

86

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**



FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE
MEDICION ELECTRONICO PARA PRACTICAS
DE CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO.**

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA DE ELECTRONICA)**

PRESENTA:

DAN SOTELO MONTAÑO

DIRECTOR DE TESIS: ING. FRANCISCO RODRIGUEZ RAMIREZ



MEXICO, D. F.

284330

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

A mis padres Alán y Rosi ...estaré siempre agradecido .

... A mis hermanos Greco, Elí, Evoé y Al ...

.. A Graciela y Enrique ..

... A Alan y Mahalat ..

con gran amor...

Dan .

México D.F , septiembre del 2000.

Agradezco:

A mis padres por haberme brindado tantas oportunidades de evolución.

Al grupo LINDA por sus valiosas aportaciones

Al Ingeniero Francisco Rodríguez Ramírez y a la Ingeniera Perla Julieta Fernández Reyna, por su gran apoyo en la conclusión de esta tesis

Al Ingeniero Román Osorio por su valioso apoyo en la construcción del sistema de medición.

A la Facultad de Ingeniería por todo lo que me ha enseñado.

**Diseño y desarrollo de un sistema de medición electrónico
para prácticas de control estadístico del proceso.**

Introducción.	1
Capítulo 1. Sensores.	3
1.1 Conceptos Generales	3
1.1.1 Transductores, Sensores, y Actuadores	4
1.1.2 Acondicionamiento de la señal	5
1.1.3 Transmisión de Datos	6
1.1.4 Presentación	6
1.2 Conversión y dominio de datos	6
1.3 Clasificación de Sensores.	7
1.4 Características estáticas de los sistemas de medición.	8
1.4.1 Exactitud, Precisión y Sensibilidad	9
1.4.2 Error y otros conceptos	10
Capítulo 2. Introducción al Visual Basic 6.	11
2.1 Antecedentes.	11
2.1.1 Ambiente de programación	12
2.1.2 Los Controles	13
2.1.3 La ventana de código.	17
2.2 Automatización de Excel con Visual Basic	21
Capítulo 3. Distribución de la banda transportadora.	23
3.1 Objetivo de la banda transportadora	23

3.2 Análisis de necesidades y soluciones	23
3.2.1- Peso y tamaño adecuados	24
3.2.2 El objeto a medir	25
3.2.3 Control de medición y registro de resultados	25
3.2.4 La técnica de medición	26
3.3 Solución propuesta	27
3.3.1 Medición con haz infrarrojo y fotodiodos	27
3.3.1.1 La trayectoria del bloque de madera.	28
3.3.1.2 Dinámica del bloque de madera.	29
3.3.1.3 La velocidad promedio de la banda en intervalos de tiempo pequeños	31
3.3.1.4 El proceso de Medición.	34
3.3.1.5 Cálculo de las dimensiones del bloque.	37
3.3.2 El control del proceso de medición	38
3.3.3 Acondicionamiento de la señal e interfaz con la PC	40
3.3.3.1 Optoelectrónica del sistema	40
3.3.3.2 Circuito de control	41
3.3.3.3 Interfaz con la PC.	41
3.3.4 Materiales de la banda transportadora y su estructura	42
3.3.4.1 Material de la banda	42
3.3.4.2 Materiales de la estructura de soporte	43
3.3.5 Limitaciones del Sistema de Medición Electrónico	43
Capítulo 4 Características de calidad.	45
4.1 Calidad del diseño	45

4.2 Calidad de conformidad	45
4.3 Filosofía moderna de la calidad.	46
4.3.1 Satisfacción del cliente	46
4.3.2 Mejora continua.	47
4.4 Aseguramiento de la calidad en un proceso.	47
Conclusiones.	48
Apéndice A. Puerto paralelo de una PC.	50
A.1 Antecedentes.	50
A.1.1 Programación del puerto Paralelo.	50
A.1.2 Velocidad del puerto paralelo.	51
A.1.3 Alcance de la transmisión paralela.	52
Apéndice B. Análisis estadístico con Excel 97.	53
Apéndice C. Código del programa “Banda transportadora”.	54
Apéndice D. Diagramas del Sistema de Medición.	59
Apéndice E. Fotografías de la Banda transportadora.	62
Apéndice F. Circuitos Digitales y PLL.	64
F.1 Principios fundamentales de Circuitos Digitales.	64
F.1.1 Sistemas numéricos y equivalencias.	64
F.1.2 Representaciones octal y hexadecimal	65
F.1.3 Codificación BCD.	66
F.2 Compuertas Lógicas	67
F.3 Familias Lógicas	68
F.3.1 Parámetros comparativos	69

F.3.1.1 Señales Lógicas	69
F.3.1.2 Márgenes de ruido.	70
F.3.1.3 Cargabilidad de Salida (Fan Out).	71
F.3.1.4 Retardo de Propagación.	72
F.3.1.5 Potencia y tamaño.	72
F.3.2 Familias TTL, ECL y CMOS	72
F.4 Flíp-flops.	73
F.4.1 Sistemas síncrono y asíncrono.	74
F.4.2 El flip-flop RS.	74
F.4.3 El flip-flop D.	76
F.5 PLL.	77
Bibliografía.	78

Introducción.

La manufactura de productos, hoy día, se encuentra en gran parte automatizada. En la elaboración de casi cualquier cosa, intervienen sistemas automáticos, desde un refresco hasta un automóvil. Así mismo, las exigencias de un mercado global tan competido, están convirtiendo los procesos de producción en sistemas cada vez más cercanos a la perfección, esto gracias al control de calidad que se implanta en los mismos

En el departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería, se imparten varias asignaturas relacionadas con control de calidad. Alumnos de prácticamente todas las carreras que se imparten en la Facultad, pueden cursar materias relacionadas con el tema y muchos de ellos no han tenido contacto con procesos industriales modernos.

El objetivo de esta tesis, surge de la idea original de desarrollar un sistema que emule una pequeña parte de un proceso industrial, que tenga la capacidad de medir las tres dimensiones de pequeños bloques de madera (largo, ancho y alto), sin que el alumno toque la pieza al momento de medirla. Además, el sistema debe registrar los datos obtenidos durante las mediciones en una hoja de cálculo o una base de datos. Este, es un sistema de medición automático, cuyo objetivo principal, no es lograr buena exactitud ni precisión, ya que implica costos elevados, sino realizar prácticas de control de calidad, donde el alumno experimente algo similar a lo que sucede en un proceso industrial.

El problema, entonces, consiste en cómo crear un sistema que desarrolle esta tarea, siendo de bajo costo, fácil transportación, utilizando materiales adecuados, técnicas de medición simples; que redunden en una exactitud aceptable, procedimientos de operación sencillos y software comercial

El sistema consiste en una banda transportadora parecida a las que se utilizan en la industria. Las mediciones se efectúan con el auxilio de un LED infrarrojo y tres fotodiodos, el movimiento de la banda se logra con un motor de C.A , controlado con un TRIAC. Prescindiendo de un microcontrolador, se utiliza el puerto paralelo de la PC para transmitirle los estados de los fotodiodos. Se desarrolló un programa de cómputo en Visual Basic 6 para el control de las mediciones, que además es capaz de registrar los resultados de las mediciones en un archivo de Excel en tiempo real.

Capítulo 1. Sensores.

1.1 Conceptos Generales.

Los sensores son requeridos en muy diversos propósitos, desde procesos industriales de manufactura y automatizados en general, control de señalizaciones para tráfico vehicular y agricultura, hasta complicadas aplicaciones médicas. Un sensor aparece siempre como una parte fundamental de un instrumento de medición, y en términos más generales como parte de un sistema de medición. Donde se entiende por sistema la combinación de elementos o partes que en conjunto desempeñan una función o funciones determinadas. Y por medición, la asignación empírica y objetiva de un número a una propiedad o cualidad de un objeto o evento.

La selección de un sensor influye enormemente en la sensibilidad, precisión, exactitud y estabilidad de un instrumento de medición. Difícilmente, se logra un buen grado de independencia de las características del sensor, aun si se trata de sensores del mismo tipo; un ejemplo extremo de este caso, son los sensores de humedad, donde un cambio de sensor, en ocasiones, implica una modificación en el diseño del instrumento [4].

La información que puede proporcionar un sensor, generalmente es imperceptible para el ser humano, por lo cual debe procesarse y presentarse de otra forma. Los subsistemas indispensables en un proceso de medición son el sensor, el acondicionador de la señal, interfaz y/o conversión de datos y la presentación o interfaz con el usuario. En la figura 1.1 se presenta un diagrama de un sistema de medición general, y en la figura 1.2 un sistema de medición y control general.

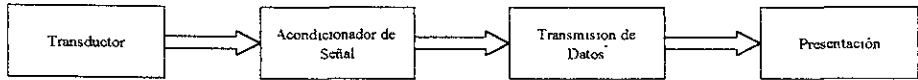


Fig 1.1 Sistema general de medición.

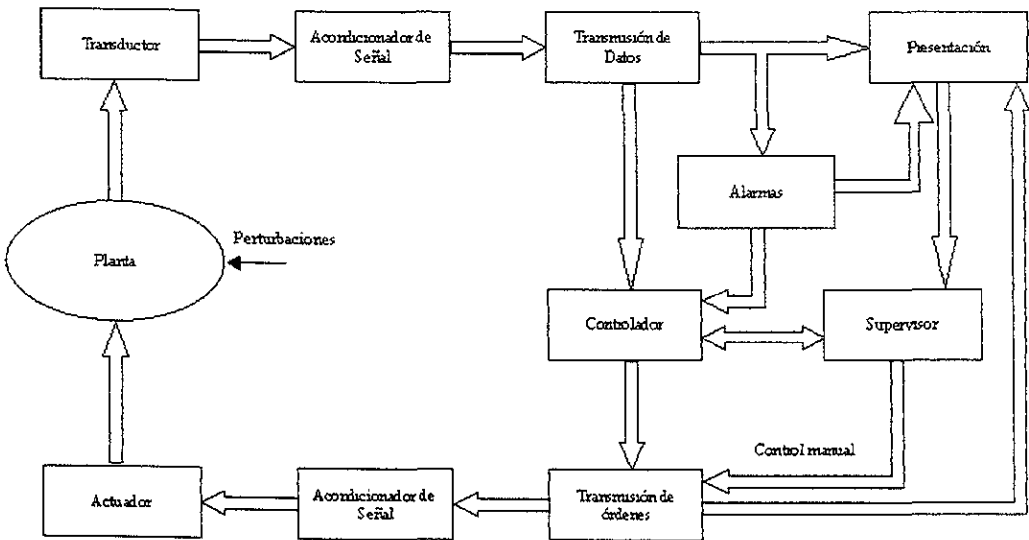


Fig. 1.2 Sistema general de medición y control

1.1.1 Transductores, Sensores, y Actuadores.

Existe una profunda relación entre un transductor, un sensor y un actuador, por lo cual se ha elegido presentarlos en este orden

Un transductor, es un dispositivo que realiza la conversión de señales de una forma física a otra. En otras palabras, es un convertidor de energía; esto implica, que la señal a medir debe tener energía y que, además, el transductor sustraerá energía de la señal medida. Siempre se busca que la

energía sustraída de la señal sea la mínima posible con el fin de no perturbar el sistema que se mide. Comúnmente, uno de los componentes de la señal medida, es mucho mayor que el otro y es el que se elige para efectuar la medición. Por ejemplo en la medición de fuerzas, medimos fuerza y consideramos desplazamientos muy pequeños, que no perturben el sistema medido.

En principio, cualquier dispositivo de medición, que realice una conversión entre dos tipos de energía es un transductor, sin embargo, en la práctica se reserva este término para los dispositivos de medición, que convierten algún tipo de energía a energía eléctrica.

Se le llama transductor de entrada, al que convierte cualquier tipo de energía a energía eléctrica y transductor de salida, al que convierte energía eléctrica a cualquier otro tipo de energía. El primero se utiliza para medir y el segundo para actuar sobre el sistema (en el caso de sistemas de control) o presentar información al operario del instrumento. Hoy en día, existe la tendencia de llamar sensor al transductor de entrada y actuador al de salida (excepto cuando se trata de presentación).

1.1.2 Acondicionamiento de la señal.

El acondicionamiento de la señal, se refiere a las modificaciones que requiere la señal eléctrica de salida de un sensor, para cubrir los requerimientos del dispositivo de presentación o registro de información.

Los circuitos que integran el subsistema de acondicionamiento de la señal, generalmente tienen las siguientes funciones. filtrado, amplificación, acoplamiento de impedancias, modulación y demodulación. Si el sistema debe transmitir datos, presentar en pantalla o registrar en forma digital, en este subsistema se incluirá un convertidor analógico a digital (ADC)

1.1.3 Transmisión de Datos.

La transmisión de datos, tiene lugar cuando la señal se encuentra en algún formato que facilita la discriminación de ruido e interferencia, especialmente cuando debe realizarse una transmisión remota.

1.1.4 Presentación.

La presentación del resultado de la medición, es una interfaz entre el instrumento y los sentidos del ser humano, generalmente la salida de esta presentación es óptica o acústica. Adicionalmente puede existir algún sistema de registro de datos, como disco duro, etc

1.2 Conversión y dominio de datos.

El dominio de datos se refiere a la propiedad física o característica de la señal que modificamos para convertirla en la portadora de información. Esto es muy importante porque describe el proceso fundamental de conversión de la información en un sistema de medición. En el dominio analógico, la información está en la amplitud de la señal, en el dominio del tiempo se encuentra en la frecuencia, el periodo o la fase de la señal; en el dominio digital se encuentra en un conjunto finito de valores y la información se transmite eligiendo a su vez otro dominio, como el analógico (modulación en amplitud), el de tiempo. modulación por pulsos, PCM (Pulse Code Modulated, por ancho de pulso PWM (Pulse Width Modulated), por frecuencia FSK (Frequency Shift Keying), etc. Esto indica que la modulación digital implica una doble codificación, puesto que

pasamos por dos dominios distintos. Cambiar del dominio digital al digital mismo implica otra codificación. En la figura 1.3, se encuentra un esquema de lo expuesto.

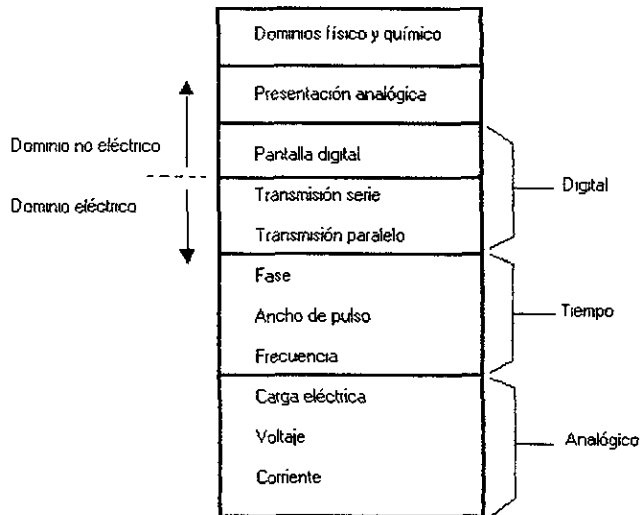


Fig. 1.3 Dominio de datos.

1.3 Clasificación de Sensores.

Existe un gran número de sensores para diferentes cantidades físicas. Y su clasificación puede ser desde muy diferentes puntos de vista, dependiendo de las características que nos interese estudiar. Un sensor que requiere alimentación, es llamado sensor modulador; en este caso la mayor parte de la energía de la señal de salida proviene de una fuente de poder. Su contrapartida es el sensor que no requiere alimentación y es llamado sensor generador.

Considerando la señal de salida, los sensores se clasifican en digitales y analógicos. Aquellos cuya salida es de frecuencia variable se les llama quasidigitales, ya que la conversión digital de su salida es muy sencilla.

Atendiendo al equilibrio del sensor durante la medición, podemos clasificarlo como sensor de desviación o sensor de tipo nulo. El sensor de desviación es aquel que durante la medición compensa y equilibra la cantidad medida saliéndose de equilibrio; por ejemplo un dinamómetro, consta de un resorte que se sale de equilibrio y ejerce una fuerza de igual magnitud y sentido contrario a la fuerza medida. Por otra parte el sensor de tipo nulo efectúa su medición en el punto de equilibrio, esto lo hace más lento, pero generalmente más exacto; un ejemplo de este tipo de sensor, es la balanza.

Considerando la relación entrada-salida del sensor, podemos clasificarlos en sensores de orden cero, de primer orden, de segundo, etc. Obedeciendo al número de elementos, dentro del sensor, que almacenen energía. Esto es particularmente importante en sistemas de control.

Sin embargo el criterio más utilizado en Electrónica, es clasificar los sensores de acuerdo a una de tres cantidades variables: resistencia, capacitancia e inductancia y después agregar los tipos de sensores generadores, como: generadores de corriente, de carga o voltaje. Esta clasificación, permite estudiar directamente, los acondicionadores de señal asociados.

