error instrumental y al calibrar el instrumento con un patrón.

Los errores ambientales se deben a las condiciones externas que afectan la operación del dispositivo de medición, incluyendo las condiciones del área circundante del instrumento, como los efectos del cambio de temperatura, humedad, presión barométrica o de campos magnéticos y electrostáticos. Las medidas correctivas para reducir estos efectos incluyen aire acondicionado sellado y hermético en ciertos componentes del instrumento, aislar el equipo de campos magnéticos, etc.

Los errores sistemáticos también se pueden subdividir en *estáticos* o *dinámicos*. Los primeros se originan por las limitaciones de los dispositivos de medición o las leyes físicas que gobiernan su comportamiento. Los errores dinámicos se producen cuando el instrumento no responde con suficiente rapidez a los cambios de la variable medida.

Errores aleatorios.

Se deben a causas desconocidas y ocurren incluso cuando todos los errores sistemáticos se han considerado. En experimentos bien diseñados, por lo general se presentan pocos errores aleatorios pero llegan a ser importantes en trabajos de gran exactitud. La única forma para compensar estos errores, es incrementar el número de lecturas y usar medios estadísticos para obtener la mejor aproximación del valor real de la cantidad medida.

IV. III CÁLCULO DE ERRORES DEL INSTRUMENTO

Errores a partir de las funciones.

Tomando en cuenta los datos que sirvieron para realizar las gráficas 2, 3 y 4, y las ecuaciones 7, 5 y 6, se calculó el error porcentual (o relativo) entre los valores experimentales y los teóricos. Se denomina experimentales, a los grados Brix y al índice de refracción obtenidos en el refractómetro de ABBE comercial y teóricos a las lecturas del instrumento diseñado (basadas en las ecuaciones).

Se considera al número de pasos como la variable independiente, para hacer una comparación de los resultados obtenidos a partir del refractómetro comercial y del instrumento construido. El valor del error relativo se obtiene de la siguiente manera:

$$\% e = 100 \left(\frac{\text{valor real} - \text{valor medido}}{\text{valor real}} \right)$$

ECUACIÓN 8

Entonces, tomando en cuenta las lecturas medidas se tiene:

$$\% e = 100 \left(\frac{\text{valor experimental} - \text{valor teorico}}{\text{valor experimental}} \right)$$

Observando la ecuación 7 se puede deducir que para 2 pasos de motor, no es posible obtener la proporción teórica y el resto de los parámetros, puesto que dependen de un valor no válido de P.

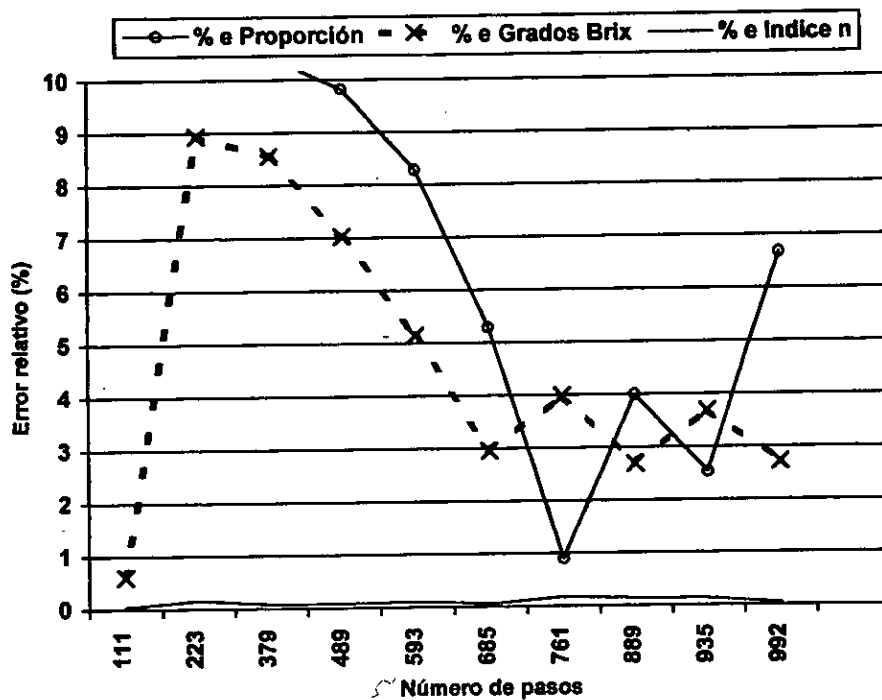
Los resultados aparecen en la siguiente tabla y en la siguiente gráfica:

TABLA 1

VALORES EXPERIMENTALES (Refractómetro de ABBE comercial)				VALORES TEÓRICOS (Instrumento diseñado)			ERRORES RELATIVOS		
No de pasos	Proporción (P)	Grados Brix (GB)	Índice de refracción (n)	P	GB	n	% e P	% e GB	% e n
2	0	0	1.333	-	-	-	-	-	-
111	0.1	8.4	1.345	0.0681	8.3481	1.3456	31.80	0.61	0.04
223	0.2	12.6	1.357	0.1781	13.7252	1.3549	10.92	8.93	0.15
379	0.3	23.2	1.369	0.3313	21.2147	1.3678	10.43	8.55	0.08
489	0.4	28.5	1.378	0.4393	26.4958	1.3769	9.82	7.03	0.07
593	0.5	33.2	1.387	0.5414	31.4889	1.3855	8.28	5.15	0.10
685	0.6	37.0	1.394	0.6317	35.9058	1.3931	5.29	2.95	0.05
761	0.7	41.2	1.402	0.7063	39.5545	1.3994	0.90	3.99	0.17
889	0.8	44.5	1.408	0.8320	45.6998	1.4100	4.00	2.69	0.14
935	0.9	46.2	1.412	0.8771	47.9082	1.4139	2.53	3.69	0.13
992	1.0	49.3	1.418	0.9331	50.6448	1.4186	6.68	2.72	0.04

Los resultados del error relativo se presentan en la gráfica 5. Como se puede apreciar, el indicador que tiene el error más pequeño, es el índice de refracción. Por lo que es de esperar lecturas de mayor exactitud en ese parámetro, a diferencia de los grados Brix y de la proporción.

ERRORES RELATIVOS DE LAS MEDICIONES HECHAS EN EL INSTRUMENTO DISEÑADO



GRÁFICA 5

Comparación del instrumento con un refractómetro de ABBE.

