



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**Simulador Electrónico de Modos
de Vibración de Átomos en
Moléculas**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA
VINICIO MARIANO MAGAÑA ARAUJO**

**DIRECTOR DE TESIS
DR. STEPHEN MUHL SAUNDERS**

MEXICO, D. F. 1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

"SIMULADOR ELECTRONICO DE
MODOS DE VIBRACION DE ATOMOS
EN MOLECULAS"

	PAG.	
2.6.3	Diseño del Circuito Controlador de Módulos -----	45
2.6.4	Diseño del Reloj para el Controlador de Módulos -----	48
Capítulo 3		
3.1	Introducción -----	54
3.2	Selección de los Elementos de la Etapa Reguladora -----	56
3.3	Selección de los Elementos de la Etapa Rectificadora -----	62
ANEXO	-----	68
I	Las Compuertas Lógicas AND y OR -----	68
II	Registro de Corrimiento y Contador Binario -----	71

I N T R O D U C C I O N

El desarrollo de esta tesis surgió de los trabajos de exploratorium que viene desarrollando el departamento de Física, semestre tras semestre. Es el Exploratorium un híbrido de museo y laboratorio técnico donde el estudiante aprende observando y aprende haciendo, llevando como fin hacer mas interesante y mas atractivo el estudio de la Física. El Exploratorium lo forma una serie de máquinas, aparatos y dispositivos construidos por los mismos alumnos bajo la dirección técnica de un profesor del departamento de Física. Primeramente se idea cada proyecto con base a las sugerencias de los maestros que forman el departamento de Física. De esto, se elabora un anteproyecto que es presentado al jefe de sección y al coordinador de Proyectos de Exploratorium. Una vez aprobado este anteproyecto con base al material, equipo y herramientas con que -- cuenta el Exploratorium, se procede a la realización del diseño. Cuando el diseño ha sido realizado, se convoca a un -- grupo de alumnos que esté interesado en la construcción del proyecto en cuestión, comenzando así la construcción de dicho proyecto, dirigido por el asesor que lo diseñó. Este asesor les muestra el uso y las precauciones que deben tomar con -- respecto a las herramientas, máquinas y material con que se cuenta y que deberán usar durante el desarrollo de la construcción. El asesor observa los avances en el proyecto y determina sobre la marcha los cambios necesarios si fuera pertinente, así mismo provoca que los alumnos planteen la solución a los problemas surgidos.

El tema de esta tesis surge de la idea de un profesor del departamento de Física de buscar una forma de mostrar a los alumnos en una manera práctica algunos movimientos vibratorios de átomos en moléculas, ya que la ejemplificación en el pizarrón resulta ser laboriosa. Un dispositivo electrónico que sirva para representar estos movimientos en forma automática facilitaría, en gran parte, este problema.

El simulador electrónico de modos de vibración de átomos en moléculas, muestra objetivamente la variación de algunas coordenadas internas de la molécula. Estas coordenadas elegidas en particular son siete: de rotación, alargamientos simétrico y asimétrico, golpeteo, tijereteo, diglucamiento y sacudimiento. Además, debido a que el simulador es totalmente automático, esto es, únicamente es necesario colocar el interruptor en la posición de encendido para que muestre uno a la vez, todos los modos de vibración mencionados, sin necesidad de efectuar algún otro cambio o alteración al circuito electrónico, resulta ampliamente práctico para que los estudiantes de electrónica observen una de las aplicaciones de los circuitos lógicos: diseño y construcción de un dispositivo automático.

El presente trabajo se encuentra dividido en tres partes: la primera, cubre aspectos de movimientos de átomos en moléculas, esto es, se trata de una descripción desde el punto de vista físico, sin pretender agotar el tema de movimientos atómicos. Para esto se partió de un objetivo, mostrar el fenómeno lo más claramente posible sin necesidad de recurrir a un análisis matemático complejo, por lo mismo el análisis se fundamenta en ecuaciones de mecánica clásica, sin recurrir a un

análisis cuántico. La segunda parte de este trabajo se refiere al diseño electrónico del simulador, o sea, una vez hecha la descripción mecánica de los movimientos mencionados se diseña el circuito que simula dichos movimientos. Para su construcción se usan diodos emisores de luz y circuitos integrados de la familia electrónica TTL (lógica de transistor a transistor), los primeros, al prenderse y apagarse simulan la variación de la coordenada en cuestión, los segundos conmutan las señales enviadas a los diodos para que estos se prendan y se apaguen dando la impresión de movimiento. En esta misma parte se muestran los dibujos que representan el alambrado impreso del circuito. Tanto los circuitos integrados como los diodos emisores de luz se encuentran en lugares accesibles para futuros cambios debido a deterioro o fin de la vida útil del dispositivo. Para cambiar los circuitos integrados fácilmente, estos se encuentran montados en bases, los cuales están soldados al alambrado impreso. La vida útil de los circuitos integrados y de los diodos emisores de luz es bastante grande, del orden de varios años, trabajando bajo condiciones normales de operación, esto es, sin sobrecargas. En el diseño del simulador se considera este aspecto y ninguno de estos dispositivos está trabajando a sobrecargas. De la información que provee el fabricante tanto de circuitos integrados como de diodos emisores de luz no fué posible conseguir el dato acerca de la vida media útil del dispositivo, pero se sabe de fabricantes de circuitos electrónicos que usan, ya sea circuitos integrados o diodos emisores de luz, que en sus diseños esperan una vida media útil del circuito en total de varios años.

La tercera parte de este trabajo incluye algunas conclusiones y se comparan los valores de diseño con valores leídos en el laboratorio, obteniendo una aproximación siempre mayor al 90%. El equipo de medición usado para esta parte del trabajo es por un lado un osciloscopio marca HEWLETT-PACKARD, modelo 1741A - de 100 MHz., y un multímetro digital de la misma marca, modelo 3465B ambos de alta precisión.

Las aplicaciones de este diseño son puramente didácticas - como se mencionaba anteriormente; por un lado muestra objetivamente la variación de algunas coordenadas internas en particular y por el otro muestra algunos aspectos importantes en diseño lógico, como son: consideraciones de vida media útil - de un dispositivo, disposición física o arreglo de los componentes para buscar ocupar el menor espacio posible, cálculos de consumo de energía y fuente de alimentación adecuada. Con todo lo anterior se debe lograr una optimización, con base a componentes usados y consumo de energía, de uno de los aspectos más importantes de la Ingeniería; el mejor funcionamiento posible en cuanto a duración y uso práctico al más bajo costo posible.

1 SIMULADOR ELECTRONICO DE MODOS DE VIBRACION DE ATOMOS EN MOLECULAS

1.1 INTRODUCCION

Los átomos nunca están en reposo; si pudiéramos verlos a través de un microscopio muy particular sus movimientos aparecerían increíblemente complejos, con cada átomo moviéndose de una forma, ya sea rápidamente, ya sea lentamente, en un aparente movimiento aleatorio. Si algunos átomos estuvieran unidos en forma de moléculas, se notaría que las moléculas retienen la mayoría de sus características de forma y tamaño, mientras que los movimientos de sus átomos traerían pequeñas distorsiones y causarían que la molécula pasara a través del campo visual, tal vez vibrando o girando mientras pasa. Desafortunadamente - tal clase de microscopio no existe, de tal manera que se observan los movimientos de los átomos en una forma menos directa pero con técnicas muy útiles, con las cuales se ha aprendido una enorme cantidad de movimientos de átomos y este conocimiento es de gran valor práctico en la mayoría de los campos de estudio de la Química y en algunos campos de estudio de la Física.

Los movimientos de átomos son verdaderamente aleatorios en solamente una instancia; gases monoatómicos, por ejemplo, el gas neón. Se puede describir el movimiento de cualquier átomo en este sistema refiriendo sus movimientos en el espacio a algún punto fijo, el cual podría ser la posición de un observador con un dispositivo de medición. A este punto se le llama origen. La posición de un átomo en cualquier instante de tiempo puede entonces ser establecida

en términos de coordenadas relativas a este origen y los movimientos son descritos por la manera en que estas coordenadas varían en el tiempo.

La posición de un átomo A está completamente definida por sus coordenadas X_A , Y_A y Z_A y la distancia desde A hasta el origen O está dada por:

$$(OA)^2 = X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 \quad (1.1.1)$$

Si el átomo está en movimiento, su velocidad está especificada por sus componentes en las direcciones X, Y y Z. Derivando las componentes de posición con respecto al tiempo, se puede resolver el movimiento en tres componentes, las cuales se pueden escribir como:

$$\begin{aligned} \dot{X}_A &= dX_A/dt \\ \dot{Y}_A &= dY_A/dt \\ \dot{Z}_A &= dZ_A/dt \end{aligned} \quad (1.1.2)$$

y de manera similar se puede resolver la aceleración del átomo en tres componentes

$$\begin{aligned} \ddot{X}_A &= d^2X_A/dt^2 \\ \ddot{Y}_A &= d^2Y_A/dt^2 \\ \ddot{Z}_A &= d^2Z_A/dt^2 \end{aligned} \quad (1.1.3)$$

Debido a que el átomo es igualmente libre de moverse en cualquiera de las direcciones X, Y ó Z se dice que -- tiene tres grados de libertad. Ver referencia número (1).

Las propiedades físicas de un gas monoatómico, son - descritas por la teoría cinética de los gases. Uno de - los resultados de esta teoría es que el gas tiene $R/2$ uni- dades de energía por mol por grado de libertad. Esto sig- nifica que un gas monoatómico tiene $3R/2$ unidades de ener- gía por mol (R es la constante molar de los gases).

Considérese ahora el gas hidrógeno, el cual contiene moléculas diatómicas en lugar de átomos aislados. Los áto- mos de hidrógeno no son igualmente libres de moverse en todas direcciones, puesto que existe una fuerza actuan- do entre los átomos que los mantiene juntos para formar - la molécula. Se debe entonces clasificar los movimientos de la molécula de tal manera que se tome en cuenta este - factor. Esto se logra dividiendo los movimientos molecu- lares en tres clases: El primero, conocido como movimien- to de translación, en el cual el centro de la molécula se mueve de tal manera que su distancia al origen cambia, mientras que la distancia entre los átomos dentro de la molécula permane- ce invariable. En el segundo, conocido como movimiento - de rotación, las distancias intermoleculares permanecen - nuevamente constantes y su distancia desde el origen tam- bién permanece constante, es la orientación de la molécu- la con respecto a los ejes coordenados la que cambia. En el tercer tipo, la posición promedio y la orientación de la - molécula en el espacio permanecen constantes, pero la - -

distancia entre los átomos cambia; este movimiento es conocido como de vibración.

Considerando el movimiento de translación, la molécula es, equivalente a una sola partícula con la masa de la molécula - localizada en el centro de masa del sistema. La molécula como una totalidad tiene tres grados de libertad translacional. La rotación por otro lado, también puede ser resuelta en tres -- componentes, representando la rotación alrededor de tres ejes mutuamente perpendiculares los cuales pasan a través del centro de masa de la molécula. En esta forma la rotación no envuelve cualquier cambio en posición de el centro de masa, es to es, translación. Los tres ejes alrededor de los cuales la molécula rota se pueden escoger paralelos a los ejes X, Y y Z pero esto no es usual. En el caso de una molécula lineal como la de hidrógeno existe una razón comprensible para escoger el eje molecular como uno de los ejes de rotación. Esto es - debido a que la rotación de una molécula lineal alrededor de - su propio eje no puede ser percibida por ningún método físico conocido. La molécula lineal, siendo libre de rotar alrededor de dos ejes mutuamente perpendiculares al eje molecular, tiene dos grados de libertad rotacional. Claramente, mo léculas no lineales tienen tres grados de libertad rotacional.

Debido a que cualquier átomo en una molécula tiene tres grados de libertad, para una molécula con N átomos hay $3N$ gra dos de libertad. Como tres de estos grados de libertad de mo vimiento corresponden a translación y otros tres a movimientos de rotación (dos para una molécula lineal) existen $3N-6$ grados de libertad vibracional en una molécula ($3N-5$ en una molécula lineal).

1.2 COORDENADAS NORMALES Y VIBRACIONES NORMALES.

1.2.1 La Molécula Diatómica

Debido a que una molécula diatómica tiene dos átomos y necesariamente es lineal, tiene solamente un grado de libertad vibracional. Para esta discusión se utilizará un truco muy simple: se moverá el origen del sistema de referencia al centro de masa de la molécula y se permitirá a los ejes rotar o trasladarse con la molécula. De esta manera los movimientos relativos a este nuevo sistema de ejes no involucra ninguna rotación o translación de la molécula.

Por conveniencia el eje Z se coloca coincidente con el eje molecular. El movimiento de los átomos en las direcciones X y Y pueden ser tratados como movimientos de rotación. Se considerará una molécula diatómica cuyos átomos tengan masas de m_a y m_b . En cualquier instante se puede dibujar la molécula como en la siguiente fig.

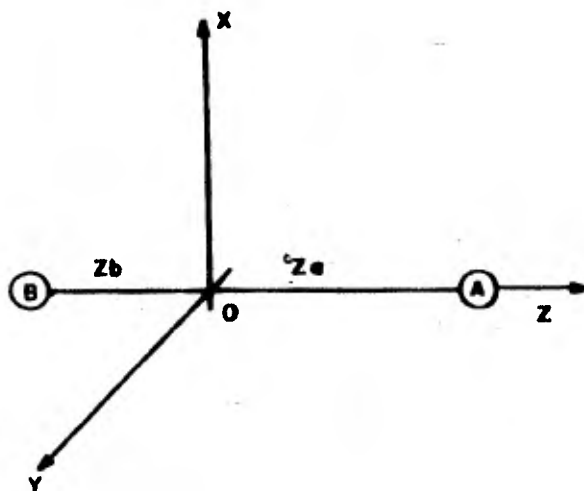


Fig. 1.2.1 Coordenadas cartesianas de una molécula diatómica AB.

El centro de masa está situado en 0 y las coordenadas de los átomos son como se muestran, Z_A y Z_B . Supóngase que los átomos se comporten como si fueran balines de metal y la unión entre ellos es como un simple resorte en espiral. Si se permite que la distancia entre A y B cambie una cantidad $q = (Z'_A - Z'_B) - (Z_A - Z_B)$ mientras permanece el centro de masa en 0, se puede decir que la fuerza ejercida por el resorte en las partículas está relacionada con q por:

$$\text{Fuerza Ejercida} = -fq \quad (1.2.1)$$

El signo negativo significa que las direcciones de los vectores "Fuerza ejercida por el resorte" y "desplazamiento" son opuestos. La fuerza ejercida por el resorte es de dirección tal que ocasiona que los átomos regresen a sus posiciones originales. Lo anterior y la ecuación (1.2.1) equivale a decir que el resorte obedece a la ley de Hooke y se ve que ésta es una buena analogía.

En la curva de Energía contra distancia interatómica, fig (1.2.2), la aproximación hecha en el párrafo anterior es válida únicamente en la región parabólica de la curva. Se puede ver en la misma fig., que la región parabólica de la curva corresponde a pequeñas amplitudes de vibración. Para grandes valores de Energía, esto es, aplicar una fuerza muy grande, la unión molecular se rompe.

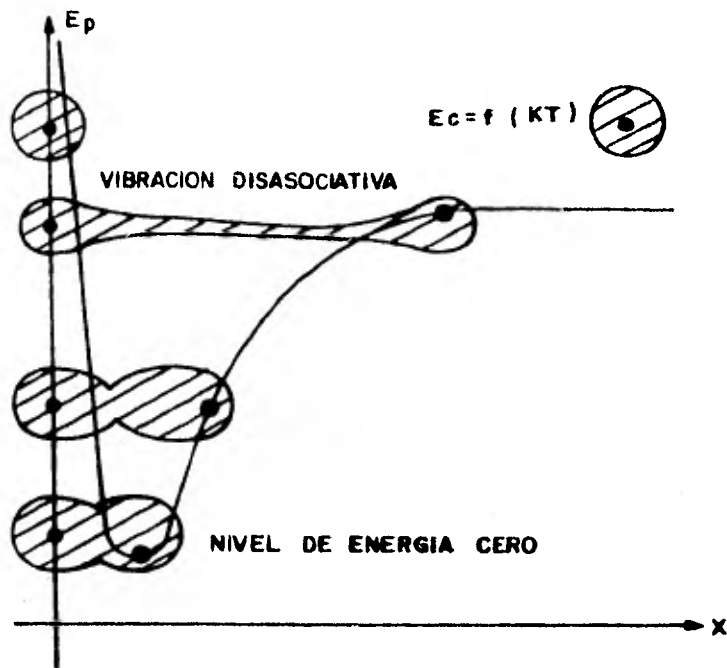


Fig. 1.2.2 Relación entre los niveles de energía potencial y el proceso vibracional de disociación. E_p representa la energía potencial, E_c la energía Cinética, K es la constante de Boltzmann y T es la temperatura en grados Kelvin.

Si se denota la velocidad de los átomos como \dot{q} ($=dq/dt$) y la aceleración como \ddot{q} ($=d^2q/dt^2$) se puede aplicar la segunda ley de movimiento de Newton e igualar la fuerza con el producto masa por aceleración. En este punto se escribirá la masa como M , siendo M una función de m_A y m_B (1).

$$\text{Fuerza} = M \ddot{q} \quad (1.2.2)$$

Luego entonces

$$-fq = M \ddot{q}$$

$$M \ddot{q} + fq = 0 \quad (1.2.5)$$

Esta es una ecuación diferencial de segundo orden, la cual puede ser resuelta mediante la sustitución

$$q = A \cos (2\pi\nu t + \rho) \quad (1.2.4)$$

de donde

$$\begin{aligned} \ddot{q} &= -4 \pi^2 \nu^2 A \cos (2\pi\nu t + \rho) \\ &= -4 \pi^2 \nu^2 q \end{aligned} \quad (1.2.5)$$

Sustituyendo esto en la ecuación (1.2.3) se obtiene - -

$$(-4 \pi^2 \nu^2 M + f) q = 0$$

y asumiendo $q \neq 0$

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{f}{M}} \quad (1.2.6)$$

Esta ecuación puede ser familiar como la ecuación del movimiento armónico simple y tiene un significado físico muy simple. Se puede mostrar ahora que q cambia con la frecuencia en una forma regular y periódica, con un factor de fase ρ y una amplitud A .