1.4 Características estáticas de los sistemas de medición.

Debido a que, una gran parte del comportamiento de un sistema de medición, se debe a las características del sensor, es indispensable analizar su comportamiento. Cuando las cantidades a medir varían lentamente, es suficiente con estudiar las características estáticas de un sensor, pero si estas varían rápidamente, debemos atender las características dinámicas también.

1.4.1 Exactitud, Precisión y Sensibilidad.

La *exactitud* es la cualidad que indica la capacidad de un instrumento para proporcionar resultados cercanos al valor real de la cantidad medida

El valor real de la cantidad medida, se obtiene empleando un método ideal de medición, a su vez un método de medición se considera ideal, cuando los expertos acuerdan que éste es suficientemente exacto para las aplicaciones pretendidas. Para conocer el valor exacto en la salida de un sensor, es necesario obtener su curva de calibración, esto se logra con el método de calibración estático; que consiste en mantener constantes todas las entradas del sensor, excepto la que se estudia, que varía muy lentamente a la vez que se registran las salidas del sensor, formando la curva de calibración.

Precisión es la cualidad que indica la capacidad de un instrumento, para proporcionar la misma lectura, al medir repetidamente una cantidad bajo las mismas condiciones. En la precisión de un instrumento influye también la resolución de la presentación, en el caso de presentación digital, el número de dígitos significativos limita la precisión del instrumento, al igual que una presentación analógica está limitada por la gradación de la escala.

Sensibilidad es simplemente la derivada de la función que describe la curva de calibración (Ecuación 1.4)

$$S(a) = \left. \frac{dy}{dx} \right|_a$$

Ec 1.4 Sensibilidad

1.4.2 Error y otros conceptos.

Error es la desviación de la variable medida, respecto del valor real. Si el valor de la variable no cambia con el tiempo el error se llama *estático*. Si el valor de la variable cambia con el tiempo el error se llama *dinámico*. Obedeciendo a las causas de los errores de medición, podemos clasificarlos como *errores humanos*, *errores sistemáticos* y *errores aleatorios*. Los *errores humanos*, son aquellos que se deben a descuidos del operario del instrumento, ya sea al tomar lecturas, manipular el instrumento, etc. *Errores sistemáticos*, son aquellos inherentes al instrumento o sensor, generalmente debidos a defectos de fabricación, condiciones ambientales inadecuadas, etc. *Errores aleatorios* son aquellos cuyas causas son imposibles o muy difíciles de encontrar y no presentan ningún patrón de valores. Sólo en experimentos bien diseñados aparecen pocos errores aleatorios. En la práctica se utilizan métodos estadísticos para disminuir el efecto de este tipo de errores.

La *linealidad* de un sensor describe la aproximación de una recta a la curva de calibración. Tres principales características influyen en la linealidad de un instrumento: *resolución*, *umbral* e *histéresis*.

La *resolución* es el mínimo cambio en la señal de entrada para producir un cambio perceptible en la salida, cuando la entrada parte de cero, entonces se le llama *umbral*.

Histéresis, significa que dos valores de salida diferentes, corresponden a un mismo valor de entrada. Que se presente un valor de salida u otro, depende de que la entrada aumenta o disminuye su valor.

Capítulo 2. Introducción al Visual Basic 6¹.

2.1 Antecedentes.

El lenguaje de programación BASIC, por sus siglas en inglés Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code, ha sido ampliamente utilizado desde hace más de 35 años; muchos programadores lo han preferido por ser más fácil de aprender que otros lenguajes. Hoy día, este lenguaje se ha enriquecido con librerías que facilitan el trabajo de programación y que permiten trabajar en ambiente Windows, utilizando objetos gráficos. Un lenguaje de programación es, en términos simples, un grupo de comandos y argumentos de los mismos.

El precursor de Visual Basic, es decir el lenguaje BASIC, ha tenido muchas variantes y se han desarrollado tanto intérpretes como compiladores para él. Visual Basic utiliza las ventajas de ambas cosas; el programa se interpreta y ejecuta línea por línea cuando se encuentra en la fase de depuración y se compila una vez que está listo para instalarse en la máquina.

Visual Basic es considerado un lenguaje de alto nivel, ya que una instrucción representa varias instrucciones en lenguaje máquina. Es también otro paradigma de programación, donde los programas no se ejecutan de manera secuencial sino respondiendo a eventos generalmente aleatorios. Así mismo permite utilizar algunas características de la programación orientada a objetos.

Visual Basic es un lenguaje de programación visual, esto implica que pueden manipularse objetos gráficos de una forma muy simple, fundamentalmente la programación

¹ Visual Basic y Excel son marcas registradas de Microsoft Corporation

consiste en dos etapas; el diseño de la interfaz gráfica y la escritura del código de programa que indica como responderá la interfaz con las acciones del usuario.

2.1.1 Ambiente de programación.

El ambiente de programación consiste en todos los elementos que coadyuvan en la edición de un programa y simplifica muchas tareas, que podrían resultar tediosas para el programador; como completar sentencias repetidas, nombres de tipo de variable, objetos, etc. y otras.

El ambiente tiene varias ventanas con diversos propósitos. la ventana de objetos, de proyecto, de propiedades, de posición del formulario y de código. La ventana de objetos es aquella donde se diseña la interfaz gráfica con el usuario. La ventana de proyecto es donde se muestra el árbol jerárquico de componentes del programa, como objetos, subrutinas, carpetas de archivos, etc. La ventana de propiedades, muestra las características elegidas por el programador para cada elemento de la interfaz gráfica. En la ventana de posición del formulario, se controla la posición que tendrá el formulario en la pantalla cuando se ejecute el programa. El formulario, es el objeto gráfico donde se colocan todos los objetos y elementos que aparecen en la interfaz gráfica; una aplicación puede tener un formulario o varios, finalmente estos serán las ventanas que el usuario apreciará en la ejecución de la aplicación. En la ventana de código, se editan las instrucciones que se ejecutan de acuerdo al evento generado por el usuario o por el mismo programa, más de esto en la sección 2.1.3.

En la figura 2.1.1-1, se presenta el aspecto del ambiente de programación de Visual Basic, donde pueden observarse algunas de las ventanas mencionadas

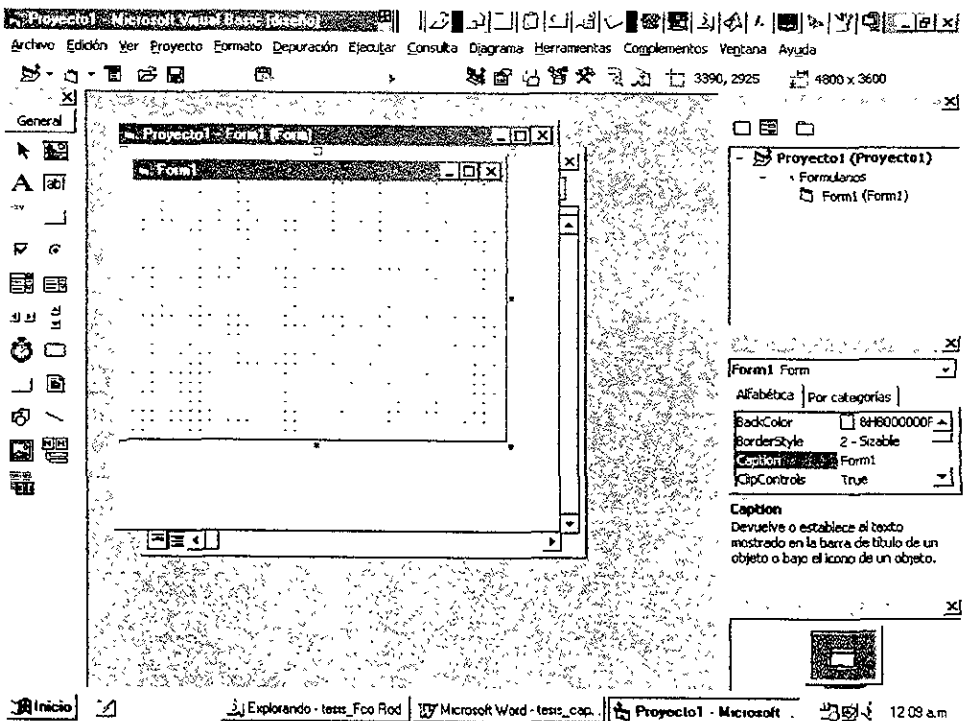


Fig. 2.1 1-1 Ambiente de programación de Visual Basic 6.

2.1.2 Los Controles.

Los elementos que permiten registrar acciones del usuario, desplegar información en la interfaz y realizar algunos otros procesos importantes al momento de ejecutar el programa, reciben el nombre de controles y se encuentran dentro de una caja de herramientas (toolbox), de donde pueden ser seleccionados las veces necesarias, para pegarlos en el formulario. Estos controles se clasifican en tres tipos: los intrínsecos, los controles ActiveX y los de inserción (insertable controls). Los controles intrínsecos son

aquellos que aparecen inicialmente en la caja de herramientas. Los controles ActiveX son controles que realizan tareas especiales y que deben agregarse a la caja de herramientas, expresamente para aplicarlos en un problema específico. Mientras que los controles de inserción son los que provienen de alguna otra aplicación como Excel y que una vez dentro de la caja de herramientas pueden utilizarse como cualquier otro. En la figura 2.1.2-1 se presenta la

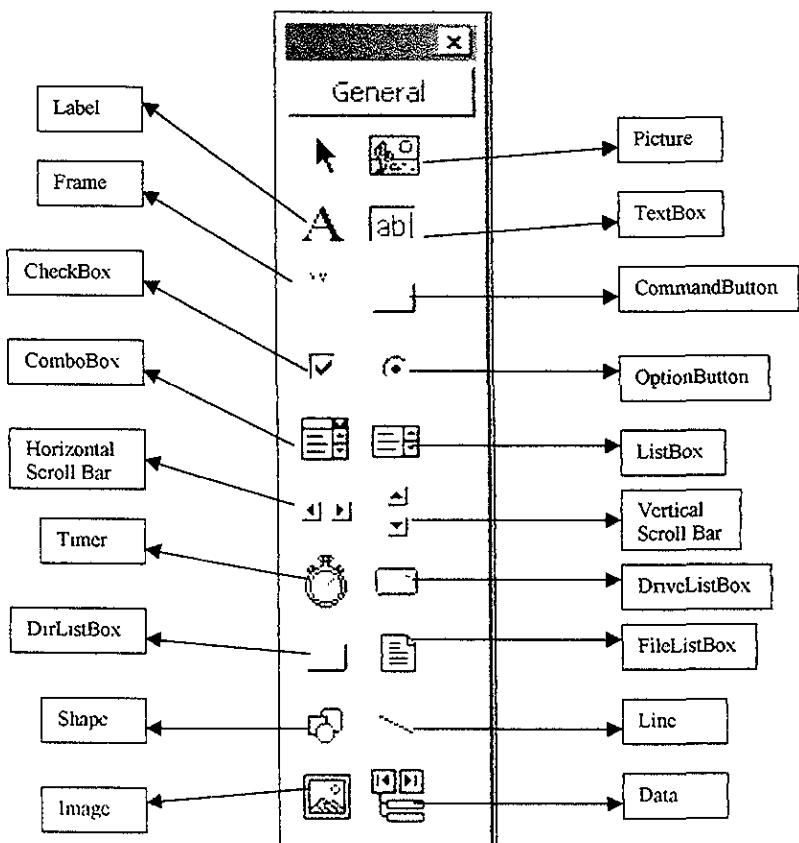


Fig. 2.1 2-1 Caja de herramientas (toolbox) con controles intrínsecos.

caja de herramientas con los controles intrínsecos, que son los más comúnmente usados y en la tabla 2.1 2-1 se expone una breve explicación de la función de cada control

Label	Despliega texto que no puede modificar el usuario directamente en tiempo de ejecución.
Frame	Recuadro que contiene uno o más controles. Al moverlo se mueve su contenido.
CheckBox	Pequeñas cajas donde el usuario elige opciones. pueden haber varias seleccionadas.
ComboBox	Lista desplegable donde el usuario puede seleccionar y sobre escribir.
Horizontal Scroll Bar	Barra de desplazamiento horizontal. Permite desplazarse horizontalmente
Timer	Temporizador. Puede activar rutinas a intervalos regulares con resolución de 1 ms.
DirListBox	Similar al ComboBox: permite seleccionar un directorio fácilmente
Shape	Forma geométrica: circunferencias, rectángulos y rectángulos con esquinas curvas.
Image	Formato de imagen que no permite modificar el tamaño de la misma.
Picture	Formato de imagen que permite modificar el tamaño de la misma.
TextBox	Cuadro de texto que permite el despliegue y edición de texto por el usuario en tiempo de ejecución.
CommandButton	Similar al comportamiento de un pushbutton real. Es el control más utilizado para registrar acciones del usuario. consideradas eventos que activan rutinas del programa.
OptionButton	Control de dos estados: en un grupo de ellos sólo uno permanece como opción selecta. Se comporta como una compuerta XOR mientras que el CheckBox se comporta como una OR
FileListBox	Similar a un ComboBox para seleccionar archivos exclusivamente, sin permitir edición del texto.
Line	Línea de dibujo.
Data	Control para recuperar información de una base de datos.

Tabla 2.1.2-1 Descripción de las funciones de los controles intrínsecos.

Algunos controles, tienen un aspecto diferente durante la edición del programa y durante el tiempo de ejecución. En la figura 2.1.2-2 se han insertado los controles disponibles en la caja de herramientas y aunque no se ha escrito código alguno para

responder a las acciones del usuario, se ejecuta el programa, ver figura 2 1 2-3, donde se aprecia la manipulación que puede ejercer el usuario sobre algunos controles.

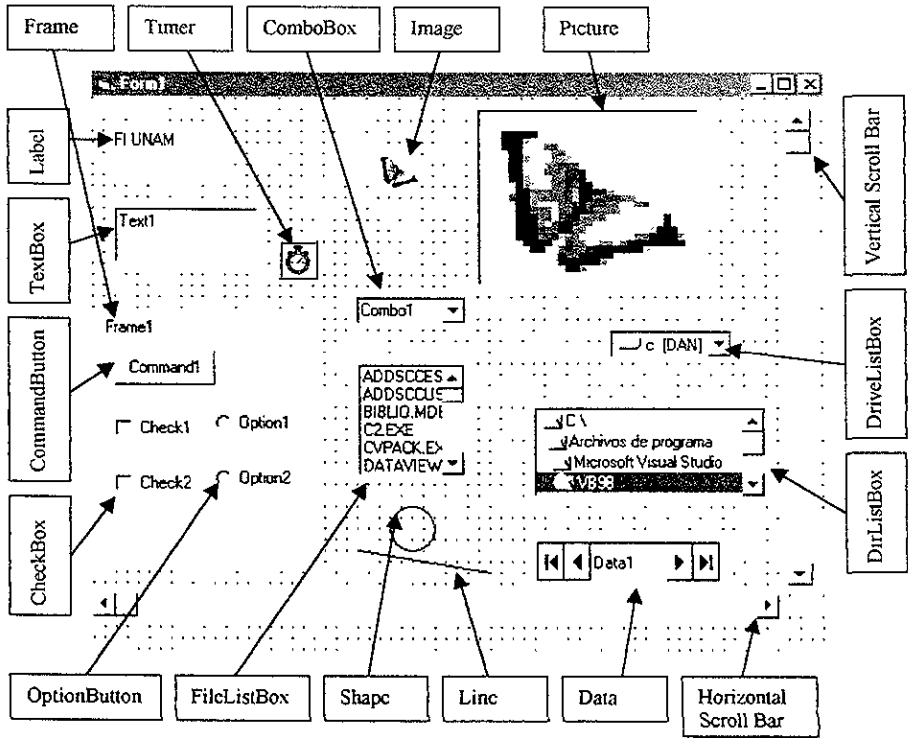


Fig 2 1.2-2 Controles en tiempo de programación

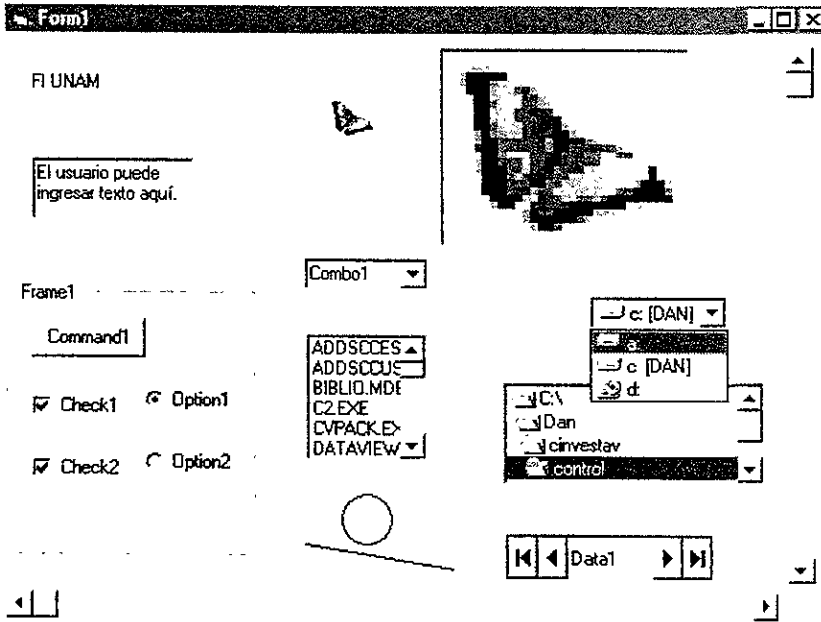


Fig. 2.1.2-3 Controles en tiempo de ejecución.

