

68
2 es.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

RESTAURACION Y MODERNIZACION DEL DINAMOMETRO
DE CHASIS DEL LABORATORIO DE
CONTROL DE EMISIONES.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA Y ELECTRONICA)**

P R E S E N T A N :
ANTONIO GALVAN ZACARIAS
LILIA NAVARRO SANDOVAL

DIRECTOR: DR. ROGELIO GONZALEZ OROPEZA,
CODIRECTOR: M.I. LAURO SANTIAGO CRUZ.



CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D. F.

1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

265287



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

RESTAURACIÓN Y MODERNIZACIÓN DEL DINAMÓMETRO DE CHASIS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE EMISIONES

ÍNDICE TEMÁTICO

Introducción.	1
Justificación de la tesis.	1
El dinamómetro como instrumento de medición.	2
Tipos de Dinamómetros.	4
Versatilidad del equipo.	5
Capítulo 1 Conceptos Básicos.	7
1.1 Clasificación de los Dinamómetros por su tecnología.	7
1.2 Dinamómetros de corrientes de Eddy.	8
1.3 Dinamómetros hidráulicos.	11
1.4 Otros tipos de PAU.	13
1.4.1 Dinamofrenos.	14
1.4.2 PAU asíncrono tipo jaula de ardilla.	15
1.5 La carga inercial en un Dinamómetro de Chasis.	16
1.6 Parámetros a considerar en una PAU.	18
1.7 Teoría sobre SCR's.	24
Capítulo 2 Descripción general del proyecto.	27
2.1 Características originales del dinamómetro.	28
2.2 Electrónica de potencia.	30
2.3 Puesta de modernización.	36
Capítulo 3 Diseño.	39
3.1 Circuitos que forman la tarjeta de acondicionamiento de señales.	41
3.1.1 Circuito de sincronización con la computadora.	41
3.1.2 Circuito de acoplamiento de la señal de disparo.	45

3.1.3 Circuito de protección de disparo.	47
3.1.4 Circuito para el acondicionamiento de los sensores de velocidad.	49
3.1.5 Sensor de carga.	53
3.1.6 Circuito para liberar el vehículo del dinamitero.	54
3.2 Tarjeta de adquisición de datos.	56
3.3 Software para diagnóstico de vehículos.	58
3.4 Lab VIEW	59
3.5 Módulos de programación Vis.	60
3.6 Programa para el funcionamiento del dinamómetro.	62
Sub VI "Prueba".	65
Sub VI "Lectura".	65
Sub VI "modulación por ancho de pulso".	67
3.7 Cálculos efectuados por el programa.	73
3.8 Modo de operación.	76
Capítulo 4 Calibración.	79
4.1 Calibración del dinamómetro.	79
4.1.1 Calibración estática.	79
4.1.2 Calibración dinámica.	81
4.1.3 Calibración en coastdown.	82
4.2 Determinación del mapa de curvas características.	85
4.3 Metodologías de ensayo.	87
4.3.1 Acondicionamiento previo de vehículos a gasolina.	87
4.3.2 Procedimiento para evaluar emisiones de un vehículo con motor de combustión interna	88
4.3.3 Procedimiento de pruebas para vehículos con motor eléctrico.	90
Resultados, conclusiones y trabajos futuros.	
Bibliografía.	
Apéndice A. Programa en Lab VIEW para el funcionamiento del dinamómetro	

INTRODUCCIÓN

Justificación de la tesis

El automóvil es un desarrollo permanente desde que fue puesto en circulación y el cual se ha ido perfeccionando a través de más de 100 años de historia (motores diesel, gasolina, híbridos, eléctricos, etc.), siendo utilizado en la actualidad como uno de los principales medios de transporte.

La modernización del mundo revela que a partir de enero de 1984, de los más de 454 millones de automóviles que circulan por el mundo, el 68% se encuentran transitando principalmente en las metrópolis de países altamente desarrollados como los Estados Unidos, La Unión Europea y Japón.*

Estos datos revelan que el consumo energético en los diversos países del mundo está totalmente desbalanceado. Incluso en un mismo país, en las ciudades se observa este mismo fenómeno; lo cual implica que se deriven una gran cantidad de problemas secundarios por el uso excesivo del automóvil.

Tomando en cuenta lo anterior y trasladándolo a nuestro medio ambiente, se ha considerado que para estudiar a fondo el impacto ambiental que generan estas máquinas en la ciudad de México, se debe hacer un gran esfuerzo para implementar en la UNAM, así como en otras instituciones la infraestructura adecuada para su estudio; siendo un elemento esencial para este objetivo, el uso del dinamómetro de chasis.

Conceptualmente hablando, se puede decir que un dinamómetro de chasis es una herramienta que permite evaluar el funcionamiento del vehículo y no sólo del motor.

El presente trabajo está enfocado al aprovechamiento de ciertas partes de un equipo que la Facultad de Ingeniería adquirió hace más de 15 años y para no hacerse obsoleto, se tuvo la visión de aprovecharlas en un diseño

* Datos obtenidos de publicaciones de l'institut francais du pétrole, Carburants et Moteurs, Tome 1 , J.C. Guibet, Editions Technip, Introduction pag.2.

totalmente nuevo que cumpla con la normatividad actual en materia de ensayos con vehículos ligeros.

El dinamómetro como instrumento de medición

En la actualidad no es suficiente con tener un vehículo con alta potencia específica, sino que, de acuerdo con las últimas normas de protección ambiental, éste debe tener bajos niveles de emisiones contaminantes.

Uno de los proyectos que permitirá al Laboratorio de Control de Emisiones (LCE) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, hacer estudios sobre el desempeño de vehículos tanto en emisiones, como en algunas prestaciones, es el dinamómetro de chasis.

Se puede afirmar que la función de un dinamómetro de chasis es simular mediante un ciclo de manejo el comportamiento dinámico de un vehículo; en donde mediante una cierta carga de camino, se pretende reproducir las condiciones de funcionamiento bajo las cuales se encuentra operando normalmente. Como se puede intuir, dicho dinamómetro es sumamente útil en la investigación del comportamiento de vehículos con Motores de Combustión Interna Alternativos (MCIA) e incluso en vehículos eléctricos.

Existen dos parámetros que se miden en el dinamómetro durante una prueba vehicular: la velocidad del vehículo y el par, además, del producto de estas dos variables se obtiene la potencia efectiva del automóvil que ha de ser ensayado; sin embargo estas variables llevan inherentes muchas otras como lo son la influencia del perfil aerodinámico del vehículo, la fricción en los rodillos, según el tipo de neumático que se utilice, o las pérdidas por fricción en los rodamientos del dinamómetro.

Estos equipos se dividen en tres partes:

a) Los rodillos proporcionan una plataforma de manejo y, mediante un programa preestablecido se intenta reproducir el funcionamiento cotidiano del vehículo.

Por lo general, el rodillo frontal o delantero se encuentra acoplado a la unidad de absorción de potencia (PAU, en inglés *Power Absortion Unit*) y a la unidad de inercias variables (UIV), mientras que el rodillo trasero es usado generalmente para tomar la lectura de velocidad real del vehículo.

b) La unidad de absorción de potencia se encarga de frenar al motor, tanto como la prueba lo requiera, aunque en realidad lo que se pretende con la PAU es simular una "carga de camino" que represente la resistencia al aire, fricción de los neumáticos con la carretera, etc.

c) Por otra parte, los discos inerciales simula la inercia del vehículo, incluyendo un ocupante y el tanque de combustible al 40% de su capacidad, que finalmente también es una carga para el motor.

En la figura 1.1 se puede ver, de manera esquemática, las partes que conforman a un dinamómetro de chasis, según lo descrito anteriormente. Cabe mencionar que no es la única disposición de un equipo de este tipo pues actualmente se puede tener un sólo rodillo de mayor diámetro como plataforma de manejo.[1]

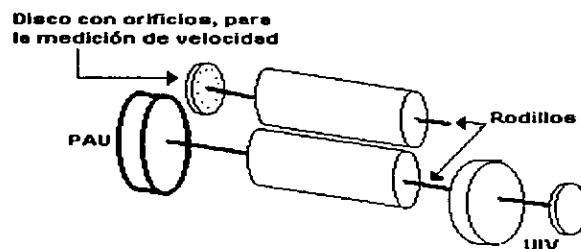


Figura 1.1 Diagrama esquemático de un dinamómetro de chasis.

Tipos de dinamómetros

Cuando se habla de un dinamómetro de banco se hace referencia a una máquina que sirve para frenar el motor que se ha de ensayar. Pero cuando se habla de un dinamómetro de chasis esta máquina es solo una parte del equipo de ensayo y se puede decir que es uno de los principales componentes de dicho equipo, existiendo diversos tipos y tecnologías en la fabricación de estas máquinas, denominada PAU.

La utilizada en el Laboratorio de Control de Emisiones se denomina de corrientes parásitas, la cual utiliza corriente directa para producir el frenado y es refrigerado por un caudal de aire; cabe mencionar que existe un tipo de PAU de esta naturaleza que es refrigerada con agua.