En la sección anterior, se hizo un breve análisis del grado de exactitud esperado del instrumento construido. Sin embargo, es necesario poder compararlo con un patrón, para conocer sus características y confiabilidad. Como patrón, se utilizó un refractómetro de ABBE, antes referido.

Se prepararon dieciséis soluciones, con diferentes grados de concentración. Todas las muestras fueron medidas con el instrumento diseñado, a una temperatura ambiente, tomando tres lecturas de cada una de las soluciones y haciendo el promedio de ellas. Los parámetros a comparar son los mismos que ofrece el refractómetro, es decir, el valor en grados Brix y el índice de refracción. En la tabla siguiente aparecen los resultados de las mediciones con el instrumento en cuestión.

TABLA 2
LECTURAS DADAS POR EL INSTRUMENTO DISEÑADO

Solución	Grados Brix				Índice de refracción			
	Lectura 1	2	3	Media	Lectura 1	2	3	Media
1	78.7786	77.0503	78.3465	78.0585	1.4671	1.4641	1.4664	1.4659
2	75.8980	76.0901	76.0420	76.0100	1.4621	1.4625	1.4624	1.4623
3	72.7774	73.2095	73.1614	73.0494	1.4568	1.4575	1.4574	1.4572
4	71.1450	71.2891	71.2891	71.2411	1.4539	1.4542	1.4542	1.4541
5	69.0326	69.2246	68.7445	69.0006	1.4503	1.4506	1.4498	1.4502
6	67.4963	67.2562	67.1122	67.2882	1.4476	1.4472	1.4470	1.4473
7	64.2796	64.0876	64.4236	64.2636	1.4421	1.4418	1.4423	1.4421
8	60.6789	60.6309	60.6789	60.6629	1.4359	1.4358	1.4359	1.4359
9	54.5336	54.4856	54.4376	54.4856	1.4253	1.4252	1.4251	1.4252
10	49.0125	49.0605	48.9645	49.0125	1.4158	1.4158	1.4157	1.4158
11	44.5476	44.4035	44.4515	44.4675	1.4081	1.4078	1.4079	1.4079
12	40.3707	40.3227	40.4667	40.3867	1.4008	1.4008	1.4010	1.4009
13	36.8108	36.8180	36.9140	36.8467	1.3947	1.3947	1.3949	1.3948
14	32.6891	32.7371	32.7371	32.7211	1.3876	1.3877	1.3877	1.3877
15	30.8167	30.9127	30.9127	30.8807	1.3844	1.3845	1.3845	1.3845
16	27.3600	27.4560	27.5040	27.4400	1.3784	1.3786	1.3787	1.3786

Las mismas soluciones muestra fueron medidas con el refractómetro de ABBE, a una temperatura de 19°C. Los resultados aparecen en la tabla siguiente.

TABLA 3
LECTURAS DADAS POR EL REFRACTÓMETRO DE ABBE COMERCIAL

Solución	Grados Brix				Índice de refracción			
	Lectura 1	2	3	Media	Lectura 1	2	3	Media
1	67	66	66.5	66.5	1.458	1.456	1.457	1.4570
2	63	62.3	62.8	62.7	1.4485	1.4470	1.4480	1.4478
3	60.5	60.2	60	60.2333	1.443	1.4425	1.442	1.4425
4	60.2	59.7	59.7	59.8667	1.442	1.4415	1.441	1.4415
5	59.5	59.2	59	59.2333	1.448	1.440	1.440	1.4427
6	55.5	55	55	55.1667	1.432	1.4305	1.431	1.4312
7	54	53.5	54.3	53.9333	1.4285	1.4275	1.429	1.4283
8	50	49.7	50.7	50.1333	1.42	1.4193	1.422	1.4204
9	47.5	47	47	47.1667	1.4148	1.4135	1.4135	1.4139
10	42	41.5	42.3	41.9333	1.404	1.403	1.404	1.4037
11	38.3	38.5	38	38.2667	1.3965	1.397	1.396	1.3965
12	34.5	34.7	35	34.7333	1.39	1.39	1.3903	1.3901
13	31.5	31	31.2	31.2333	1.384	1.383	1.383	1.3833
14	28.5	28	28.3	28.2667	1.378	1.378	1.378	1.3780
15	25	25	25	25	1.3725	1.372	1.372	1.3722
16	21.7	21.8	22	21.8333	1.367	1.367	1.367	1.3670

Calculando el error relativo para cada solución usando la ecuación 8, se obtuvo la siguiente tabla.

TABLA 4
ERRORES RELATIVOS

Solución	% e Grados Brix	% e Índice n	Solución	% e Grados Brix	% e Índice n
1	17.38	0.60	9	15.51	0.79
2	16.5	0.64	10	16.88	0.86
3	26.19	1.37	11	16.20	0.81
4	18.99	0.87	12	16.27	0.77
5	16.48	0.52	13	17.97	0.82
6	21.97	1.12	14	15.75	0.70
7	19.15	0.96	15	23.52	0.89
8	21.00	1.08	16	25.67	0.84

Como se puede observar, el valor del índice de refracción que ofrece el instrumento es más confiable que el de grados Brix. Los errores, en las lecturas de n, son menor al 2% (soluciones con n < 1.4570).

Precisión del instrumento.

Para conocer la precisión, es necesario, recordar antes lo que implica este concepto. Como se había especificado, se trata de la medida de la reproducibilidad de las mediciones; esto es, dado el valor fijo de una variable, la precisión es una medida, del grado con el cual las mediciones sucesivas difieren una de otra.

Esto significa que el instrumento es comparado consigo mismo.

Para conocer esta característica, fueron tomadas ochenta lecturas de una misma solución. De esta manera se puede conocer qué tan fiel es una de ellas, en comparación con el resto. Los resultados están registrados en orden ascendente en la tabla siguiente. Solamente se tomó el valor del índice de refracción, por ser el más confiable en el instrumento diseñado.

Para obtener mayor información de esos datos, se realizó un breve análisis estadístico, para conocer la gráfica de la curva de probabilidad para esa muestra.

En primer lugar, considerando que la menor lectura es de 1.417213 y la mayor es de 1.420029 se tiene un rango de $1.420029 - 1.417213 = 0.002816$

Se dividió el número de muestras en siete clases (grupos de muestras) y se anotó el número de observaciones que se tuvieron de cada clase, es decir su frecuencia en la serie de mediciones hechas. Tomando en cuenta que la frecuencia relativa es el cociente de la frecuencia de clase, entre el total de observaciones, se calculó también este parámetro.