2.1.3 La ventana de código.

En la ventana de código, tiene lugar la edición de todas las instrucciones que el programador asigna a cada evento; un control generalmente responde a varios tipos de eventos, que pueden ser producidos por el usuario durante el tiempo de ejecución o por el mismo programa. Para ilustrar lo que es un evento, en la figura 2.1.3-1 se aprecia la lista de eventos que pueden ser activados en un CommandButton.

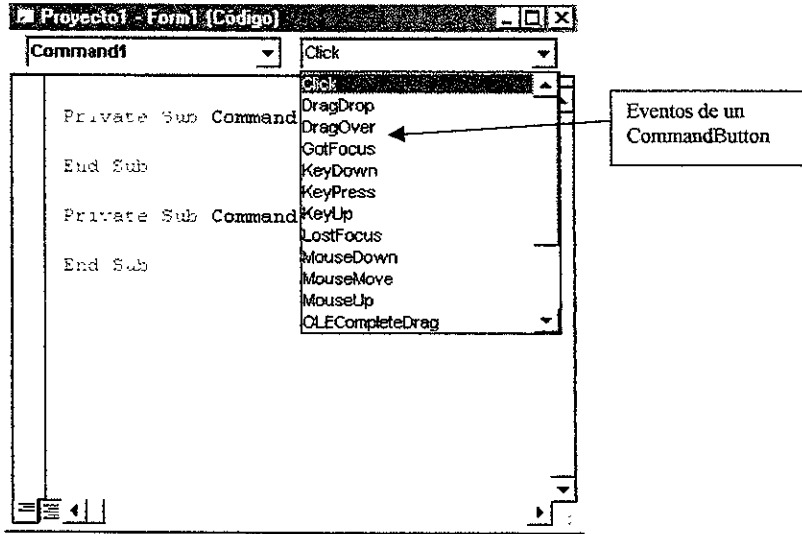


Fig 2.1.3-1 Ventana de código. Lista de eventos en un CommandButton.

Cuando se coloca un control en el formulario, automáticamente se produce un llamado a la subrutina que compone a ese control en la ventana de código; esta subrutina correrá en el tiempo de ejecución si se selecciona uno o más de los eventos que pueden activarla, durante la edición del programa. Dentro de estas subrutinas, puede escribirse una serie de instrucciones que serán ejecutadas cuando el evento active la subrutina, por esto se dice que los programas en Visual Basic, son controlados por eventos. La figura 2.1.3-2 presenta la ventana de código, donde se despliegan subrutinas de los controles mostrados en la figura 2.1.2-2

The screenshot shows a code editor window titled "Proyecto1 - Form1 (Código)". At the top, there are two dropdown menus: "Control" and "Change". The main area contains the following code:

```

End Sub

Private Sub Check1_Click()

End Sub

Private Sub Check2_Click()

End Sub

Private Sub Drive1_Change()

End Sub

Private Sub File1_Click()

End Sub

Private Sub Form_Load()

End Sub

Private Sub Frame1_DragDrop(Source As Control, X As Single, Y As Single)

End Sub

Private Sub HScroll1_Change()
    
```

Fig. 2.1.3-2 Ventana de código. Subrutinas de los controles.

En cualesquiera de estas subrutinas activadas por eventos, puede insertarse código que realice determinado proceso. La figura 2.1.3-3 presenta el código escrito para el control `CommandButton1`, el cual aumenta el tamaño del control `Picture1`, lo centra y desaparece los demás controles, este resultado se aprecia en la figura 2.1.3-4.

```

Project1 - Form1 [Código]
Command1 Click
Private Sub Command1_Click()
    Picture1.Height = Form1.Height / 2
    Picture1.Width = Form1.Width / 2
    Picture1.Top = Form1.Height / 5
    Picture1.Left = Form1.Width / 4
    Frame1.Visible = False
    Image1.Visible = False
    Text1.Visible = False
    Combo1.Visible = False
    Data1.Visible = False
    Check1.Visible = False
    Check2.Visible = False
    Option1.Visible = False
    Option2.Visible = False
    File1.Visible = False
    Dir1.Visible = False
    Drive1.Visible = False
    Line1.Visible = False
    Shape1.Visible = False
    Label1.Caption = "Mediante el código que se esc
End Sub

```

Fig. 2.1.3-3 Código en la subrutina del control CommandButton1

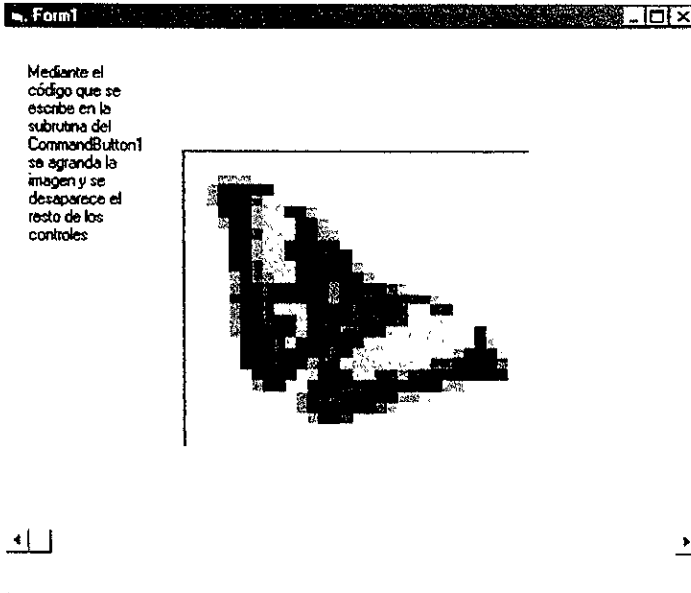


Fig. 2.1.3-4 La ejecución del código después de hacer click sobre el CommandButton1

2.2 Automatización de Excel con Visual Basic.

Los controles ActiveX de Visual Basic permiten realizar tareas utilizando los recursos de otras aplicaciones y si se prefiere, el usuario jamás se enteraría de este proceso. En Visual Basic, existe un tipo de variable objeto; con el cual pueden definirse aplicaciones como objetos, por lo tanto como variables y después manipular estas variables para activar o desactivar una aplicación como por ejemplo Excel. Otra enorme ventaja es que la versión de Excel 97 incluye una versión reducida de Visual Basic, de tal suerte que puede controlarse Excel desde Visual Basic a través de los controles ActiveX o programar una macro en Visual Basic desde Excel mismo; si la aplicación que se pretende desarrollar es pequeña conviene hacer lo último. En la figura 2.2-1 aparece una pantalla de Excel 97 y

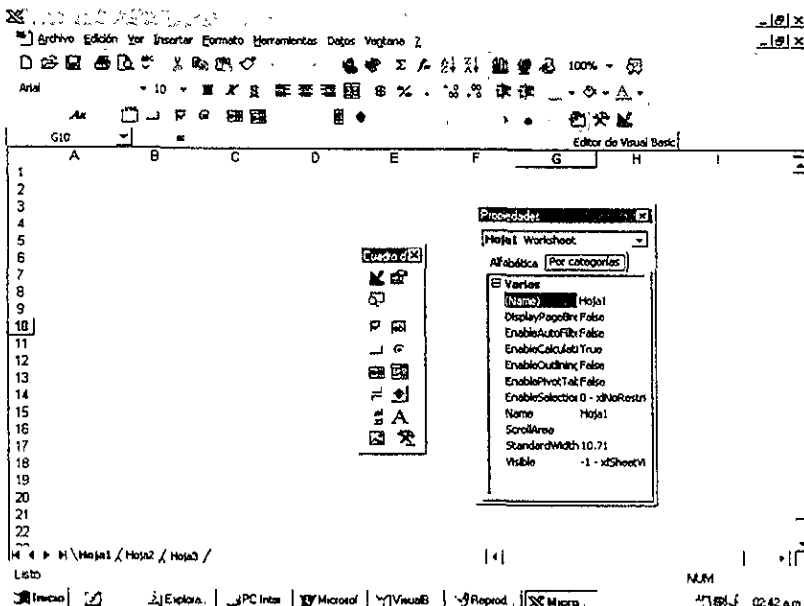


Fig 2 2-1 Ambiente de edición de Visual Basic en Excel.

parte del ambiente de edición de Visual Basic. El ambiente más completo se activa con el ícono de Visual Basic en la barra de herramientas de Excel.

Capítulo 3. Distribución de la banda transportadora.

Entre los diversos procesos comunes en la industria de manufactura automática, se encuentran con mucha frecuencia bandas transportadoras de productos, donde además es posible que se efectúen mediciones de alguna característica del producto

En el desarrollo de este proyecto de tesis se plantea, la necesidad de construir un “Sistema de Medición Electrónico”, que emplee una banda transportadora, guardando estrecha similitud con sus análogas industriales y que efectúe la medición de las tres dimensiones de pequeños bloques de madera. De tal suerte, que se realice en el laboratorio, una exhibición representativa de un proceso industrial a un bajo costo.

3.1 Objetivo de la banda transportadora.

La finalidad en el desarrollo de este proyecto, se concentra en sus características pedagógicas, en la experiencia que representa para el alumno que jamás ha visitado una industria, observar y controlar un sistema automático de medición. Y aunque es un sistema de medición, no se consideran como objetivos primordiales la exactitud y precisión de las medidas, no así en lo que a costos respecta, que constituye una fuerte limitación.

3.2 Análisis de necesidades y soluciones.

En el Sistema de Medición deben resaltar, la facilidad en el manejo y una constitución modular, que permita un fácil mantenimiento, así como la posibilidad de

modificaciones futuras que realicen personas ajenas al proyecto y con el mínimo de conocimientos técnicos.

La facilidad en el manejo de un sistema, generalmente requiere la extrema simplificación de su diseño, así como la utilización de técnicas y criterios del conocimiento público, logrando la familiaridad inmediata en su uso. Esto también es un aliciente para el mantenimiento.

3.2.1- Peso y tamaño adecuados.

El uso cotidiano del Sistema en el laboratorio, lo condiciona a ser de fácil transporte, a lo más, entre dos personas. Se toma en cuenta, que en un sistema de bajo costo es improbable obtener buena precisión y exactitud, por lo cual la relación entre la incertidumbre de la medida y el tamaño del bloque de madera, se incrementa conforme las dimensiones del bloque de madera disminuyen, llegando rápidamente a una incertidumbre demasiado elevada, en relación con las magnitudes del bloque de madera. El tamaño común de las mesas disponibles en un laboratorio, es también una limitación importante. Así mismo, se considera que el tamaño de los bloques de madera, debe permitir una cómoda manipulación del alumno, esto tiene una directa repercusión en el tamaño de la estructura de la banda y de la banda misma. Finalmente, el motor y los rodillos utilizados para mover la banda, el tamaño de la estructura y los materiales empleados, determinan el peso de la parte mecánica del sistema, misma que no debe sacrificar la característica de “fácil transporte”

3.2.2 El objeto a medir.

Los objetos a medir se conciben como bloques de madera (paralelepípedos),¹ sus dimensiones deben variar ligeramente de un bloque a otro intencional y arbitrariamente para permitir una observación interesante en el comportamiento estadístico de las mediciones. Aunado a esto, las dimensiones de los bloques permiten una manipulación cómoda por el alumno y se adecuan al espacio limitado por lo expuesto en la sección 3.2.1.

Debe disponerse de una cantidad adecuada de bloques de madera, para representar un proceso industrial donde, exagerando la incertidumbre en las dimensiones de las piezas, se defina un patrón de comportamiento que propicie la elaboración de prácticas de control estadístico del proceso, con fines didácticos. Estos bloques de madera, al final de la medición, podrán almacenarse para después retroalimentarse en el proceso de medición, donde el orden de colocación uno tras otro no sería el mismo

3.2.3 Control de medición y registro de resultados.

El control del movimiento de la banda y la coordinación y técnica de registro de las medidas efectuadas, son temas abiertos en la proposición de soluciones, sobre las bases de las necesidades planteadas en este proyecto de tesis. Bajo las limitaciones de un diseño “modular”, de bajo costo, fácil de utilizar y modificar, la dependencia costo–complicación es de sumo interés.

Puesto que el objetivo primordial de este proyecto, es obtener un sistema de medición automático, que permita realizar un análisis estadístico posterior a las mediciones; es indispensable tener un registro de datos confiable y fácil de transportar y manipular

Partiendo de esta condición, se aborda la disyuntiva de controlar mediante un sistema independiente de la computadora, como sería un microcontrolador o mediante la computadora. Sin embargo, la necesidad de disponer de datos fácilmente transferibles a otros sistemas de información, indica que se debe incluir una PC en el sistema, que a su vez otorga ventajas enormes en cuanto al procesamiento de datos se refiere.

Para registrar las mediciones efectuadas en la PC, debe existir una comunicación entre el sistema de medición de la banda transportadora y la PC, a través del puerto paralelo, serial o alguna tarjeta de propósito especial.

3.2.4 La técnica de medición.

El sistema de medición, tiene de antemano características condicionadas como la de incluir una banda transportadora y la de ser de bajo costo, que obligan a tomar ciertas consideraciones, como las tratadas en las secciones anteriores antes de siquiera considerar alguna técnica de medición.

Existen diversas técnicas para resolver el problema de medir las tres dimensiones de un bloque de madera, que van de lo muy simple: como medir con un flexómetro o un vernier, a lo muy complejo: como utilizar reconocimiento de imágenes mediante una cámara de vídeo, una computadora y software adecuado. Sin embargo, este sistema tiene una banda transportadora y al momento de realizar la medición el alumno no debe tocar la pieza, por otra parte los costos son un impedimento para incluir una cámara de vídeo en el sistema. Entonces, la solución está en un punto intermedio.

3.3 Solución propuesta.

Considerando las limitaciones impuestas al diseño de este sistema, se ha preferido partir de la elección de una técnica de medición, desde la cual se procede a establecer el resto de las características del sistema de medición

3.3.1 Medición con haz infrarrojo y fotodiodos.

Una solución muy económica y efectiva es el empleo de un LED infrarrojo como emisor y tres fotodiodos como receptores, tal como se aprecia en la figura 3 3.1-1 Cuando los bloques de madera se desplazan sobre la banda, interrumpen el haz de luz infrarroja, los fotodiodos detectan esa interrupción y si conocemos la velocidad de la banda, entonces es posible medir el tiempo de interrupción e inferir mediante algunos cálculos trigonométricos: largo, ancho y altura de los bloques. Se emplea un sistema rectangular de coordenadas, definido por dos planos perpendiculares. el plano horizontal, es la banda misma, que en la zona de medición se desliza sobre una plataforma de acrílico; el plano vertical se define con un ángulo de aluminio, donde se monta el LED infrarrojo Y frente al plano vertical, otro ángulo de aluminio, donde se montan los tres fotodiodos, cada uno interviniendo en la medición de una dimensión del bloque: f-largo (largo), f-ancho (ancho) y f-altura (altura), como se indica en la figura 3 3 1-1. (Véase también el apéndice E, fotografías E-1 y E-3).

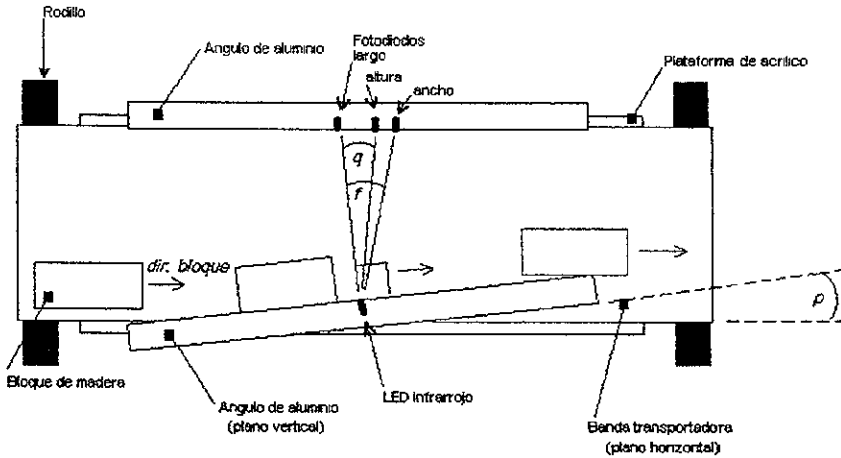


Fig 3.3.1-1 Vista superior del sistema de medición con LED infrarrojo y fotodiodos.

3.3.1.1 La trayectoria del bloque de madera.

La trayectoria que sigue el bloque de madera, es importante ya que el conocimiento de su orientación y trayectoria, simplifica la técnica de medición reduciéndola a un sencillo problema trigonométrico.