Existen otros dos tipos de PAU comercial; hidráulicos y dinamofrenos. Los primeros se caracterizan por utilizar agua como elemento de frenado y refrigeración, los segundos están constituidos por una dínamo que absorbe potencia del propio cigüeñal del motor térmico, generando corriente eléctrica y provocando un par de vuelco sobre la carcasa, que como en los demás casos, está balanceada. Como ventaja fundamental de este tipo de PAU está la posibilidad de utilizar el dinamofreno como motor eléctrico para realizar pruebas de arrastre; prácticamente el mismo equipo es utilizado para frenar. También se dice que este tipo de PAU'S puede funcionar perfectamente como generador de electricidad, pero realmente resultaría complicado y sacrificaría los resultados del ensayo el hecho de que tuviera que satisfacer una demanda de potencia, la cual esta en función de la carga que se pretendería alimentar.

Las características de los dinamómetros de chasis, independientemente de la clasificación por el tipo de PAU utilizada, pueden variar, ya sea por el número y características de los rodillos empleados, o por la forma de simular la carga inercial del vehículo.

En cuanto a los rodillos, éstos varían en su diámetro, así como en la separación que hay entre ellos, y como ya se mencionó anteriormente, se puede encontrar un sólo rodillo de mayor diámetro donde se apoyan las ruedas de tracción.

La normativa, en cuanto al diámetro y la separación de los rodillos, ha estado cambiando a través de los años, no obstante el equipo rescatado es perfectamente útil y vigente para ensayar vehículos ligeros.

En lo que concierne a la forma de simular la carga inercial, se tienen básicamente dos formas de hacerlo:

Mediante el acoplamiento de masas inerciales, que generalmente son en forma de disco, las cuales en su conjunto semejan un peso equivalente del vehículo.

De manera eléctrica, la cual utiliza un dinamofreno para simular las variaciones de carga que se pueden tener en los momentos de aceleración y desaceleración, cabe mencionar que en este caso se requiere de un sistema de control muy sofisticado para lograr simular perfectamente el fenómeno.[2]

Versatilidad del equipo

El diseño que se propone para el dinamómetro de chasis del LCE, ha considerado las ventajas que actualmente se tienen con la electrónica digital puesto que facilita el procesamiento de las señales obtenidas de los sensores. Particularmente el uso de un microcontrolador para procesar los datos provenientes de los sensores, permite una manipulación total del sistema.

Comúnmente un dinamómetro del tipo comercial requiere de un equipo adicional que permite guardar la información en una base de datos, que por lo general es costosa. En nuestro caso, el diseño electrónico se ha realizado de forma que el almacenamiento de datos tenga un costo mínimo.

Durante el desarrollo de esta tesis, se pretende dar al lector los antecedentes necesarios a manera de introducirlo a la problemática, plantear la propuesta de solución, así como los objetivos que se pretenden alcanzar. En el capítulo 2 se presentan generalidades que permiten dar un panorama amplio sobre el funcionamiento de los diversos tipos de PAU existentes, tecnologías empleadas en el control de PAU eléctricos, y teoría electrónica general empleada en el diseño actual. En el capítulo 3 se da una descripción general del proyecto en donde se plantea el estado original del dinamómetro, la etapa de control de la PAU específica del dinamómetro del LCE, así como una propuesta de modernización del equipo que esta basada en parametros que han de cumplirse en ensayos a vehículos automotores. El capítulo 4 se presenta el diseño electrónico empleado, en donde se describe el hardware y software desarrollado para el proyecto de manera detallada. Finalmente, el capítulo 5 muestra algunas consideraciones importantes para la calibración del equipo basadas en normas internacionales, así como algunos protocolos de prueba específicos para evaluar vehículos automotores.

Otro objetivo que se quiere abarcar con la redacción del presente trabajo, es dejar un manual de operación del equipo mencionado y dar la pauta para desarrollar trabajos futuros que permitan, al Laboratorio de Control de Emisiones, tener un dinamómetro apropiado para pruebas de emisiones con muestreo a volumen constante, mejor conocido en el ambiente de los motores como: celda CVS (Constant Volume Sample).

Quizá resulte ajeno al lector el hablar de un dinamómetro de chasis, y de lo que implica su instrumentación, por tal motivo consideramos pertinente hablar en el siguiente capítulo de los diversos tipos que hay.

CAPÍTULO 1

Conceptos Básicos

1.1 Clasificación de los dinamómetros por su tecnología.

Actualmente se cuenta con una gran variedad de tecnologías para la fabricación de dinamómetros de chasis, a continuación se describen los más comunes.

Sus diferencias están en función de su aplicación puesto que, hay dinamómetros para laboratorio, para taller, para centros de diagnóstico, etc. Una forma general de clasificarlos es la siguiente: no inerciales e inerciales aunque la normativa internacional obliga a tener los dos sistemas al evaluar un vehículo en sus emisiones.

Los dinamómetros no inerciales como ya se dijo anteriormente constan de una Unidad de Absorción de Potencia (PAU, *Power Absortion Unit*) como elemento de carga, que puede ser de corrientes de *Foucault*, o de freno de agua, también conocido como hidrocínético.

Por lo contrario, los dinamómetros inerciales no tienen PAU y operan con una masa inercial fija o variable.

Regresando al principio de funcionamiento del freno, éste absorbe energía del vehículo mediante las ruedas del automóvil al aplicar un par en contra al sentido de giro. La PAU convierte la energía cinética en calor, el cual es disipado.

La figura 1.1 muestra algunos tipos de dinamómetros de chasis que cuentan con una unidad de masas inerciales (UMI), y con una PAU.

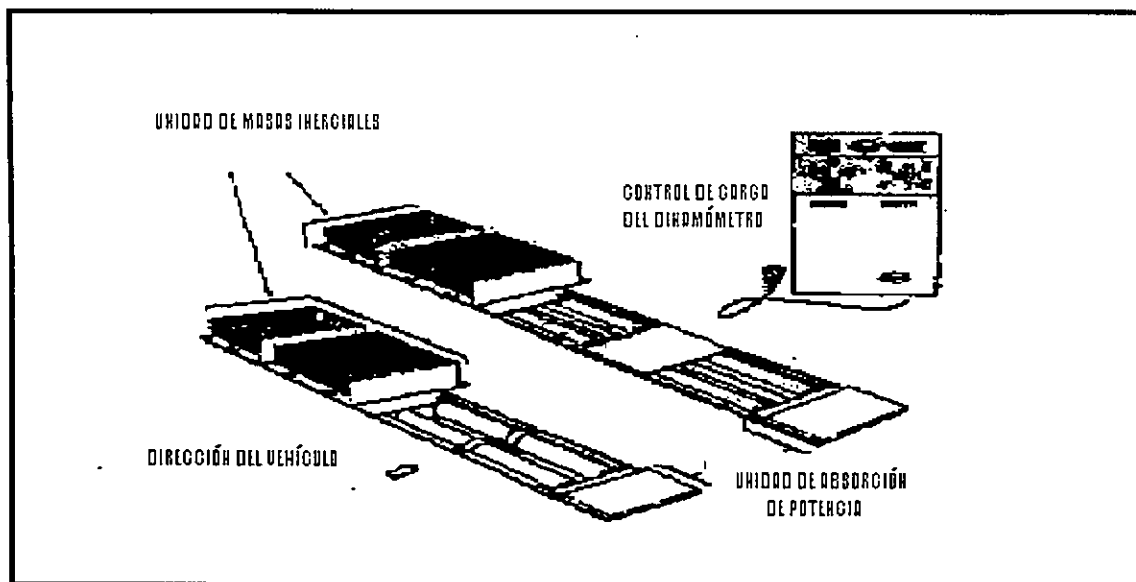


Figura 1.1 Dinamómetros con unidad de masas inerciales y unidad de absorción de potencia.

La siguiente clasificación es de acuerdo a el tipo de PAU empleada:

1.2 Dinamómetros de corrientes de eddy

El termino *eddy* proviene directamente de la palabra en inglés que significa remolino, también conocidas como corrientes de *Foucault* o parásitas. Ellas se producen, en todo conductor colocado en un campo magnético variable y pueden provocar una perdida importante de energía en forma de calor.

La PAU de corrientes de *eddy* utiliza un campo magnético para generar una carga que actúa sobre las ruedas del vehículo mediante un sofisticado electromagneto, que se describe con detalle más adelante. A medida que se suministra una determinada corriente eléctrica se genera un mayor par de frenado sobre las ruedas del vehículo. La PAU de corrientes de *eddy* puede ser usado conjuntamente con una UMI fija o variable como se muestra en la figura 1.2. Una ventaja de la PAU de corrientes de *eddy*, cuando se compara con el freno de agua, es la velocidad a la cual éste puede reaccionar a las

condiciones de carga; por tanto, puede ser programado para simular el peso inercial en un período de aceleración suministrando una cantidad adicional de corriente eléctrica a las bobinas, aunque en este caso, para un proceso de desaceleración se requiere de un motor eléctrico que arrastre al vehículo.