La máxima desviación desde la distancia internuclear promedio, es la cantidad que da la máxima extensión y compresión, llamada A en (1.2.4).

El factor de fase ρ solo determina el punto sobre la curva en el cual la vibración empieza y no tiene significado físico en este caso.

La frecuencia ν (ciclos por seg.) da el tiempo requerido para que la molécula ejecute un ciclo completo de vibración. Esta cantidad puede medirse experimentalmente y a través de la ecuación (1.2.6) se calcula la constante de proporcionalidad f .

Esta constante de proporcionalidad es conocida como -

una constante de fuerza. Puede definirse en términos de la ley de Hooke, pero esto no es conveniente. Alternativamente puede ser definida en términos de la energía potencial vibracional. Esto se encuentra por integración del producto de la fuerza aplicada al resorte y el desplazamiento (la energía potencial de la molécula es el trabajo hecho en ella), de tal manera que ésta está dada por:

$$E_p = \int_{q=0}^q (-\text{Fuerza Ejercida}) dq$$

$$2 E_p = f q^2 \quad (1.2.7)$$

Diferenciando la energía potencial dos veces con respecto a q , se obtiene una definición de f :

$$f = \frac{d^2 E_p}{dq^2} \quad (1.2.8)$$

El factor M usado en la ecuación (1.2.2) se obtiene formulando la segunda ley de Newton en la forma de Lagrange, y del concepto de coordenadas relativas del centro de masa cuya solución da por resultado:

$$M = \frac{m_a m_b}{m_a + m_b}$$

quedando la ecuación (1.2.6) (2).

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{1}{M_a} + \frac{1}{M_b}\right) f} \quad (1.2.10)$$

El tratamiento de la molécula diatómica ha sido presentado

de tal manera que muestra los principios básicos involucrados en el cálculo de sus frecuencias de vibración o, si la frecuencia de vibración ha sido medida, el cálculo de la constante de fuerza f (1). Estos principios son usados en el tratamiento de moléculas poliatómicas, pero debido al incremento de complejidad matemática en los cálculos es fácil perderlos de vista.

Se considera que la molécula diatómica no tiene momentos lineal o angular. Estas restricciones permiten hacer el estudio de los cambios en las posiciones relativas de los átomos en una molécula, conocidos como vibraciones. Los movimientos de los átomos son de tal manera restringidos por las condiciones que el momento lineal total con respecto a cada eje cartesiano es cero y el momento angular total con respecto a cada eje de rotación es también cero. Se considera que la molécula está formada por partículas conectadas unas a otras por resortes que obedecen a la ley de Hooke. Asumiendo que la dinámica de la molécula puede ser explicada por la mecánica clásica, los movimientos de los átomos están sujetos solamente a las leyes de Newton del movimiento (en realidad hay que auxiliarse de la Física cuántica para resolver estos problemas; con la ayuda de la física clásica se obtiene una muy buena aproximación en el análisis de movimientos de átomos en moléculas) (1). Si estos son aplicados, se encuentra que los átomos se mueven en una especie de oscilación regular conocida como movimiento armónico simple. La frecuencia de oscilación está dada por una ecuación similar a (1.2.10) la

cual muestra que ésta depende de dos factores: la constante de fuerza del "resorte" y el factor de masa reducida M , dado por una ecuación similar a (1.2.9).

1.2.2 La Molécula Poliatómica.

Para moléculas poliatómicas cada una de las $3N-6$ frecuencias de vibración de las moléculas serán dados por una expresión que involucre cantidades como el factor de masa reducida y la constante de fuerza. Cuando el movimiento de cualquiera de los átomos se describe con respecto al centro de masa, la expresión para la segunda ley de Newton involucra un término como el de la ecuación (1.2.9) que por tener unidades de masa se conoce precisamente como factor de masa reducida.

Las coordenadas cartesianas de desplazamiento de un átomo A son representadas como X_A , Y_A y Z_A . Luego entonces existen $3N$ coordenadas cartesianas en una molécula con N átomos.

Las coordenadas internas de una molécula son referidas a los **cambios** en las posiciones relativas de los átomos, o sea, los **cambios** en la longitud de la unión o los ángulos que forman las uniones. Las coordenadas internas se representan como r_i donde la variable suscrita i es la que identifica cada coordenada interna. La razón de cambio de r_i con respecto al tiempo se representa como \dot{r}_i .

El símbolo q_i es usado para denotar cualquier clase de coordenada.

El símbolo Q_i denota la i ésima coordenada normal; la

variación en las coordenadas internas de una molécula triatómica con respecto al centro de masa de uno de los átomos que la forman, está dada por:

$$r_1 = L_{11} \cos (2\pi \nu_1 + \rho) , r_2 = L_{21} \cos (2\pi \nu_1 + \rho) \quad (1.2.11)$$

y

$$r_1 = L_{12} \cos (2\pi \nu_2 + \rho) , r_2 = L_{22} \cos (2\pi \nu_2 + \rho) \quad (1.2.12)$$

donde L_{11} , L_{21} , L_{12} y L_{22} representan las máximas amplitudes de vibración.

Las coordenadas normales Q_1 y Q_2 se definen como

$$r_1 = L_{11} Q_1 + L_{12} Q_2 \quad (1.2.13)$$

$$r_2 = L_{21} Q_1 + L_{22} Q_2 \quad (1.2.14)$$

Las energías, Potencial (E_p) y Cinética (E_c), quedan reducidas a una forma particularmente simples cuando son expresadas en términos de las coordenadas normales. En general

$$2E_c = \sum_i^l \lambda_i Q_i^2 \quad (1.2.15)$$

$$2E_p = \sum_i^l \dot{Q}_i^2 \quad (1.2.16)$$

$$i = 4\pi^2 \nu_i^2 \quad (1.2.17)$$

Existen $3N-6$ términos en la suma sobre todos los valores de i .

Las ecuaciones (1.2.15) y (1.2.16) indican el significado de las coordenadas normales. Primeramente, son muy útiles porque la teoría de vibraciones puede ser explicada

en forma mas simple en términos de ellas; puesto que al reducir el número de términos la complejidad matemática se ve disminuida; son de gran utilidad matemática. En segunda, tienen un significado físico muy claro.

Suponiendo que la molécula absorbe un cuanto de luz con una frecuencia ν_k . Las ecuaciones (1.2.15) y (1.2.16) dan la energía de la molécula como $2E_c = \lambda_k Q_k^2$ y $2E_p = \dot{Q}_k^2$. Luego entonces, para un cuanto absorbido, una sola coordenada es involucrada. Se puede hacer un experimento en el cual luz monocromática de frecuencia ν_k fué aplicada a la molécula. La coordenada normal Q_k da la relación de desplazamientos de todos los átomos en esa vibración. Si es necesario, estos desplazamientos pueden ser dados en coordenadas cartesianas porque las relaciones entre coordenadas cartesianas e internas, internas y normales, son conocidas. Estos desplazamientos pueden ser dados gráficamente como en la fig. (1.2.2), donde la extensión del desplazamiento atómico está representado por la longitud de las flechas, mientras que la magnitud absoluta de los desplazamientos es indicada arbitrariamente. Se podrá notar que cada coordenada normal involucra un encogimiento o compresión de ambas uniones y que en el caso del ión de tiocianato, todos los átomos se desplazan en ambas coordenadas normales. Esto resulta en parte por la forma en la cual se ha excluido la translación de la molécula usada. Si se dibujan los desplazamientos con el átomo central estacionario, habría una translación neta de la molécula en la dirección del eje molecular.

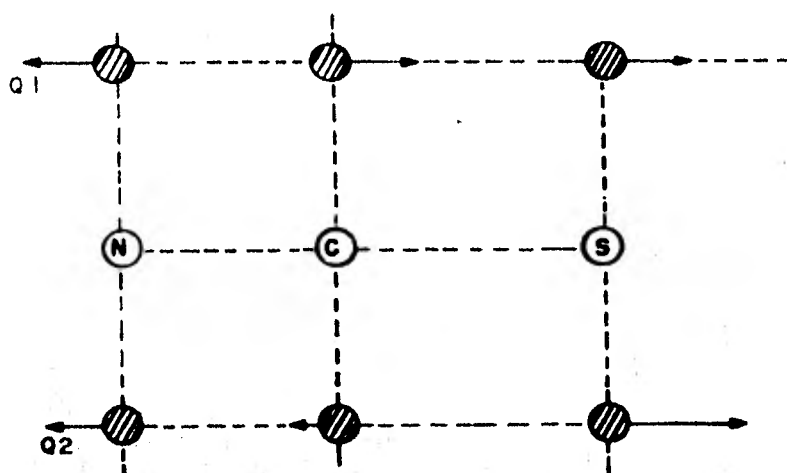


Fig. 1.2.2 Coordenadas de desplazamiento normal en el ión de tiocianato. La molécula es dibujada a escala pero los desplazamientos son exagerados para una mayor claridad. Sin embargo, las magnitudes relativas de los desplazamientos en ambas coordenadas normales están dibujadas a escala.

Si en el experimento de espectroscopia las moléculas son iluminadas con luz policromática o "blanca", todas las vibraciones son excitadas simultáneamente, mientras que las coordenadas de desplazamiento atómico están dadas simplemente como la suma de sus desplazamientos normales. Esto resulta de las ecuaciones (1.2.15) y (1.2.16): no hay términos en estas ecuaciones los cuales involucren más de una coordenada, en contraste con cualquier ecuación dada en términos diferentes que no sean coordenadas normales.

Se puede responder ahora a la pregunta planteada al principio de este capítulo: ¿Cómo pueden ser descritos los movimientos aparentemente caóticos de los átomos en las moléculas?, la respuesta es: descomponiendo el movimiento en tres tipos, translación, rotación y vibración. El movimiento vibracional es descompuesto en sus vibraciones normales y por otro lado en las elongaciones absolutas producidas por la vibración, de esta manera la vibración está completamente especificada. La elongación absoluta de la vibración puede, en principio, ser determinada por la magnitud de la cantidad de interacción de las moléculas con la luz, por ejemplo, la absorción.

Es importante enfatizar que para cada frecuencia observada hay un modo normal de vibración, descrito por su coordenada normal. Los modos normales son completamente independientes uno de otro, mientras que cada modo normal puede ser una mezcla de varios modos internos como por ejemplo, encogimiento de la unión o deformaciones de los ángulos.

1.3 DEFINICION DE COORDENADAS INTERNAS

Es conveniente clasificar las coordenadas internas en sus diferentes categorías de tal manera que éstas describan todas las formas de vibración. desafortunadamente no hay un acuerdo convencional en lo que se refiere al nombre y uso de coordenadas internas, pero las que se dan aquí son ampliamente usadas (4). Estas coordenadas no son en general coordenadas normales; pero pueden ser normales en casos especiales (importantes en la práctica) en donde uno de los átomos de una molécula triatómica o tetraatómica es tan pe-

sado en comparación con los otros átomos que puede considerarse efectivamente estacionario.

1.3.1 Estiramiento de la unión. (STRETCHING)

Se trata de una coordenada muy simple y una de las que tienen mayor interés para la química, por la energía absorbida que indica la naturaleza de la unión. Puede ser descrita pictóricamente como en la fig. (1.3.1). Aquí la flecha representa un vector de desplazamiento el cual indica un cambio en la longitud de la unión. La flecha se

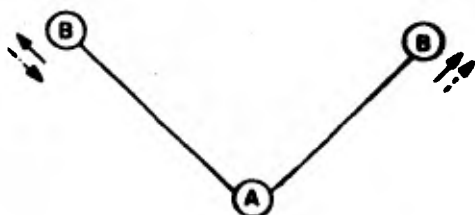


Fig. 1.3.1 Coordenada de estiramiento simétrico de la unión.

dibuja paralela a las uniones, de tal manera que se distinga este tipo de coordenada de una coordenada de desplazamiento atómico. La coordenada de estiramiento asimétrico es semejante al anterior; la única diferencia es que mientras una unión se encoge, la otra se estira. Este efecto de coordenada se muestra en la fig. (1.3.1) mediante la flecha punteada. El efecto de encogimiento sería un estiramiento negativo.

1.3.2 Variación del ángulo que forman las uniones

Como su nombre lo indica, se define como el cambio del ángulo entre dos uniones. Se le da el símbolo general δ . Se representa como en la figura (1.3.2). los vec

tores de desplazamiento son perpendiculares a las uniones.

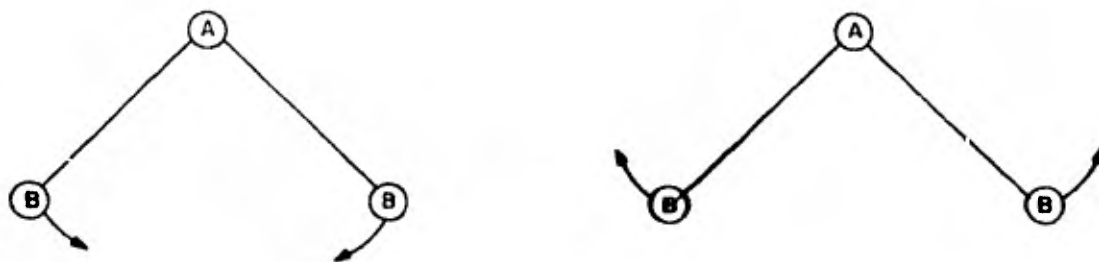


Fig. 1.3.2 Coordenada de variación de Angulo

Los límites de variación del ángulo serán según la amplitud de la onda electromagnética de excitación.

1.3.3 Coordenada de Golpeteo (Rocking)

Una coordenada de golpeteo es un caso particular de una coordenada de variación de ángulo, donde el ángulo en cuestión es de 180 grados en su estado de equilibrio. Puede tomar la forma de un cambio de ángulo entre dos uniones o entre una unión y un grupo de átomos como en la fig. (1.3.3). En el segundo caso, el grupo CAC se mueve como una totalidad (la longitud de la unión AC y el ángulo CAC permanecen constantes) y el ángulo del grupo con la unión BA cambia. Los vectores de desplazamiento son dibujados como flechas de dos puntas por el movimiento de los átomos en ambas direcciones.

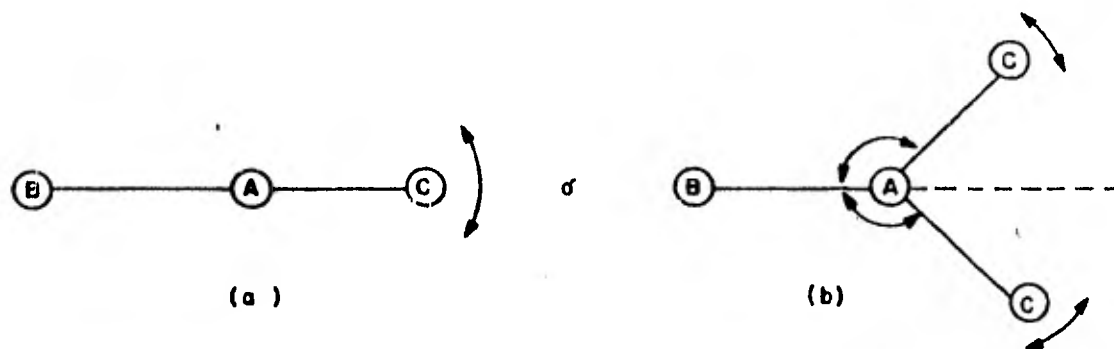


Fig. 1.3.3 Ejemplos de coordenadas de golpeteo. En ambos casos las distancias BA y AC permanecen constantes. En el caso (b) el ángulo CAC también permanece constante; el ángulo que varía es el BAC.

1.3.4 Coordenada De Sacudimiento (WAGGING)

Una coordenada de sacudimiento se define como un cambio de ángulo entre una unión y un plano o una variación entre un plano que formen un grupo de átomos en la molécula y una línea formada por otro grupo de átomos en la molécula. Un ejemplo de un modo de sacudimiento se muestra en la fig. (1.3.4.).

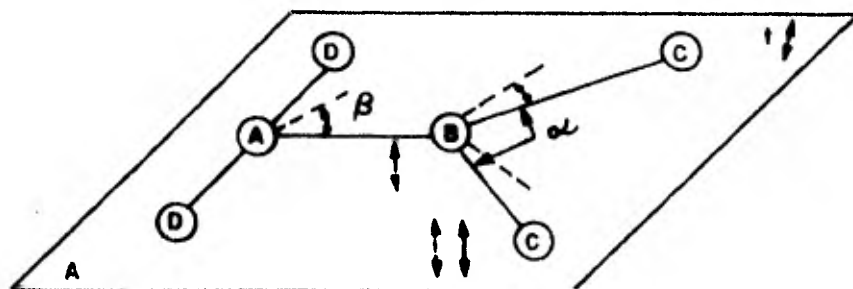


Fig. 1.3.4 Coordenada de Sacudimiento

Uno de los casos de coordenada de sacudimiento se muestra con las flechas de trazo continuo de la fig. (1.3.4). Los ángulos DAB y CBC permanecen constantes, pero el ángulo que forma el grupo CBC con respecto al plano que forman el grupo DAB es el que varía. El otro caso de coordenada de sacudimiento se muestra por las flechas punteadas. Nuevamente los ángulos mencionados anteriormente permanecen constantes, así como también el ángulo α no varía con respecto al plano formado por DAB. La coordenada que varía en este segundo caso es el ángulo β , que formarían el plano constituido por el grupo CBC y la línea que forma el grupo DAD.