En este sistema de medición, se supone que los bloques de madera tienen una forma parecida a la de la figura 3.3.1.1-1 y que la incertidumbre en sus dimensiones, no provocará dudas sobre cuál es el ancho y el largo, de tal suerte que a simple vista se distingue lo definido como ancho y como largo. Respecto de la altura, no interesa si al momento de medir, tal cara del bloque era paralela a la banda y en una posterior medición, esa misma queda como cara lateral. Bajo estos supuestos, la colocación del bloque sobre la banda debe

ser tal que las caras laterales sean paralelas al plano vertical de referencia, para asegurar esto, se dispone el plano vertical (ángulo de aluminio) de tal forma que desvíe la trayectoria del bloque, asegurando que una cara lateral estará en contacto con éste, deslizándose continuamente durante la medición.

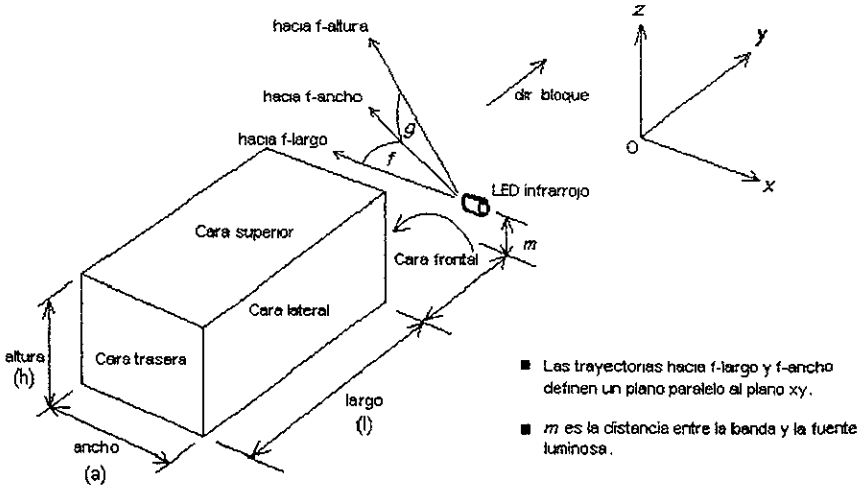


Fig. 3.3.1 1-1 Dimensiones del bloque y trayectorias del haz hacia los detectores.

3.3.1.2 Dinámica del bloque de madera.

Es fácil conseguir que la fricción de la banda sobre el bloque, sea lo suficientemente grande respecto de la fricción del aluminio sobre el bloque, para que el bloque avance sin problemas. Siendo así, la velocidad del bloque es la proyección de la velocidad de la banda sobre la dirección del bloque. En la figura 3.3.1 2-1, se muestra un diagrama de cuerpo libre

de las fuerzas que actúan sobre el bloque y se incluye una anotación de las velocidades que resultan

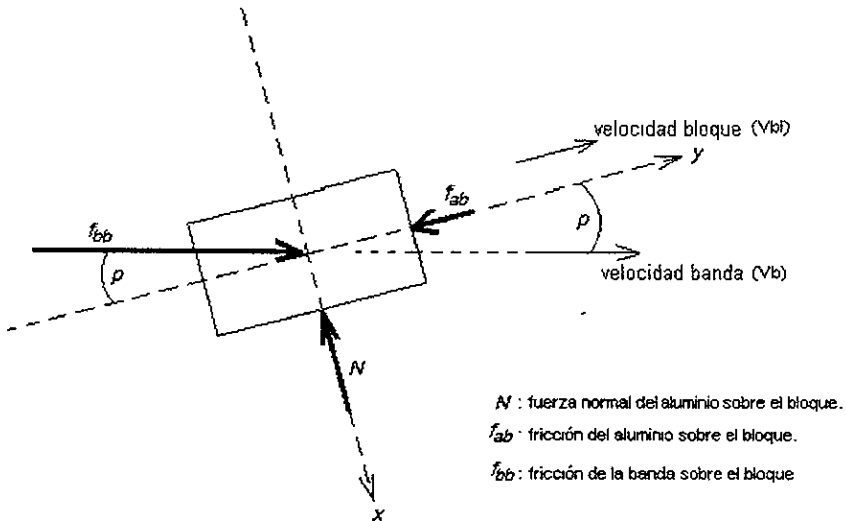


Fig. 3.3.1 2-1 Diagrama de cuerpo libre del bloque de madera.

Del diagrama de cuerpo libre se desprende que el bloque se mueve en el sentido positivo del eje y .

$$\begin{aligned} \sum f_y &= ma_y && \text{velocidad de la banda variable} \\ \sum f_y &= 0 && \text{velocidad de la banda constante} \\ \sum f_x &= 0 && \text{no hay movimiento en el eje } x \\ v_x &= 0 \end{aligned}$$

(Ec. 3.3 1.2-1)

$$\sum f_y = f_{bb} \cos p - f_{ab} \approx 0$$

considerando pequeñas variaciones en la velocidad de la banda

$$\sum f_x = f_{bb} \sin p - N = 0 \quad \text{sin movimiento en el eje x.}$$

(Ec 3.3.1.2-2)

se advierte además que

$$v_{bl} = v_b \cos p$$

(Ec. 3.3.1.2-3)

3.3.1.3 La velocidad promedio de la banda en intervalos de tiempo pequeños.

Se puede tener un conocimiento de la velocidad promedio de la banda, en intervalos de tiempo pequeños, gracias a un par *LED infrarrojo-fototransistor*, acoplado a uno de los rodillos, que produce pulsaciones por la reflexión o no del haz infrarrojo sobre la superficie del rodillo, (ver figura 3.3.1 3-1) Una sección pintada de negro en el rodillo, produce una interrupción en el haz infrarrojo. Entonces, la distancia entre transiciones de negro a plateado, es siempre la misma y se denota por D . El tiempo entre transiciones varía de acuerdo a la velocidad de la banda y se denota por

$$\Delta t = t_{k+1} - t_k$$

(Ec. 3.3.1.3-1)

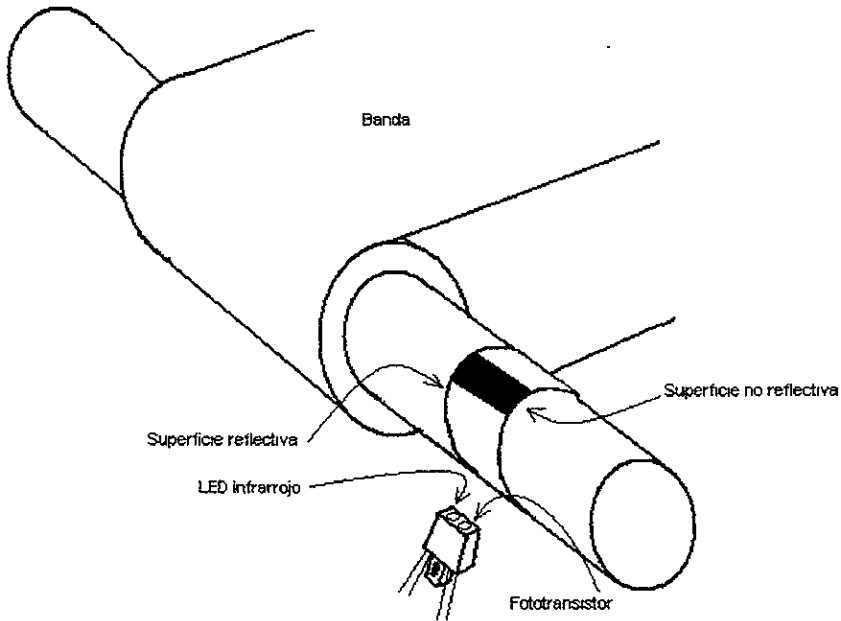


Fig 3.3.1.3-1. Par LED infrarrojo-fototransistor

Varias ventajas se desprenden de la medición de la velocidad promedio de la banda en pequeños intervalos de tiempo. Se han expuesto hasta este momento, dos tipos de interrupciones de haces infrarrojos: uno es el que produce el bloque en su trayectoria por la banda y el otro el que se produce en el par *LED infrarrojo y fototransistor* acoplado a uno de los rodillos.

Si se cuenta con un reloj de gran resolución y la velocidad de la banda es constante, midiendo el intervalo de tiempo que el bloque interrumpe el haz, se tendrá una medición precisa y con buena resolución. Sin embargo, considerando la velocidad de la banda constante, se corre mayor riesgo de tener errores en la medición debido a variaciones en la velocidad de la banda. La banda cuenta con un motor de inducción de 0.15 caballos de

fuerza, acoplado al rodillo a través de una transmisión de engranes y un juego de cadena y catalinas. Dado que el motor es de inducción su margen de variación en la velocidad es relativamente amplio, alrededor del 10% en este caso y aunque existe una transmisión reductora de la velocidad, esto genera mayor incertidumbre en la medida. Teniendo conocimiento de la velocidad promedio de la banda, se reduce incertidumbre en la medida; como por ejemplo la que podría generarse si la banda disminuyese su velocidad, después de una baja de voltaje en la alimentación del motor.

Así, pueden combinarse ambos tipos de interrupción de haces para obtener una medida más precisa, como sigue: considérese que un bloque se desplaza sobre la banda e interrumpe el haz infrarrojo en t_k , después en t_{k+1} el par *LED infrarrojo-fototransistor* tiene una interrupción y otra cuando la banda se ha desplazado 11.97cm en t_{k+1} , cuando el haz f-largo se restablece, se toma la velocidad promedio calculada hasta ese momento y se utiliza para calcular las tres dimensiones del bloque. El orden en que se restablecen los haces siempre será: f-largo, f-altura y f-ancho. En la figura 3.3.1.3-2, se detalla este proceso. Como se aprecia en la figura 3.3.1.3-2, D es el área bajo la curva en el intervalo t_k a t_{k+1} , es decir

$$D = \int_{t_k}^{t_{k+1}} v(t)dt = \int_{t_k}^{t_{k+1}} V dt$$

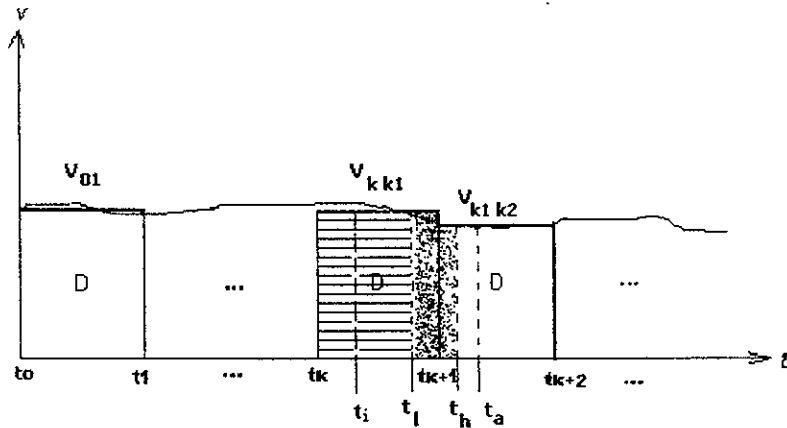
donde V es la velocidad promedio

(Ec. 3.3.1.3-1)

y la velocidad promedio es

$$V = \frac{D}{\Delta t}$$

(Ec. 3.3.1.3-2)



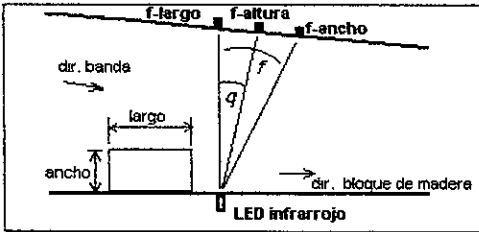
- En t_i el bloque interrumpe el haz.
- En intervalos como t_1 a t_2 y t_k a t_{k+1} se recorre la misma distancia D . Las interrupciones se deben al par LED-fototransistor.
- El haz se restablece en el siguiente orden: largo (t_l), altura (t_h) y ancho (t_a).

Fig. 3.3.1.3-2. Gráfica de las velocidades instantánea y promedio.

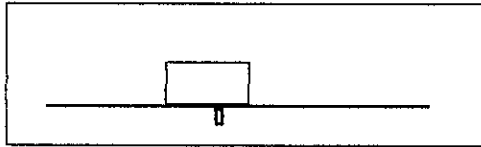
3.3.1.4 El proceso de Medición.

En detalle, el proceso de interrupción del haz, que detecta cada fotodiodo se expone de la siguiente manera: el alumno coloca el bloque de manera apropiada, en el principio de la banda, cuando el bloque avanza, con una cara lateral deslizándose sobre el plano vertical, llega el momento en que el bloque obstruye el haz detectado por los tres fotodiodos. La primera trayectoria en restablecerse, luego de la interrupción por el paso del bloque, es la

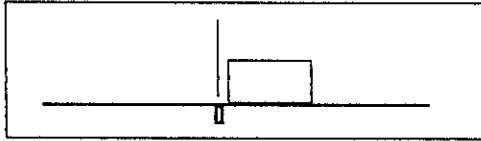
que definen el LED infrarrojo y f -largo como se muestra en la figura 3.3.1.4-1 (a), (b) y (c); posteriormente se restablece la trayectoria del haz hacia f -altura (ver figura 3.3.1.4-2) y por último hacia f -ancho (ver figura 3.3.1.4-1 (d), (e) y (f)). (Véase también, el apéndice E, fotografía E-3).



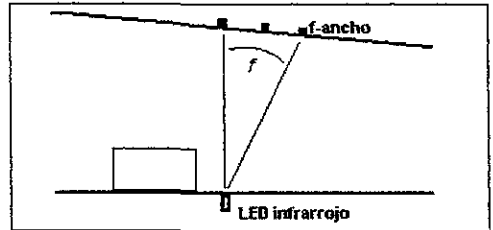
a) Se obliga al bloque seguir una trayectoria definida.



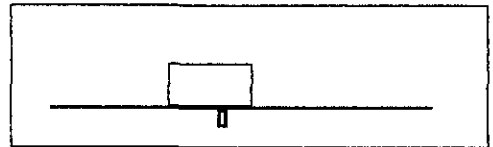
b) El bloque obstruye el haz de luz.



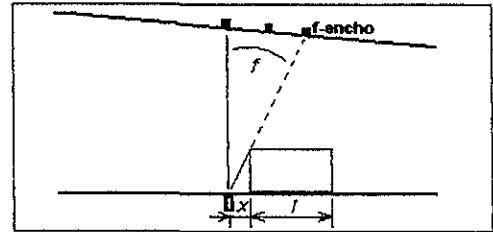
c) Enseguida f -largo detecta el haz de nuevo



d) El bloque se desplaza con velocidad conocida.



e) El bloque obstruye el haz de luz



f) f -ancho a punto de detectar el haz de nuevo.

En a), b) y c), f -largo detecta el haz.
En d), e) y f), f -ancho detecta el haz.

Fig. 3.3.1.4-1 El proceso de medición.

En la medición de la altura, interviene un cálculo más extenso que para las otras dimensiones del bloque, ya que intervienen dos ángulos que definen la dirección del haz hacia f-altura. Cuando el bloque obstruye el haz, se define una traza que corta el bloque a lo largo y se muestra en la figura 3.3 1.4-2 con línea punteada. (Véase también el apéndice E, fotografía E3).

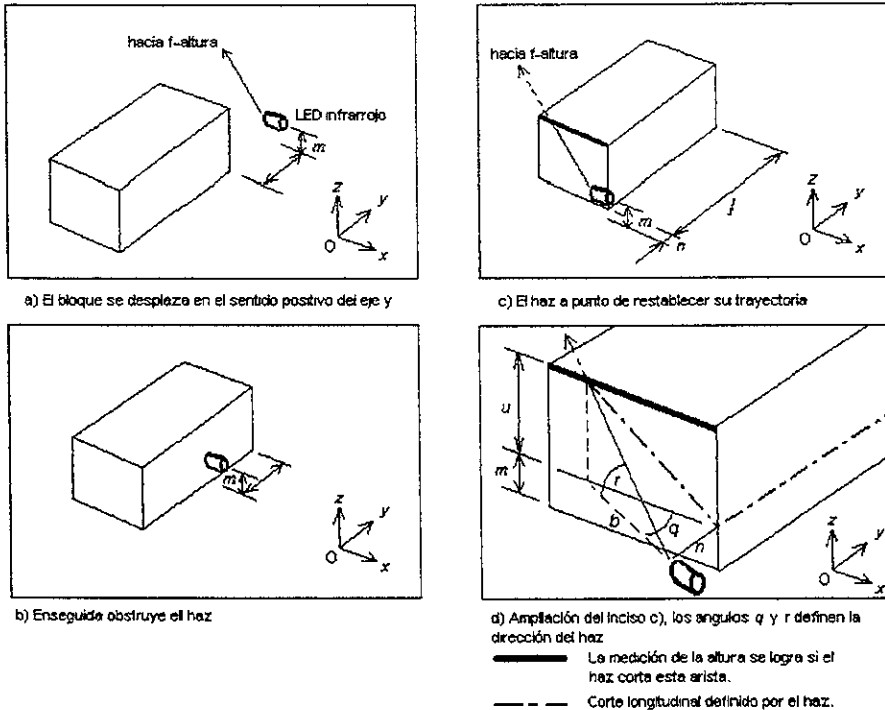


Fig 3 3 1 4-2 La medición de altura en detalle.