Con estos datos se construyó un histograma, que es un diagrama de barras, cuyo ancho es el tamaño de la clase y la altura es la frecuencia de clase (gráfica 6) o la frecuencia relativa (gráfica 7).

En cada histograma se puede dibujar el llamado polígono de frecuencia (o de frecuencia relativa), uniendo los puntos que se localizan en las coordenadas (marca de clase, frecuencia). La marca de clase o punto medio de clase se define como el promedio de la misma.

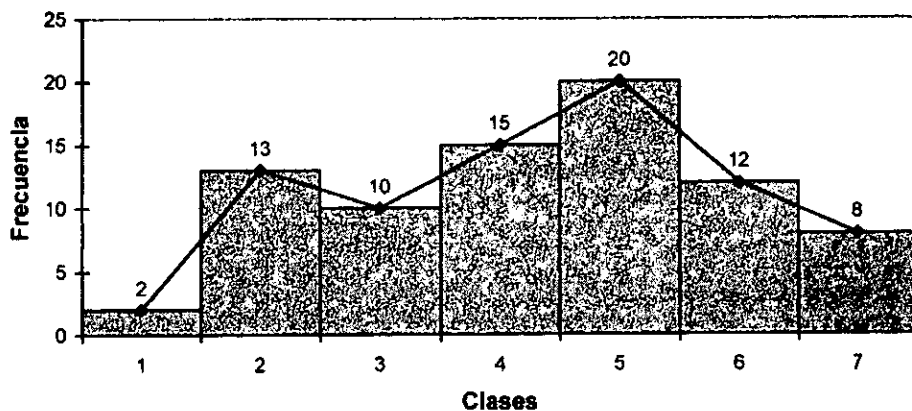
TABLA 5
OCHENTA LECTURAS DE UNA MISMA SOLUCIÓN

Lectura	n	Lectura	n	Lectura	N	Lectura	n
1	1.417213	21	1.418207	41	1.418869	61	1.419366
2	1.417461	22	1.418207	42	1.418869	62	1.419449
3	1.417627	23	1.418207	43	1.418869	63	1.419449
4	1.417627	24	1.418290	44	1.418869	64	1.419532
5	1.417710	25	1.418372	45	1.418952	65	1.419532
6	1.417710	26	1.418455	46	1.418952	66	1.419532
7	1.417710	27	1.418455	47	1.418952	67	1.419615
8	1.417710	28	1.418538	48	1.419035	68	1.419615
9	1.417710	29	1.418538	49	1.419035	69	1.419615
10	1.417875	30	1.418538	50	1.419035	70	1.419615
11	1.417875	31	1.418538	51	1.419035	71	1.419615
12	1.417875	32	1.418621	52	1.419035	72	1.419615
13	1.417875	33	1.418704	53	1.419035	73	1.419698
14	1.417958	34	1.418704	54	1.419035	74	1.419698
15	1.417958	35	1.418787	55	1.419118	75	1.419780
16	1.418041	36	1.418787	56	1.419118	76	1.419780
17	1.418124	37	1.418787	57	1.419118	77	1.419780
18	1.418124	38	1.418787	58	1.419201	78	1.419863
19	1.418207	39	1.418787	59	1.419201	79	1.419946
20	1.418207	40	1.418787	60	1.419201	80	1.420029

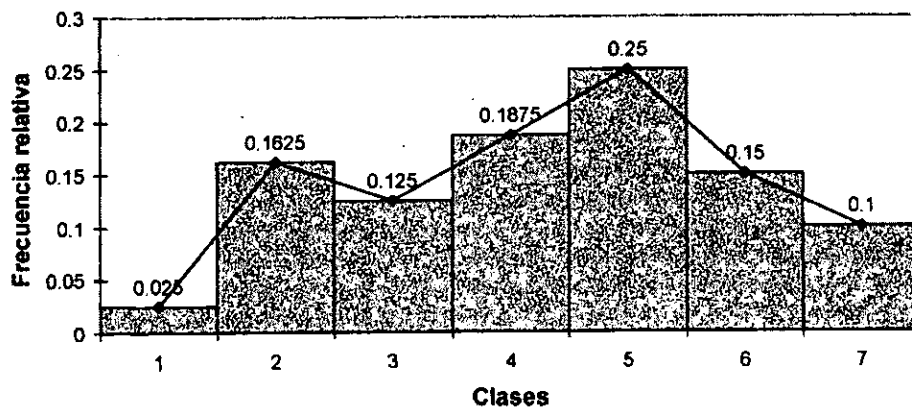
TABLA 6
FRECUENCIA Y FRECUENCIA RELATIVA

Número de clase	Clase	Frecuencia (f)	Frecuencia relativa (f/80)
1	1.417213 a 1.417615	2	0.0250
2	1.417616 a 1.418017	13	0.1625
3	1.418018 a 1.418419	10	0.1250
4	1.418420 a 1.418822	15	0.1875
5	1.418823 a 1.419224	20	0.2500
6	1.419225 a 1.419626	12	0.1500
7	1.419627 a 1.420029	8	0.1000

GRÁFICA 6
HISTOGRAMA Y POLÍGONO
DE FRECUENCIA

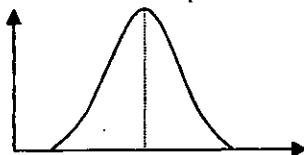


GRÁFICA 7
HISTOGRAMA Y POLÍGONO
DE FRECUENCIA RELATIVA



Como se puede apreciar, se tratan de curvas asimétricas. Se dice que son bimodales por tener dos picos.

Una curva simétrica o de Gauss, tiene la forma de una campana como se indica a continuación:



Este tipo de curva indica, que el valor más probable de lectura real, es el valor central (parte más pronunciada y estrecha). Entonces, una curva así, sugiere que son más probables los errores pequeños que los grandes, ya que la mayoría de las lecturas se concentran en el centro, por lo tanto los errores grandes son muy improbables.

La gráfica 7 nos indica que la probabilidad de que una lectura se encuentre en la clase 5 (de 1.418823 a 1.419224), es del 25 %, que es el valor más alto. Para que el instrumento sea más preciso, las gráficas 6 y 7 se deben parecer a una curva de Gauss.