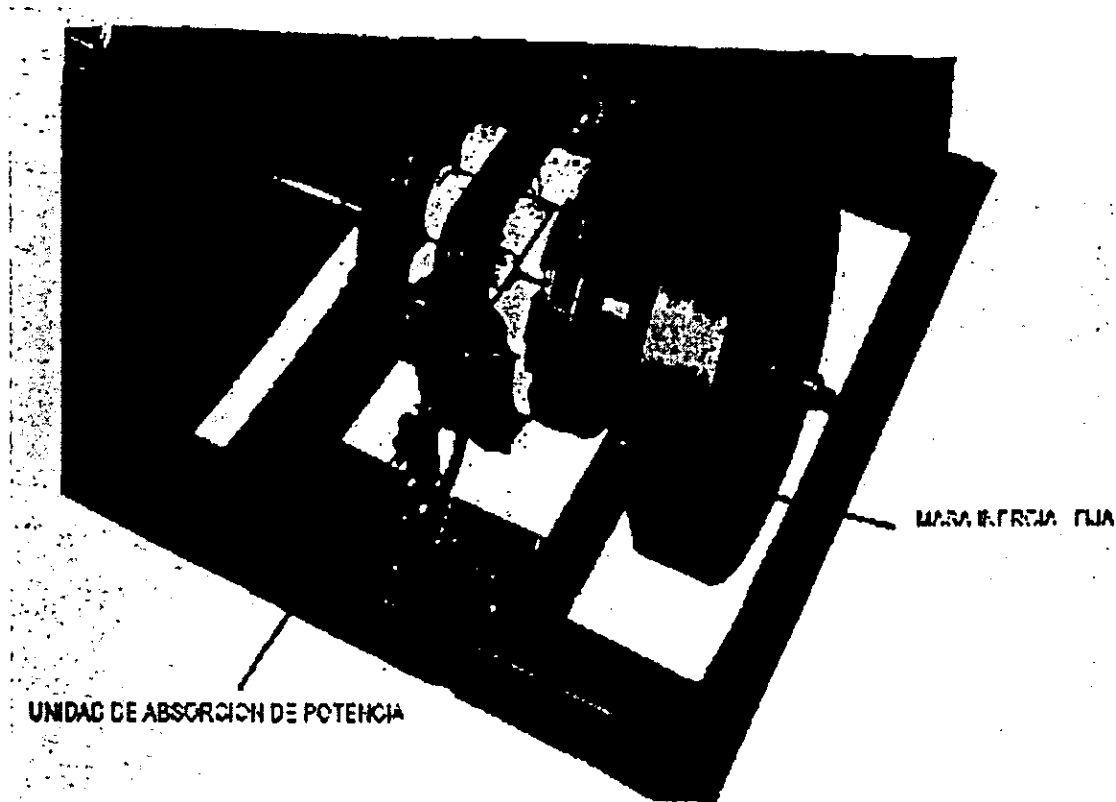


Figura 1.2 Dinamómetro de corriente de eddy con carga inercial fija.

Hablando de su principio de funcionamiento, se dice que si se intenta desplazar una masa metálica cualquiera en un campo magnético, se experimenta una dificultad anormal en producir el movimiento por ejemplo el disco de metal de la figura 1.3 el cual deja muy pronto de girar cuando se establece la corriente en los electroimanes. Ésto se debe a que se inducen corrientes de torbellino en el disco metálico, estas corrientes crean campos magnéticos en reacción, así, los dos campos magnéticos causan una atracción en dirección tangencial entre el rotor y el estator, generando un freno, en el

caso de la PAU de corrientes de *eddy* que utiliza un voltaje rectificado, los discos rotores se encuentran acoplados al rodillo delantero del dinamómetro, giran frente a los polos de los electroimanes, produciendo de manera constante una variación de flujo en ellos que es la causa que origina en los discos las corrientes inducidas.

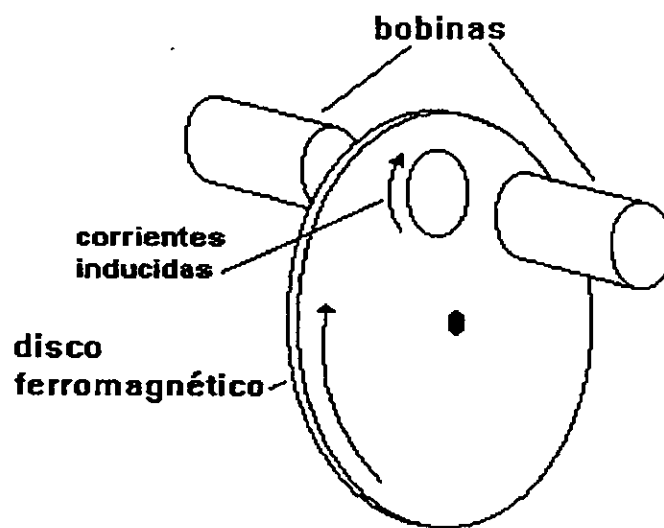


Figura 1.3 Principio de operación del PAU de corrientes de *eddy*

La energía que absorbe el freno es transformada en calor que generan las corrientes de *eddy*, y para disipar dicho calor los discos deberán refrigerarse. Dicha refrigeración se logra de dos formas; la primera mediante un flujo de agua que, a diferencia del freno hidráulico, solo sirve para eliminar el calor producido por las corrientes parásitas y la segunda, mediante un caudal de aire en donde se ha aumentado el área de transferencia de calor con el medio ambiente. En el caso particular del dinamómetro del LCE. Las formas helicoidales de su construcción, al girar, generan el flujo de aire que aumenta el coeficiente de película y por tanto, se refrigera por sí mismo.

Comparativamente con una PAU hidráulica, se caracteriza por ser de bajo mantenimiento y fácil instalación.

1.3 Dinamómetros hidráulicos

Los frenos hidráulicos se pueden considerar como turbomáquinas, donde de manera general podemos definirla como un sistema mecánico que añade energía a un fluido o extrae energía de él. Se utiliza el término bomba para la máquina que añade energía al fluido; la máquina que extrae energía se llama turbina (el prefijo turbo viene de una raíz latina que significa giro o rotación). Básicamente hay dos tipos: de impulso y de reacción.

En las turbinas de impulso, es convertida la carga en un chorro de alta velocidad por medio de una tobera la cual está formada por los propios álabes. Los canales del rotor no están llenos por completo de fluido y el flujo en los álabes está, esencialmente, a presión constante. En una turbina de reacción, el fluido llena por completo los canales entre los álabes, y el cambio de carga o caída de presión tiene lugar en el rotor.

Tomando en consideración lo anterior podemos definir más específicamente a una PAU hidráulica como una turbina de reacción.

El funcionamiento de una PAU hidráulica, se da de la siguiente forma: un eje mueve un rotor cilíndrico que revuelve el agua estancada en la carcasa del freno, el giro provoca la formación de toroides entre el rotor y la carcasa o estator, los vortices en forma toroidal son generados por aletas radiales puestas en ángulo al eje del rotor las cuales se encargan de generar una fuerza centrífuga intensa sobre los toroides formados por el agua en movimiento; como se muestra en la figura 1.4. El efecto que se produce es la transferencia de un momento del rotor al estator y en consecuencia se genera un torque que se opone a la rotación del eje. Una fuerza de vortice se genera debido a la

forma toroidal del fluido, como consecuencia de este movimiento se genera altos niveles de turbulencia en el agua y por consiguiente una disipación de potencia en forma de calentamiento del fluido, el cual es desalojado del interior por medio de canales en el rotor, la virtud del diseño se debe a que la potencia es absorbida con un mínimo daño a las partes en movimiento, o con un mínimo de erosión y efectos de cavitación.

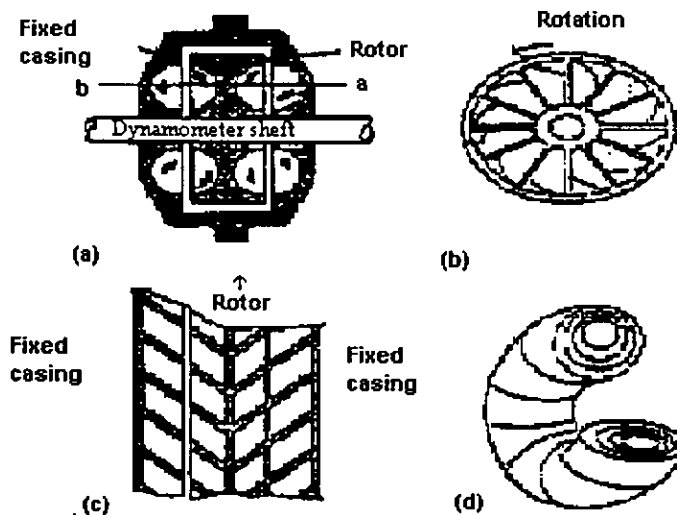


Figura 1.4 Principio de operación del dinamómetro hidráulico: a) sección transversal, b) vista frontal del rotor, c) corte del rotor, d) representación de un vórtice toroidal.