3.3.1.5 Cálculo de las dimensiones del bloque.

El cálculo del largo es como sigue

$$l = (t_l - t_i)V_{kk1} + k_l$$

donde $l \triangleq$ largo

$t_i \triangleq$ tiempo de restablecimiento de f-largo

$V_{kk1} \triangleq$ velocidad promedio

$k_l \triangleq$ constante de calibración

(Ec. 3.3.1.5-1)

y el cálculo de la altura

$$h = u + m + k_h$$

$$h = \frac{n}{\sin q} \tan r + m + k_h$$

$$n = (t_h - t_i)V_{kk1} - l$$

$$q = 10.5^\circ$$

$$r = 18.5^\circ$$

$$m = 2.93 \text{ cm}$$

$h \triangleq$ altura

$V_{kk1} \triangleq$ velocidad promedio

$t_h \triangleq$ tiempo de restablecimiento de f-altura

$k_h \triangleq$ constante de calibración

(Ec. 3.3.1.5-2)

finalmente el ancho es

$$a = \frac{x}{\tan f} + k_a$$

$$x = (t_a - t_i)V_{kk1} - l$$

$$f = 12.0^\circ$$

$a \triangleq$ ancho

$V_{kk1} \triangleq$ velocidad promedio

$t_a \triangleq$ tiempo de restablecimiento de f-ancho

$k_a \triangleq$ constante de calibración

(Ec. 3.3.1.5-3)

$$V_{kk1} = \frac{D}{t_{k+1} - t_k}$$

Donde V_{kk1} es la velocidad promedio en el intervalo $t_k < t < t_{k+1}$

$$t_k < t < t_{k+1}$$

$$D = 11.97 \text{ cm}$$

k_1, k_h y k_a , son constantes de calibración
ajustables a través del programa de control de la banda.

3.3.2 El control del proceso de medición.

Utilizar un microcontrolador para después comunicar los resultados a la PC, cuando se requiere un reloj con baja resolución sería una redundancia sin justificación. Y en esta tesis no sólo se requiere un reloj de baja resolución, debido a la baja velocidad de la banda (19.5 cm/seg), sino que no es necesaria una gran exactitud en el mismo, ya que la incertidumbre en la medida es objeto de estudio por parte de los alumnos. En la comunicación con la PC es indispensable utilizar el puerto paralelo, ya que las mediciones se realizan en tiempo real y este es el medio estándar de comunicación más rápido y difundido de la PC.

Las ecuaciones de las dimensiones del bloque, fácilmente pueden ser programadas en cualquier lenguaje de alto nivel Visual Basic ofrece una librería de controladores llamados ActiveX que permiten manipular Excel con gran facilidad. Es quizá, la amplia disposición de herramientas de software comercial, lo que hace más atractivo el control de la banda mediante PC.

El programa que se desarrolló en Visual Basic despliega una interfaz en pantalla, mostrada en la figura 3.3.2-1 Esta interfaz incluye un recuadro que cambia de color,

indicando el estado del sistema de medición Rojo cuando el sistema espera que el usuario encienda la banda o el sistema está procesando información y pide esperar Verde cuando el sistema está listo para efectuar mediciones. Y amarillo cuando el sistema está en calibración Utilizando un bloque patrón de madera, del cual se conocen las dimensiones, el sistema puede calibrarse para tener un mejor desempeño. El usuario “hace click” en el botón de calibración y el sistema pide colocar el bloque patrón, la medición resulta en el ajuste de las constantes de calibración de cada dimensión: *klargo*, *kancho* y *kaltura*.

La interfaz del programa llamado “Banda transportadora” aparece sobre una hoja de cálculo de Excel, donde se despliega el resultado de las mediciones efectuadas conforme estos se calculan.

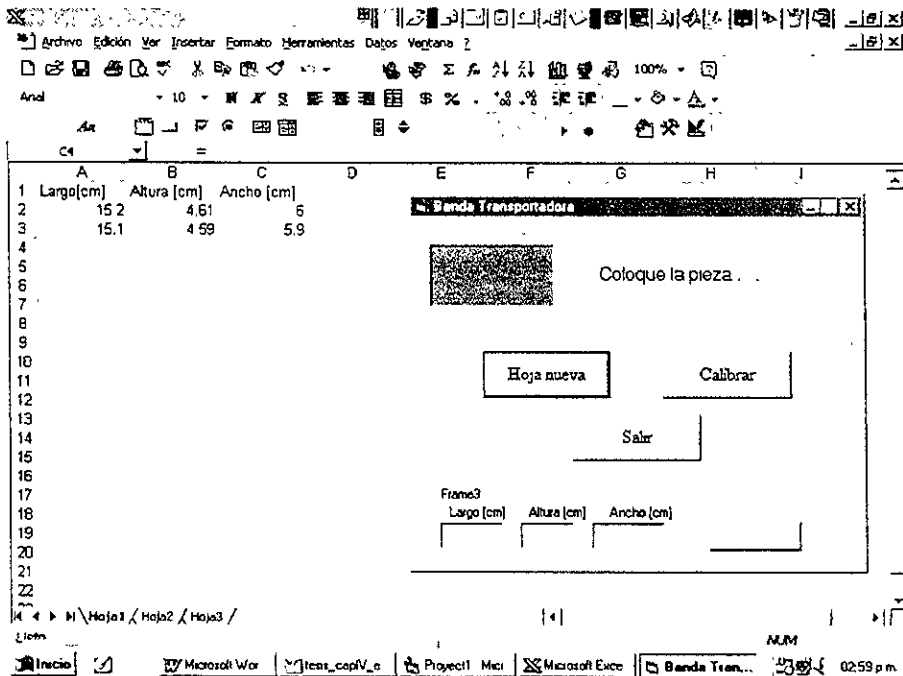


Fig. 3.3.2-1 Interfaz gráfica y despliegue de resultados en Excel

En el apéndice C se muestra el código del programa en Visual Basic 6

3.3.3 Acondicionamiento de la señal e interfaz con la PC.

La técnica de medición empleada requiere el uso de un *LED infrarrojo*, tres *fotodiodos* y un *par LED infrarrojo-fototransistor*. La señal que emite el *LED infrarrojo* y que detectan los *fotodiodos* debe modularse y demodularse respectivamente, para reducir los efectos nocivos del ruido que ciertas fuentes luminosas con potencia en el espectro infrarrojo, pudiesen emitir y afectar el buen funcionamiento del sistema. Así mismo, las señales resultantes de la demodulación, deben acondicionarse para transmitir las a la PC vía el puerto paralelo. Por último se incluye un circuito para el control del motor de la banda. Para distinguir estas etapas se le llama *optoelectrónica del sistema* a la parte relacionada con el acondicionamiento de señales para los dispositivos ópticos; *interfaz con la PC*, a la etapa de acondicionamiento y transmisión de señales a la PC y *circuito de control* al que se encarga del encendido y apagado del motor. Los circuitos son alimentados por una fuente doble de $\pm 5V$ basada en un puente rectificador, un regulador 7805 y un 7905. Las etapas del sistema se describen en este capítulo y los diagramas respectivos se incluyen en el apéndice D.

3.3.3.1 Optoelectrónica del sistema.

Se ha empleado un circuito oscilador *astable* basado en el CI 555 que oscila a 50kHz y alimenta un *LED infrarrojo* capaz de soportar corrientes de 60 mA. El haz infrarrojo modulado a 50 kHz, es detectado en el otro extremo de la banda por tres *fotodiodos*, a partir de este punto el circuito es el mismo para las tres dimensiones a medir.

largo, ancho y altura; se describe indistintamente. El fotodiodo se polariza en inversa y al detectar luz infrarroja, su impedancia disminuye bruscamente, acoplado a un comparador con ajuste de offset, es posible obtener una señal cuadrada de 50 kHz; esta señal lleva al corte o saturación a un transistor NPN BC547, que transforma la señal cuadrada a una señal de pulsos lógicos, que va de cero a cinco volts. Este tren de pulsos sirve de entrada a un PLL 4046 que encadena en 50kHz. En la entrada del VCO del PLL se obtiene (en lógica positiva) un uno lógico si el haz es detectado y un cero lógico si el haz es bloqueado.

3.3.3.2 Circuito de control.

Para mover la banda se utiliza un motor de AC con reducción de engranes; para su control de encendido, se emplea un interruptor normalmente cerrado, que dispara un circuito *monostable* basado en el CI 74123 con un retardo de 0.2 segundos, éste a su vez controla el disparo de un flip-flop D, en configuración de divisor entre dos o conmutador (toggle); la salida Q del flip-flop alimenta la entrada de un optoacoplador MOC3011, cuya función es disparar un triac MAC18 que se encuentra en el circuito de CA, del motor de la banda.

3.3.3.3 Interfaz con la PC.

El acoplamiento del sistema con el puerto paralelo se simplifica porque en este caso sólo hay señales que van del sistema de medición hacia la computadora y no al revés. En este caso son cinco señales las que se transmiten a la PC: las señales de las tres dimensiones, la señal del par LED-fototransistor y la señal de parar banda. Por lo tanto el

registro de estado (status register) es suficiente para la comunicación con la PC, con la ventaja de que sus líneas en el puerto son unidireccionales y no es indispensable el uso de circuitos de colector abierto en la interfaz. En el apéndice A se muestra una tabla donde se indica el uso del registro de estado y los pines correspondientes en un conector estándar de 25 pines. (Véase en el apéndice E, fotografías E-2 y E-4, una muestra de los circuitos reales).

3.3.4 Materiales de la banda transportadora y su estructura.

La posibilidad de contar con una estructura para la banda transportadora, fabricada por una empresa especializada, sale del presupuesto contemplado en este proyecto, así que la estructura se construye con materiales menos costosos como un prototipo. El motor, los rodillos y demás aditamentos necesarios en la construcción, se eligen de acuerdo a las limitaciones de espacio y peso disponibles.

Elegir un material para tal o cual parte del sistema, significa, decidir la forma en que se construirá prácticamente cada detalle del mismo. Los puntos que se describen a continuación toman en cuenta y explican brevemente tales decisiones.

3.3.4.1 Material de la banda.

Las características de una banda industrial son muy diversas dependiendo de su uso, existen bandas metálicas, de hule, de PVC y de otros materiales. En este sistema de medición, requerimos de una banda muy flexible cuya deformación no represente un gran esfuerzo y el motor no requiera una torca grande al mover los rodillos. El desgaste sufrido

entre la banda y el acrílico debe ser mínimo y ambos materiales deben soportar altas temperaturas para prevenir que la fricción pueda dañarlos. La recomendación del fabricante bajo estas necesidades fue la de una banda de PVC de 3mm de espesor.

3.3.4.2 Materiales de la estructura de soporte.

Las opciones de materiales para construir la estructura de soporte son muchas, la más utilizada en la industria es el acero inoxidable. Puesto que no se persigue exactitud ni precisión que requiera de una estructura sumamente rígida, por sugerencias de los técnicos que laboran en el CDM (Centro de Diseño y Manufactura) de la Facultad de Ingeniería, se intentó emplear madera en la construcción de la estructura. Trabajar en madera fue, quizá, lo más adecuado, es económica, ligera, fácil de cortar, manipular y barnizada tiene una excelente presentación. Utilizando escuadras de latón y tornillos de acero inoxidable se logró una rigidez aceptable, elementos que además permiten armar y desarmar la estructura en sólo un momento, con dos llaves españolas y un destornillador.

Sobre la estructura de madera se montaron dos láminas de acrílico de $\frac{1}{4}$ " , una con el fin de montar el motor que moverá la banda y la otra que sirve de soporte para la banda y los objetos sobre ella. En el apéndice E se muestran varias fotografías de la banda transportadora, construida bajo los criterios tratados en este capítulo

3.3.5 Limitaciones del Sistema de Medición Electrónico.

El error de medición, principalmente debido a la inestabilidad bajo la que opera el ambiente Windows, que se traduce en un error de cálculo más que de medición, resulta en

una incertidumbre de ± 1.5 mm. Los bloques de madera son de 4.5 cm de altura, 6 cm de ancho y 15 cm de largo, con tolerancias hasta de ± 2 mm. Los límites del Sistema de Medición, por la disposición de los haces son como se muestran en la tabla 3.3 5-1.

Dimensión	Mínimo [cm]	Máximo [cm]
Largo	8	18
Ancho	3.5	6.5
Altura	3.5	6

Tabla 3.3.5-1 Límites de medición.

Capítulo 4 Características de calidad.

Cuando se habla de calidad inherentemente se habla de estadística. De esta forma al definir calidad se aclara su relación con la estadística. La calidad en un bien o un servicio es un cumplimiento cabal de las expectativas de su uso y que depende de dos aspectos: el diseño del producto y la conformidad con el diseño ideal.

4.1 Calidad del diseño.

La calidad del diseño del producto, tiene que ver con una selección apropiada de características que satisfacen un conjunto de necesidades a un precio razonable; donde el entendimiento de las necesidades es crucial. De esta forma un restaurante de comida rápida y otro de etiqueta, pueden ser igualmente servicios de calidad, si cumplen con las necesidades del mercado al que se dirigen.

4.2 Calidad de conformidad.

La calidad de conformidad de un producto o servicio, es la similitud que guarda el concepto ideal de tal servicio o producto, tal como fue pensado, respecto de cómo es el servicio o producto en la realidad. En esta característica de la calidad es donde intervienen variaciones e inexactitudes. Bajo criterios establecidos para cada caso, se considera que aquellos servicios y productos que se desvían poco del diseño son de calidad y los que se desvían mucho, no lo son. Y es aquí donde interviene la estadística, en recolección de

información, descripción de datos y gráficas de resultados o inferencias basadas en los datos recolectados.

4.3 Filosofía moderna de la calidad.

El enfoque moderno de la calidad se concentra más en el proceso de producción que en el producto mismo. La razón es que se considera más efectivo el camino de mejorar el proceso donde se producen los errores, que verificar que los productos que resultan del proceso, cumplan con los requisitos de calidad. Cuando se tiene un proceso de calidad, el resultado deben ser productos de calidad. Sin embargo la inspección de los productos finales sigue siendo necesaria.

4.3.1 Satisfacción del cliente.

Una consecuencia muy importante de la calidad de un producto debe ser la completa satisfacción del cliente. Hoy día, las compañías prestan especial atención a las necesidades de sus consumidores, enfocándose a satisfacerles mejor. Pero se ha llegado todavía más lejos, al considerar a los integrantes de una cadena de producción como proveedores y clientes, de tal forma que cada trabajador debe realizar su labor con calidad, tomando en cuenta que el siguiente trabajador es el cliente a quien debe satisfacer.

4.3.2 Mejora continua.

Otro punto importante de la filosofía moderna de la calidad, es la mejora continua. Esencialmente consiste en la suposición de que cualquier proceso actual que resulte ser eficiente y se considere aceptable, en el futuro será obsoleto, puesto que todas las técnicas evolucionan o deberían hacerlo. La competencia creciente por los mercados entre las compañías, hace que la mejora continua sea indispensable para cualquiera que desee permanecer en el gusto de los consumidores.

4.4 Aseguramiento de la calidad en un proceso.

La calidad de conformidad con el diseño de un proceso no es algo que surja por sí sola, de hecho existe una gran cantidad de técnicas para asegurar que un proceso sea de calidad. Un primer paso para el aseguramiento de la calidad, es comprender muy bien cómo es el proceso ideal de que se trata.

Conclusiones.

Uno de los primeros y principales puntos a definir fue la forma y características de los objetos a medir. Cuando se concibieron como paralelepípedos de madera y se definieron a *grosso modo* los rangos de sus dimensiones, se dedujeron las características de la banda, la estructura que la soporta, el procedimiento de medición, el procesamiento de la información y la interfaz con la PC. Empero, este no es un proceso inmediato, es más bien una espiral donde repasamos cada punto varias veces; donde al cambiar un aspecto el proyecto mismo puede cambiar radicalmente. La experiencia demuestra que tampoco es un proceso tan ordenado como se esperaría, ya que influyen la intuición y la creatividad; cosas impredecibles del ser humano, de manera que es común que el orden aquí indicado, en ocasiones, sea más bien al revés.

Los requerimientos de utilizar software comercial y la calidad pedagógica del proyecto de tesis, donde era necesario emular un proceso industrial con el fin de realizar prácticas de control estadístico del proceso, hacen deseable que las mediciones tengan incertidumbres, que no podrían permitirse en un proceso industrial real; es decir que se exalta el objeto de estudio. Sin embargo la inestabilidad del ambiente Windows y la inexactitud del control *timer* de Visual Basic 6, obligaron a complicar el programa más de lo esperado, obteniendo una gran inestabilidad en el error de medición, ya que el reloj con que se cuenta varía demasiado su exactitud. La ventaja de programar en Visual Basic 6 y manipular con gran facilidad Excel se redujo con la desventaja de no disponer de una función de tiempo confiable. La conclusión respecto de esto, es que el microcontrolador sigue siendo innecesario pero la programación debiera hacerse en cualquier lenguaje cuyo

programa objeto pueda ejecutarse en DOS o en algún tipo de UNIX como Linux. Lenguajes como C, C++ y ADA harían un excelente papel

El sistema sigue siendo objeto de posibles modificaciones para mejorarlo o extender sus alcances, hasta la conclusión de esta tesis el trabajo logrado cumple cabalmente con los fines perseguidos.