En cuanto a las ochenta lecturas (tabla 5), se deben tomar en cuenta algunos datos como la media, la desviación de la media y la desviación promedio, para el índice de refracción. **La media de las ochenta lecturas es de 1.41876689**

La **desviación (d)** es el alejamiento de una lectura de la media. Se obtiene restando el valor de la lectura menos la media. De esta manera, se consiguen ochenta valores de desviación, una para cada lectura, en comparación con la media. Este número puede tener un valor negativo o positivo y la suma algebraica de todas las desviaciones debe ser cero.

Por otro lado, la **desviación promedio (D)** es una indicación de la precisión de los instrumentos usados en las mediciones. Los instrumentos altamente precisos producen una desviación promedio baja entre las lecturas. Por definición, la desviación promedio es la suma de los valores absolutos de las desviaciones, entre el número de lecturas. **La desviación promedio para los ochenta datos es de 0.000577579**

Este número, aun cuando es muy pequeño no permite tener una idea clara de las características del instrumento diseñado. Así que, usando la información del índice de refracción de las tablas 2 y 3, es posible hacer una comparación entre el instrumento construido y el refractómetro de ABBE comercial, para cada una de las soluciones que se emplearon.

En negritas aparecen los valores máximos y mínimos registrados de la desviación promedio, tanto para el instrumento diseñado como para el refractómetro de ABBE. El valor máximo para el aparato construido es de 0.00117778, mientras que para el refractómetro fue de 0.00266667; en cuanto a los valores mínimos fueron de 4.4444×10^{-5} y de 0, respectivamente. Los resultados aparecen en la siguiente tabla:

TABLA 7
COMPARACIÓN DE LA DESVIACIÓN PROMEDIO

Solución	Índice de refracción			
	Instrumento diseñado		Refractómetro de ABBE comercial	
	Media	Desviación promedio (D)	Media	Desviación promedio (D)
1	1.4659	0.00117778	1.4570	0.0005
2	1.4623	0.00015556	1.4478	0.00041667
3	1.4572	0.00028889	1.4425	0.00025
4	1.4541	0.00013333	1.4415	0.00025
5	1.4502	0.00028889	1.4427	0.00266667
6	1.4473	0.00022222	1.4312	0.00041667
7	1.4421	0.00017778	1.4283	0.00041667
8	1.4359	4.4444E-05	1.4204	0.00078333
9	1.4252	6.6667E-05	1.4139	0.00043333
10	1.4158	4.4444E-05	1.4037	0.00033333
11	1.4079	0.00011111	1.3965	0.00025
12	1.4009	8.8889E-05	1.3901	0.0001
13	1.3948	8.8889E-05	1.3833	0.00033333
14	1.3877	4.4444E-05	1.3780	0
15	1.3845	4.4444E-05	1.3722	0.00016667
16	1.3786	0.00011111	1.3670	0

Como se puede apreciar al comparar las columnas de la desviación promedio, el instrumento diseñado, no tiene valores muy alejados del refractómetro de ABBE comercial.

Resolución del instrumento.

Por otro lado, para tener un conocimiento aproximado de lo que es la resolución, es decir, el cambio más pequeño (en el valor medido), al cual responde el instrumento, fueron tomadas lecturas del índice de refracción a una serie de soluciones.

Para la obtención de estas, se tomó una solución base a la cual se le agregó una cantidad de agua para diluirla y así obtener una nueva solución. El proceso se repitió varias veces. Ese volumen de agua añadido, fue disminuyendo, a fin de tener una solución con una variación muy pequeña en su concentración, con respecto a la anterior.

Se tiene como antecedente, el cálculo (en la sección anterior), de la variación en el índice de refracción por cada paso dado por el motor, de acuerdo a la ecuación 6, que es de 8.2824×10^{-5}

Fueron tomadas tres lecturas de cada una de las soluciones, para comparar después el promedio de cada terna. Para ello, se hizo la diferencia entre valores de medias, es decir, se restó la media de una terna con la media anterior, para saber la variación entre soluciones sucesivas. Los resultados se presentan en la tabla siguiente:

TABLA 8
LECTURAS A PARTIR DE UNA SOLUCIÓN BASE
OBTENIDAS POR EL INSTRUMENTO DISEÑADO

Solución	Agua añadida (ml)	Índice de refracción				
		Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Media	Diferencia entre medias
1	0 (Base)	1.413403	1.413403	1.413403	1.41340300	-
2	30	1.411084	1.411167	1.411167	1.41113933	2.2636 X 10 ⁻³
3	30	1.410256	1.410338	1.410504	1.41036600	7.7333 X 10 ⁻⁴
4	30	1.409096	1.409096	1.408848	1.40901333	1.3526 X 10 ⁻³
5	30	1.405617	1.405617	1.405783	1.40567233	3.3410 X 10 ⁻³
6	30	1.405203	1.405369	1.405286	1.40528600	3.8633 X 10 ⁻⁴
7	30	1.403050	1.403133	1.402967	1.40305000	2.2360 X 10 ⁻³
8	20	1.401808	1.401559	1.401559	1.40164200	1.4080 X 10 ⁻³
9	20	1.399903	1.399985	1.400068	1.39998533	1.6566 X 10 ⁻³
10	20	1.399406	1.399406	1.399488	1.39943333	5.5200 X 10 ⁻⁴
11	10	1.398494	1.398412	1.398412	1.39843933	9.9400 X 10 ⁻⁴
12	5	1.398577	1.398494	1.398660	1.39857700	-1.3767 X 10 ⁻⁴
13	3	1.397998	1.397915	1.397915	1.39794267	6.3433 X 10 ⁻⁴
14	2	1.398080	1.398246	1.398163	1.39816300	-2.2033 X 10 ⁻⁴
15	1	1.397749	1.397998	1.397749	1.39783200	3.3100 X 10 ⁻⁴
16	1	1.397832	1.397749	1.397666	1.39774900	8.3000 X 10 ⁻⁵
17	1	1.398412	1.398577	1.398494	1.39849433	-7.4533 X 10 ⁻⁴

De la tabla anterior, se puede observar que a partir de las solución doce, hay diferencias negativas, lo que indica que esos valores no son confiables. Por ejemplo, siendo la solución doce, más diluida que la once, tiene una media mayor que la once. La mejor diferencia se tuvo entre las soluciones nueve, diez y once, es decir 5.5200×10^{-4} y 9.9400×10^{-4} , lo que puede dar una idea de la resolución real del instrumento.