1.3.5 Coordenada De Diglucamiento (TWISTING).

En este tipo de vibración el ángulo entre dos planos cambia. Un ejemplo simple de esto se encuentra en una molécula tipo ABCD, como se muestra en la fig. (1.3.5). En este ejemplo los ángulos entre los planos definidos por los átomos BAC y BCD cambian. Hay una distinción entre

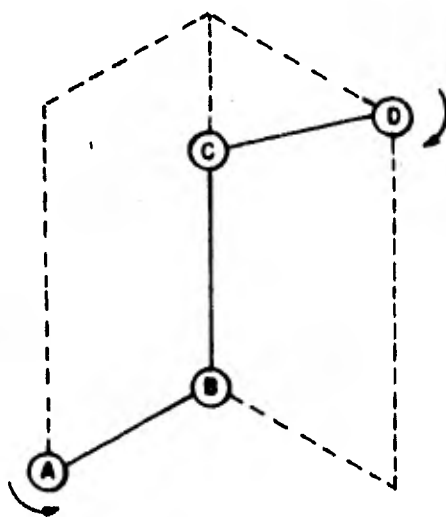


Fig. 1.3.5 Coordenada de Diglucamiento.

aquellos casos en los cuales los planos son inicialmente coplanares y aquellos en los cuales no lo son: en el primer caso, la coordenada puede cambiar de signo bajo ciertas operaciones de simetría. Un ejemplo de este caso es provisto por el diglucamiento de los dos grupos de CH_2 - en etileno, relativos el uno con respecto al otro.

2 El Simulador Electrónico de Modos de Vibración de Átomos en Moléculas

2.1 Introducción

De los movimientos de átomos en moléculas, el más simple, el de translación, es un movimiento trivial y no será tratado. Los movimientos que muestra el simulador son:

- a) ROTACIONAL
- b) ESTIRAMIENTO SIMETRICO
- c) ESTIRAMIENTO ASIMETRICO
- d) TIJERETEO O DOBLAMIENTO DEL ANGULO
- e) GOLPETEO
- f) DIGLUCAMIENTO y
- g) SACUDIMIENTO

Atendiendo el circuito que simula los movimientos anteriores y para facilitar el análisis del mismo, se divide en cuatro módulos que son los que muestran estos movimientos y un circuito electrónico que da las ordenes de funcionamiento en tiempo y modo, pues funciona un solo módulo a la vez. Los 7 movimientos anteriores se dividen en los módulos de la siguiente manera:

- a) Módulo número 1: muestra el movimiento rotacional.
- b) Módulo número 2: muestra los movimientos de estiramiento simétrico y asimétrico.
- c) Módulo número 3: muestra los movimientos

de tijereteo y golpeteo y.

d) Módulo número 4: muestra los movimientos de diglucamiento y sacudimiento.

El diagrama de bloques del simulador se muestra en - la fig. (2.1). El flujo de señales o de información en -

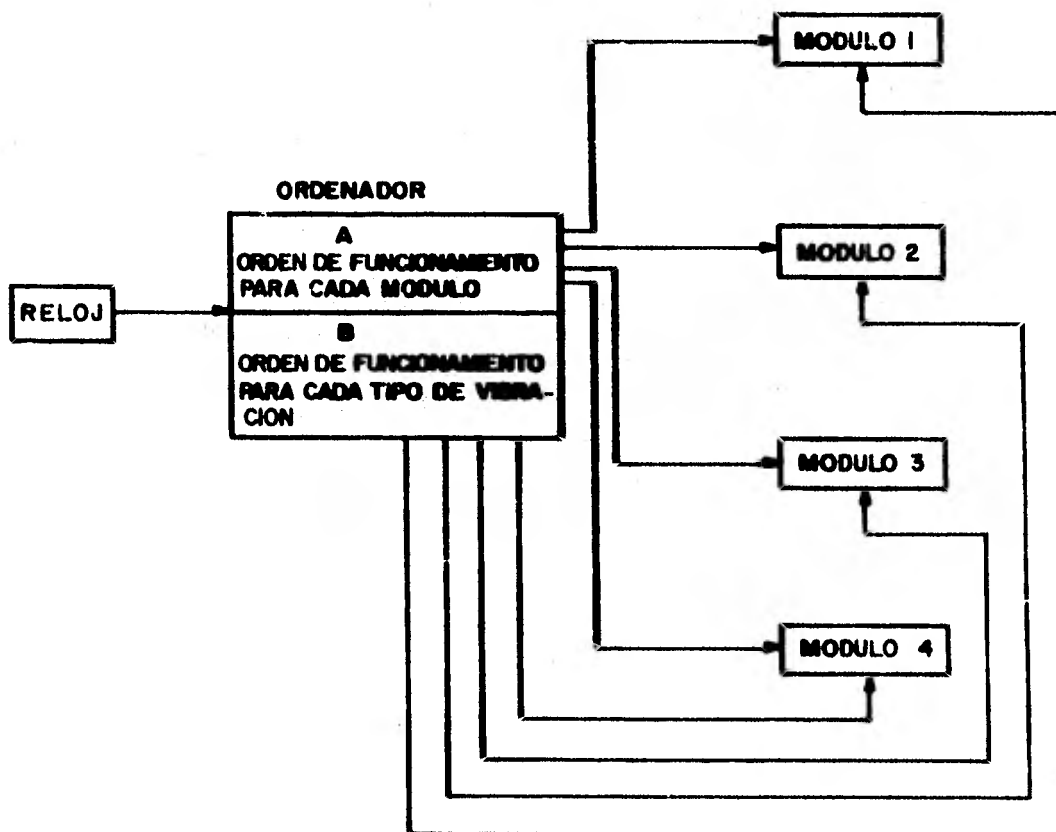


Fig. 2.1 Diagrama de bloques del Simulador Electrónico de Modos de Vibración de Átomos en Moléculas.

el Simulador Electrónico de Modos de Vibración de Átomos en Moléculas (S.E.M.V.A.M.), es como sigue: Primeramente

las señales del Circuito Ordenador de Módulos (C.O.M.), marcado con las letras A y B de la figura (2.1), accionan al módulo número 1 para que funcione. El accionar de cada módulo se logra con interruptores electrónicos accionados por el mismo C.O.M. . Para que el módulo número 1 funcione, la parte del C.O.M. marcada con la letra A en la figura (2.1) acciona los interruptores adecuados para que solamente este módulo esté listo a recibir la información del bloque B del C.O.M. . El bloque A del C.O.M. es el que decide que módulo es el que ha de recibir la información del bloque B. El bloque B manda al mismo tiempo las mismas señales a los cuatro módulos pero, gracias al bloque A, solo un módulo es accionado. Otra de las funciones del bloque A del C.O.M. es indicar al bloque B el tipo de información que debe enviar hacia los módulos. El hecho de sincronizar las señales de modo de vibración con la orden de funcionamiento para cada módulo se debe a que los bloques A y B del C.O.M. son controlados por la misma señal de reloj. Una señal de reloj la constituyen un tren de pulsos de onda cuadrada con una amplitud de 5 volts y una duración de cada pulso cuyo valor típico para compuertas TTL es del orden de los microsegundos.

2.2 Módulo Número 1: Movimiento Rotacional.

Para representar los átomos en movimiento se utilizan diodos emisores de luz (LED's), rojos en este caso. Un LED tiene características muy semejantes a cualquier diodo de material semiconductor. Cualquier diodo presenta muy poca resistencia al paso de la corriente eléctrica en

un sentido y resistencia muy grande en sentido contrario. La diferencia entre ambos tipos de diodos es que el LED transforma una parte de la energía eléctrica en luz visible. Los colores mas comunes en un LED son: rojo, verde, amarillo y blanco. En el módulo número 1 estos LED's se prenden y apagan de tal manera que da el efecto óptico de rotación de una línea. Esta línea gira alrededor de un punto fijo y es la que representa la coordenada de rotación de una molécula. Un tipo de molécula que, excitandola adecuadamente, exhibe este tipo de movimiento es aquella que consta de un átomo muy pesado y uno muy ligero. En la molécula de ácido iodhídrico (HI), el átomo de iodo es aproximadamente 100 veces más pesado que el átomo de hidrógeno (5). En esta molécula el átomo de iodo casi no tiene movimiento, solamente hay rotación del átomo de hidrógeno alrededor del centro de masa (casi el centro de masa del átomo de iodo). En la figura (2.3) se muestra el arreglo de diodos formando tres circunferencias. En este módulo el átomo pesado se representa por un LED permanentemente encendido al centro de la configuración de LED's, mientras que la coordenada de rotación se representa por una línea radial formada por tres LED's. En un instante una de las ocho líneas radiales que forman el módulo número 1 tienen los LED's que la forman encendidos. En el siguiente instante la línea de LED's anterior se apagan y se encienden los LED's que forman la línea que se encuentra enseguida. En el tercer instante la línea anterior se apaga y se enciende la línea que se encuentra en seguida, siempre en el mismo sentido de tal manera que se logra ópticamente el efecto de rotación de una línea.

Se sabe de los datos del fabricante, que un LED consume aproximadamente 20 miliamperes (6). El LED que simula la coordenada del átomo pesado está conectado a la fuente de alimentación de 5 Volts. Despreciando la resistencia del LED en el sentido de conducción (del orden de décimas de ohm), hay que limitar la corriente que pasa a través del LED con una resistencia, que se calcula mediante la ley de Ohm.

$$R_L = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

donde R_L es la resistencia limitadora en Ohms, V es el voltaje aplicado en volts y I es la corriente consumida en amperes, de esto se obtiene un valor para R_L de

$$R_L = \frac{5}{20 \times 10^{-3}}$$

$$R_L = 250 \text{ Ohms}$$

la potencia disipada por esta resistencia se calcula mediante la ley de Joule:

$$P = I^2 R \quad (2.2)$$

donde P es la potencia disipada en Watts, por lo tanto

$$P = (20 \times 10^{-3})^2 \times 250$$

$$P = 0.1 \text{ Watts}$$

el valor comercial más próximo para R_L es de 270 Ohms a 1/4 de Watt.

Cada una de las ocho líneas de LED's está conectada a un interruptor electrónico que en este caso es una compuerta AND (Para ver características de funcionamiento de esta compuerta, ver el anexo). Por la entrada marcada con A en la figura (2.2) llega la orden desde el bloque A del ordenador

en la figura (2.1) para activar las 8 compuertas. Una vez activadas las compuertas es como si los interruptores se cerrasen.

Con los interruptores cerrados se recorre un pulso de voltaje en las entradas marcadas con letras minúsculas en la figura (2.2). El corrimiento del pulso desde la a hasta la h repetitivamente, ocasiona que los LED's de una línea se prendan y se apaguen dando la apariencia óptica de rotación, figura (2.3). El arreglo lógico para el módulo número 1 se muestra a continuación.

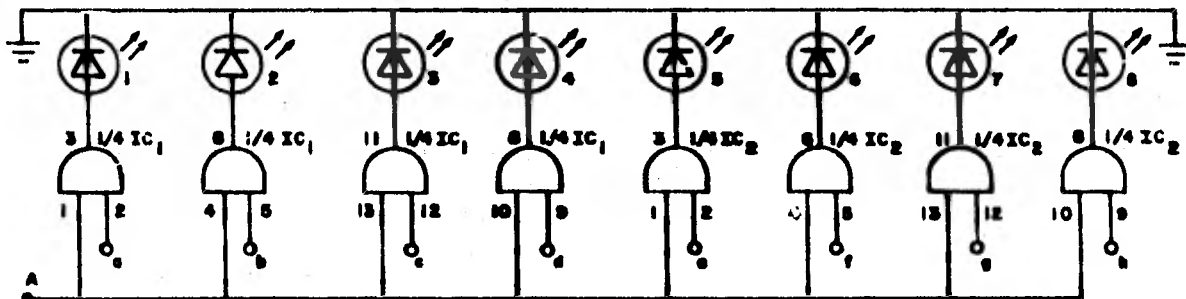


Figura 2.2 Disposición lógica del módulo número 1.

IC₁ e IC₂, circuito integrado número 7408.

Las entradas marcadas con las letras desde la a hasta la h son las portadoras de las señales desde el bloque B del C.O.M. .Claramente si A y cualquiera de las otras 8 entradas marcadas con minúsculas están a un potencial de 5 Volts, los diodos de la línea respectiva prenderán.

Las compuertas AND usadas son del circuito integrado número 7408, con cuatro compuertas en cada circuito (8). Por el tipo de conexión a la salida de las compuertas la corriente que circula por los LED's es la corriente de -

saturación de dichas compuertas, esto debido a la baja impedancia que presentan los LED's al paso de la corriente por estar en polarización directa. La corriente de saturación de estas compuertas es ligeramente menor a los 20 miliamperes, lo cual implica que los LED's conectados a las salidas de las compuertas no requieren de una resistencia limitadora de corriente.

Con el diagrama de la figura (2.2) y sabiendo que el LED que simula la coordenada del átomo pesado está al centro de la configuración de LED's y siempre prendido, el diagrama de alambrado impreso es como sigue:

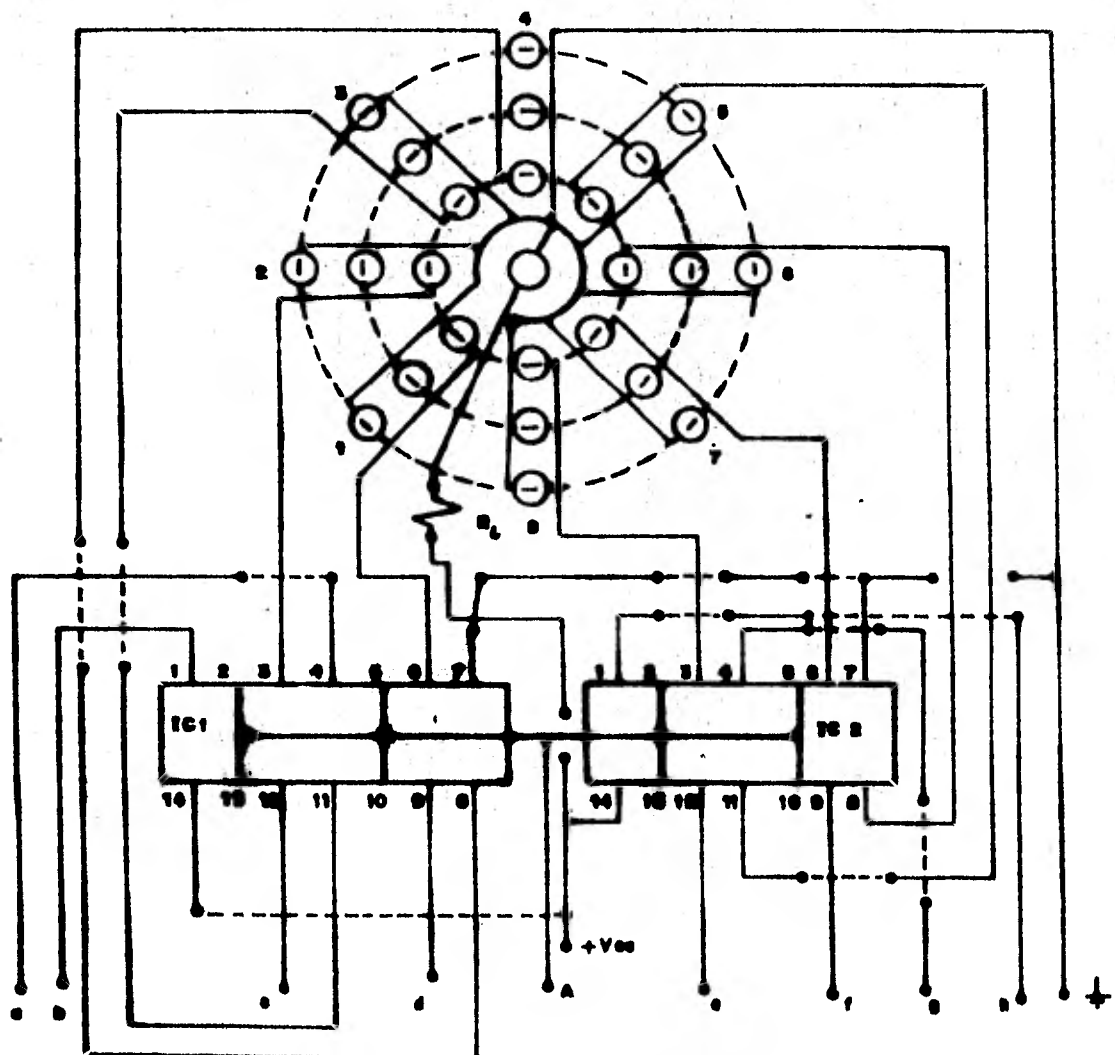


Fig. 2.3 Alambrado impreso del módulo número 1. Los pequeños círculos representan los LED's. IC₁ e IC₂ circuito integrado número 7408. R_L resistencia de carga; 270 ohms a 1/4 de Watt.

2.3 Módulo Número 2. Alargamiento simétrico y asimétrico. Se trata éste del primer movimiento vibratorio. Al igual que el anterior las coordenadas de movimiento están representadas por el prenderse y apagarse de un grupo de LED's.