Apéndice A. Puerto paralelo de una PC.

A.1 Antecedentes.

La mayoría de las computadoras personales compatibles con IBM, poseen un puerto de comunicación paralela. Originalmente la función del puerto paralelo fue la de proveer una interfaz con la impresora; pero con el tiempo se fueron encontrando múltiples aplicaciones con él: control, adquisición de datos, comunicación, etc. La ventaja de todas estas aplicaciones, es que el puerto paralelo generalmente viene incluido en la PC y cuando se tiene alguna aplicación especial, no es necesario construir una tarjeta que requiera instalarse dentro de la PC, de esta forma se instala casi cualquier cosa sin abrir la máquina.

A.1.1 Programación del puerto Paralelo.

El sistema operativo MS-DOS se refiere al puerto paralelo como LPT1, por las siglas en inglés de Line PrinTer 1, LPT2 y LPT3 para puertos adicionales. En la parte trasera de la PC, se localiza el conector macho de 25 pines del tipo D-shell. Cada puerto paralelo (en el caso de tener varios) tiene una de tres posibles direcciones 3BCh, 378h o 278h. Es posible cambiar las direcciones mencionadas de los puertos, cambiando un *jumper* o modificando el programa de configuración (*setup*). Algunos puertos, permiten sólo una o dos direcciones de las tres y unos cuantos permiten cualquier dirección fuera de las mencionadas. El BIOS (*Basic Input Output Set*) verifica la existencia de un puerto escribiendo un número en el puerto y después leyéndolo, si el número escrito y leído

coinciden se considera puerto válido. La rutina del BIOS guarda las direcciones de los puertos en una tabla que va de la dirección 40:8 a la 40:F, comenzando con LPT1.

Es posible controlar el puerto paralelo con interrupciones de hardware o con funciones del DOS o del BIOS. Sin embargo, para tener acceso a todas las líneas del puerto, es preferible leer o escribir directamente en los registros que envían y reciben datos del puerto. El puerto paralelo, tiene ocho líneas de salida, 5 de entrada y 4 bidireccionales que se distribuyen en tres registros. *data register*, *status register* y *control register*. En la tabla A.1.1-1 se muestra el orden y correspondencia entre las líneas y los registros del puerto paralelo, así como la forma en que se utilizaron en esta tesis.

Varios lenguajes de programación poseen funciones para leer algún registro del puerto paralelo o escribir en él. Aunque Visual Basic 6 no incluye estas funciones, se pueden encontrar varias versiones de estas funciones para Visual Basic gratuitamente en Internet

A.1.2 Velocidad del puerto paralelo.

La velocidad de transmisión de datos a través del puerto depende del lenguaje de programación utilizado, del programa mismo y de la máquina, incluyendo por supuesto los dispositivos que constituyan el puerto, en términos muy generales es posible lograr velocidades de entre 40 a 80 kbytes/seg, un nuevo estándar de IEEE utilizado en PC's, el 1284 es capaz de transferir datos a razón de 1 Mbyte/seg En el sistema de medición, los requerimientos en velocidad de transferencia de datos en el puerto, están muy por debajo de su capacidad, porque básicamente en el sistema de medición, sólo existen señales que se interrumpen y restablecen con frecuencias comparativamente mucho menores

PIN	SEÑAL EN LA IMPRESORA	FUNCIÓN	SEÑAL EN EL SISTEMA DE MEDICIÓN	E/S	REGISTRO	BIT DEL REGISTRO	INVERTIDO EN EL REGISTRO
1	-STB	Strobe D0 -D7		E/S	Control	0	S
2	D0	Data Bit 0		S*	Data	0	N
3	D1	Data Bit 1		S*	Data	1	N
4	D2	Data Bit 2		S*	Data	2	N
5	D3	Data Bit 3		S*	Data	3	N
6	D4	Data Bit 4		S*	Data	4	N
7	D5	Data Bit 5		S*	Data	5	N
8	D6	Data Bit 6		S*	Data	6	N
9	D7	Data Bit 7		S*	Data	7	N
10	-ACK	Acknowledge	Altura	E	Status	6	N
11	BSY	Printer Busy	Ancho	E	Status	7	S
12	PE	Paper End	Largo	E	Status	5	N
13	SEL	Printer Selected	Velocidad	E	Status	4	N
14	-AUTOLF	Automatic Line		E/S	Control	1	S
15	-ERR	Error	Parar	E	Status	3	N
16	-INIT	Initialize Printer		E/S	Control	2	N
17	-SELIN	Select Printer		E/S	Control	3	S
18-25	GND	Ground		E			N

Tabla A.1.1-1
 Disposición de las líneas del puerto paralelo en el conector de 25 pines y su correspondiente aplicación en el Sistema de Medición

* En algunos puertos es bidireccional.

A.1.3 Alcance de la transmisión paralela.

Al puerto paralelo se conectan comúnmente cables de alrededor de 5 m de longitud o menos, debido a la interferencia que se produce entre líneas adyacentes y el ruido generado a lo largo de los conductores

Apéndice B. Análisis estadístico con Excel 97¹.

Excel 97 incluye una herramienta para análisis de datos estadísticos, que puede emplearse con gran facilidad cuando los datos están ordenados por columnas, como es el caso del despliegue de los resultados del sistema de medición desarrollado en esta tesis.

Para utilizar la herramienta de análisis estadístico debe asegurarse que se ha instalado el programa con la opción completa, de otra forma es necesario correr de nuevo el programa de instalación.

Una vez que el componente está instalado, debe hacerse “clic” en el menú herramientas, seleccionar Complementos y activar herramientas para análisis. Los datos deben estar ordenados por renglones o columnas, también se deberá especificar el lugar donde se requieren los resultados del análisis. La figura A-1 muestra un ejemplo basado en datos obtenidos con el sistema de medición.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Largo[cm]	Altura [cm]	Ancho [cm]		Análisis largo		
2	15.21	4.61	6.12		Columna1		
3	15.17	4.59	5.98				
4	15.11	4.61	5.91		Media	15.11785714	
5	15.15	4.58	5.89		Error típico	0.050819424	
6	15.12	4.51	5.81		Mediana	15.135	
7	15.61	4.48	5.95		Moda	15.21	
8	14.86	4.49	6.01		Desviación estándar	0.190148872	
9	15.05	4.51	6.11		Varianza de la muestra	0.036156593	
10	15.24	4.48	6.06		Curtosis	2.571967476	
11	15.16	4.59	5.91		Coefficiente de asimetría	1.058272059	
12	14.95	4.52	5.84		Rango	0.75	
13	14.92	4.47	5.82		Mínimo	14.86	
14	14.89	4.39	5.87		Máximo	15.61	
15	15.21	4.41	6.04		Suma	211.65	
16					Cuenta	14	
17					Mayor (1)	15.61	
18					Menor(1)	14.86	
19					Nivel de confianza(95.0%)	0.109788669	
20							
21							

Fig. A-1 Análisis estadístico de las mediciones del largo.

¹ Excel 97 es marca registrada de Microsoft Corporation

Apéndice C. Código del programa “Banda transportadora”.

Option Explicit

```
Dim Puert As Integer
Dim StatusRegister As Integer
Dim StatusRegisterInput As Integer
Dim NumLecturas As Byte
Dim obExcelApp As Object
Dim obWorkSheet As Object
Dim blnRunning, Calibracion As Boolean
Dim renglon As Long
```

```
Dim BitLargoNuevo, BitLargoAnterior As Byte
Dim BitAnchoNuevo, BitAnchoAnterior As Byte
Dim BitAlturaNuevo, BitAlturaAnterior As Byte
Dim BitVelocidadNuevo, BitVelocidadAnterior As Byte
Dim BitParo As Byte
```

```
Dim Largo, Altura, Ancho, Velocidad As Single
```

```
Dim TiempoIntervalo As Single
Dim TiempoLargo As Single
Dim TiempoAncho As Single
Dim TiempoAltura As Single
Dim TiempoVelocidad As Single
Dim klargo, kaltura, kancho, TiempoVelocidadPromedio As Single
Dim TiempoRealNuevo, TiempoRealAnterior As Variant
Dim LargoPatron, AlturaPatron, AnchoPatron As Single
```

```
Private Sub Aceptar_Click()
    LargoPatron = txtLargo.Text
    Label2.Caption = klargo
    AlturaPatron = txtAltura.Text
    Label3.Caption = kaltura
    AnchoPatron = txtAncho.Text
    Label4.Caption = kancho
    Timer1.Enabled = True
End Sub
```

```
Private Sub Calibrar_Click()
    Timer1.Enabled = False
    Calibracion = True
    TiempoLargo = 0
    TiempoAltura = 0
    TiempoAncho = 0
    Status.Caption = "Introduzca los datos de la pieza patrón..."
    Semaforo.BackColor = &HFF 'ponc en rojo el semaforo
    txtLargo.Enabled = True
    txtAltura.Enabled = True
    txtAncho.Enabled = True
    Aceptar.Enabled = True
    txtLargo.SetFocus
End Sub
```

```

Private Sub Form_Load()
    Puert = &H378 'Puerto LPT1
    StatusRegister = &H1 'status register
    renglon = 1
    NumLecturas = 0
    klargo = 0
    kaltura = 0
    kancho = 0
    Calibracion = False
    txtLargo.Enabled = False
    txtAltura.Enabled = False
    txtAncho.Enabled = False
    Aceptar.Enabled = False
    TiempoVelocidadPromedio = 0.58 'segundos en dar una vuelta de rodillo
'coloca el formulario en la pantalla
    Form1.Left = (Screen.Width - Form1.Width) * 3 / 4
    Form1.Top = (Screen.Height - Form1.Height) * 5 / 8
'Detecta errores
On Error Resume Next

'Hace referencia a Excel
Set obExcelApp = GetObject( "Excel.Application")
If Err.Number < 0 Then
Set obExcelApp = CreateObject("Excel.Application")
blnRunning = False
Else
blnRunning = True
End If
'agrega nuevo libro de trabajo
obExcelApp.Workbooks.Add
'hace referencia a la nueva hoja de trabajo
Set obWorkSheet = obExcelApp.ActiveSheet
'hace visible Excel
obExcelApp.Visible = True
obWorkSheet.Cells(1, 1).Value = "Largo[cm]"
obWorkSheet.Cells(1, 2).Value = "Altura [cm]"
obWorkSheet.Cells(1, 3).Value = "Ancho [cm]"

'selecciona las columnas para darles formato
obWorkSheet.Rows("2..100").Select
'obExcelApp.Selection.NumberFormat = "##.##"
obWorkSheet.Cells(2, 1).Select
Form1.Show
'prde encender banda
Timer2.Enabled = True

End Sub

Private Sub Puerto_Click()
    Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub Nueva_Click()
    Timer1.Enabled = False
    Timer2.Enabled = False

```

```

Form_Load
End Sub

Private Sub Salfir_Click()
End
End Sub

Private Sub Terminar_Click()
'obExcelApp.ActiveWorkBook.Close False

End Sub

Private Sub Timer1_Timer()

'ajuste del reloj
NumLecturas = NumLecturas + 1
TiempoRealNuevo = Time
If TiempoRealNuevo <> TiempoRealAnterior Then
    TiempoIntervalo = 1 / NumLecturas
    TiempoRealAnterior = TiempoRealNuevo

Else
End If

'lectura del puerto

StatusRegisterInput = (Inp_b(Puert + StatusRegister)) Xor (&H80)

'lectura de largo
BitLargoNuevo = StatusRegisterInput And &H40
'toma como referencia para comenzar al bit del ancho
BitAnchoNuevo = StatusRegisterInput And &H80

'espera que se establezca el reloj o pase la pieza en medición

If TiempoIntervalo > 0.1429 Or BitAnchoNuevo = 0 Then
    Status.Caption = "Espere un momento ....."
    Semaforo.BackColor = &HFF 'pone en rojo el semaforo
    Calibrar.Enabled = False 'si se esta midiendo una pieza
    'no se puede hacer calibracion
Else
    If Calibracion = True Then
        Status.Caption = "Coloque la pieza patrón . ."
        Semaforo.BackColor = &HFFF& 'pone en amarillo
        'el semaforo
    Else
        Status.Caption = "Coloque la pieza ....."
        Semaforo.BackColor = &HFF00& 'pone en verde el semaforo
        Calibrar.Enabled = True
    End If
End If

If BitAnchoNuevo < BitAnchoAnterior Or TiempoLargo > 0 Then
    TiempoLargo = TiempoLargo + TiempoIntervalo
Else
End If

```



```

If BitLargoNuevo > BitLargoAnterior Then
    Largo = TiempoLargo * Velocidad + klargo
    TiempoLargo = 0
Else
End If
BitLargoAnterior = BitLargoNuevo

    'lectura de altura
BitAlturaNuevo = StatusRegisterInput And &H20
If BitAnchoNuevo < BitAnchoAnterior Or TiempoAltura > 0 Then
    TiempoAltura = TiempoAltura + TiempoIntervalo
Else
End If
If BitAlturaNuevo > BitAlturaAnterior Then
    Altura = (TiempoAltura * Velocidad - Largo) * 1.8361 + 2.93 + kaltura
    TiempoAltura = 0
Else
End If
BitAlturaAnterior = BitAlturaNuevo

    'lectura de ancho
BitAnchoNuevo = StatusRegisterInput And &H80
If BitAnchoNuevo < BitAnchoAnterior Or TiempoAncho > 0 Then
    TiempoAncho = TiempoAncho + TiempoIntervalo
Else
End If
If BitAnchoNuevo > BitAnchoAnterior Then
    Ancho = (TiempoAncho * Velocidad - Largo) * 4.7046 + kancho
    TiempoAncho = 0
If Calibracion = True Then
    klargo = LargoPatron - Largo
    kaltura = AlturaPatron - Altura
    kancho = AnchoPatron - Ancho
    Calibracion = False
    txtLargo.Enabled = False
    txtAltura.Enabled = False
    txtAncho.Enabled = False
    Acceptar.Enabled = False
Else
'desplicga resultados en excel
renglon = renglon + 1
obWorkSheet.Cells(renglon, 1) Value = Largo
obWorkSheet.Cells(renglon, 2) Value = Altura
obWorkSheet.Cells(renglon, 3) Value = Ancho
obWorkSheet.Cells(renglon, 4) Value = TiempoVelocidadPromedio
End If
Else
End If
BitAnchoAnterior = BitAnchoNuevo

TiempoVelocidad = TiempoVelocidad + TiempoIntervalo
BitVelocidadNuevo = StatusRegisterInput And &H10
If BitVelocidadNuevo > BitVelocidadAnterior Then
    If TiempoVelocidad > 0.45 And TiempoVelocidad < 0.75 Then