Confiabilidad del instrumento.

En resumen, el parámetro más confiable que puede medir el instrumento diseñado, es el de índice de refracción, ya que presenta un error relativo menor al 2% en comparación a un refractómetro de ABBE.

El histograma de frecuencia relativa muestra que es irregular la distribución de probabilidad.

En comparación con el refractómetro de ABBE, el instrumento diseñado tiene una precisión parecida al primero, al comparar sus desviaciones promedio para diferentes soluciones.

En cuanto a la resolución, para una lectura del índice de refracción, se puede confiar hasta el tercer decimal del valor dado por el instrumento.

Sin embargo, hay errores importantes a señalar. El primero de ellos se debe a que no está ajustado a cero, como se puede apreciar en la ecuación 7, que es la base del proceso de medición. A partir de ella, se obtiene el índice de refracción al usar la ecuación 6, por lo que el error aumenta debido a las dos ecuaciones mencionadas. Ello implica un error grave. Las funciones a su vez, fueron obtenidas a partir del refractómetro, así que también acarrear el error de éste.

En relación a la calibración (para lo cual se usa el punto de referencia marcado en el instrumento), hay errores que son causados por defectos del aparato en su estructura mecánica, principalmente en el dispositivo

láser. Como se ilustra en la figura 31 del capítulo II, existe un punto de referencia, al cual el haz de luz debe ser apuntado cuando se tiene agua simple en el tanque. El mecanismo que mueve al rayo láser para su ajuste, es descrito en la siguiente sección, así como su efecto en los errores de medición.

IV. IV ORIGEN Y SOLUCIÓN DE LOS ERRORES

No basta conocer los errores que tenga el instrumento diseñado, sino también es necesario saber su origen, para poder corregirlos y hacer del aparato, uno más confiable.

Se debe tomar en cuenta que se trata básicamente de un dispositivo óptico, por lo que la geometría y la disposición de los elementos que lo forman juegan un papel importante.

Funciones características.

Como se explicó con anterioridad, las ecuaciones que sirven para calcular los diferentes parámetros, tienen errores. Estos no solo se deben a deficiencias mecánicas del instrumento, sino también a que se necesitan un mayor número de lecturas. De esta manera se pueden obtener funciones que se aproximen de mejor manera, a los valores reales, mediante el método de mínimos cuadrados u otro método de aproximación. Éstos por sí mismos implican un error.

Además, al usar las lecturas del refractómetro de ABBE como patrón, los errores propios de ese aparato se agregan a los ya existentes en el instrumento construido.

Defectos mecánicos.

La disposición espacial de los elementos del sistema, forman un papel esencial, ya que el principio físico es óptico. Por ello se debe cuidar que la distancia entre el instrumento, el tanque y el dispositivo láser no cambie. Fijando estos tres elementos sobre el área de trabajo, ayuda a disminuir los errores en ese sentido.

Por otro lado, el mecanismo de ajuste del dispositivo láser es inexacto. Se ilustra a continuación:

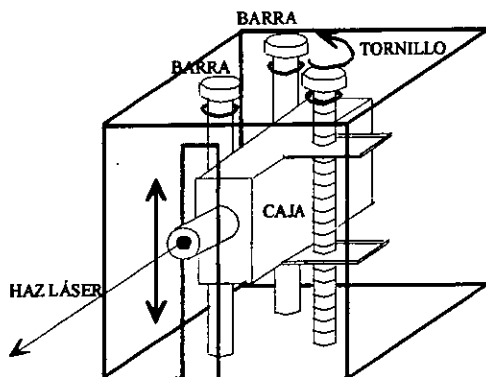


FIGURA 37

El dispositivo láser se encuentra dentro de la caja que le sirve de apoyo. Ésta tiene unas piezas que funcionan de manera similar a una tuerca, es decir encajan en la cuerda de un tornillo. Así, cuando se le da vuelta a la cabeza de este, la caja y el dispositivo láser suben y bajan. Para evitar que la caja gire junto con el movimiento del tornillo, se dispusieron dos barras fijas que sirven como guías. Todo el mecanismo se encuentra dentro de otra caja transparente (marcada en línea gruesa en la figura).

De esta manera, es posible un movimiento vertical del haz láser para ajustar el rayo con el punto de referencia del instrumento diseñado. Sin embargo, debido a que el mecanismo está construido de manera imprecisa, existe una vibración que altera la posición del dispositivo láser. Esto provoca un ligero movimiento horizontal y con ello un cambio en el ángulo de incidencia. Además, el rayo no es paralelo al plano de la superficie donde se apoya el mecanismo. Este defecto mecánico es evidente durante la calibración.

Para solucionar este problema, es necesario construir un aparato de precisión para el movimiento del dispositivo láser, que asegure un mínimo de variación del ángulo de incidencia. Debido a que un cambio en ese ángulo, implica otro en el de refracción, la distancia entre los puntos de proyección varía, ocasionando un error en la lectura.

Una posible causa por la que sean necesarios 42 pasos de motor para que la ecuación 7 sea válida, es el hecho de que el punto de referencia haya sido marcado de manera errónea (debido a la imprecisión del mecanismo).

Al asegurar la inmovilidad de los elementos y la colocación exacta entre ellos, se pueden mejorar las características del instrumento construido. La geometría óptica se puede convertir en un factor que ayude al perfeccionamiento del aparato, si se cuida con precisión el lugar en que se colocan cada uno de sus elementos; o de manera inversa, puede afectar la medición.

Condiciones iniciales.

Hay que recordar que las funciones obtenidas se calcularon a partir de soluciones con azúcar blanca y refinada. En un proceso industrial en el que sea necesario medir la densidad de un líquido, éste debe consistir en el mismo solvente y el mismo soluto. Es obvio este punto, ya que tener las mismas características para la materia prima, forma parte del control de calidad de un proceso.

El volumen mínimo de la solución que debe contener el tanque para su medición es de un litro.

Por otro lado, la posición del instrumento debe ser fija, como ya se mencionó antes.

En cuanto al motor y las partes mecánicas involucradas, es necesario que exista suficiente lubricación y así evitar una obstrucción en el recorrido del sensor.

Seguridad.

Por último, es importante subrayar que se debe evitar el contacto directo de la luz láser con los ojos, pues es dañino para la visión.