En este módulo se representan dos tipos de coordenadas de vibración: alargamiento simétrico o alargamiento asimétrico. Como cualquiera de estos dos movimientos es representado por el mismo grupo de LED's, es necesario incluir un tipo diferente de interruptor electrónico, interruptor que permita el paso de información para un tipo de vibración o para otro. Con una compuerta OR (Revisar Anexo), se logra este efecto. De la figura (2.4) las entradas marcadas con las letras A ó B corresponden a la orden desde el bloque A del C.O.M. para que funcione uno u otro tipo de vibración. En las entradas marcadas con las letras desde la a hasta la h se aplica la información proveniente del bloque B del C.O.M. para mostrar el tipo de vibración en particular. Para mostrar la coordenada de vibración de encogimiento simétrico en la entrada B aparece un uno lógico ó 5 Volts, esto habilita las 8 compuertas AND a las cuales está conectada esta entrada. En el primer instante en las entradas marcadas con a y e aparece un pulso con una amplitud de 5 volts, que debido a las características de las compuertas AND y OR, ocasiona que los LED's respectivos prendan. Este pulso recorre las entradas en orden alfabético hasta que aparezca en las entradas d y h; en ese momento se invierte el sentido de corrimiento de este pulso y recorre las entradas en orden alfabético decreciente, completando así un ciclo que se repite

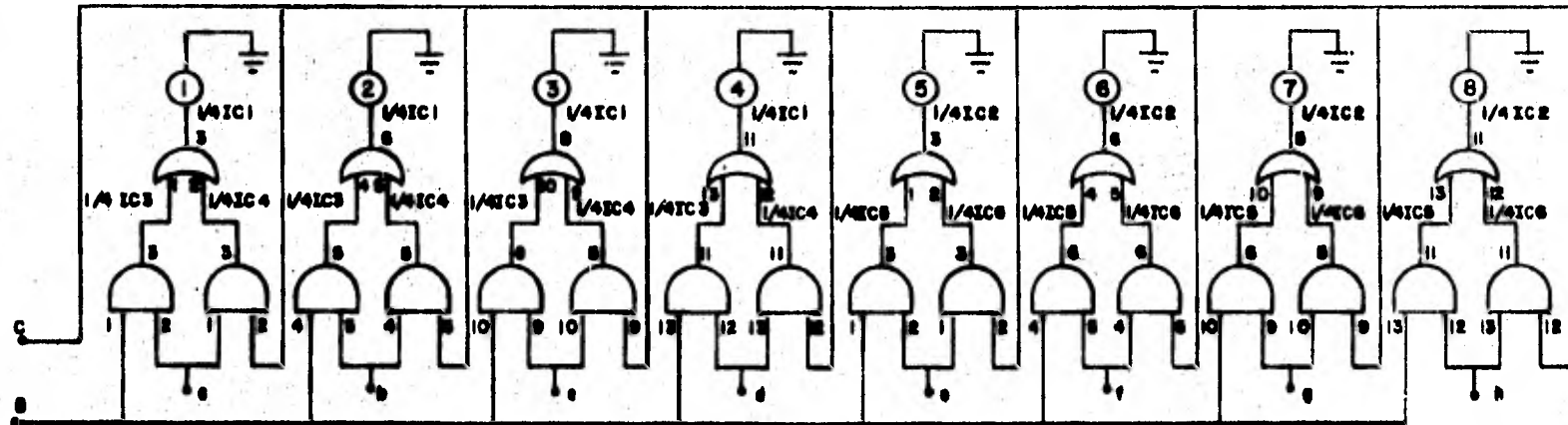


Fig. 2.4 Disposición l6gica para el m6dulo n6mero 2.
 IC₁ e IC₂ circuito integrado n6mero 7432.
 IC₃, IC₄, IC₅ e IC₆ circuito integrado n6-
 mero 7408. Los peque1os circulos represen-
 tan los LED's.

hasta que el bloque A del C.O.M. ordene un cambio en tipo de vibración y aparezca un valor de 0 volts o cero lógico en la entrada B. Cuando el bloque A del C.O.M. ordena un cambio de coordenada de vibración, en B aparece un cero lógico y en C aparece un uno lógico; esto ocasiona que se habilite el otro grupo de compuertas AND. Para mostrar esta coordenada de vibración de encogimiento asimétrico, en las entradas marcadas con las letras a y h aparece un pulso con una amplitud de 5 volts, que ocasiona que los LED's respectivos prendan.

Este pulso recorre las entradas desde la a hasta la d en orden alfabético y para las entradas desde la h hasta la e las recorre en orden alfabético decreciente, completando así medio ciclo. En la segunda unidad el pulso recorre las primeras cuatro entradas en orden alfabético de creciente y las últimas cuatro entradas en orden alfabético creciente.

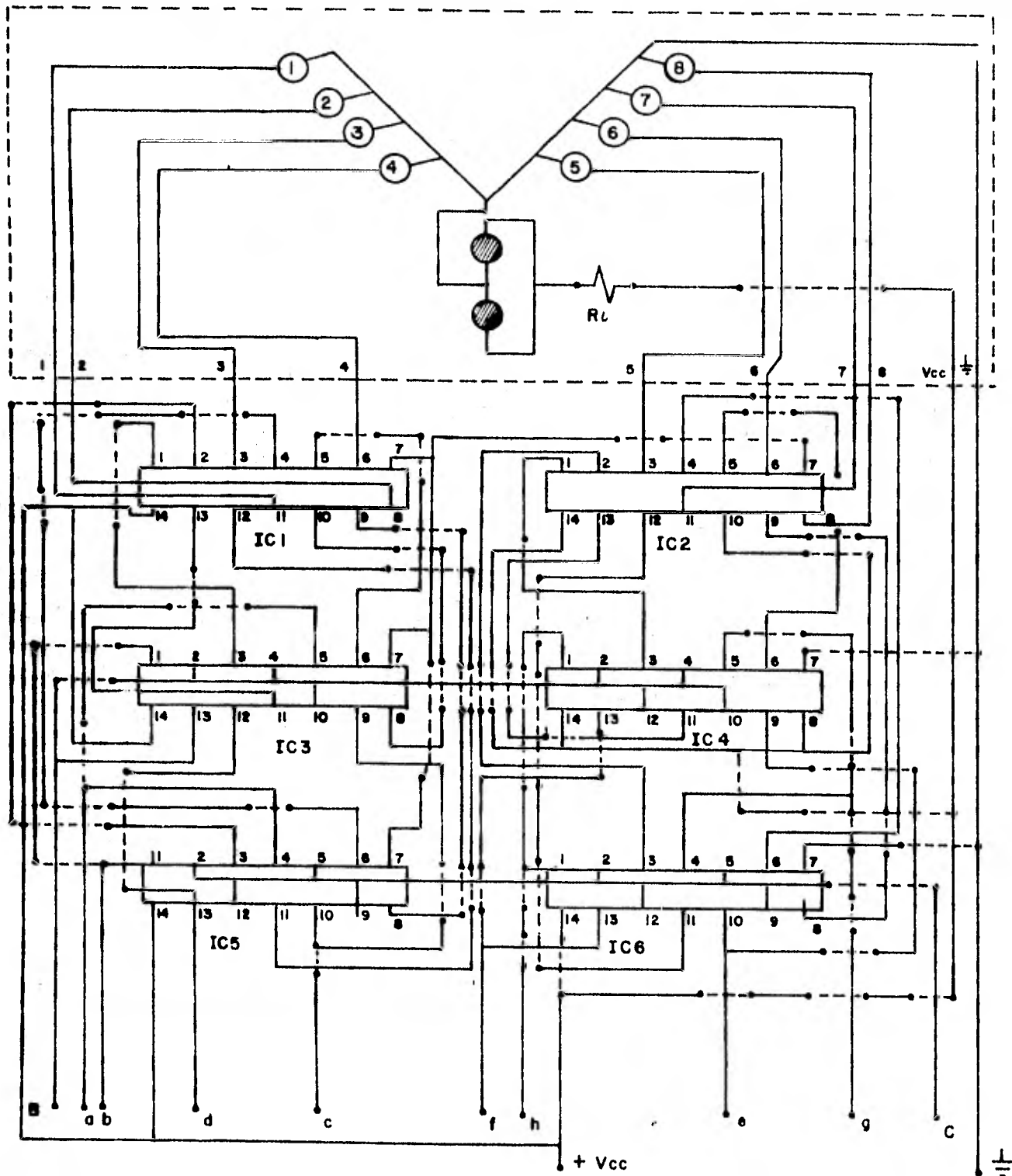


Fig. 2.5 Alambrado impreso del módulo número 2. Los círculos numerados representan los LED's; los círculos rayados representan los LED's siempre prendidos; IC₁ y IC₂ circuito integrado número 7432; IC₃, IC₄, IC₅ y IC₆ circuito integrado número 7408; R_L resistencia de carga de 270 Ohms a 1/4 Watt.

2.4. . Módulo Número 3. Movimientos de Tijereteo y Golpeteo

Debido a que este módulo también muestra dos movimientos vibratoriales, el sistema electrónico de interruptores es semejante al del módulo número 2, fig. (2.4). Las diferencias son, por un lado las señales provenientes del C.O.M. y por el otro, el arreglo de los LED's que simulan las coordenadas a variar.

De la fig. (2.4) las entradas marcadas con B y C para este módulo están representadas por las letras D y E respectivamente indicando así que se trata de otro módulo y que por lo tanto las órdenes provenientes del C.O.M. para activar estas compuertas suceden en tiempos diferentes a los de B y C.

Cuando en D hay un valor de 5 volts las compuertas respectivas se activan dejando pasar la información proveniente del bloque B del C.O.M. para mostrar el modo de vibración de tijereteo. Cuando en E hay un valor de 5 volts, los LED's muestran la vibración de golpeteo. Hay que hacer incapié en el hecho de que solo una salida del bloque A del C.O.M. puede tener un valor de 5 volts en un instante dado; es esto lo que permite que solo un modo de vibración se muestre y los demás modos se encuentren apagados.

Como se mencionaba anteriormente, el circuito lógico de conmutación es semejante al del módulo anterior; la diferencia es el arreglo físico de los LED's en el area enmarcada con línea punteada en la fig. (2.5). En la fig. (2.6) se muestra este arreglo físico. Los números encerrados en paréntesis corresponden a los mismos números de la fig. (2.5).

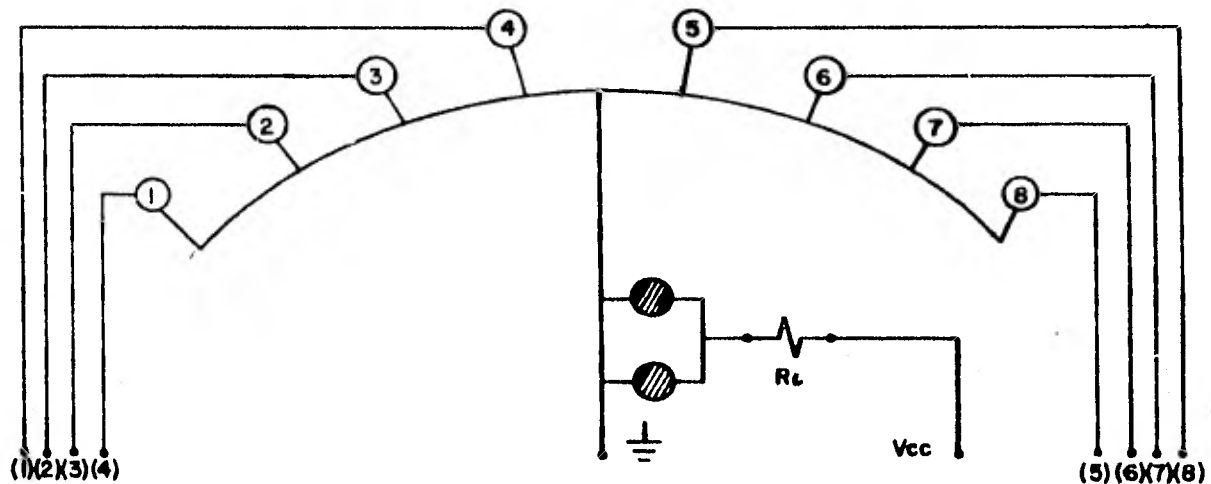


Fig. 2.6. Disposición física para el alambrado impreso del grupo de LED's de módulo número 3. Los círculos numerados representan los LED's de las coordenadas variables. Los círculos rayados representan los LED's de la coordenada de los átomos pesados. R_L es la resistencia de carga de 270 Ohms a 1/4 Watt.

2.5. Módulo Número 4. Movimientos de diglucamiento y sacudimiento.

En la parte de conmutación electrónica, este módulo es igual a los dos anteriores. Nuevamente las diferencias son por un lado las señales provenientes del C.O.M. y por el otro el arreglo físico de los LED's que simulan el movimiento. Para activar los modos de vibración de diglucamiento o sacudimiento la orden llega del C.O.M. como un uno lógico (Ver anexo) en la entrada F o en la entrada G respectivamente. Los -

pulsos que activan los LED's para mostrar el modo de vibración correspondiente provienen una vez mas del bloque B del C.O.M.

De la fig. (2.7), para el modo vibracional de diglucamiento, en el primer instante aparece un pulso de 5 volts en las entradas marcadas con 1 y 8. En los instantes posteriores el pulso se recorre de las entradas 1 a la 4 y de la 8 a la 5 para después regresar de la 5 a la 8 y de la 4 a la 1, haciendose este proceso cíclico hasta que el C.O.M. ordena cambio de modo.

En el modo de vibración de sacudimiento el pulso aparece en las entradas 1 y 5 y se recorre hasta 4 y 8 regresando después a la posición inicial completando así un ciclo de funcionamiento, fig. (2.7).

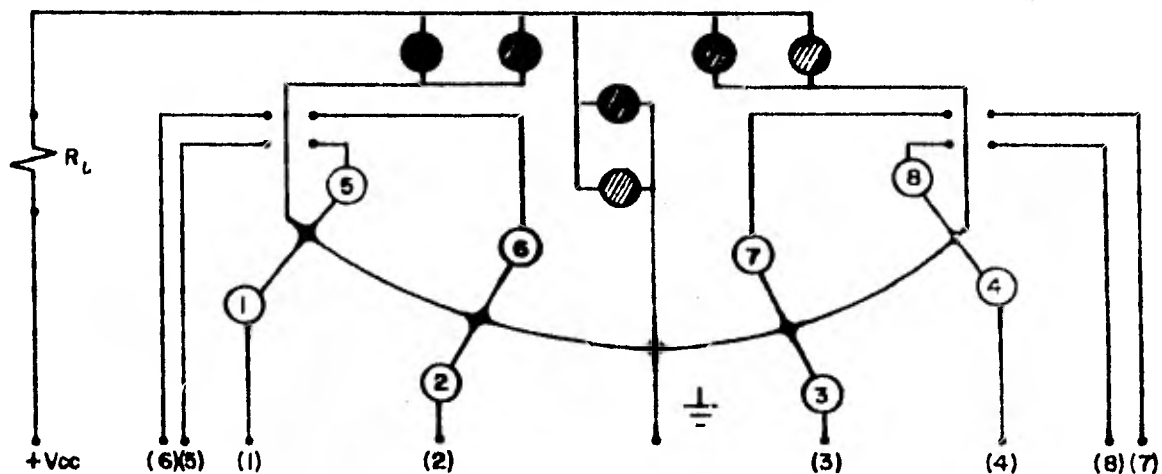
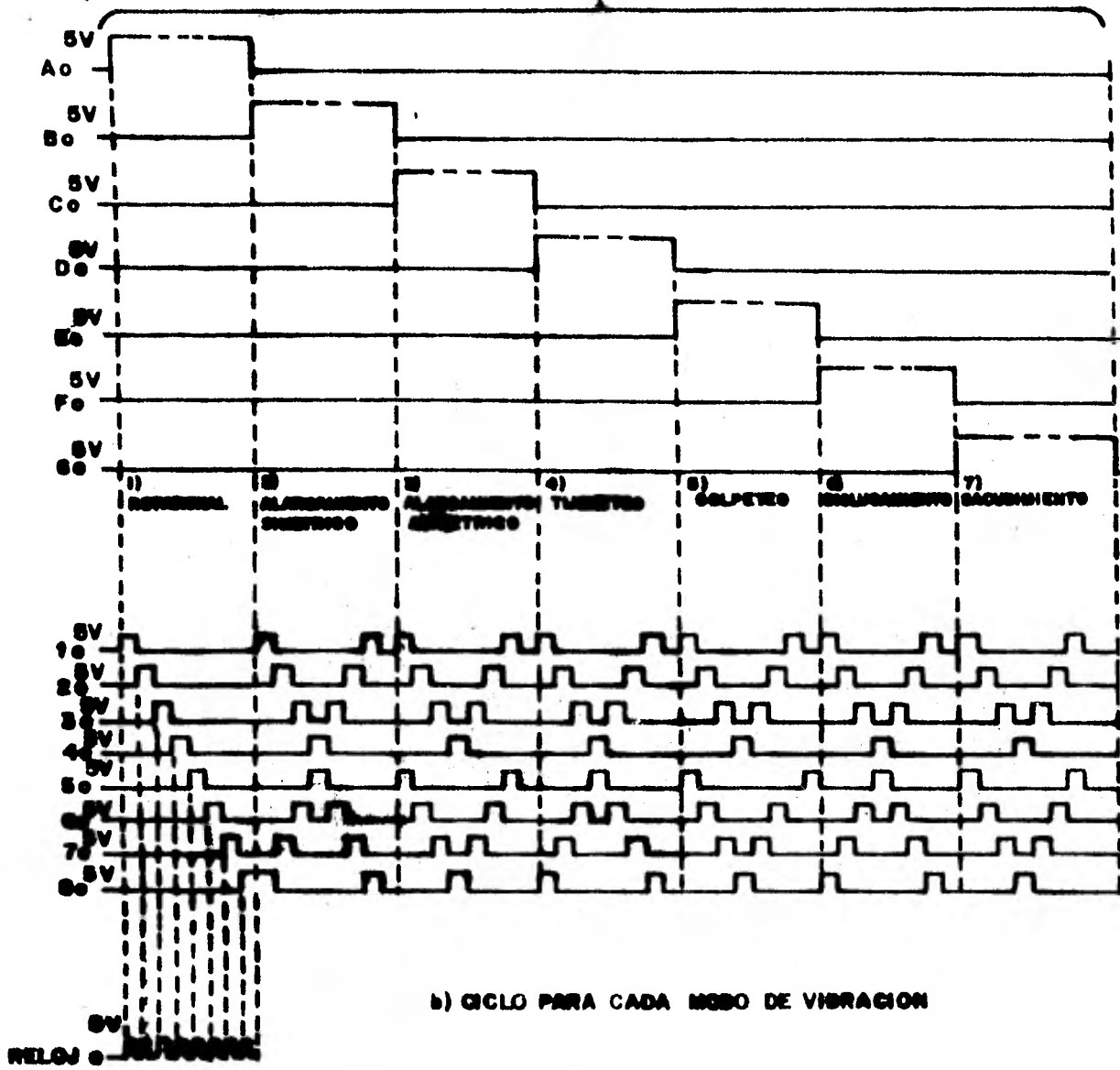


Fig. 2.7 Disposición física para el alambrado impreso del grupo de LED's del módulo número 4. Los círculos numerados representan los LED's que simulan la coordenada de los átomos ligeros. Los círculos rayados representan los LED's que simulan la coordenada de los átomos fijos. R_L es la resistencia de carga de 270 Ohms a 1/4 Watt.