```

```
Velocidad = 11.97 / TiempoVelocidad
TiempoVelocidadPromedio = TiempoVelocidad
TiempoVelocidad = 0

Else
    TiempoVelocidad = 0

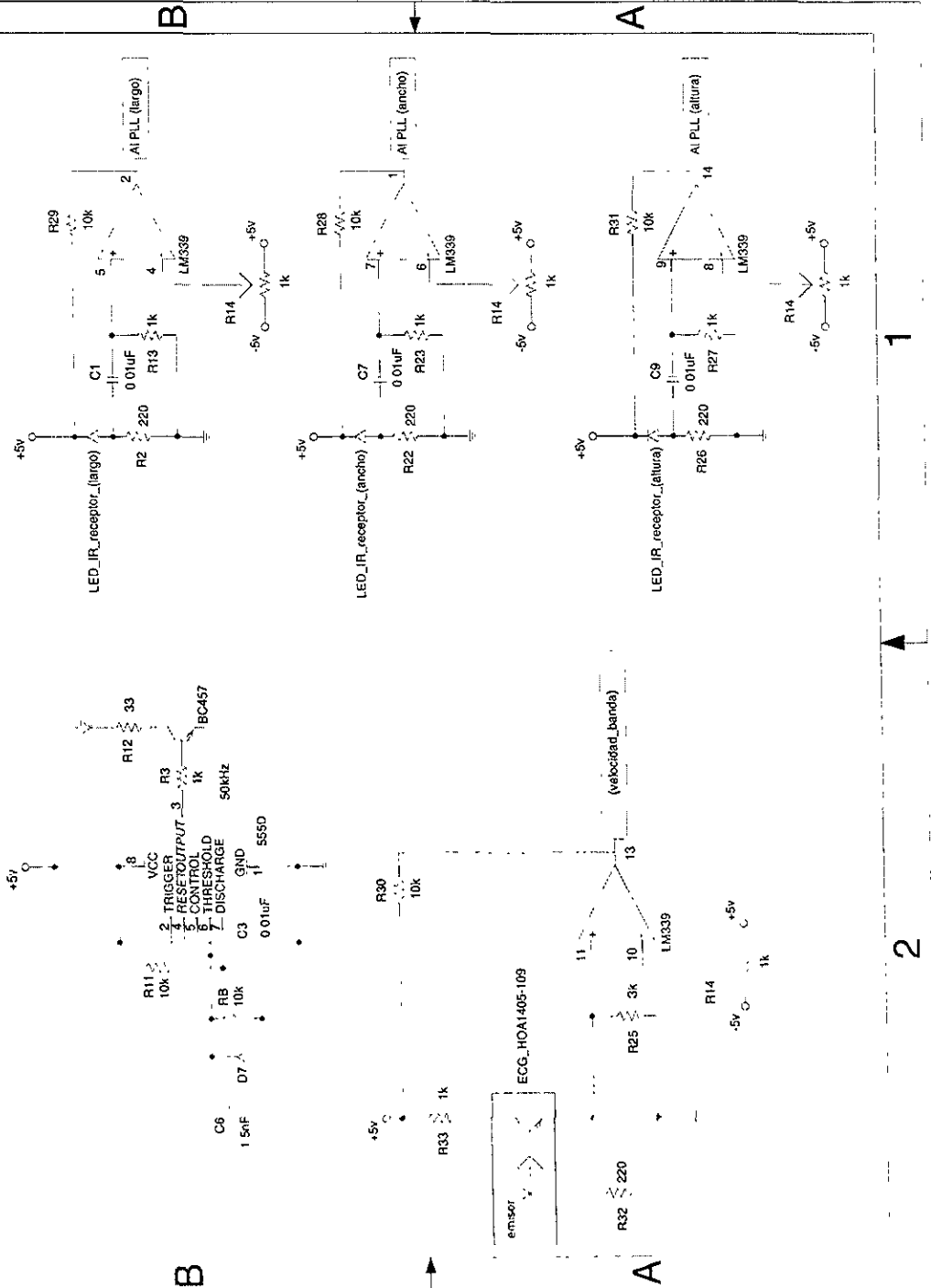
    'Velocidad = 11.97 / TiempoVelocidadPromedio 'utiliza un tiempo promedio
End If
Else
End If
BitVelocidadAnterior = BitVelocidadNuevo

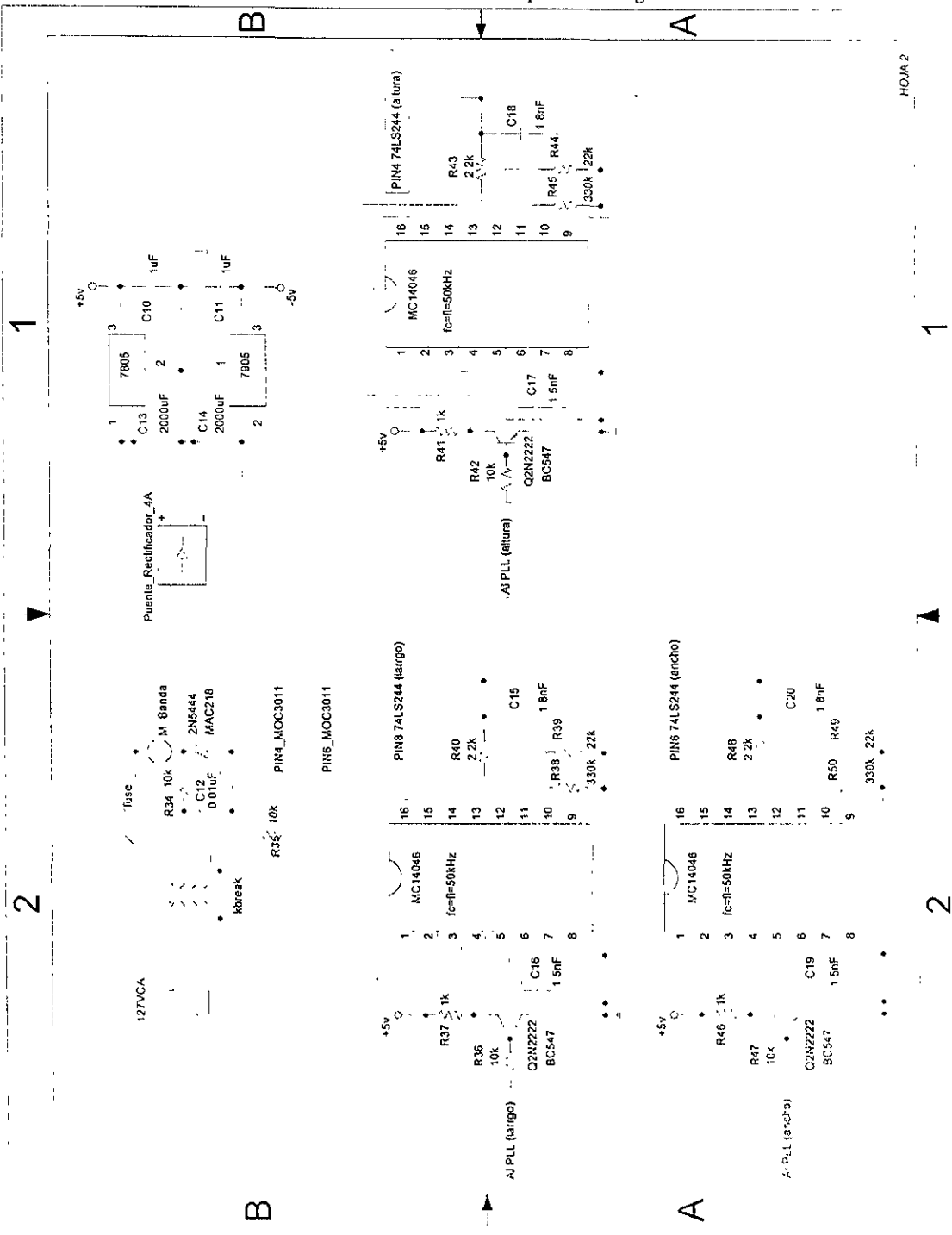
BitParo = StatusRegisterInput And &H8
End Sub

Private Sub Timer2_Timer()

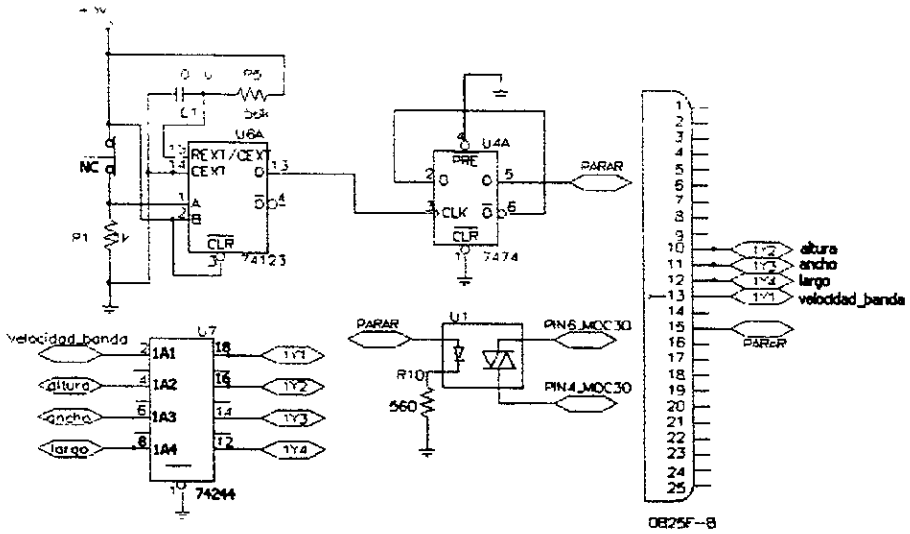
    'se limpian las variables antes de leer puerto
    TiempoRealAnterior = Time
    TiempoLargo = 0
    TiempoAncho = 0
    TiempoAltura = 0
    TiempoVelocidad = 0
    Velocidad = 5
    Largo = 0
    Ancho = 0
    Altura = 0
    Timer1.Enabled = True
    Timer2.Enabled = False
End Sub
```

Apéndice D. Diagramas del Sistema de Medición.



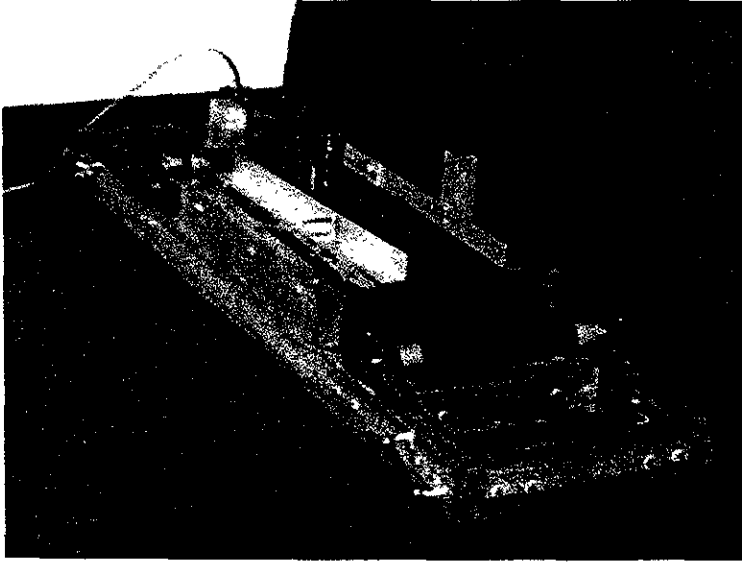


H01A.2



HOJA 3

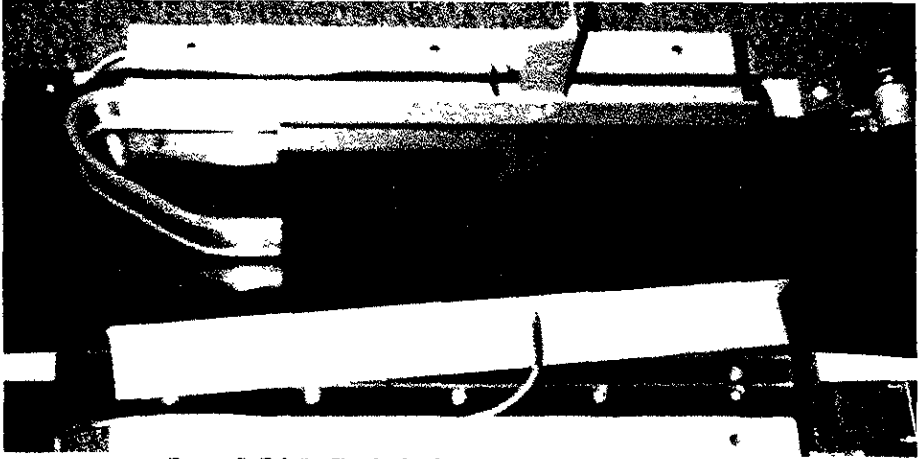
Apéndice E. Fotografías de la Banda transportadora.



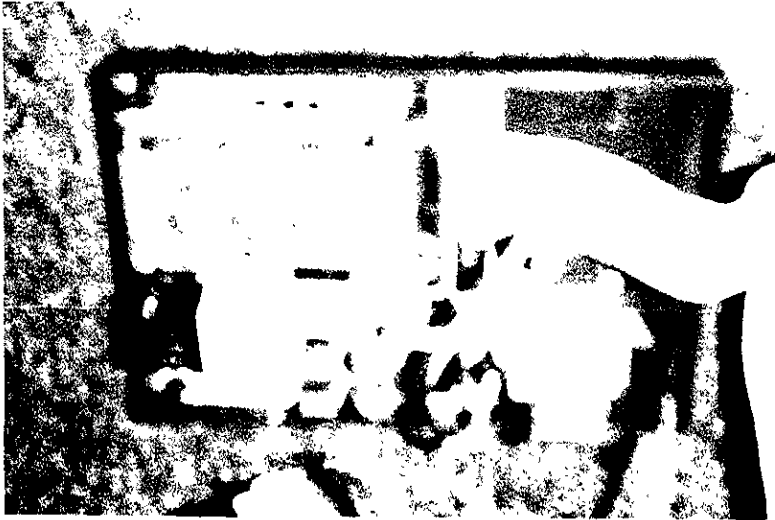
Fotografía E-1. Vista isométrica de la banda transportadora.



Fotografía E-2. Acoplamiento con el motor e interruptores de encendido.



Fotografía E-3. Perfiles de aluminio, LED infrarrojo y fotodiodos.



Fotografía E-4. Electrónica del Sistema de Medición.

Apéndice F. Circuitos Digitales y PLL.

F.1 Principios fundamentales de Circuitos Digitales.

F.1.1 Sistemas numéricos y equivalencias.

El sistema decimal o base diez, es ampliamente utilizado por el ser humano, entre varias razones, porque éste tiene diez dedos y además permite realizar operaciones de forma sencilla. Sin embargo, en Electrónica las facilidades de los dispositivos son otras, por ejemplo es muy simple lograr que un interruptor esté abierto o cerrado o que un transistor esté en corte o saturación. Este tipo de facilidades y la naturaleza de los dispositivos, conduce a emplear el sistema base dos o binario para realizar operaciones lógicas, matemáticas y cualquier representación que provenga del sistema decimal. Es así, como toda la información que manipula el ser humano se representa como combinaciones de los dígitos cero y uno. En el sistema decimal, los dígitos de un número tienen un valor según su posición y a cada una le corresponde una potencia de diez. Por ejemplo.

$$438_{10} = 4 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 8 \times 10^0$$

Similarmente en el sistema base dos o binario, cada posición implica multiplicar el dígito por una potencia distinta de dos

$$101011_2 = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

La mínima cantidad de información en el sistema binario es un dígito, sea cero o uno y se le llama bit por la contracción de las palabras inglesas *binary digit*.

La conversión de números del sistema decimal al binario se logra mediante divisiones sucesivas entre dos, tomando en cuenta los residuos. Por ejemplo, la conversión del número decimal 13 al sistema binario es como sigue

$$\begin{array}{rll}
 13/2 = 6; \text{ residuo} = 1 & & \text{LSB} \\
 6/2 = 3; \text{ residuo} = 0 & & \\
 3/2 = 1; \text{ residuo} = 1 & & \\
 1/2 = 0; \text{ residuo} = 1 & & \text{MSB}
 \end{array}$$

$$13_{10} = 1101_2$$

Leyendo el número binario de izquierda a derecha, el primer bit se denomina bit más significativo, que por su nombre en inglés (*Most Significant Bit*) tiene el acrónimo *MSB*. Así, el último bit recibe el nombre de bit menos significativo (*Least Significant Bit*) *LSB*. Entonces, en la conversión decimal a binario obtenemos del *LSB* al *MSB*. El proceso inverso, la conversión del sistema binario al decimal, se muestra partiendo del ejemplo anterior, entonces

$$\begin{aligned}
 1101_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\
 &= 8 + 4 + 0 + 1 \\
 &= 13_{10}
 \end{aligned}$$

F.1.2 Representaciones octal y hexadecimal.

Para el ser humano, manipular números binarios puede resultar tedioso, sobre todo cuando estos son extensos. Es por esto, que comúnmente los números binarios se escriben en algún sistema

numérico cuya base es una potencia de dos, como son los sistemas octal o de base ocho y hexadecimal o de base 16, nótese que además que la base del sistema hexadecimal es una potencia de la base del sistema octal. Esta relación entre las bases de los sistemas numéricos, simplifica la conversión entre un sistema y otro. Un grupo de tres bits se representa con un dígito octal porque la base del sistema octal es la tercera potencia de dos. Y un grupo de cuatro bits se representa por un dígito del sistema hexadecimal porque la base del sistema hexadecimal es la cuarta potencia de dos. Como ejemplo, se muestra la equivalencia del número decimal 835 en el sistema binario y sus correspondientes representaciones en los sistemas octal y hexadecimal.

$$\begin{aligned}
 835_{10} &= 1101000011_2 && \text{Equivalencia binaria} \\
 &= 1\ 101\ 000\ 011_2 && \text{Reagrupando con tres bits} \\
 &= 1503_8 && \text{Representación octal} \\
 &= 11\ 0100\ 0011_2 && \text{Reagrupando con cuatro bits} \\
 &= 343_{16} && \text{Representación hexadecimal}
 \end{aligned}$$

El sistema octal cuenta con ocho dígitos, que van del cero al siete. El sistema hexadecimal cuenta con 16 dígitos, que incluyen los dígitos del cero al nueve y las letras mayúsculas *A, B, C, D, E* y *F*. Por ejemplo:

$$\begin{aligned}
 1247_{10} &= 10011011111_2 && \text{Equivalencia binaria} \\
 &= 4DF_{16} && \text{Equivalencia hexadecimal}
 \end{aligned}$$

F.1.3 Codificación BCD.