CONCLUSIONES

El propósito para el cual se diseñó el instrumento fue medir la cantidad de azúcar disuelta en agua. En la industria alimenticia, dos de los parámetros usados son: el índice de refracción y los grados Brix. Aún cuando el aparato ofrece una tercer alternativa (proporción azúcar - agua), solamente son confiables las lecturas del índice de refracción. Sin embargo, el objetivo de medir la cantidad de azúcar está cumplido aunque sea bajo un solo parámetro y con errores que deben ser tomados en cuenta para la mejora del sistema.

Entre ellos, se debe considerar, el error en las funciones que caracterizan al sistema. De ellas depende el valor de la medición, por lo que es necesario tener más lecturas y a partir de ellas, obtener ecuaciones que modelen de mejor manera al fenómeno. Para ello puede elegirse otro método de correlación, aunque existe un error implícito, por tratarse de una aproximación. Además, debido a que el refractómetro (que es usado como patrón), tiene errores, éstos influyen en el resultado del instrumento diseñado.

Otro error importante, que depende del anterior, es el hecho de que el sistema no está ajustado a cero antes de la medición, lo que causa un error grave. Esto es originado por una de las funciones ($P = f(Np)$).

Un defecto importante en el aparato, es el dispositivo mecánico de ajuste del haz láser. Este origina diferentes condiciones iniciales y cambio en la dirección del rayo, que aunque sean pequeños, son trascendentales dentro de un sistema óptico. Se aprecia esto en la obtención del punto de referencia del instrumento, por lo que éste es otro aspecto a mejorar. Para evitar cambios drásticos en la geometría de los rayos involucrados es indispensable también la colocación exacta y la posición fija de los elementos del sistema.

En cuanto a los valores del índice de refracción que puede registrar el instrumento diseñado, tienen un error relativo menor al dos por ciento, siendo este un buen resultado en comparación con un refractómetro manual de ABBE. Por otro lado, el aparato construido puede medir índices n entre 1.333 (agua simple) y 1.457 que fue el máximo valor registrado durante los experimentos. Este número podría ser aún mayor (1.523), ello depende de la distancia de desplazamiento del sensor.

La desviación promedio es baja y aceptable (hasta 0.0011778), en relación al refractómetro comercial. La resolución es menor a 0.00341. Con el perfeccionamiento del instrumento, no sólo se mejorarán estos parámetros sino también la curva de probabilidad de una muestra de lecturas, pareciéndose a una curva de Gauss.

Otro aspecto a considerar es que el instrumento diseñado está calibrado para medir soluciones con el mismo solvente y el mismo soluto, es decir, agua simple y azúcar blanca, refinada (en diferentes proporciones); a diferencia del refractómetro comercial que puede medir cualquier tipo de solución. Otra cuestión es la cantidad de solución necesaria para hacer una medición: mientras son útiles un par de gotas en el refractómetro de ABBE, en el instrumento construido el volumen mínimo a medir es de 1 litro. Si el haz de luz atraviesa al tanque muy cerca de su base esa cantidad disminuye, aún así, es grande. Estos aspectos pueden no ser tan determinantes, en caso de que el sensor pudiera formar parte, de un sistema de control automático de la concentración de soluciones, ya que la medición se realizaría directamente del tanque que interviene en un proceso de producción. Esto se explica en párrafos posteriores.

El instrumento puede ser adaptado para la medición de otro tipo de solución, al repetir el mismo método. Se debe cuidar que existan las siguientes condiciones: transparencia de la sustancia y que no haya reacción química de ésta a la luz, además de que no exista el fenómeno de reflexión total interna.

Una ventaja con respecto al refractómetro, es el manejo automático y otra es la prevención de la contaminación de la sustancia (pues no hay contacto con otro elemento, más que con el tanque), requisito trascendente en la industria alimenticia. El que sea automático, puede facilitar su inserción en un sistema de control.

En cuanto al método empleado, la refracción es confiable, siempre y cuando haya un estricto arreglo físico de los elementos.

En relación a los dispositivos usados se puede comentar lo siguiente.

El sensor detecta adecuadamente al haz y tiene además un ajuste de ganancia y de offset. Para aumentar la precisión, puede ser reducida el área de incidencia en el fotoresistor, obstruyendo el paso de la luz.

La razón por la cual existe una abertura reducida para el paso del rayo láser, es la de evitar la exposición del sensor a la luz ambiental.

En cuanto al punto de referencia que sirve para la calibración del instrumento, podría eliminarse (y así evitar un error). La calibración podría llevarse a cabo mediante una modificación del software de control del sistema. Una vez que el microcontrolador haya recibido la señal del optointerruptor de referencia, puede ser vaciada agua simple en el tanque. Entonces es ajustado el dispositivo láser hasta que el rayo sea detectado por el optoresistor. Una vez hecho esto, puede colocarse la solución a medir y continuar el proceso. De esta forma se pueden comparar inclusive, dos soluciones azucaradas distintas, una usada como patrón.

El tanque empleado funciona adecuadamente, ya que permite la medición de la distancia que separa a los puntos de proyección del haz. Para un tanque de tipo industrial (con capacidad mayor a 400 kl), no hay necesidad de usar una geometría especial, en especial para sustancias más densas que las elaboradas a partir de agua y azúcar.

El motor de pasos utilizado tiene buena resolución. Si se desea mejorar este aspecto, se tienen tres alternativas: elegir un motor con un ángulo menor a 1.875° por paso, implementar un procedimiento que permita fracciones de paso, o mejorar el sistema mecánico al modificar los engranes. También puede ser cambiada la distancia de recorrido del sensor al aumentarla o disminuirla. Para evitar el uso de funciones que relacionen el número de pasos del motor con otras variables, puede emplearse el número de pasos como una unidad, en especial si el instrumento forma parte de un sistema de control.

Los optointerruptores funcionan adecuadamente para señalar el momento en que el sensor se encuentra en los extremos de su recorrido.

Puede mejorar el diseño de las partes del instrumento como lo son el gabinete o los bloqueadores de luz.

Es imprescindible advertir al usuario del peligro que implica el contacto directo de la luz láser con los ojos.