En la fig. (2.8) se muestra el diagrama de tiempos para los 4 módulos. Por comodidad se muestra solamente un ciclo completo de funcionamiento, entendiendo que cada modo de vibración dura varios ciclos. Este diagrama de tiempos está de acuerdo con el tipo de funcionamiento de cada módulo con la información enviada por el C.O.M. y con los modos de vibración descritos en la sección (1.3).

a) CICLO COMPLETO PARA EL SIMULADOR



b) CICLO PARA CADA MODO DE VIBRACION

Fig. 2.8 Diagramas de tiempos para los diferentes modos de vibración. Nótese que solo una de las entradas marcadas con mayúsculas tiene un valor de 5 volts en cualquier instante de tiempo, lo cual permite que solo un modo de vibración se observe en cualquier instante. Los tiempos o pulsos de reloj son diferentes entre las partes (a) y (b).

2.6 El Circuito Ordenador de Módulos (C.O.M.)

Básicamente, las funciones del C.O.M. son 3:

- a) Activar cada módulo cuando le corresponda.
- b) Mandar a cada módulo el o los pulsos adecuados para mostrar cada tipo de vibración y
- c) Coordinar el funcionamiento de cada módulo con el tipo de vibración que ha de mostrar.

De la fig. (2.8) las señales marcadas con mayúsculas corresponden a la orden de activar cada módulo y las señales marcadas con números corresponden a los pulsos que han de prender o apagar los LED's para simular el modo de vibración correspondiente. De la misma figura se observa que los pulsos se recorren en forma cíclica; cuando el modo de vibración de sacudimiento termina su ciclo, la señal marcada con G pasa a tomar un valor de 0.0 volts e inmediatamente la señal marcada con A toma un valor de 5 volts, dando comienzo así a un nuevo ciclo de funcionamiento de todo el simulador. El hecho de recorrer un pulso cíclicamente se logra con registros de corrimiento (revisar anexo). De el manual de TTL (8) el circuito integrado número 7495, registro de corrimiento de cuatro bits (revisar anexo), programable para poder recorrer la información de izquierda a derecha o de derecha a izquierda, resulta ser el adecuado para el tipo de funcionamiento que describe la fig. (2.8). Debido a que los registros de corrimiento requieren de pulsos de reloj, cuya duración indica el tiempo que tardan en cambiar de estado - las salidas de los registros, se atiende primero el diseño de este circuito de reloj.

2.6.1 Diseño del circuito de reloj. Se mencionaba que con cada pulso de reloj el estado de las salidas de los registros de corrimiento cambia. Además, el estado de las salidas de los registros de corrimiento es de tal manera, que se recorre un pulso de 5 volts de amplitud. Este pulso es el que será transmitido a través de cada módulo a los LED's. El tiempo que dure prendido cada LED (recordar que el prenderse y apagarse de los LED's es lo que permite la sensación óptica de movimiento) es igual al tiempo o ancho del pulso que proviene de los Registros de corrimiento del C.O.M., el cual a su vez tiene el mismo ancho que el pulso de reloj. De lo anterior se concluye que la frecuencia del circuito que provee los pulsos de reloj debe ser tal que al activar los LED's pueda percibirse claramente qué LED's están prendidos y qué LED's no. Atendiendo a lo anterior el reloj se diseñó con pulsos y distancia entre pulsos de duración variables. Para que pueda ser visible el pulso de reloj, el período puede variarse desde 10 milisegundos hasta 2 segundos, por ejemplo. Del manual de circuitos integrados lineales (7) el circuito integrado número LM555, es un reloj programable para dar un pulso de duración preestablecida o un tren de pulsos que sirven como pulsos de reloj. Esta última operación del LM555 de proveer un tren de pulsos se conoce como operación astable. En la fig. (2.9) se muestra el arreglo para el LM555 en este tipo de operación astable. Con los límites de tiempo establecidos se calculan los elementos auxiliares mediante las siguientes ecuaciones de diseño:

Tiempo de carga, o sea el ancho del pulso en estado alto
(Revisar anexo).

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C \quad (2.3)$$

Tiempo de descarga, o sea el ancho del pulso en estado bajo.

$$t_2 = 0.693 (R_B) C \quad (2.4)$$

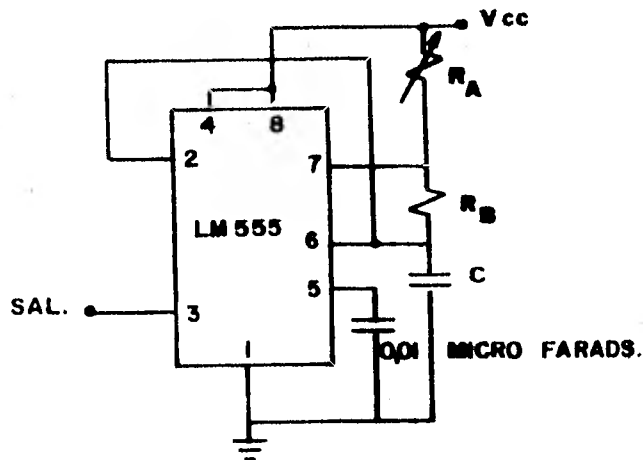


Fig. 2.9 Diagrama que muestra las conexiones para el circuito integrado número LM555, operando en modo astable.

De las ecuaciones (2.3) y (2.4) y de la fig. (2.4.9), el ancho del pulso de estado alto está dado por el tiempo de carga del circuito RC formado por la resistencia $R_A + R_B$ y el capacitor C. El ancho del pulso en estado bajo está dado por el tiempo de descarga del circuito RC formado por la resistencia R_B y el capacitor C. Si R está en Ohms y C en Farads, t está en segundos.

Comercialmente el valor de los potenciómetros o resistencias variables es típicamente del orden de varios kilohms, razón por la cual es conveniente escoger a R_B de bajo valor. Por comodidad se usa nuevamente una resistencia de 270 ohms a 1/4 Watt para R_B . Con este valor de R_B y el mínimo ancho de pulso, esto es 10 milisegundos, de la ecuación (2.4) se obtiene el valor de C.

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$

esto implica que

$$C = \frac{t_2}{0.693 R_B}$$

$$C = \frac{10^{-2}}{(0.693) (270)}$$

$$C = 54 \times 10^{-6} \text{ Farads}$$

Como el valor comercial más próximo es de 47 microfarads, t_2 queda como sigue:

$$t_2 = 0.693 (270) 47 \times 10^{-6}$$

$$t_2 = 8.88 \text{ milisegundos,}$$

resultado muy próximo al planteado. Con estos valores se calcula el máximo valor de R_A de la ecuación (2.3).

$$R_A = \frac{t_1}{0.693 C} - R_B$$

$$R_A = \frac{2}{(0.693) (47 \times 10^{-6})} - 270$$

$$R_A = 61 \times 10^3 \text{ Ohms}$$

como el valor comercial más próximo es de 50 kilohms, t_1 queda como sigue:

$$t_1 = 0.693 (50 \times 10^{-3} + 270) 47 \times 10^{-6}$$

$t_1 = 1.63$ segundos

valor que también es muy próximo al planteado de 2 segundos.

Una vez hecho el diseño del reloj que coordina el funcionamiento de C.O.M., es posible pasar al diseño del bloque B del C.O.M. de la fig. (2.1). Como el bloque B del C.O.M. es el que se encarga de dar a cada módulo la orden del modo vibracional a mostrar, por conveniencia este bloque se denomina "Controlador de LED's".

2.6.2 Diseño del Controlador de LED's.

Se mencionaba con anterioridad que hay que controlar para cada módulo 8 LED's, esto implica que cada módulo tiene 8 entradas por donde es recibida la orden de funcionamiento para cada modo de vibración y que el controlador de LED's tiene por consiguiente 8 salidas. Además, de la fig. (2.8.b) para el primer ciclo vibracional, un pulso se recorre en las ocho entradas siempre en el mismo sentido, mientras que en los demás ciclos vibratoriales aparecen siempre dos pulsos. En los ciclos vibratoriales de estiramiento simétrico, tijereteo y diglucamiento, estos pulsos aparecen en las entradas marcadas con los números 1 y 8; en los siguientes pulsos de reloj estos pulsos avanzan hasta ocupar las entradas 4 y 5 respectivamente; en ese momento el corrimiento de estos pulsos se invierte y ambos empiezan a recorrer las entradas en sentido inverso al anterior. De esta manera completa un ciclo vibracional. En realidad un ciclo para cada modo de vibración consta de varios ciclos vibratoriales. En los ciclos de los modos de vibración correspondiente a estiramiento asimétrico, golpeteo y sacudimiento

los pulsos aparecen en las entradas marcadas con 1 y 5 respectivamente. En el siguiente pulso de reloj los dos pulsos avanzan a ocupar las entradas marcadas como 2 y 6 y así sucesivamente hasta que ocupen las entradas marcadas con los números 4 y 8 respectivamente; nuevamente, cuando los pulsos han llegado a las entradas marcadas con los números 1 y 5, el sentido de corrimiento es invertido y los pulsos regresarán hasta la posición original de ocupar las entradas marcadas con 4 y 8. De esta manera se completa un ciclo vibracional.

Un dispositivo electrónico de n salidas que recorra un pulso de voltaje desde su salida 1 hasta su salida n es provisto por el circuito integrado tipo 7495 (Revisar anexo), que es un registro de corrimiento de 4 salidas con opción de recorrer la información de sus salidas en sentidos ascendente o descendente según sea el estado lógico de una entrada llamada "modo de corrimiento", fig. (2.10).

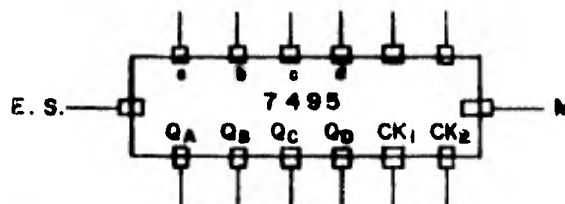


Fig. 2.10. Registro de corrimiento tipo 7495. Las terminales marcadas con minúsculas sirven para poner en un estado determinado las salidas (marcadas con Q_A , Q_B , Q_C y Q_D) del circuito. Las terminales marcadas con CK_1 y CK_2 sirven para alimentar el circuito con los pulsos de reloj; uno es para corrimiento ascendente y otro para corrimiento descendente. Las terminales marcadas con E.S. y M. sirven, la primera,

para suministrar la información que ha de recorrerse, cuando el circuito está programado para recorrer en sentido ascendente; la segunda cambia el sentido de corrimiento en ascendente o descendente según su estado lógico.

De la fig. (2.8) y para el modo de vibración número 1, se observa que el pulso se recorre en las 8 entradas del módulo número 1. Este pulso es recorrido siempre en sentido ascendente y cuando de encuentra en la última entrada es regresado para repetir el ciclo de la primera vibración. Cada salida del registro de corrimiento marcada con Q_A , Q_B , Q_C o Q_D fig. (2.10) se llamará en adelante "localidad". Para tener 8 localidades de corrimiento se conectan en serie dos registros; esto se logra conectando la terminal marcada con Q_D de un registro a la terminal marcada con E.S. del segundo registro.

De esta manera se conectan las 8 localidades de los registros a las 8 entradas del módulo número 1. El hecho de recorrer únicamente un pulso de voltaje en los registros se logra de la siguiente manera: Si cualquiera de las terminales marcada con minúscula encerrada en un círculo desde la a hasta la g, fig (2.11) tiene un valor de 5 volts esto es, un uno lógico, en la entrada serie (E.S.) del primer registro - debe alimentarse siempre 0 volts, esto es un cero lógico y - si estas 7 terminales contienen un cero cada una, un uno lógico es alimentado en la entrada serie. El circuito integrado número 7425 contiene 2 compuertas NOR de 4 entradas cada una (Revisar anexo) (8). Las cuatro salidas del primer registro de corrimiento se conectan a las 4 entradas de una de las compuertas NOR, mientras que solo las primeras 3 salidas

del segundo registro de corrimiento se alimentan a la otra compuerta NOR. La cuarta entrada de la segunda compuerta NOR se conecta a tierra, que por ser la referencia de 0 Volts corresponde a un cero lógico que es el idéntico aditivo. Conectando las salidas de las compuertas NOR a una compuerta AND (Revisar anexo) y la salida de esta compuerta a la entrada serie del primer registro de corrimiento se logra el efecto de recorrer solamente un pulso de voltaje o uno lógico en las 8 localidades de los registros.

Para los módulos de vibración 2, 3 y 4 en la fig. (2.8) son dos los pulsos que se recorren en las 8 entradas del módulo respectivo; para medio ciclo de vibración se recorren en un sentido y para la otra mitad del ciclo en sentido contrario. Para que haya dos pulsos, cada registro de corrimiento funcionará en forma independiente pero semejante. Esto implica que la información de la salida Q_D del primer registro de corrimiento solo se transmite a la compuerta NOR respectiva durante el primer modo de vibración fig. (2.11). Alimentando la salida Q_D a una de las entradas de una compuerta AND y una señal proveniente del bloque que da la orden de funcionamiento para cada módulo a la otra entrada de la compuerta AND de tal manera que active o desactive esta compuerta para que deje o no pasar la información proveniente de la salida Q_D del primer registro de corrimiento; de esta manera se logra que cada registro sea independiente para todos los modos de vibración excepto para el de rotación. La forma de lograr que los registros cambien el sentido de corrimiento - cada medio ciclo se logra mediante un efecto que será explicado mas adelante,

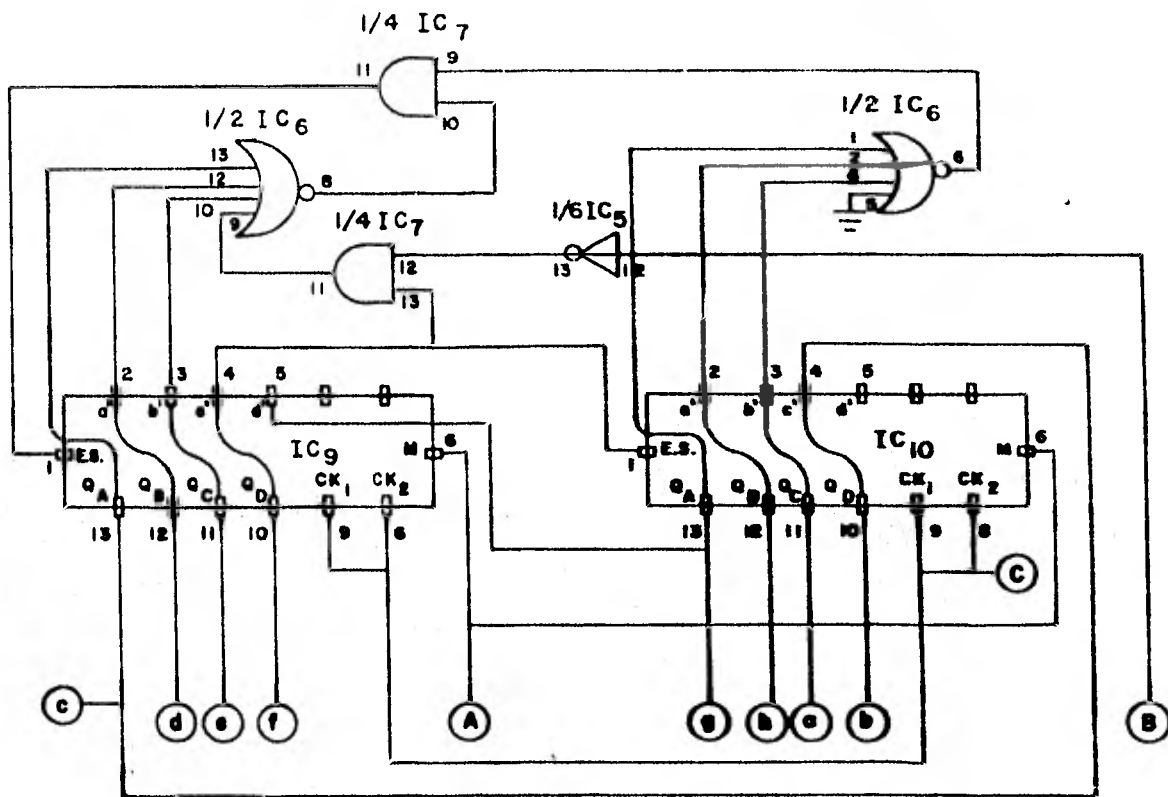


Fig. 2.11 Arreglo lógico del controlador de LED's. Las entradas marcadas con letras mayúsculas son: A.- Control de modo de corrimiento de la información. B.- señal proveniente del circuito que da la orden de funcionamiento para cada módulo. C.- Control de reloj, salida del 1M555. Las terminales marcadas con minúsculas son las que recorren el pulso o los pulsos que activan el o los LED's que muestran los modos de vibración; estas van conectadas a las terminales marcadas con las mismas letras de las figuras (2.2) y (2.4)

2.6.3 Diseño del Circuito Controlador de Módulos. El simulador electrónico de modos de vibración de átomos en moléculas muestra un total de 7 modos de vibración diferentes.

Cada módulo de vibración cuenta con un sistema de interruptores electrónicos, fig. (2.2) y (2.4), que requieren de un pulso de 5 volts para ser activados y dejar pasar así la orden de funcionamiento para los LED's. La duración del pulso que activa los interruptores electrónicos de los módulos da la duración de funcionamiento para cada módulo. En la fig. (2.8.a) se observa que se recorre un pulso en 7 localidades diferentes; cada localidad se conecta electricamente a los interruptores electrónicos de los módulos de vibración logrando así activar sólo un módulo a la vez. Esto es importante; nunca funcionarán dos modos de vibración al mismo tiempo.

Con la información anterior, se conectan nuevamente dos registros de corrimiento integrados número 7495 en serie y sin considerar la salida Q_D del segundo registro; así se tiene un arreglo electrónico que, programado adecuadamente, circulará un uno lógico en solamente 7 localidades. El pulso de 5 volts es siempre recorrido en sentido ascendente, esto es, desde la salida Q_A del primer registro hasta la salida Q_C del segundo registro; fig. (2.12). La conexión de los registros y el análisis de funcionamiento de los mismos son semejantes al que se hizo para el controlador de LED's en el modo Rotacional; Difiere en ambos la duración del pulso de reloj, pues en este último el pulso de reloj es más ancho. El diseño del reloj para este arreglo de registros se tratará en el siguiente punto.