La máquina puede ser de dos tipos, dependiendo de la forma en como se quiera variar el par.

a) Cuando el llenado de la máquina se da de manera constante (modelo *Froude*). En este caso la máquina se diseña para variar el par, insertando o retirando parejas de delgadas placas entre el rotor y el estator, de esa forma se regula el tamaño de los vórtices toroidales.

b) Cuando el llenado de la máquina es variable. En esencia es similar al diseño *Froude*, pero las delgadas placas de control son suprimidas, en tal caso el par absorbido es variado mediante el nivel de agua contenido en el freno, lo

cual se logra mediante un arreglo de electroválvulas en la entrada y salida del freno, que aunadas a un sistema de control permiten regular la carga aplicada. La particular ventaja del sistema de llenado variable, es que el par puede ser cambiado mucho más rápidamente que en el caso de utilizar el tipo *Froude*.

El uso de este tipo de frenos utilizados en dinamómetros, imposibilita su uso para utilizarse como simuladores de carga inercial, sin embargo son de bajo precio, por compararlos con alguno de otro tipo comercial; se pueden considerar ideales para un dinamómetro de chasis que se utilice en pruebas de emisiones vehiculares, debido a que en este caso la carga que se suministra al vehículo es constante durante todo el ciclo.

La figura 1.5 muestra un esquema de una PAU hidráulica acoplada a un dinamómetro de rodillos en donde se puede apreciar además de la instrumentación utilizada, las servoválvulas que sirven para agregar o liberar carga al vehículo.

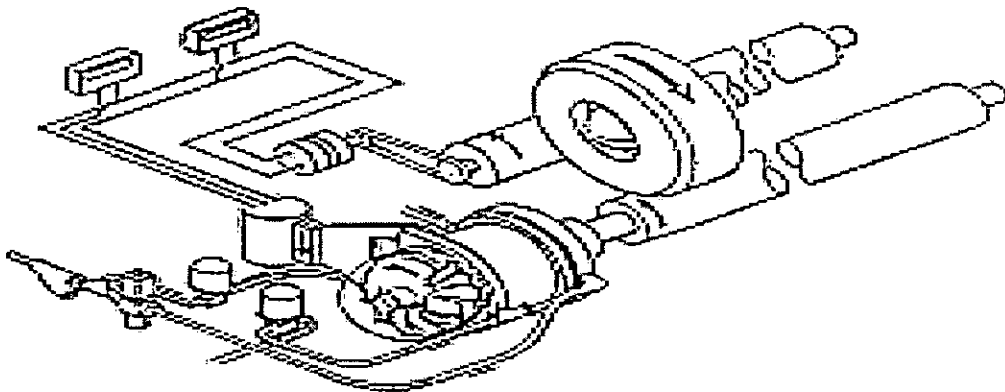


Figura 1.5 Esquema de un dinamómetro hidráulico.

1.4 Otros tipos de frenos.

Existe otro tipo de unidades de absorción de potencia que en dinamómetros de chasis actualmente comienza a ser utilizados, debido a que algunas empresas dedicadas a la venta de equipo para el estudio e

instrumentación del automóvil, han desarrollado el control adecuado que permite sustituir totalmente el uso de discos inerciales. A continuación se comentan los más comunes.

1.4.1 Dinamofrenos.

Son máquinas eléctricas síncronas que permiten frenar o hacer girar el rodillo de carga.

La potencia se puede medir, como en cualquiera de los otros frenos, con una celda de carga y conociendo el régimen de giro, o bien midiendo la carga eléctrica generada. La regulación de la carga se consigue variando la tensión de campo.

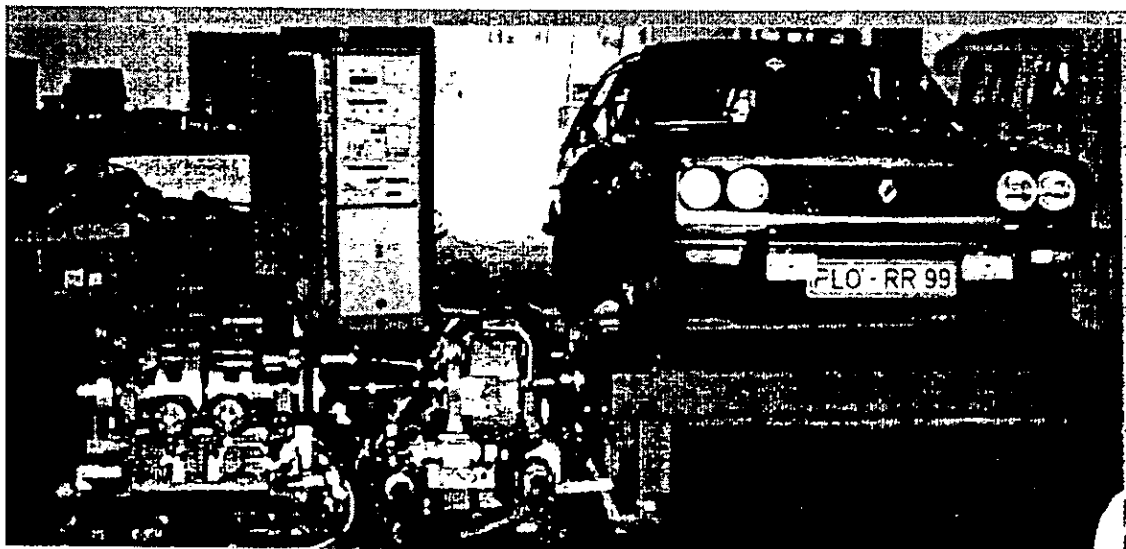


Figura 1.6 Dinamómetro con PAU tipo dinamofreno.

Como comentario adicional, se puede agregar que este tipo de PAU también se ha utilizado como dinamómetro de banco para el ensayo de motores, en donde el control que se logra permite prescindir totalmente del dinamómetro de chasis; además presenta la ventaja de poder aprovechar la energía eléctrica generada para, convenientemente transformarla, aportarla a la

red de distribución, sin embargo esto no se hace debido a que se podría poner en duda el resultado de los ensayos.

1.4.2 Freno asíncrono tipo jaula de ardilla.

Este concepto está orientado tecnológicamente a tener una versatilidad extrema, fue introducido por primera ocasión en el mercado en 1985 por la empresa austríaca AVL.

Puede ser usado de manera universal en cualquier vehículo a prueba y bajo cualquier programa de trabajo, ofreciendo alta exactitud en su control en todas sus aplicaciones, bajo consumo de energía y poco mantenimiento, así como fácil instalación.

Su principio de operación se basa en el funcionamiento de un motor eléctrico de inducción tipo jaula de ardilla, el cual tradicionalmente ofrece algunas ventajas sobre los motores de corriente directa o alterna, como son el poco mantenimiento, ligero, y simplicidad en su construcción; sin embargo estas ventajas sólo se pudieron obtener en un dinamómetro, hasta que se desarrolló un control más sofisticado.

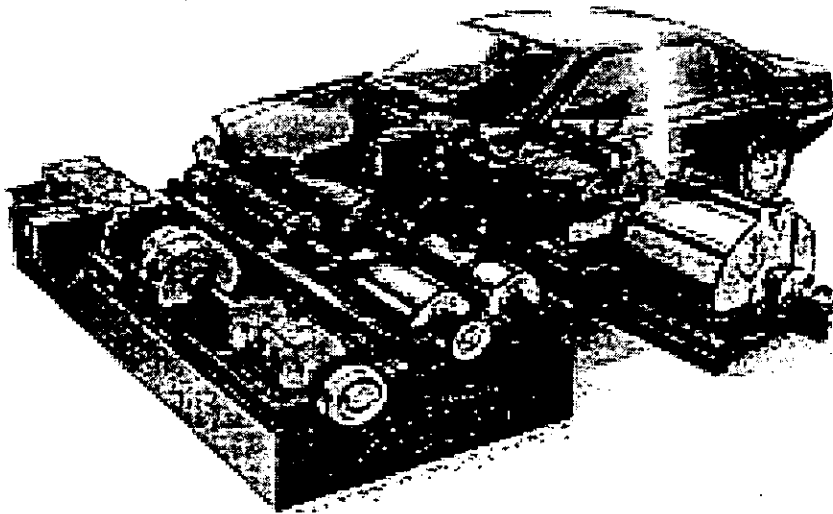


Figura 1.7 Dinamómetro de rodillo con PAU asíncrono.

1.5 La carga inercial en un Dinamómetro de Chasis

Las masas inerciales forman una resistencia al cambio de velocidad del vehículo simulando su comportamiento en movimiento. Un sistema inercial con masas variables mantiene inicialmente un peso fijo de 2000 lb. (907.2 Kg), y en adelante se puede incrementar este peso en función del peso del vehículo que se pretende ensayar, en intervalos de 125, 250 y 500 lb (56.7, 113.4 y 226.8 Kg. Respectivamente), seleccionando la combinación de discos adecuada para lograr completar la carga correspondiente. La figura 1.8 muestra un sistema de masas inerciales variable.