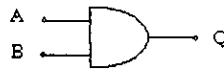
Cuando la información que captura o presenta en pantalla un circuito digital proviene del sistema decimal, conviene codificar los dígitos decimales con dígitos binarios, sin hacer la

conversión de sistemas decimal a binario. Esta codificación consiste en convertir cada dígito decimal al número binario que le corresponde y concatenar todos los números binarios correspondientes, esto no es lo mismo que convertir todo el número decimal a binario. El siguiente ejemplo muestra una aplicación de este método y su diferencia con la conversión completa al sistema binario.

$$\begin{aligned}
 137_{10} &= 0001\ 0011\ 0111_{(BCD)} && \text{Codificación BCD} \\
 &= 10001001_2 && \text{Equivalencia binaria}
 \end{aligned}$$

F.2 Compuertas Lógicas.

Las operaciones lógicas en Electrónica Digital, se basan en las definiciones de la Lógica Booleana. De esta forma, los dispositivos que realizan alguna operación lógica, reciben el nombre de compuertas lógicas. En términos generales una compuerta lógica tiene una o varias entradas y una salida; la relación entre entradas y salida se describe en una *tabla de verdad*. A partir de tres operaciones lógicas elementales. AND, OR y NOT, pueden derivarse otras: XOR (OR – exclusiva), NAND y NOR. Sus tablas de verdad se muestran en las tablas F.2-1, F 2-2 y F.2-3



AND

A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(a)

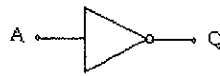


OR

A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(b)

Tabla F.2-1 Tablas de verdad (a) AND. (b) OR.



NOT

A	Q
0	1
1	0

(a)



XOR

A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(b)

Tabla F.2-2 Tablas de verdad (a) NOT; (b) XOR.



NAND

A	B	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(a)



NOR

A	B	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(b)

Tabla F.2-3 Tablas de verdad (a) NAND; (b) NOR.

F.3 Familias Lógicas.

Existen diversas convenciones que especifican qué es un cero y qué es un uno en el mundo físico, en términos de voltaje a la entrada o salida de una compuerta lógica. Estas convenciones, generalmente obedecen a las características del tipo de dispositivos que se emplean al fabricar una compuerta lógica, así como a los diversos arreglos que se logran con los mismos y los materiales

con que se construyen. Pero las características del diseño electrónico de una compuerta lógica, no sólo afectan los niveles de voltaje que representan los niveles alto y bajo sino también muchas otras características como potencia consumida, velocidad de conmutación, margen de ruido, etc. Cada paradigma de diseño define un grupo de Circuito Digital llamado *Familia Lógica*.

F.3.1 Parámetros comparativos.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Evaluar el desempeño de una Familia Lógica, es indispensable al momento de decidir su aplicación en un problema específico. Para esto existen diversos parámetros bien definidos, que proporcionan información valiosa al diseñador. No obstante, en un mismo diseño pueden emplearse diversas *Familias Lógicas*, lo que puede implicar una incompatibilidad en el acoplamiento, por lo cual se requieren interfaces entre ellas. En esta sección se exponen algunos parámetros comparativos básicos.

F.3.1.1 Señales Lógicas.

Los estados lógicos de cero y uno, tienen una representación eléctrica donde se corresponde un nivel de voltaje para cada estado. Parece evidente que dicha correspondencia debiera ser la de asignar el voltaje más alto al uno lógico y el más bajo al cero lógico; esta asignación se llama *lógica positiva*. Sin embargo, es posible asignar los valores al revés el uno lógico con el voltaje bajo y el cero lógico con el voltaje alto; esta asignación se conoce como *lógica negativa*.

Una de las ventajas de la Electrónica Digital sobre la Analógica, es su inmunidad al ruido. Esta inmunidad se debe a la asignación de márgenes de voltaje relativamente amplios, respecto de las señales de ruido, para los estados lógicos válidos. Por ejemplo podría considerarse un margen

de voltaje de 1V para cada estado lógico; donde el nivel bajo se considera de 0V a 1V y el nivel alto de 4V a 5V; de tal manera que una señal lógica de esta *Familia Lógica* hipotética, oscilará entre 0V y 5V.

F.3.1.2 Márgenes de ruido.

Una medida de la susceptibilidad a las perturbaciones por ruido en una compuerta, es el llamado margen de ruido. Este parámetro determina la magnitud de voltaje de ruido permisible, antes de que se afecte el estado de la salida de una compuerta. Se definen dos tipos de márgenes de ruido: margen de ruido de estado bajo y margen de ruido de estado alto. Para detallar estas definiciones, supóngase dos compuertas NOT como aparece en la figura F 3.1.2-1.

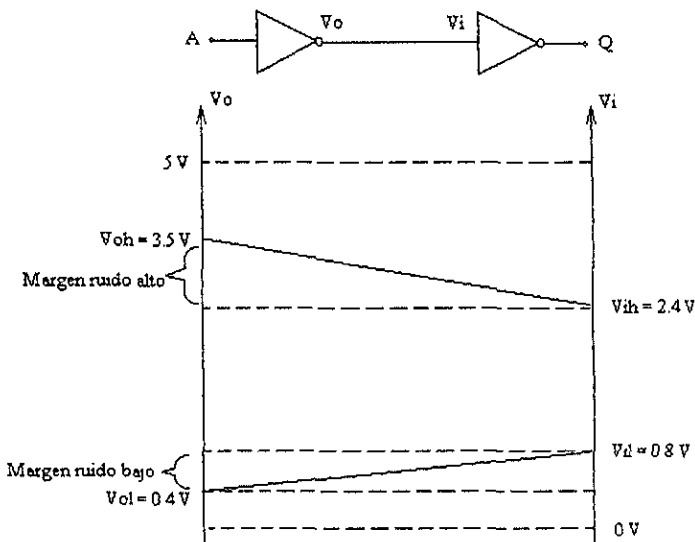


Fig F.3.1.2-1 Márgenes de ruido

El margen de ruido en estado bajo se define como la diferencia entre el máximo valor de estado bajo en la entrada de la compuerta y el máximo valor de estado bajo en la salida de la compuerta anterior. El margen de ruido en estado alto se define como la diferencia entre el mínimo valor de estado alto en la compuerta anterior y el mínimo valor de estado alto en la entrada de la compuerta

$$NM_L = V_{I_L} - V_{O_L}$$

$$NM_H = V_{O_H} - V_{I_H}$$

Donde NM es el margen de ruido.

F.3.1.3 Cargabilidad de Salida (Fan Out).

Muchas veces se requiere conectar varias compuertas a la salida de una misma compuerta. Conforme el número de compuertas conectadas aumenta, la demanda de corriente de salida aumenta provocando una baja en el voltaje de salida, esto puede llegar al extremo de sobrepasar los márgenes de ruido establecidos por el fabricante, haciendo la compuerta cada vez más susceptible al ruido eléctrico. Por esto se establece un límite de carga, llamado Cargabilidad (Fan Out), cuya magnitud es el número máximo de compuertas que pueden conectarse a la salida una compuerta.

F.3.1.4 Retardo de Propagación.

Cuando existe un cambio de estado en la entrada de una compuerta, el estado correspondiente de la salida no se muestra hasta después de un intervalo de tiempo denominado tiempo de propagación. El tiempo de propagación, se mide desde el momento en que la señal de entrada cruza el umbral del 50% del voltaje máximo de entrada, hasta que la salida cruza el umbral del 50% del voltaje máximo de salida. Este tiempo es distinto para señales de salida que van de alto a bajo y las que van de bajo a alto; aunque generalmente se toma el promedio de los dos tiempos de propagación. El tiempo de propagación se registra experimentalmente con una compuerta que tiene la máxima cargabilidad permitida.

F.3.1.5 Potencia y tamaño.

En algunas aplicaciones la potencia disipada por las compuertas es crucial, para esto el parámetro de potencia disipada por compuerta es muy útil en la comparación de Familias Lógicas.

En la fabricación de Circuitos Integrados el área que ocupa una compuerta limita el número de estas que pueden incluirse en un mismo circuito integrado Pero más que una medida de tamaño se prefiere una medida de densidad de compuertas, que se define como el número de compuertas por milímetro cuadrado.

F.3.2 Familias TTL, ECL y CMOS.

La Familia TTL por sus siglas en inglés Transistor Transistor Logic, es una de las más ampliamente utilizadas por su bajo costo y buen rendimiento La Familia ECL del inglés Emitter

Coupled Logic, es la más rápida de todas. Finalmente la Familia CMOS que significa Complementary MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) es la de menor consumo de potencia y mayor densidad de compuertas en Circuitos Integrados. Es importante advertir que existe un compromiso entre potencia y tiempos de propagación, un tiempo de propagación pequeño, implica un incremento en la potencia y viceversa En la tabla F 1, se muestra una comparación de acuerdo a los parámetros descritos en las secciones anteriores.

Familia	Nivel lógico bajo		Nivel lógico alto		Margen de ruido		Cargabilidad (Fan Out)	Retardo de Propagación	Potencia disipada mW/compuerta	Densidad compuertas/mm ²
	VIL Entrada	VOL Salida	VIH Entrada	VOH Salida	Nivel Bajo	Nivel Alto				
TTL	0.8V máx	0.5V máx	2V mín.	2.5V max	0.4V	0.4V	10	5 ns	5	15
ECL	-1.63V máx.	-1.65V máx	-0.98V mín	-0.96V mín.	155mV	125mV	90	0.5 ns	30	30
CMOS	1.5V máx	0.01V max	3.5V mín.	4.99V mín.	1.5V	1.5V	>50	1 ns	0.3	50

Tabla F.1 Comparación de Familias Lógicas.

F.4 Flip-flops.

Existen dos tipos de circuitos digitales, los combinacionales y los secuenciales. Los circuitos combinacionales, requieren la presencia de todas las señales de entrada al mismo tiempo, para proporcionar la salida de la función que se efectúa. En el caso de los circuitos secuenciales, la salida es función de las entradas presentes en ese momento y de las entradas anteriores.

En muchas funciones se requiere el uso de circuitos secuenciales, sin embargo se hace indispensable el uso de un dispositivo de memoria capaz de almacenar un bit de información, durante el tiempo necesario; el dispositivo indicado es llamado flip-flop. Este dispositivo es

construido generalmente con compuertas lógicas. Los flip-flops se conectan entre sí con distintas configuraciones para formar registros que manipulan varios bits o contadores que cuentan pulsos de reloj, entre otros dispositivos.

F.4.1 Sistemas síncrono y asíncrono.

En muchas tareas realizadas por circuitos secuenciales, es indispensable coordinar las operaciones que se realizan sobre todo cuando estas son complejas. Esta función de coordinación la realiza el reloj principal del sistema, que emite pulsos a intervalos regulares. Así un sistema secuencial puede considerarse como un conjunto de problemas secuenciales que se resuelven a intervalos regulares y se le llama *síncrono*. Cuando en un sistema la lógica combinacional dispara o provoca otras operaciones se dice que el sistema es *asíncrono* porque no depende de la sincronización del reloj. El tren de pulsos de un reloj, tiene cuatro estados fundamentales; dos de los cuales son transiciones y se llaman flanco de subida, cuando la señal va de cero lógico a uno lógico y flanco de bajada cuando la señal va de uno lógico a cero lógico; los dos estados restantes son el uno lógico y el cero lógico. Generalmente los flip-flops pueden cambiar su estado sólo en alguno de los flancos de la señal de reloj

F.4.2 El flip-flop RS.

El flip-flop es un circuito capaz de almacenar un bit, es entonces una memoria de un bit. En la figura F.4.2-1(a) se muestra claramente como dos inversores tienen una retroalimentación positiva, que aunque representa una inestabilidad, logra mantener un estado alto o bajo mientras sea

alimentado el circuito. En la figura F.4 2-1(b) se muestra la representación más común de este circuito

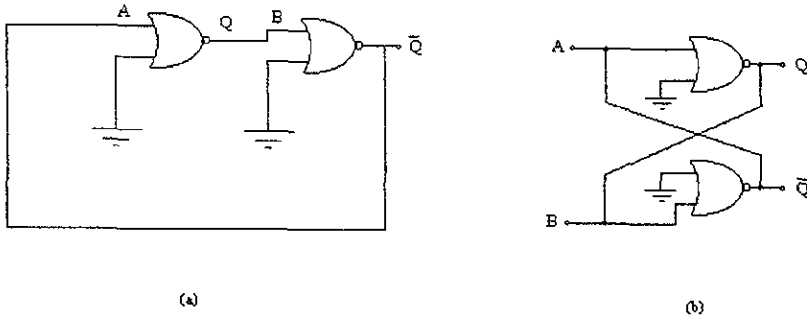


Fig. F.4.2-1 Flip-flop de compuertas NOR (a) Retroalimentación positiva, (b) Representación común.

El flip-flop de la figura F.4 2-1 no es práctico porque no tiene entradas de control que permitan cambiar cómodamente los estados del flip-flop, para esto se utilizan las entradas que antes estaban conectadas a tierra. Las nuevas entradas reciben los nombres de SET (S) y RESET (R). El nuevo flip-flop se llama RS, tal como se aprecia en la figura F.4.2-2 y su tabla de verdad se muestra en la tabla F.4.2-1.

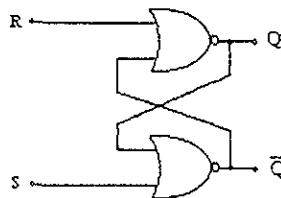


Fig F 4 2-2 Flip flop RS.

S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	No permitido

Tabla F 4.2-1 Tabla de verdad del flip flop RS.

F.4.3 El flip-flop D.

En un sistema digital síncrono es útil la disponibilidad de un dispositivo que retarde una señal durante un ciclo de reloj, tal es el caso del flip-flop D, esto se aprecia mejor analizando su tabla de verdad, en la tabla F.4.3-1. Cuando un dato se presente en la entrada D, sólo aparecerá en la salida cuando ocurra una transición de reloj con flanco de subida. Un diagrama a bloques de este flip-flop aparece en la figura F.4.3-1

C	D_n	Q_{n+1}	$\neg Q_{n+1}$
0	X	Q_n	$\neg Q_n$
↑	1	1	0
↑	0	0	1

Tabla F 4 3-1Tabla de verdad del flip-flop D

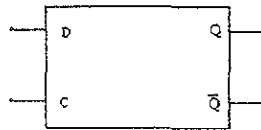


Figura F.4.3-1Flip-flop D.

F.5 PLL.

Algunos circuitos tienen una naturaleza híbrida y no pueden clasificarse como digitales o analógicos, tal es el caso de los circuitos de *ciclo de fase encadenada* o Phase Locked Loop, PLL, por sus siglas en inglés. Este circuito, posee un oscilador controlado por voltaje, VCO, por sus siglas en inglés Voltage Controlled Oscillator; la salida del oscilador y una señal externa se introducen a un comparador de fase, que puede ser un amplificador operacional como comparador o una compuerta OR-exclusiva, la señal que resulta de esta comparación es filtrada con un filtro paso-bajas para después controlar el oscilador, esta retroalimentación permite que el VCO mantenga la misma frecuencia que la señal externa. Cuando una señal aun no es seguida por el PLL se dice que éste no ha encadenado, una vez que lo hace si la señal no sale de un rango determinado se dice que se mantiene. En la figura F 5-1 se aprecia un modelo elemental de PLL.

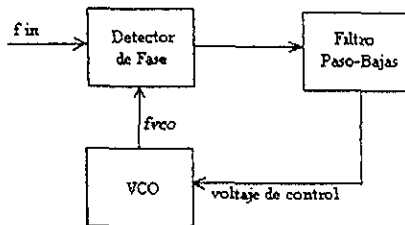


Fig. F 5-1 PLL

Bibliografía.

- [1] Ramón Pallás-Areny, John G. Webster: "Sensors and signal conditioning", John Wiley & Sons, 1991.
- [2] Albert D Helfrick, William D. Cooper: "Modern electronic instrumentation and measurement techniques", Prentice Hall 1990.
- [3] Antonio Creus: "Instrumentación industrial, 5ª edición", Alfaomega. 1995.
- [4] Tooru Nomura, Tsutomu Yasuda and Shoji Furukawa. Humidity Sensor using surface acoustic waves along polymer/ LiNbO₃ structures, Shibaura Institute of Technology. 1993 Ultrasonics Symposium – 417. 1051-0117/93/0000-0417 IEEE.
- [5] Greg Perry: "SAMS Teach Yourself Visual Basic 6 in 21 Days", Sams 1998.
- [6] Paul Horowitz, Winfield Hill: "The art of electronics", Cambridge University Press, 1980.
- [7] James John Brophy: "Basic electronics for scientists", McGraw-Hill, 1990
- [8] Donald L. Schilling, Charles Belove: "Circuitos electrónicos, discretos e integrados", Marcombo S.A., 1987.
- [9] "CMOS Logic Data", Motorola, 1991.
- [10] "Thyristor Device Data", Motorola, 1995
- [11] "Optoelectronics Device Data", Motorola, 1995.
- [12] "Master Replacement Guide", Philips ECG, 1998.
- [13] "TTL Logic Data", Motorola, 1991
- [14] Stephen B Vardeman, J. Marcus Jobe: "Statistical Quality Assurance Methods for Engineers", John Wiley & Sons, 1999
- [15] "Obtenga resultados con Microsoft Excel 97", Microsoft Corporation, 1997