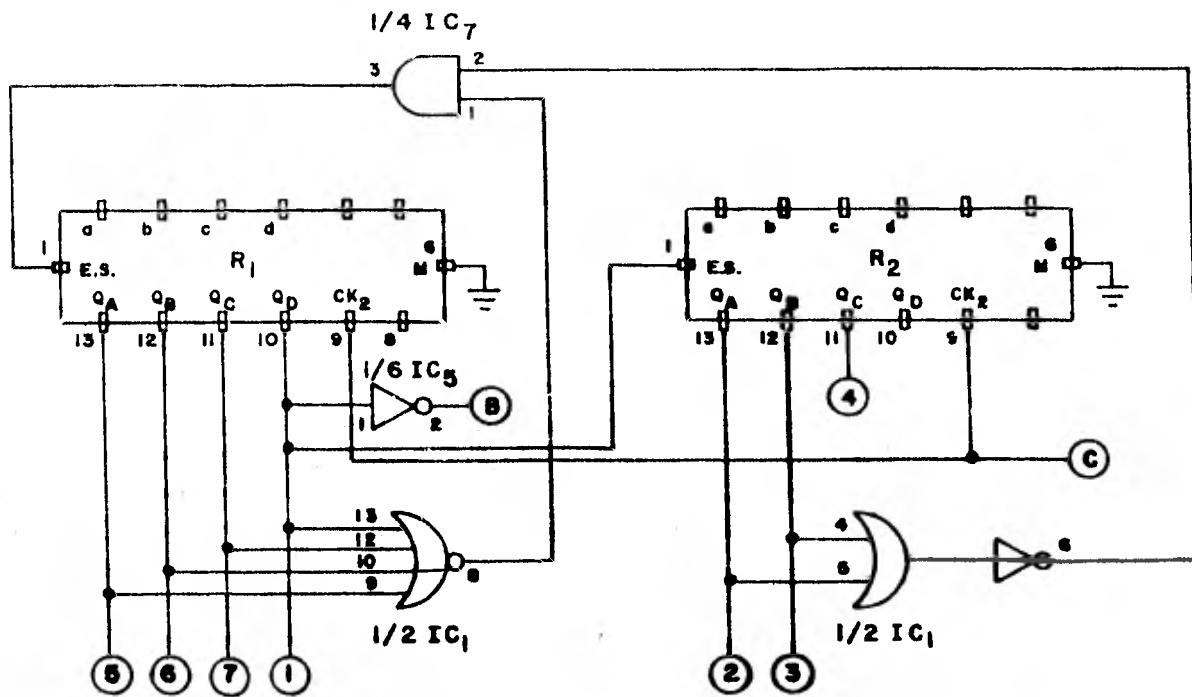


Fig. 2.12 Arreglo lógico para el controlador de módulos.

La terminal marcada con B va conectada a la terminal marcada con la misma letra en la fig. (2.11). La terminal marcada con C es la entrada de reloj para este arreglo. Las terminales numeradas corresponden a la orden de funcionamiento para cada módulo y van eléctricamente conectadas a cada módulo. Para cada modo de vibración corresponde un número de la fig. (2.8.b)

2.6.4 Diseño del Reloj para el Controlador de Módulos. La duración de cada pulso de este reloj es tal que cada modo de vibración completa cierto número de ciclos antes de que el controlador de módulos ordene cambio de modo de vibración. Un contador binario de 4 bits (Revisar anexo) ó 4 salidas, cambia el estado lógico de sus salidas con cada pulso de reloj, de tal manera que empezando con sus salidas en ceros, después de 15 pulsos de reloj sus 4 salidas son todas unos. El circuito integrado 74191 que es un contador binario de 4 bits con una terminal para controlar el modo de contar, esto es, ascendente o descendente, posee una terminal llamada "max" que provee un pulso o sea un uno, cada vez que sus salidas son todas un uno lógico. Los pulsos de reloj para este circuito son provistos por la suma binaria (ver anexo) de las salidas marcadas con a y h en la fig. (2.11). De esta manera la terminal marcada con "max", fig. (2.13) provee un pulso cuando en a o en h hayan aparecido 15 pulsos; así la salida "max" es la entrada de reloj para el controlador de módulos y de esta manera se logra un cambio de módulo cada 15 ciclos de vibración. La salida del contador marcada con Q_A va conectada a una compuerta AND, compuerta que es activada o desactivada con la salida marcada con el número 1 en el controlador de módulos, fig. (2.12)

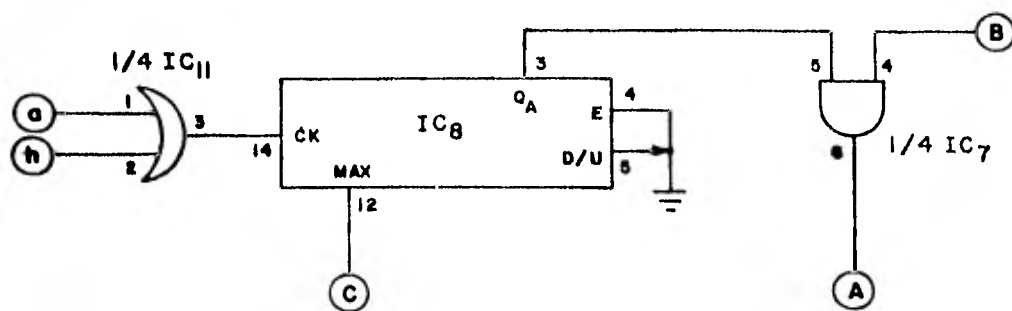


Fig. 2.13 Arreglo lógico para el circuito que proporciona los pulsos de reloj para el controlador de módulos.

Esto significa que esta compuerta AND solo permite el paso de la información proveniente de la salida Q_A del contador cuando la terminal marcada con B en la fig. (2.12) es un uno lógico, y B es un uno lógico cuando la terminal número uno de la fig. (2.12) es un cero lógico. Lo anterior significa que en la terminal marcada con A en la fig. (2.13) existe la misma información que en la salida Q_A del contador para todos los modos de vibración, excepto para el rotacional. Esta terminal marcada con A se conecta eléctricamente a la terminal marcada con la misma letra en el controlador de LED's, fig. (2.11). Debido a que la salida Q_A cambia de estado lógico con cada pulso de reloj, fig. (2.13) y que además esta salida Q_A refleja en el control del modo de recorrer la información en los registros del controlador de LED's, para todos los modos de vibración, excepto el rotacional, los registros de corrimiento del controlador de LED's cambian el sentido de recorrer la información cada vez que haya un pulso de reloj en el contador, esto es, cuando a ó h sean un uno lógico. De esta manera se logra que el controlador

de LED's cambie el sentido que corrimiento cada medio ciclo de vibración.

En las figs. (2.14) y (2.15) se observan en la primera, el diagrama esquemático del C.O.M. y en la segunda el diagrama del alambrado impreso del mismo C.O.M.

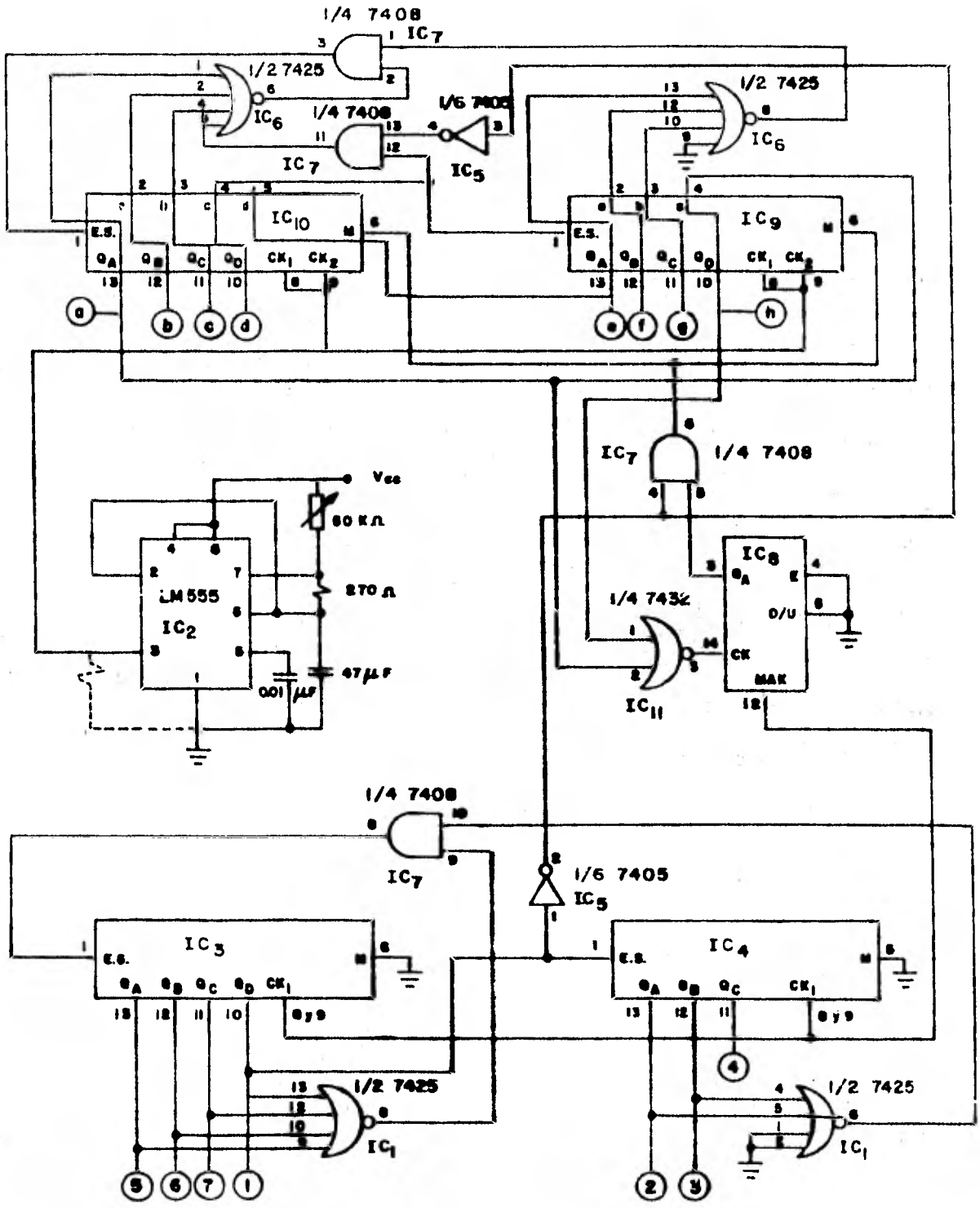


Fig. 2.14 Arreglo Lógico del C. O. M.

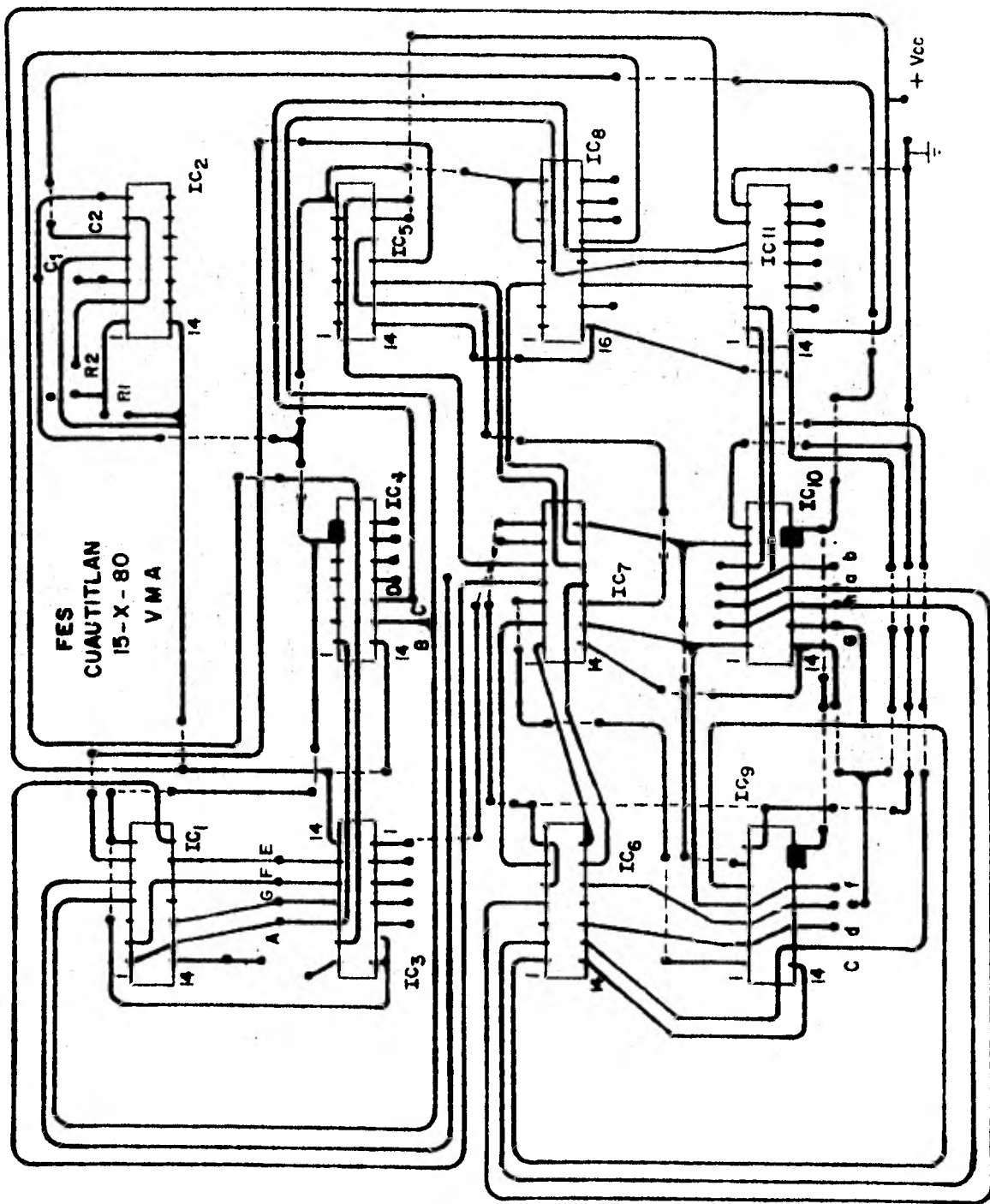


Fig. 2.15 Diagrama del alambrado impreso del C.O.M. IC₁ e IC₀ circuitos.

Integrados tipo 7405 (2 compuertas NOR de 4 entradas). IC₃, IC₄, IC₉ e IC₁₀ circuitos integrados tipo 7495 (Registros de corrimiento de 4 bits). IC₂ circuito integrado tipo LM 556 (dos generadores de pulsos programables). IC₅ circuito integrado tipo 7405 (seis compuertas inversoras). IC₇ circuito integrado tipo 7408C cuatro compuertas AND). IC₈ circuito integrado tipo 74191 (contador binario de 4 bits). IC₁₁ circuito integrado tipo 7432 (cuatro compuertas OR). C₁ capacitor de cerámica 0.01 microfarads a 500 volts. C₂, capacitor electrolítico de 47 microfarads a 50 volts. R₁, resistencia de 270 ohms a 1/4 watt. R₂, potenciómetro de 50 kilohms tipo encapsulado de plástico. Las terminales marcadas con minúsculas de la a a la h que darán la información para activar los LED's. Las terminales marcadas con letras mayúsculas de la A a la G son las que darán la información para activar los diferentes modos de vibración.

3 DISEÑO DE LA FUENTE DE PODER

3.1 INTRODUCCION

Es tan importante la calidad de una fuente, (esto es, la componente de corriente alterna a la salida de la fuente - tiene que ser mínima), que la calidad de un aparato amplificador de audio se mide en gran porcentaje por la calidad de la fuente de alimentación.

Las variables importantes a manejar en una fuente de alimentación son tres, a saber: Potencia entregada, Voltaje de Operación y Rizo o componente de alterna a la salida.

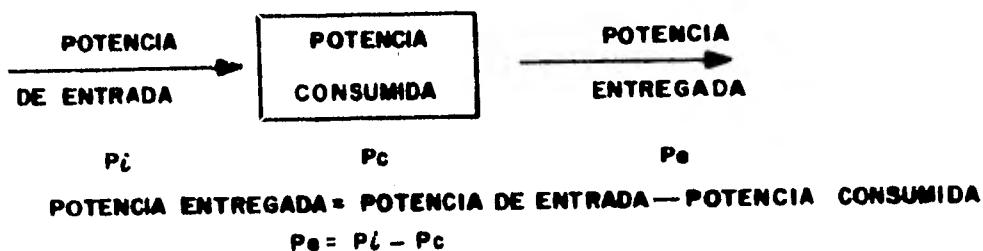


Fig. 3.1 Balance de potencias en una fuente.

La potencia entregada es aquella que consume, en este caso, en el simulador. La potencia consumida es aquella que consumen los elementos tanto activos como pasivos de la fuente y la Potencia de entrada es la suma de las dos anteriores (10).

Para el voltaje de operación se parte de dos datos. Uno es el voltaje entregado por la fuente; Como el Simulador consta únicamente de compuertas TTL éste será de 5 Volts. El otro dato surge del análisis del circuito de la fuente cuyas caídas de voltaje, sumados al voltaje entregado dan el voltaje de entrada.

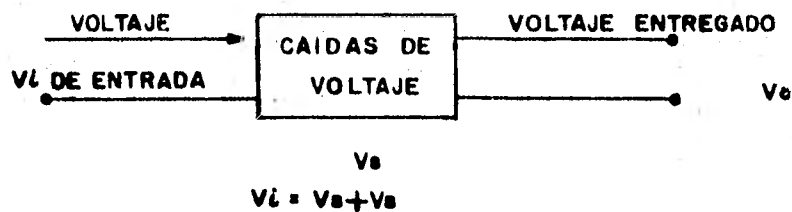


Fig. 3.2 Balance de voltajes en una fuente de poder.

Para el cálculo de rizo hay que analizar el circuito mediante las leyes de Kirchoff y la ley de ohm.