Un sistema de masas inerciales fija usa simplemente un disco, el cual puede estar en un rango de entre 2000 a 3500 lb. (907.2 a 1587.6 Kg) El peso de la masa inercial no siempre coincide con el rango requerido para un cierto ensayo, por tanto se requiere agregar una carga adicional a la PAU, la cual debe ser calculada y controlada adicionalmente.

Durante condiciones de operación estables (velocidad y carga constantes) el efecto de los discos inerciales realmente no afecta.

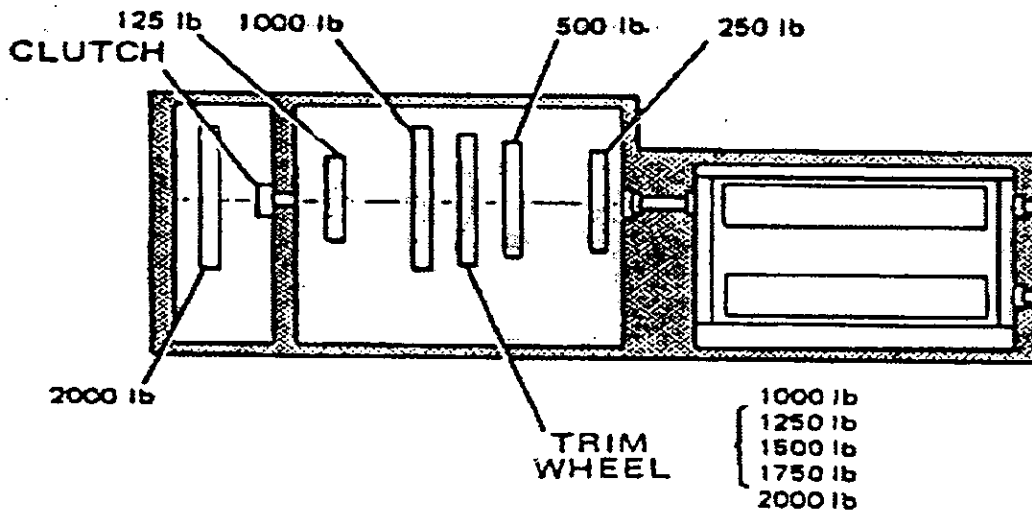


Figura 1.8 Unidad de masas inerciales variable.

La primera ley de Newton, la ley de la inercia, declara que los objetos en movimiento tienden a permanecer en ese estado mientras no actúe una fuerza externa sobre ellos. En nuestro caso la fuerza externa es generalmente un cambio de estado en el motor, provocado por una aceleración o desaceleración, este es el motivo que justifica el uso de masas inerciales en un dinamómetro de chasis.

Se pueden hacer muchos ensayos sobre vehículos con un dinamómetro que cuente únicamente con una PAU, es decir sin un sistema de masas inerciales, sin embargo, cuando se requiere evaluar las emisiones de un automóvil mediante un ciclo de manejo, en el cual se tienen estados de aceleración, desaceleración, reposo y velocidad constante, es indispensable contar con una unidad de masas inerciales (UMI), debido a que de no tenerla los resultados serían erróneos, como ya se menciono con anterioridad, no se representa el funcionamiento real del vehículo.

En algunos casos se puede tener una UMI fija, por ejemplo cuando el dinamómetro sólo evalúa una línea de automóviles, o bien si el peso de los vehículos a ser evaluados no diverge en mucho. A continuación se muestra la tabla 1.1 que asigna el paso de la carga inercial que a de agregarse durante el ensayo, en función del peso del vehículo.

En esta tabla se tiene un rango muy amplio de masas inerciales, sin embargo para fines prácticos, en cualquier dinamómetro para evaluar vehículos ligeros, esta lista se reduce a un rango de 2000 a 7000 lb (907.2 a 3175.2 kg).

PESO VEHICULAR	PESO INERCIAL
1062 a 1187lb (481.72 a 538.42 Kg)	1,000 lb (453.6 Kg)
1188 a 1437lb (538.88 a 651.82 Kg)	1,250 lb (567.0 Kg)
1438 a 1687lb (652.27 a 765.22 Kg)	1,500 lb (680.4 Kg)
1688 a 1937lb (765.68 a 878.62 Kg)	1,750 lb (793.8 Kg)
1938 a 2187lb (879.08 a 992.02 Kg)	2,000 lb (907.2 Kg)
2188 a 2437lb (992.48 a 1105.42 Kg)	2,250 lb (1020.6 Kg)
2438 a 2687lb (1105.88 a 1218.82 Kg)	2,500 lb (1134 Kg)
2688 a 2937lb (1219.28 a 1332.22 Kg)	2,750 lb (1247.4 Kg)
2938 a 3312lb (1332.68 a 1502.32 Kg)	3,000 lb (1360.8 Kg)
3313 a 3812lb (1502.78 a 1729.12 Kg)	3,500 lb (1587.6 Kg)
3813 a 4375lb (1729.58 a 1984.5 Kg)	4,000 lb (1814.4 Kg)
4376 a 4875lb (1684.95 a 2211.3 Kg)	4,500 lb (2041.2 Kg)
4876 a 5375lb (2211.75 a 2438.1 Kg)	5,000 lb (2268 Kg)
5376 a 5750lb (2438.55 a 2608.2 Kg)	5,500 lb (2494.8 Kg)
5751 a 6250lb (2608.65 a 2835 Kg)	6,000 lb (2721.6 Kg)
6251 a 6750lb (2835.45 a 3061.8 Kg)	6,500 lb (2948.4 Kg)
6751 a 7250lb (3062.25 a 3288.6 Kg)	7,000 lb (3175.2 Kg)
7251 a 7750lb (3289.05 a 3515.4 Kg)	8,000 lb (3628.8 Kg)
7751 a 8250lb (3515.85 a 3742.2 Kg)	8,500 lb (3855.6 Kg)
8251 a 8750lb (3742.65 a 3969 Kg)	9,000 lb (4082.4 Kg)
8751 a 9250lb (4196.25 a 4422.6 Kg)	10,000 lb (4536 Kg)

Tabla 1.1 Carga inercial acoplada al dinamómetro de chasis, en función del peso del vehículo.

1.6 Parámetros a considerar en una PAU

Pasando a otro punto, como información adicional resulta interesante comentar que al elegir una PAU para un dinamómetro, es necesario conocer por una parte la constante del freno, y por otra, las curvas características del mismo, esto con el fin de abarcar todos los posibles puntos del funcionamiento del motor. Para introducir el concepto de constante de freno nos basamos en la figura 1.9.

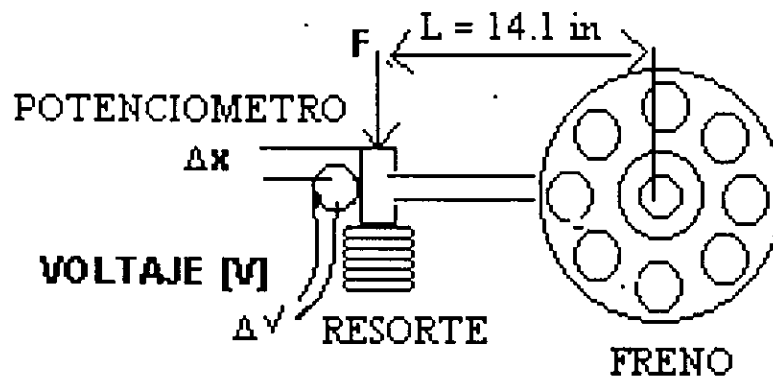


Figura 1.9 Diagrama esquemático de la PAU empleada en un dinamómetro de chasis de corrientes de eddy con un sistema resorte - potenciómetro como dispositivo para medir el par de frenado.

En la cual el par efectivo está dado por:

$$M_e = FL$$

Donde :

M_e .- Par efectivo (o momento de torsión) [ft/lb]

F .- Fuerza ejercida sobre la balanza.

L .- Longitud del brazo.

Por otra parte la potencia efectiva está en función del par efectivo y del régimen de giro del motor:

$$N_e = FL(2\pi \times n) / 60$$

N_e .- Potencia efectiva.

n .- régimen de giro del cigüeñal.

Dado que la longitud del brazo es constante se puede reducir la expresión a una función en términos de la fuerza y régimen de giro:

$$N_e = K (Fn).$$

Donde : K.- constante de la PAU.

Además de la constante de un PAU es importante conocer sus curvas características. [2]

Las características más importantes del motor son el par y la potencia como resultado del producto del par y el régimen de giro del motor, además del consumo específico, es decir el consumo de combustible en función de la potencia demandada.

Es común hacer una gráfica de par y la potencia de un motor en función del régimen de giro. Una PAU debe ser acompañada de un mapa de curvas características, sobre todo si es utilizado en un dinamómetro de banco, puesto que se debe conocer si la PAU es capaz de funcionar en el rango de operación del motor.