En relación al microcontrolador MC68HC11A1, aún cuando ejecuta las tareas para el funcionamiento del instrumento, hay elementos que no son utilizados y por ello desperdiciados, lo que causa un incremento en el costo del aparato. Al elegir otro microcontrolador, es necesario que por lo menos cumpla con los siguientes requisitos: capacidad mayor a 355 bytes en ROM, un puerto de salida (se necesitan solo cuatro salidas para la secuencia del motor del pasos), un puerto de entrada (dos entradas para los optointerruptores), un canal de un convertidor analógico digital y un subsistema de comunicación serial. Los parámetros de comunicación pueden ser cambiados. No es necesaria mayor resolución del convertidor analógico digital (el actual ofrece 256 niveles de voltaje, 8 bits), pues el instrumento toma en cuenta, para detectar la luz, una parte del total de energía luminosa que incide sobre el sensor (90%). Esta fracción puede ser ajustada a las necesidades específicas del sistema.

El principal objetivo en la selección de un microcontrolador es elegir aquel que minimiza el costo total del sistema y a la vez cumple con las especificaciones de este. Entre los costos están los de desarrollo, manufactura, reparación, actualización, etc. Durante la selección se consideran las requerimientos del sistema (necesidad de circuitos extra, número de puertos, periféricos, memoria, etc.), la disponibilidad en el mercado y a futuro, y las herramientas de desarrollo (ensambladores, compiladores). En cuanto a las características generales de un microcontrolador se puede citar por ejemplo, el que sean de 8, 16 o 32 bits, o la velocidad de reloj.

En referencia al instrumento diseñado, la comunicación con la PC a pesar de ser sencilla (polling, con los requerimientos mínimos), es suficiente para poder controlar al instrumento desde un teclado y poder informar al operador del estado del procedimiento en un monitor.

Como se comentó, el instrumento puede formar parte de un sistema de control de concentración de una solución.

Como ejemplo se puede considerar el diagrama siguiente:

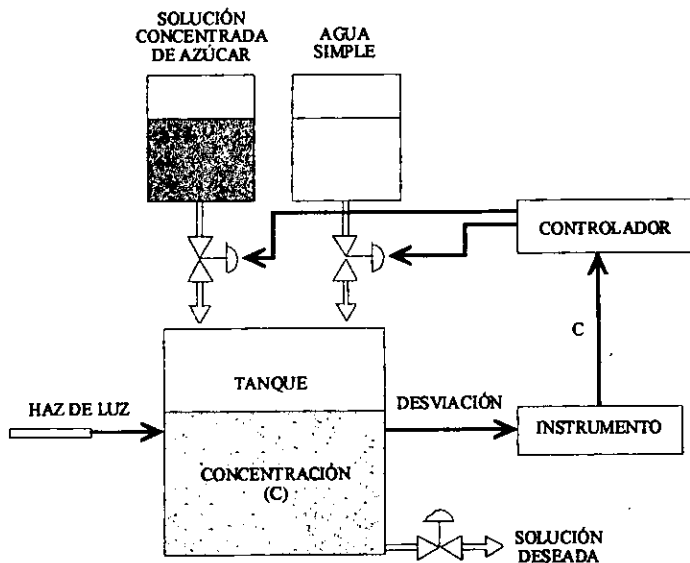


FIGURA 38

Se pueden ver dos tanques, cuyo contenido es una solución concentrada de azúcar en uno y agua simple en otro. Las dos sustancias se mezclan en un tercer depósito. El resultado de la mezcla puede ser medido usando el instrumento diseñado (calibrado para esa solución en particular). Por eso es necesario que el líquido sea homogéneo. Un controlador, de acuerdo a la cantidad de azúcar de la solución (que puede ser medida solamente por el número de pasos del motor), determina el volumen de agua simple y el volumen de solución concentrada necesarios para obtener una mezcla con la proporción requerida por el usuario.

Es comprensible que la lectura del instrumento oscilará alrededor del valor deseado, es decir, en algunos momentos será menor y en otros mayor, hasta alcanzar la estabilidad. Esto depende de las características del controlador y del sistema. Bajo estas condiciones, al variar la densidad de la sustancia, también lo hace el índice de refracción y por consecuencia, la distancia entre los puntos de proyección. Entonces, el sensor hará un movimiento para seguir a la proyección del rayo, desde que lo detecta en el punto de referencia hasta el punto que representa la concentración requerida. Cuando se acerque la solución al valor deseado, el sensor hará un movimiento oscilatorio (mientras se alcanza la estabilidad del sistema), para lo cual se pueden emplear tres fotoresistores como se ilustra en la siguiente figura:

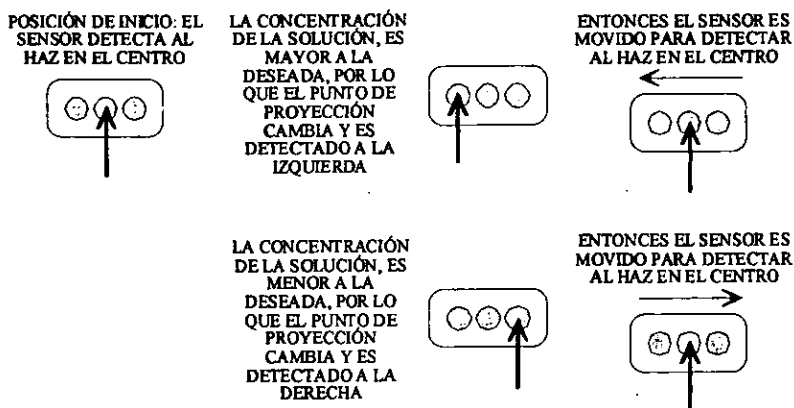


FIGURA 39

De esta manera, en un principio el flujo de las soluciones de entrada al tanque, son grandes y van disminuyendo hasta alcanzar el valor deseado. Ello también depende del tipo de control empleado para el sistema.

Por último, además de confiable, el instrumento diseñado es fácil de operar y económico.

El que sea manejable depende del software para su operación. Este puede mejorar si se programa para ser ejecutado bajo un ambiente Windows, que resulta más amigable para el usuario.

El que sea económico, da una alternativa adicional a los productos que se encuentran en el mercado.