Fundamentalmente una fuente de corriente directa de bajo voltaje consta de: Un transformador, Arreglo rectificador de media onda o de onda completa, sistemas de filtrado para corriente alterna y reguladores de voltaje.

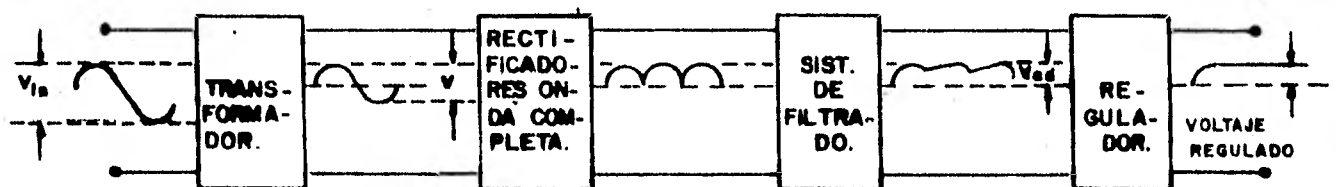


Fig. 3.3 Arreglo para una fuente regulada de voltaje mostrando las señales de voltaje a la salida de cada etapa.

En el funcionamiento del simulador electrónico, el C.O.M. siempre está energizado y cuando menos un módulo de vibración también lo está. En el C.O.M. existen 11 circuitos integrados,

mientras que el mayor número de circuitos en un módulo es de seis. Esto implica que lo máximo será 17 circuitos integrados operando. Con un consumo en potencia promedio de 150 mw. por circuito integrado, se obtiene un resultado de 2.55 Watts. Como el voltaje de operación de circuitos TTL es de 5 volts, la corriente consumida será de 510 ma. Cada LED consume 20 ma, el máximo número de LED's funcionando a un mismo tiempo es de 30. Esto da por resultado un total de 1.11 amperes aproximadamente (A).

3.2 SELECCION DE LOS ELEMENTOS DE LA ETAPA REGULADORA.

La selección de un regulador integrado se hace considerando el voltaje de regulación por un lado y máxima corriente entregada por el otro. Con los datos obtenidos del análisis del punto anterior que son 5 volts de alimentación y un consumo en corriente de 1110 miliamperes, se selecciona o seleccionan el o los reguladores necesarios para cubrir con estas necesidades.

El regulador de voltaje, circuito tipo 7805, tiene una línea de regulación de voltaje de 5 volts cuando su entrada es de un mínimo de 7.3 volts (8). La máxima corriente de salida en operación estable es de un Ampere. De aquí se concluye que son necesarios dos reguladores 7805 para poder obtener de ellos la corriente necesaria sin trabajar a sobrecarga.

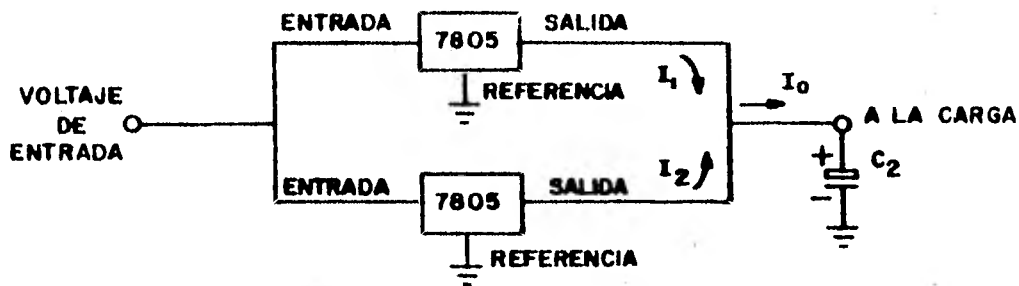


Fig. 3.4 Reguladores tipo 7805 conectados en paralelo. La suma de las corrientes de salida de los reguladores es igual a la corriente entregada a la carga, $I_1 + I_2 = I_0$.

Con el valor de carga cada regulador atenúa la componente de alterna en 16 db (11) como máximo. El capacitor C_2 sirve para filtrar las componentes de alterna y regresarla a la fuente por el conductor de tierra. C_2 se escoge de gran valor en capacitancia para así eliminar al máximo la componente de alterna.

La mínima resistencia de carga, esto es, la mínima resistencia total que presenta el simulador a la fuente es de la ecuación (2.1)

$$R_{L, \min} = \frac{V}{I} = \frac{5}{1.11} = 4.54 \text{ Ohms.}$$

de donde el circuito equivalente a la salida queda en este caso como

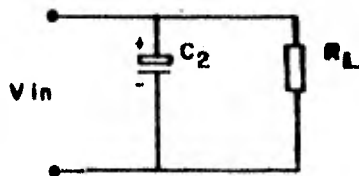


Fig. 3.5 Circuito de salida de la fuente equivalente para el simulador electrónico de modos de vibración.

V_{in} es el voltaje a la salida de los reguladores.
 $V_{in} = V_o + V_{rms}$ donde V_o es el voltaje de regulación de los reguladores y V_{rms} es el valor cuadrático medio (rms) de la componente de alterna a la salida de los reguladores; recordar que los reguladores tienen una atenuación a la corriente alterna y por lo tanto la componente de alterna a la salida de dichos reguladores no es cero.

En el caso mas crítico, supóngase que la forma de onda de voltaje a la salida de los reguladores es como se muestra en la fig. (3.3). Con una frecuencia de 120 Hz el período es de 8.33 msec. y sabiendo que la constante de carga de un circuito RC es aproximadamente (10).

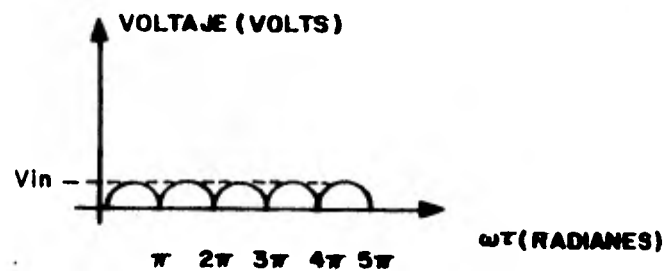


Fig. 3.6 Señal de voltaje alterno con una rectificación de onda completa.

$$\tau = RC \quad (3.1)$$

donde τ es la constante de carga del circuito RC formado por C_2 y la impedancia de salida de los reguladores. Se calcula el valor para C_2 a la frecuencia de funcionamiento, esto es 120 Hz, la impedancia de salida de cada regulador es de 0.4 ohm (8). Como los reguladores están en paralelo, se obtiene un valor de resistencia de 0.2 ohm. El capacitor C_2 debe cargarse cuando la señal, partiendo de cero, alcance su valor pico, esto es, un semiperíodo de 4.165 msec. Como un capacitor en un circuito RC adquiere la carga total en 5 constantes de tiempo, C_2 tendrá un valor, de la ecuación (3.1), de:

$$C_2 = \frac{t}{5 R}$$

$$C_2 = \frac{(4.165 \times 10^{-3})}{5 (0.2)}$$

$$C_2 = 4165 \mu F$$

el valor comercial mas próximo para C_2 es de dos capacitores de 2200 microfarads a 6.3 volts cada uno, conectados en paralelo, para un total de 4400 microfarads (10).

El circuito de descarga estará formado por el mismo C_2 y la impedancia del simulador, esto es, 4.54 Ohm. Al igual que en el circuito de carga, C_2 se descargará en 5 constantes de tiempo. Cada constante de carga está dada por la ecuación (3.1).

$$\tau = 4.54 (4400 \times 10^{-6})$$

$$\tau = 19.97 \text{ msec.}$$

de donde el tiempo que tardará en descargarse es de $5\tau = 99.88 \text{ msec.}$ digamos 100 milisegundos aproximadamente. El tiempo de descarga.

es lo suficientemente grande para que el voltaje se mantenga aproximadamente en los 5 volts, hasta que el nuevo pico de voltaje de la señal de salida de los reguladores ocurra. Estrictamente hablando el capacitor se cargará nuevamente cuando el voltaje de salida de los reguladores sea mayor que el potencial en el capacitor. Este efecto da como resultado lo mencionado anteriormente, una pequeña componente de alterna que se conoce como rizo.

Para el cálculo del rizo se cuenta con dos fuentes de información. Por un lado la forma de onda de la señal de salida de los reguladores y por el otro el tiempo de descarga de los capacitores que forman C_2 . La corriente instantánea que fluye a través del capacitor C_2 está dada por (despreciando los efectos resistivos):

$$i(t) = \frac{V_o}{R} e^{-t/RC} \quad (3.2)$$

donde $i(t)$ es la corriente instantánea en amperes, V_o es el voltaje de plena carga del capacitor que en este caso es de 5 Volts. R es la resistencia por donde se descarga C_2 , esto es, la impedancia del simulador que es de 4.54 Ohms. C es el capacitor C_2 y t , es el tiempo en segundos.

Debido a los tiempos que se manejan, (menores que -- la mitad del período de la forma de onda), de la fig. (3.3) es válido por ser repetitivo en cada período, para el cálculo del rizo considerar únicamente un período de esta señal, y para facilitar los cálculos se observa que esta porción de la señal es igual a la mitad positiva del período de una señal de las mismas características sin rectificar, fig. (3.4).

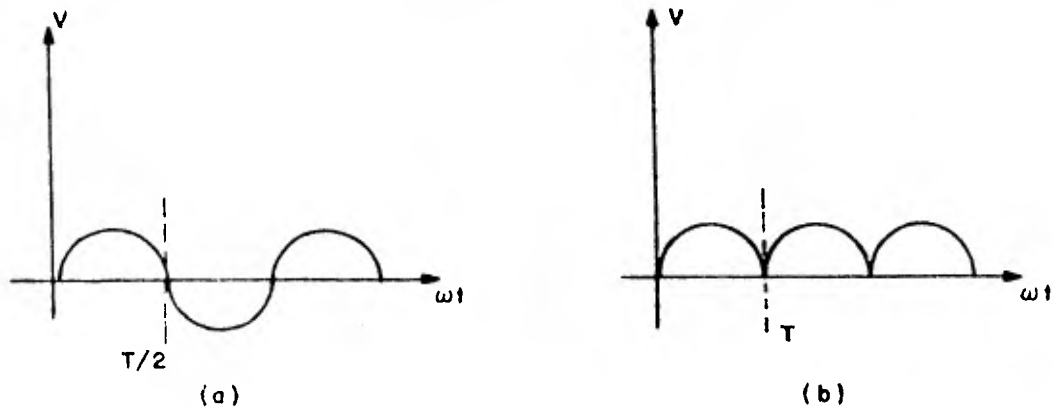


Fig. 3.7 Señal de voltaje sin rectificar (a). En (b) la misma señal ya rectificada. Las dos son semejantes de cero a $T/2$ para (a) y de cero a T para (b).

La ecuación para esta parte de la onda es (10)

$$V = V_{\max} \text{ sen } \omega t \text{ para } t \leq 4.165 \text{ mseg.} \quad (3.3)$$

como $V_{\max} = 5$ Volts y $\omega = 2\pi f = 2\pi (60) = 377$ Radianes/segundo, la ecuación adquiere la forma

$$V = 5 \text{ sen } 377 t \quad (3.4)$$

de la ecuación (3.2), la corriente instantanea se multiplica por el valor de la resistencia del Simulador, y de esto se obtiene el valor de voltaje instantaneo del capacitor C_2 . De esta manera la ecuación (3.2) queda como

$$V = 5e^{-t/19.95} \quad (3.5)$$

donde t está en milisegundos.

En las ecuaciones (3.4) y (3.5) hay un tiempo en que los voltajes son iguales. Dividiendo la ecuación (3.4) entre la ecuación (3.5), se obtiene.

$$1 = \frac{\text{sen } 377 t}{(e^{-t/19.95})}$$

lo cual implica que:

$$e^{-t/19.95} - \text{sen } 377 t = 0$$

resolviendo para t por medio de iteraciones, resulta un valor aproximado para t de 2.77 mseg. Sustituyendo en la ecuación (3.4) para obtener el valor de voltaje en ese tiempo, se obtiene un valor para V de 4.32 volts, lo cual implica que el rizo tiene una amplitud pico a pico de $5 - 4.32 = 0.68$ volts.

De la ecuación (3.2) la máxima corriente que circula por C_2 es cuando el voltaje de alimentación tiene su valor máximo de 5 volts. El tiempo en que la señal alcanza su valor pico es de 4.165 milisegundos y la resistencia de carga, que es la impedancia de salida de los reguladores es de 0.2 ohm. Con estos datos, la máxima corriente que circulará por C_2 será de:

$$i = \frac{5}{0.2} e^{\frac{-4.165 \times 10^{-3}}{0.2 (4400 \times 10^{-6})}}$$

$$i = 220 \text{ ma.}$$

Esta corriente sumada a la corriente que consume el simulador y la corriente que consumen los elementos del regulador que es de 8 miliamperes (8), da como resultado 1352 miliamperes que es la corriente que suministrará la etapa anterior.

3.3. SELECCION DE LOS ELEMENTOS DE LA ETAPA RECTIFICADORA.

En la fig. (3.5.a) se muestran un circuito rectificador de onda completa y el circuito equivalente de la carga, formado por un capacitor C_1 , cuya función es atenuar mas aún la componente de alterna, y la impedancia de entrada de los

reguladores. En las partes (b) y (c) de la misma figura se muestran la forma de onda de los voltajes de entrada y salida de los rectificadores respectivamente. Su funcionamiento es como sigue: En la parte positiva de la señal de entrada, fig. (3.5.b), el diodo d_1 se polariza directamente y conducirá corriente que pasará a través de la carga y regresará al transformador a través del diodo d_2 . Idealmente un diodo no presenta resistencia alguna al paso

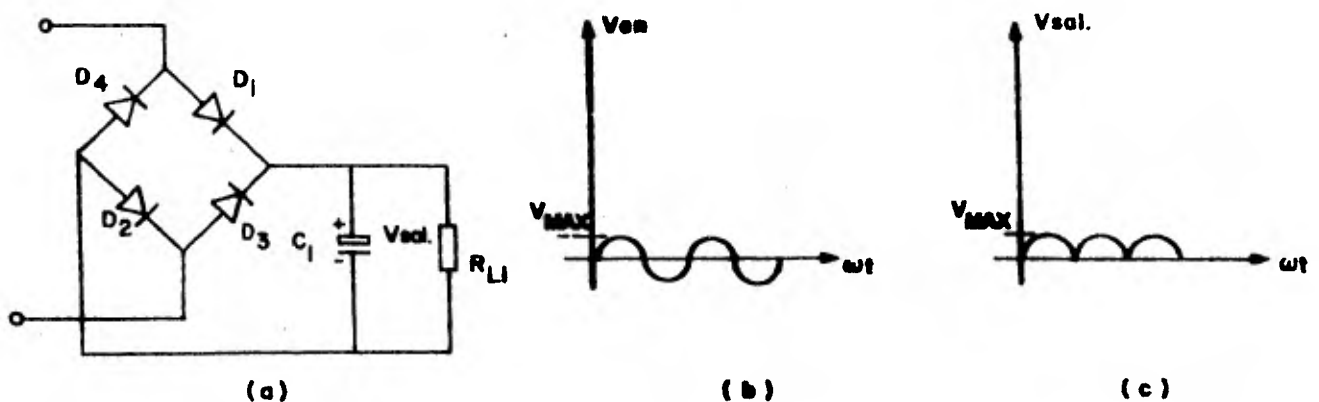


Fig. 3.8 Arreglo rectificador del tipo onda completa (a). Señal de voltaje de entrada (b). Señal de voltaje a la salida de los rectificadores (c).

de la corriente, pero como hay que vencer su barrera de potencial y además d_1 y d_2 están en serie, el voltaje que hay que vencer es la suma de las barreras de potencial de d_1 y d_2 , que por medición en el laboratorio es aproximadamente de 0.2 volts cada uno, lo cual da un voltaje a vencer de 0.4 Volts. Como el voltaje de alimentación a la carga es el voltaje mínimo de regulación que es de 7.5 volts, al voltaje de entrada a los rectificadores será de $7.5 + 0.4 = 7.9$ volts mínimo. Supóngase que el capacitor C_1 que aún no ha

sido calculado, consumirá una corriente de unos 200 ma que con la experiencia de C_2 que consume 220 ma, es un valor muy aproximado. Esta corriente sumada a la que consume la carga que es de 1352 ma como ha sido calculada, da un valor de 1552 ma aproximadamente.

Esto significa que la corriente que circulará a través de los diodos será de 1.5 amperes aproximadamente. El diodo 1N4007 soporta corriente hasta de 2 amperes y su voltaje inverso de ruptura es muy alto, del orden de las decenas de volt. A una circulación de 1.5 amperes la resistencia dinámica del diodo que es una función de la corriente y la temperatura, es aproximadamente 0.50 ohms valor obtenido en el laboratorio.

Esta información es ahora suficiente para calcular el valor de C_1 . El procedimiento es semejante al usado en el cálculo de C_2 . Esto es, de la ecuación (3.1), el tiempo es aquel en el que la señal alimentada a C_1 tarda en alcanzar su valor pico que, dado que las frecuencias son iguales, es de 4.165 milisegundos. La resistencia de carga será la suma de las resistencias de los diodos, esto es, 1 ohm. Esto dá como resultado un valor para C_1 de:

$$C_1 = \frac{t}{5R}$$

$$C_1 = \frac{4.165 \times 10^{-3}}{5(1)}$$

$$C_1 = 833 \text{ microfarads}$$

El valor comercial más próximo para C_1 es de 1000 microfarads a 25 volts con este valor de capacitancia, de la ecuación (3.3), la corriente máxima que consume C_1 es de:

$$i = \frac{7.3}{1} e^{-\frac{4.165 \times 10^{-3}}{1 (10^{-3})}}$$

$$i = 113 \text{ miliamperes}$$

corriente que sumada a la que consume la carga que es de 1352 miliamperes da un valor de 1465 miliamperes, valor muy aproximado al supuesto de 1.5 amperes.

Con estos valores de corriente, la caída de voltaje en cada diodo es aproximadamente de 732 milivolts, que sumados a los 7.7 volts calculados anteriormente, se obtiene un voltaje de 8.43 volts que es el valor de voltaje pico mínimo que tiene que suministrar el secundario del transformador.