En un dinamómetro de chasis lo que se cuida principalmente son los rangos inferiores tanto en potencia como en velocidad a las que opera la PAU, debido a que por lo general es pequeña la potencia de frenado que se aplica al vehículo, en comparación con la que es capaz de frenar la PAU.

A continuación se muestran algunas curvas comunes de la PAU, clasificadas en función de su tecnología de fabricación.

Los mapas de las curvas características vienen representadas en un diagrama lineal o logarítmico indicando el par vs régimen de giro, o potencia vs velocidad del vehículo, con una serie de líneas que limitan el campo de operación de la PAU.

Los diagramas del funcionamiento u operación indica en que rango de par o potencia opera mejor el dinamómetro, dependiendo del tipo de motor que se pretende ensayar. El rango de utilización es limitado tanto por razones físicas como técnicas inherentes a la tecnología de fabricación de la PAU.

Mapas de curvas características de una PAU hidráulica.

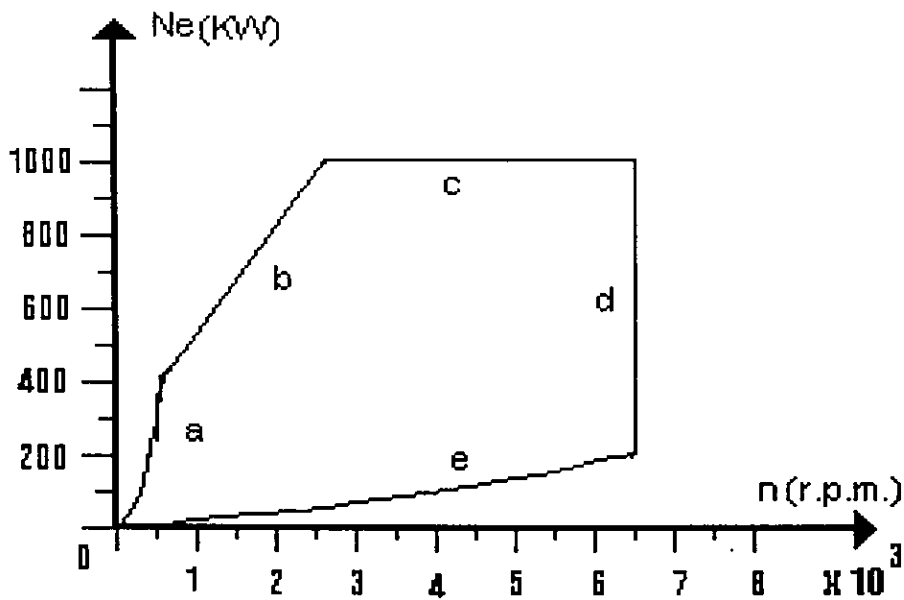


Figura 1.10 Mapa de curvas características típicas de una PAU hidráulica.

Potencia vs Régimen de giro.

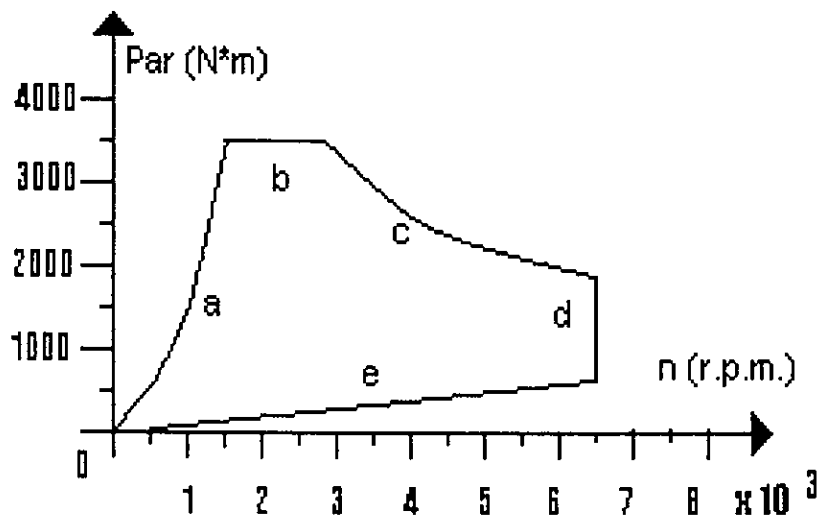


Figura 1.11 Mapa de curvas características típicas de una PAU hidráulica.

Par vs. Régimen de giro.

Cada una de las líneas que forman el mapa se describe a continuación.

- a.- Máxima potencia. Línea de máxima potencia, dada por la máxima cantidad de agua que puede ser suministrada dentro del gabinete de la PAU, dependiendo de las dimensiones del rotor; se incrementa cuando se aumenta la velocidad hasta el límite indicado por el par nominal.
- b.- Par nominal (máximo par). Este es limitado por la carga admisible en la flecha del rotor.
- c.- Potencia nominal (máxima potencia admisible). Es limitada por la máxima potencia que puede ser disipada por el agua de enfriamiento, la cual marca el límite.
- d.- Máxima velocidad. Es limitada por factores como la lubricación, balanceo del rotor, y el valor máximo de velocidad antes de entrar en resonancia.
- e.- Línea de Par mínimo. El empleo del freno por debajo de esta línea puede dar lugar a errores como consecuencia de la falta de precisión originada por la fricción de los componentes de la misma PAU, puesto que estos tienen el mismo orden de magnitud que la potencia a medir, lo que equivaldría a operar la PAU sin agua, aunque sabemos que está es necesaria para el enfriamiento.

Mapas de curvas características de una PAU corrientes de eddy .

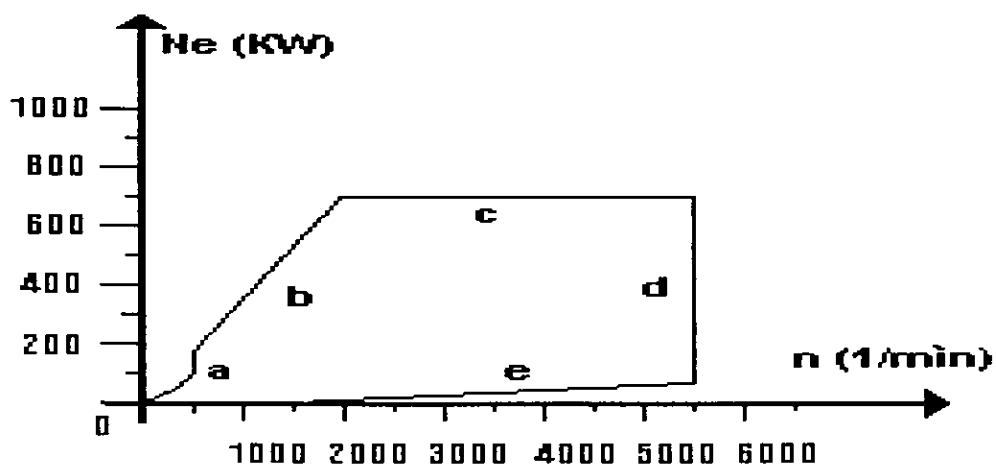


Figura 1.12 Mapa de curvas características típicas de una PAU de corrientes de eddy. Potencia vs Régimen de giro.

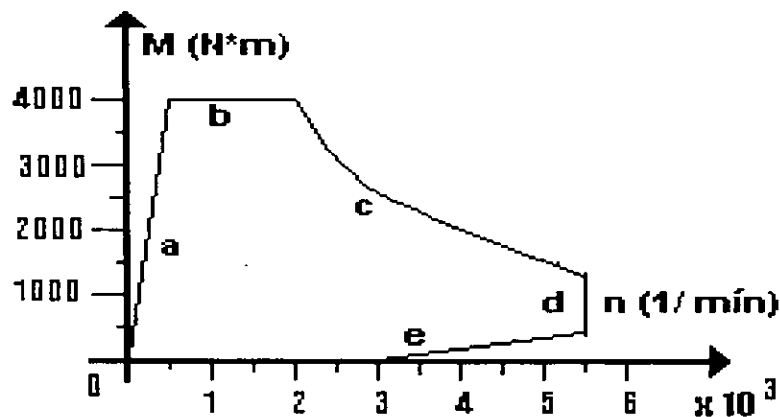


Figura 1.13 Mapa de curvas características típicas de una PAU de corrientes de eddy. Par vs Régimen de giro.

Cada una de líneas que forman el mapa se describe a continuación.