En resumen, las ventajas y desventajas del instrumento diseñado son:

Ventajas:

- Económico
- Error del 2% para lecturas del índice de refracción y una resolución menor que 0.00341
- Posibilidad mínima de contaminación de la sustancia (pocos elementos entran en contacto con ella)
- Facilidad en su operación, debido al software de control
- Versátil: puede ser adaptado a otro tipo de soluciones, diferentes a las azucaradas
- Manejo automático cuando forma parte de un sistema de control

Desventajas:

- Incremento en los errores de medición, si los elementos que componen al instrumento no son colocados adecuadamente
- Medición de un mismo tipo de solución (solo cambia la proporción del solvente y del soluto)
- Cantidad grande de solución (un litro), para efectuar la medición

El presente trabajo, representa solamente un prototipo. Para su fabricación comercial, es necesaria su mejora y el tomar en cuenta el aspecto de servicio, relacionado al instrumento (manuales, refacciones, reparaciones, mantenimiento, disponibilidad, asesoría, etc.), sin embargo no era esa la finalidad.

Uno de los objetivos de esta tesis es demostrar que puede ser empleado el método de refracción para hacer mediciones de este tipo. Aún cuando existan otros instrumentos parecidos en el mercado, el hecho de que uno como éste puede ser diseñado y construido por empresas mexicanas, aporta una alternativa importante, aunque pequeña, al desarrollo de la tecnología nacional.

El que se puedan fabricar instrumentos de medición (entre otros productos) por mexicanos, desde su concepción hasta su venta, distribución y mantenimiento (abarcando la vida útil del aparato), no sólo implican fuentes de trabajo, sino además desarrollo tecnológico y educativo, y con ello independencia del país con respecto a otros. Con compañías así, México no sería solamente territorio de maquiladoras, sino también en mayor medida, de creación de ideas.

Creo que el trabajo del ingeniero está sustentado en la capacidad de creativa, no sólo de un individuo sino de un grupo de especialistas, para así poder enfrentar los retos que representen los problemas. Bajo este particular punto de vista, el desarrollo de esta tesis me ha enseñado la necesidad de la labor en equipo, ya que en la construcción de un instrumento de esta naturaleza, es indispensable el trabajo de profesionales de otras áreas, distintas a la ingeniería electrónica e inclusive distintas a la ingeniería en sí, como el diseño industrial.

El posible desarrollo a nivel comercial del instrumento diseñado no es factor para juzgar su éxito o fracaso, puesto que el reto de obtener un aparato de medición para un problema específico con los recursos disponibles, ha sido superado.

APÉNDICE

CARACTERÍSTICAS DEL INSTRUMENTO

Principio usado en la medición: Refracción (óptico)
 Temperatura de operación recomendada: 20° C
 Parámetro a medir: índice de refracción (NOTA)
 Intervalo de medición: 1.333 a 1.4570 (índice de refracción)
 Error máximo: 2 %
 Resolución < 0.003341 (índice de refracción)
 Medio de presentación: Monitor de una PC

Dimensiones (cm):

Tanque: Base en forma de triángulo rectángulo (con un ángulo de 30°)
 Longitud de catetos: 9 y 15.5
 Altura: 20
 Capacidad del tanque: 1.395 litros
 Aparato: 36 X 45.5 X 20
 Dispositivo láser: 13.5 X 17.5 X 16

Accesorios:

Cable con conectores DB9 (entre el instrumento y la PC) : 2 m
 Cable con conectores RCA (para el dispositivo láser) : 3 m

Capacidad del tanque: 1.395 litros

Características de las soluciones:

Solvente: Agua simple
 Solute: Azúcar blanca, refinada
 Cantidad mínima para medir: 1 litro

Características del láser:

630 a 680 nm de longitud de onda (rojo)
 clase IIIA
 potencia máxima 4.5 mW

Voltaje de alimentación:

General: 127 V, 60 Hz
 Dispositivo láser: 5 V
 Microcontrolador: 5 V
 Sensor luminoso: ± 12 V
 Motor de pasos: 12 V, 1 A
 Optointerruptores: 5 V

Microcontrolador: MC68HC11A1

NOTA: El error de las lecturas en grados Brix y en la proporción es muy grande para tomarse en cuenta.

Comunicación entre la PC y el instrumento:**Tipo: Serial Asíncrona****Interfase serial RS232****Velocidad: 9600 bauds****8 bits de datos, uno de paro, sin paridad****Software:****Programa de 355 bytes en EEPROM del microcontrolador****Programa SENSOR.EXE de 46 kB en lenguaje C para sistema MS-DOS**

BIBLIOGRAFÍA

- Acarnley, *Stepping motors: a guide to modern theory and practice*. Peter Peregrinus Ltd., 1984
- Boylestad, Nashelsky, *Electrónica. Teoría de circuitos*. Prentice-Hall Hispanoamericana. 5ª edición.
- Cevallos, *Enciclopedia del lenguaje C*. Grupo Editorial AlfaOmega, 1997
- Considine, Douglas, *Process / Industrial Instruments & Controls handbook*. Mc Graw Hill. 4ª Edición.
- Cooper, Helfrick, *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*. Prentice Hall, 1991
- Faulkenberry, *Introducción a los amplificadores operacionales con aplicaciones a CI lineales*. Limusa, 1996
- Grady, *C! Programming principles and practices*. Mitchell Publishing, 1988
- Gould, Gould, *Total quality assurance for the food industries*. CTI Publications, 1988
- Myers, Walpole, *Probabilidad y Estadística*. Mc Graw Hill, 4ª Edición.
- Sears, Young, Zemanski, *Física Universitaria*. Addison-Wesley Iberoamericana 6ª edición.
- Tischer, *PC Interno 2.0*. Marcombo Editores, 1995

TESIS

- Tiburcio H., Tesis: *Instalación y operación de una planta embotelladora de refrescos*, Tomo II. Facultad de Química, UNAM, 1979

MANUALES

- MOTOROLA, *MC68HC11 Reference Manual*. Rev. 3.0
- MOTOROLA, *MC68HC11A8 HCMOS Single-chip microcontroller, Technical Data*. 1996

PÁGINA WEB

- Peacock, *Interfacing the serial / RS232 port*. www.beyonlogic.org, 1998

Ofrece un panorama sobre el manejo del puerto serial de una PC, usando el protocolo RS232 de comunicación. Abarca cuatro aspectos: el hardware del microprocesador, relacionado con la transferencia de datos (UART y función de los pines en conector D9 o D25), los registros asociados y sus características, la programación del puerto (por poleo o por interrupción) y el hardware que sirve como interface entre la PC y otro dispositivo (circuito integrado MAX232), además que menciona los tipos de UART existentes.