Comercialmente se adquirió un transformador con una reducción del voltaje de línea de 17.5 volts pico y con un suministro de corriente hasta de 2 amperes.

En el laboratorio se hicieron algunas mediciones de voltaje, corriente y forma de onda tanto para la fuente como para el simulador, obteniendo los siguientes resultados.

1° Los valores de voltaje y corriente en el primario del transformador son de 115 volts de voltaje alterno y 235.8 miliamperes, respectivamente. El voltaje en el secundario es de 17.5 volts, lo cual implica una corriente en el secundario de 1549.54 miliamperes, valor muy próximo al calculado de 1465 miliamperes (la diferencia es de 5.45%).

2° El voltaje pico medido en el extremo positivo del capacitor C_1 es de 7.4 volts, contra un valor de 7.7 volts

calculados (la diferencia es de 3.89%). La forma de onda se muestra en la siguiente figura.

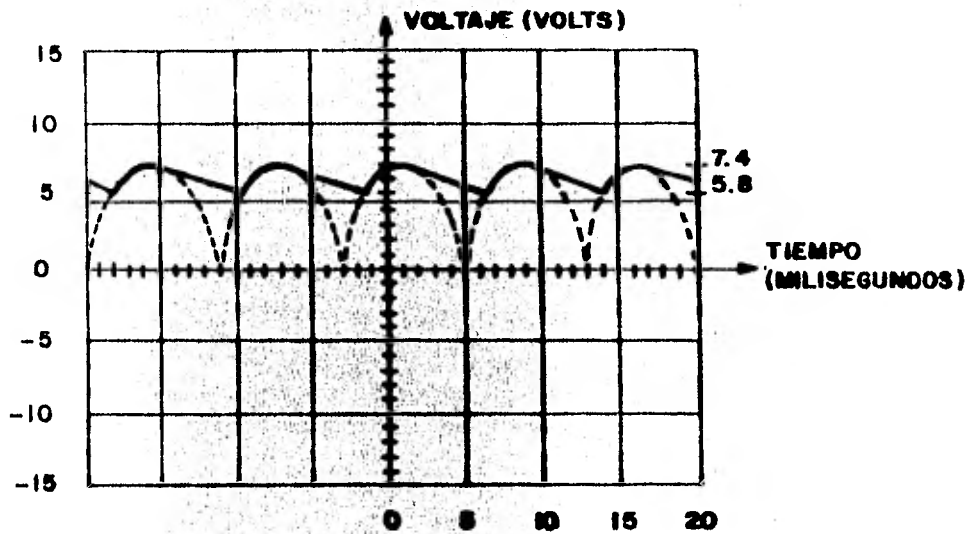


Fig. 3.9 Forma de onda de voltaje en el capacitor C_1 .

3° El voltaje pico medido en el extremo positivo del capacitor C_2 es de 5 volts, mientras que el mínimo valor de voltaje medido es de 4.4 volts. El rizo es por lo tanto de 0.6 volts, contra 0.68 volts calculados con anterioridad (la diferencia es de 11.76%). La forma de onda se muestra en la siguiente figura:

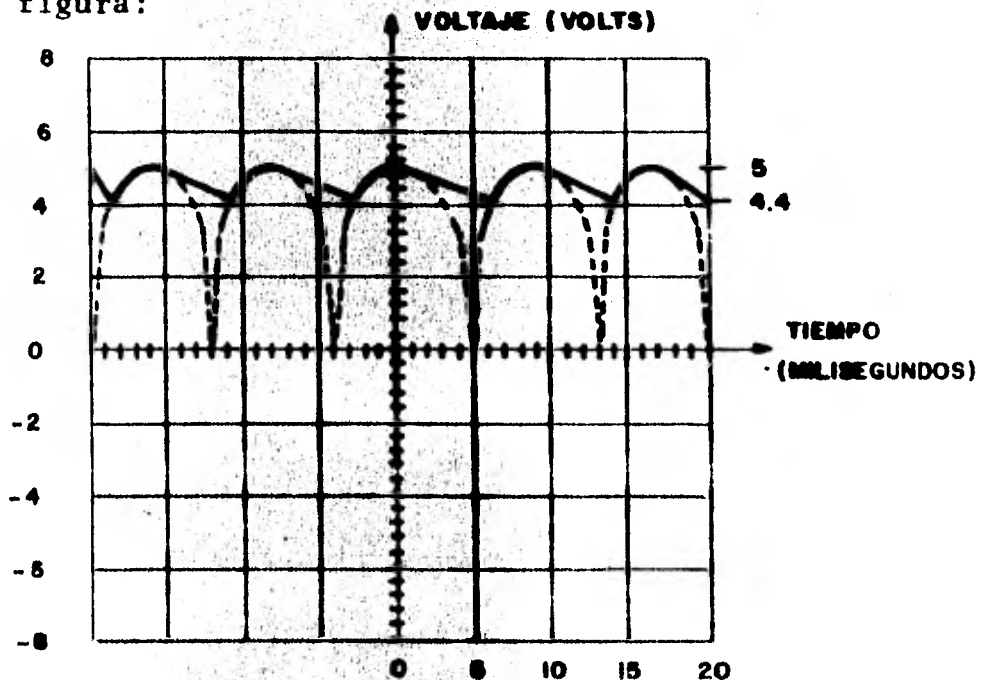


Fig. 3.10 Forma de onda de voltaje en el capacitor C_2 .

4 Como este voltaje que varía de 4.4 a 5 volts es el voltaje de alimentación al simulador, el rizo se "refleja" en todas las salidas de las compuertas donde haya un uno lógico (recordando que un "uno lógico" representa un valor de 5 volts), así como también a la salida del reloj, ver figuras (2.10) y (2.14). El voltaje mínimo de nivel alto para una compuerta TTL es de 2 volts, esto es, el voltaje mínimo necesario para que una compuerta "se entere" de que es un uno lógico el que se le está aplicando (9). Con esto se concluye que el rizo es suficientemente pequeño en amplitud que no causará variaciones ni estados indeterminados en el simulador.

En conclusión el simulador efectivamente funciona conforme al diseño, además por estar en la exposición permanente de proyectos del departamento de Física es accesible para quien desee verlo.

Además, en el desarrollo se incluyen 3 puntos importantes - en Ingeniería: Análisis Físico de un problema (planteamiento del Modelo Adecuado); Desarrollo del Modelo (Estudio de Perspectivas) y por último implementación de dicho Modelo o Prototipo para su Análisis.

A N E X O

La electrónica digital es una ciencia relativamente nueva y por consiguiente la terminología usada es también nueva. Debido a que esta ciencia ha sido desarrollada principalmente en los Estados Unidos de América, la mayoría de esta terminología es común nombrarla en inglés. En España y por consiguiente en libros editados en ese país han dado por traducir toda esta terminología, pero su uso no ha sido extendido a los demás países de habla hispana, esto es, Latinoamérica. Es de uso común nombrar a un dispositivo que efectúe la operación binaria de multiplicación, por ejemplo, como compuerta AND y no como compuerta Y, esto es, en la mayoría de la bibliografía en español es más común encontrar el término de "Compuerta AND", en lugar de "Compuerta Y".

I LAS COMPUERTAS LOGICAS AND y OR.

En el sistema numérico binario existen solo dos dígitos que son usados, el cero (0) y el uno (1). En general en una compuerta electrónica que efectúe la operación lógica OR o AND siempre se tendrá el caso de operar dos cantidades de un dígito.

La operación lógica OR se resume a lo siguiente:

$$0 + 0 = 0$$

$$1 + X = 1$$

I.1

donde X puede tener un valor de 1 ó 0 y el signo + representa la función lógica OR.

Y por el otro lado la operación lógica AND se resume a lo siguiente:

$$1 \cdot 1 = 1$$

$$0 \cdot X = 0$$

I.2

donde X puede ser 1 ó 0 y el signo \cdot representa la función lógica AND.

En electrónica digital y para circuitos TTL (transistor-transistor logic) un cero en binario se representa por un valor de 0 volts. Y un uno en binario se representa por un valor de 5 volts. Es común en la terminología electrónica decir "nivel bajo" para indicar un cero y "nivel alto" para indicar un 1.

Un dispositivo electrónico que efectúe la operación binaria de suma es conocido como compuerta tipo OR (O en español). Esta nomenclatura de OR es debida a que si en cualquiera de sus entradas hay un uno, su salida será siempre uno. Una forma elemental de formar una compuerta OR de n entradas es conectar n transistores tipo NPN en configuración de emisor común con el emisor a 0 Volts y los colectores unidos a la fuente de 5 Volts a través de una resistencia. Este punto en común de colectores conectados a una resistencia se conectan a un transistor que funcionará como inversor. De esta manera, si en cualquier emisor hay un valor de 5 Volts en la salida también habrá un valor de 5 Volts, fig. (I.1).

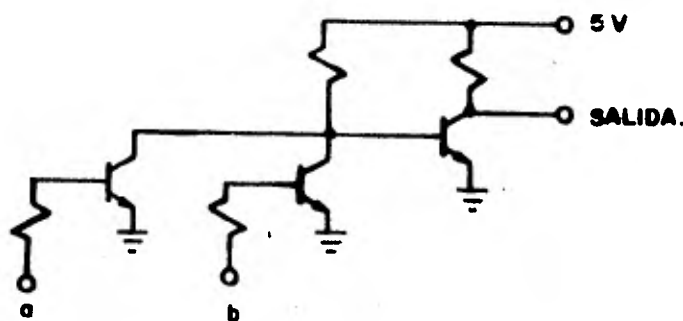


Fig. I.1 Forma elemental de formar una compuerta OR de 2 entradas (a y b).

Por el otro lado un dispositivo electrónico que efectúe la operación binaria de multiplicación es conocido como compuerta tipo AND

(Y en español), Esta nomenclatura de AND es debida a que solo si en todas sus entradas hay un uno, su salida también es un uno. Una forma elemental de formar una compuerta AND de n entradas es conectar n transistores tipo NPN con las bases unidas y a un valor de 5 volts y los colectores unidos y también a un valor de 5 volts a través de una resistencia de 1 kilohm al igual que en la anterior compuerta, los emisores forman las n entradas. De esta manera, si en cualquier emisor hay un valor de cero volts en la salida también habrá un valor de cero volts, fig. (I.2).

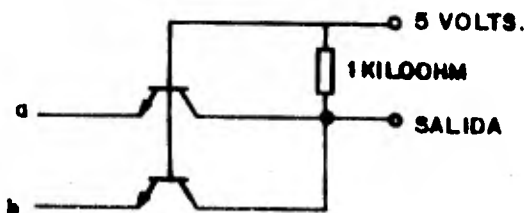


Fig. I.2 Forma Elemental de formar una compuerta AND de 2 entradas (a y b).

En cualquiera de las dos compuertas, con transistores del mismo tipo y conectados en forma similar se extiende cualquiera de estas compuertas a más entradas. Asi mismo, para cualquiera de estas compuertas, formar la negación de la salida se logra conectando la salida a un inversor. Un inversor elemental está formado por un transistor NPN en configuración de emisor común como se muestra en la fig. (I.3). Si en la base hay un 1, en la salida un cero y viceversa

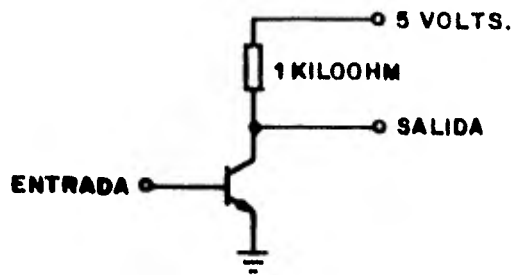


Fig. I.3 Forma Elemental de formar una compuerta inversora.

Una compuerta OR con su salida negada, se conoce como compuerta NOR y una compuerta AND con su salida negada se conoce como compuerta NAND.

II REGISTRO DE CORRIMIENTO Y CONTADOR BINARIO.

Primeramente hay que definir lo que son pulsos de reloj, o simplemente reloj. En electrónica digital un reloj o un "tren" de pulsos de reloj está formado por una onda cuadrada con una amplitud de 5 volts. Si la frecuencia de esta onda cuadrada es fija, el tiempo entre pulso y pulso también es fijo; de ahí su nombre de reloj, fig. (II.1).

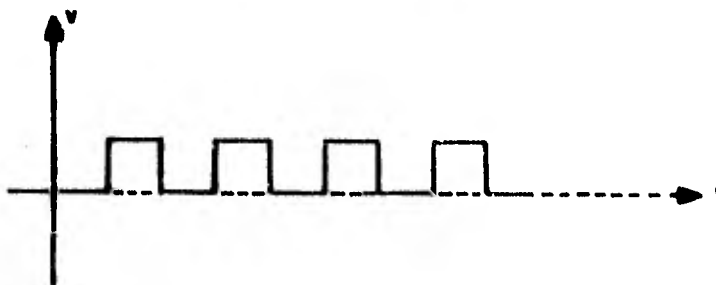


Fig. II.1 Pulsos de Reloj Formados por una onda cuadrada.

Un registro de corrimiento es un dispositivo electrónico de n salidas, con cada salida en un nivel lógico determinado, esto es, cada salida contendrá la información de un cero o un uno lógico en cualquier pulso de reloj o instante t_n . En el tiempo t_{n+1} cualquier salida i contendrá la información de la salida $i-1$, excepto para $i=1$. Otras terminales con las que cuenta un registro de corrimiento son: la entrada serie que sirve para alimentar al registro con la información que se desea sea recorrida en sus n salidas y la entrada, para los pulsos de reloj. Claramente, un registro de corrimiento cambiará el estado de sus salidas con cada pulso de reloj. Una manera de estar recorriendo siempre la misma información se logra retroalimentando la información de la salida n a la entrada serie, en este caso para cualquier pulso t_{n+1} la salida 1 tendrá la información que tuvo la salida n en el pulso t_n . En las Figs. (II.2) y (II.3) se muestran la representación esquemática de un registro de corrimiento y la tabla de verdad para el mismo registro, respectivamente.

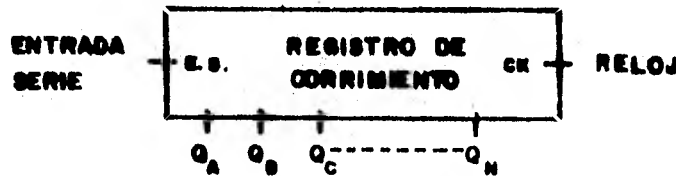


Fig. II.2 Representación esquemática de un registro de corrimiento de n salidas.

RELOJ	E. S.	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
t_n	1	0	0	0	1
t_{n+1}	0	0	0	1	0
t_{n+2}	0	0	1	0	0
t_{n+3}	0	1	0	0	0
t_{n+4}	0	0	0	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
t_{n+n}	$Q_B + Q_C + Q_D$	Q_C	Q_B	Q_A	Q_D

Fig. II.3 Tabla de estados para un registro de corrimiento programado para recircular un uno.

Un contador binario es un dispositivo electrónico de n salidas, con cada salida en un nivel lógico determinado, en cualquier tiempo t_n . Las n salidas juntas representan un número en notación binaria. En el pulso de reloj t_{n+1} el estado de sus salidas es el resultado de sumar un uno al estado anterior (en el tiempo t_n). En las Figs. (II.4) y (II.5) se muestran la representación esquemática y la tabla de verdad respectivamente, para un contador binario.

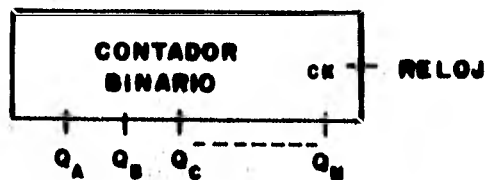


Fig. II.4 Representación esquemática para un contador binario.

RELOJ	SALIDAS			
	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
t_n	0	0	0	0
t_{n+1}	0	0	0	1
t_{n+2}	0	0	1	0
t_{n+3}	0	0	1	1
t_{n+4}	0	1	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
t_{n+m}	EL ESTADO ANTERIOR + 1			

Fig. II.5 Tabla de estados para un contador binario,

BIBLIOGRAFIA.

- 1) Teoría y Problemas de Dinámica de Lagrange. Autor: Date A. Wells, Editorial McGraw-Hill México. Ed: 1972.
- 2) Física Cuántica. Autor: Eisberg-Resnick, Editorial: Limusa Ed.: 1979.
- 3) Química Inorgánica Avanzada. Autor : Cotton y Wilkinson Editorial : Limusa, México. Edición: 1975.
- 4) Manual de Química y Física. Varios Autores. Editorial: CRC Press U. S. A. 56ava. Edición 1975.
- 5) Manual de Física. B.M. YAVORSKI, A.A. Detlaf. Editorial MIR. Moscú. 2a. Edición 1977.
- 6) Integrated Circuits. Editorial: Phillips, Holanda. Edición : 1978.
- 7) Linear Data Book. Varios Autores. Editorial: National Semiconductor U. S. A. Edición: 1978.
- 8) The TTL Data Book. Varios Autores. Editorial: Texas Instruments. U. S. A. 2a. Edición: 1976.
- 9) Teoría de Conmutación y Diseño Lógico. Frederick J. Hill y Gerald R. Peterson. Editorial: LIMUSA, México. 1978.
- 10) Audio Handbook. Varios Autores. Editorial: National Semiconductor U. S. A. Edición 1976.
- 11) Fundamentos de Física. Autores: Halliday y Resnick. Editorial:C.E.C.S.A. México. Edición 1978.

Otros Libros Consultados:

- Organic Chemistry - Autores: Morrison y Boyd. Editorial: Allyn and Bacon. U.S.A. 3a. Edición 1973.

- Circuitos, Dispositivos y Sistemas. Ralph J. Smith.
Editorial: LIMUSA-WILEY, S. A. México 1a. Edición 1968.
- Vibraciones Mecánicas. William W. Seto. Editorial
McGraw-Hill, México 1a. Edición 1977.
- Electromagnetic Fields and Waves. Paul Lorrain y Dale
Corson. Editorial: Freeman. U. S. A. 2a. Edición 1970.