- a.- Línea de máxima Excitación (máxima potencia). Crece conforme se incrementa la velocidad hasta el límite del máximo torque, el cual esta en función de la corriente de excitación.
- b.- Máximo par admisible. Es limitado por la carga admisible de componentes y conexiones.
- c.- Máxima potencia admisible. Es limitada como en otros casos por el máximo calor disipable por el agua de enfriamiento, o en su defecto aire de enfriamiento. El máximo valor de temperatura de enfriamiento oscila entre los 50 y los 70 °C (la cual no debe ser excedida).
- d.- Máxima velocidad. Es limitada por factores como la lubricación, balanceo del rotor, y el valor máximo de velocidad antes de entrar en resonancia.
- e.- Línea de Par mínimo. Curva característica con una corriente de excitación cero. El empleo del freno por debajo de esta línea puede dar lugar a errores como consecuencia de la falta de precisión originada por la fricción de los

componentes del mismo freno, puesto que estos tienen el mismo orden de magnitud que la potencia a medir.[3]

1.7 Teoría sobre SCR's.

La cantidad de potencia eléctrica que requiere la PAU del dinamómetro de chasis del LCE, es regulada por un arreglo de SCR's (*silicon controlled rectifier*) que es un dispositivo electrónico de tres terminales, utilizado para manejar corrientes relativamente grandes de una carga. Su símbolo esquemático se muestra en la figura 1.14, junto con los nombres y letras de identificación de sus terminales.

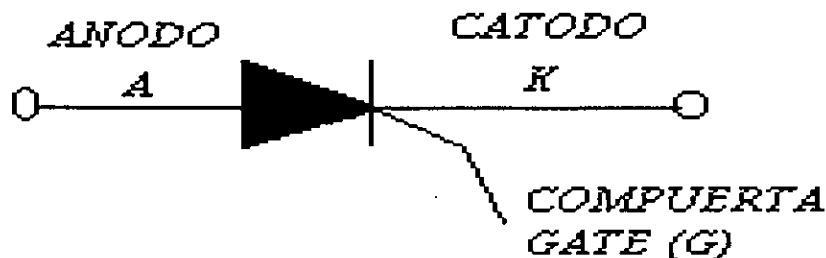


Figura 1.14 símbolo esquemático del SCR

Si la fuente de alimentación al SCR es alterna (ac), este permanece cierta porción del periodo en el estado de conducción y el resto del periodo en el estado bloqueado. La cantidad de tiempo que permanece en cada estado se controla por medio de la compuerta (*gate*).

Si el SCR permanece en estado de conducción durante una pequeña porción de periodo, la magnitud promedio de la corriente que circula a la carga es pequeña, por otra parte, si la señal de la compuerta cambia de tal manera que el SRC permanece en conducción durante una gran porción del

periodo, entonces la magnitud promedio de la corriente que circula por la carga será grande. En esta forma, se puede variar la cantidad de corriente que circula por la carga ajustando la porción del periodo que el SCR esta en conducción.

Los términos empleados para describir como esta operando un SCR, son ángulo de disparo y ángulo de conducción. El ángulo de conducción es el número de grados de un ciclo de ac durante los cuales el SCR esta en conducción, y el ángulo de disparo es el numero de grados de un ciclo de ac que transcurren antes de que el SCR pase al estado de conducción.

Para que un SCR sea disparado, es necesario dar un pulso de corriente (i_g) en la compuerta, y no es necesario que continúe fluyendo corriente por esta.

El SCR permanece en conducción por el tiempo que fluya corriente a través de sus terminales principales, ánodo a cátodo.

Existen diversos arreglos para controlar una carga mediante SCR, A continuación se describe a grandes rasgos un rectificador muy similar al empleado en el control de la PAU del LCE. La figura 1.15 muestra como dos SCR pueden combinarse con un transformador para efectuar un control de onda completa. Este circuito se asemeja bastante al rectificador de onda completa para una fuente de alimentación de corriente directa dc. Cuando el devanado secundario está en el semiciclo positivo, positivo arriba y negativo abajo, el SCR1 puede conducir. Esto conecta la carga a la mitad superior del devanado secundario del transformador. Cuando el devanado secundario se encuentra en el semiciclo negativo, el SCR2 puede conducir conectando la carga a la mitad inferior del devanado secundario. La corriente a través de la

carga siempre fluye en la misma dirección, tal como sucede en la en una fuente de dc de onda completa.

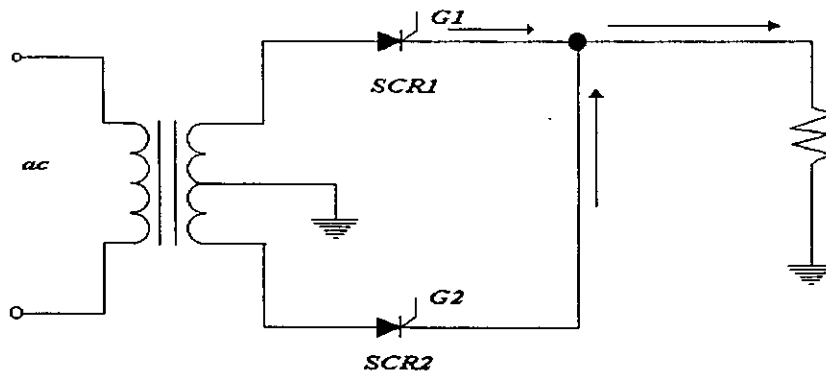


Figura 1.15 Control de onda completa con rectificación utilizando dos SCR y un devanado con tap central.

Los conceptos básicos de electrónica que se emplearon para el diseño se comentan directamente en el capítulo 4, donde se explica de manera detallada la tarjeta de acondicionamiento de señales.

Con el fin de dar a conocer al grado de modernización alcanzado en el equipo, en el siguiente capítulo se describe las partes que lo conformaban inicialmente y los criterios de diseño que se siguieron para modernizar el equipo.

CAPÍTULO 2

Descripción general del proyecto

En los últimos tiempos el significado de la palabra sistema se ha vuelto confuso, he aquí dos definiciones:

- Un sistema es un arreglo, conjunto o colección de cosas conectadas o relacionadas de manera que constituyan un todo.
- Un sistema es un arreglo de componentes físicos conectados o relacionados de tal manera que formen una unidad completa o que puedan actuar como tal.

Basándose en esta última definición, se dice que la naturaleza de los sistemas en ingeniería considera dos problemas: el análisis y el diseño.

El análisis es la investigación de las propiedades de un sistema existente. El diseño es la selección y arreglo de los componentes del sistema para ejecutar una tarea específica.

Existen dos métodos de diseño, en el primero se parte cero y se procura obtener siempre la mejor opción considerando los avances tecnológicos que pueden ser útiles para la solución del problema. En el segundo caso se parte de que no siempre resulta fácil desde el enfoque económico cambiar todos los elementos que integran el sistema y por tanto se deben utilizar algunos componentes de lo ya existente. Esta segunda opción es la que caracteriza al diseño realizado para el dinamómetro de chasis para vehículos ligeros del LCE, marca SUN modelo ROAD-A-MATIC XI/1, para aplicación en estudios ambientales, de diagnóstico y desarrollo; cabe mencionar que la aplicación original del equipo era diferente al que actualmente se le ha dado.

2.1 Características originales del dinamómetro.

El equipo originalmente estaba constituido por una consola de control, con despliegue de potencia y velocidad del vehículo accionada con un control manual, como se muestra en las figuras 2.1 y 2.2

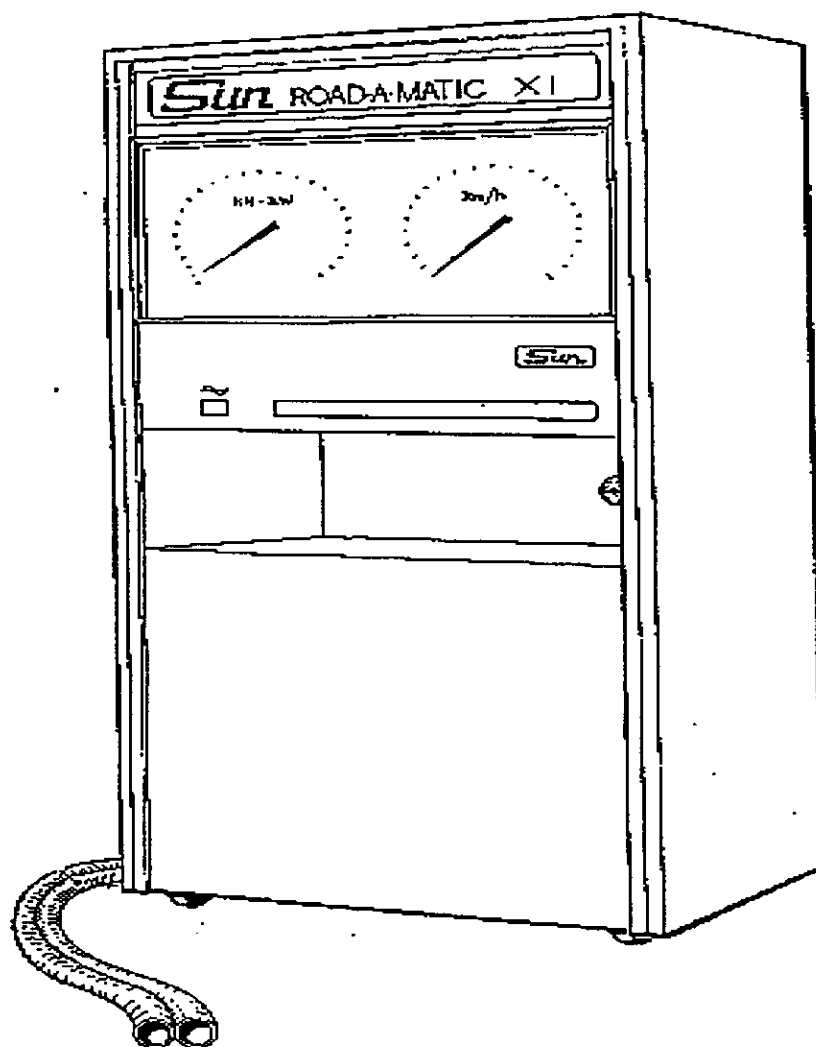


Figura 2.1 Consola original del dinamómetro de chasis del LCE.

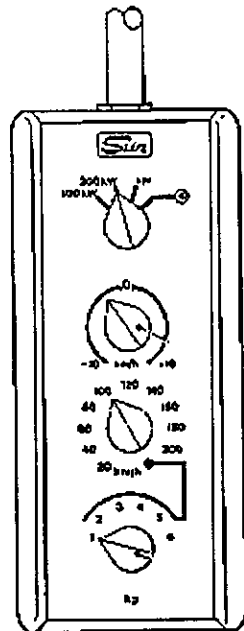


Figura 2.2 Control original del dinamómetro de chasis del LCE.

Actualmente conserva sus rodillos, una PAU de corrientes de eddy, una plataforma de placas ensambladas que sirve de soporte para llevar el vehículo hasta los rodillos, un colchón neumático que permite liberar al vehículo de los rodillos, además de una etapa de electrónica de potencia para controlar la energía suministrada a la PAU; este equipo requirió para su instalación de una fosa, ya que el dinamómetro debe quedar a un nivel del piso terminado.

El funcionamiento de cada una de estas partes ya ha mencionado brevemente con anterioridad.

Respecto a la consola de despliegue y control, ésta contaba con tres rangos de lectura de potencia, dependiendo de la cantidad de carga que se deseaba aplicar al vehículo, las unidades de estos rangos podían estar ya sea en el sistema de unidades internacional o en el inglés, siendo los rangos de 0 a 100 kW o de 0 a 200 kW (149.3 HP). Mientras que en la escala de velocidad el límite superior de velocidad desplegada era de 200 kilómetros por hora (kph), la cual también se podía desplegar en sistema inglés de unidades.

En la parte trasera del gabinete se tenía una salida para conectar la impresora donde se podía graficar la información adquirida (velocidad vs tiempo, potencia vs tiempo) al igual que un enchufe para el control manual.

El equipo tenía dos modos de operación alternativos: el primero se refiere a pruebas a “Velocidad constante” y el segundo a pruebas con “Carga constante”.

Mas adelante, se comentan las nuevas condiciones de operación, así como el diseño en cada una de ellas.

En el siguiente apartado se mencionan las características de la etapa de electrónica de potencia que se emplea para la aplicación de carga a la PAU.

2.2 Electrónica de Potencia

Para el control del suministro de energía a la PAU, se tiene una etapa de electrónica de potencia, integrada por un circuito que consta de un arreglo de SCR's, controlado por una tarjeta de disparo, como se muestra en la figura

2.3

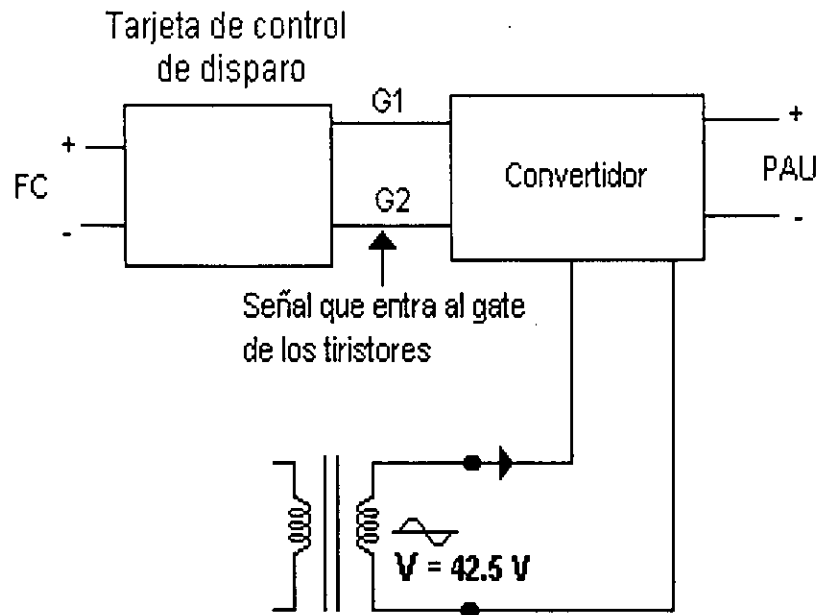


Figura 2.3 Diagrama general de la etapa de electrónica de potenciaⁱ

Existe una gran variedad de aplicaciones en la electrónica de potencia, la cual ofrece la posibilidad de utilizar elementos semiconductores, para el control de dispositivos que demandan corrientes o voltajes elevados.

En el caso del dinamómetro de chasis del LCE se utiliza un circuito, conocido como rectificador de onda completa controlado, dicho circuito se presenta en las figuras 2.4 (a) y (b), con una carga resistiva e inductiva, que es la forma de representar desde el punto de vista eléctrico la carga de la PAU. En estas figuras se observa un diodo denominado diodo puente (D_m), el cual hace circular la corriente remanente que pueden quedar alojada en las bobinas de la PAU precisamente por ser una carga inductiva.

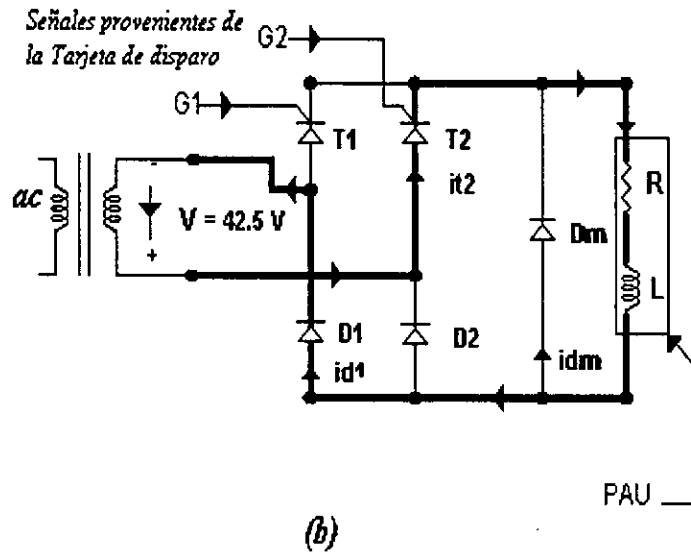
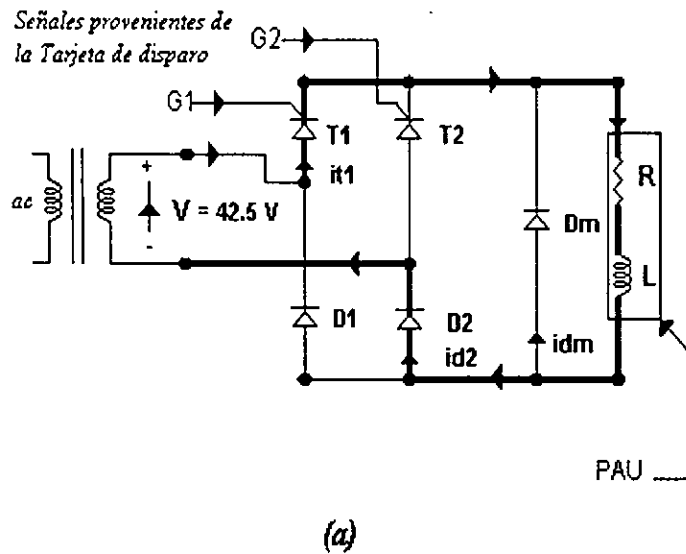


Figura 2.4 Convertidor controlado (Puente mixto) (a) Para el ciclo positivo, (b) Para el ciclo negativo

Mediante este arreglo, la carga observa siempre una corriente de la misma polaridad; durante el ciclo positivo de alimentación de voltaje que provee el transformador, el tiristor T1 se dispara por un pulso que entra por G1 y cierra el circuito mediante D2, como se observa en la figura 2.4a,

posteriormente en el ciclo negativo T1 se apaga por conmutación natural y T2 esta en posibilidad de conducir mediante un pulso en G2, en este caso, la corriente regresa al transformador por D1 como se observa en la figura 2.4b, posteriormente en el siguiente ciclo positivo T2 es conmutado de manera natural.

Al haber una carga resistiva, la corriente que circula por ella es idéntica en forma al voltaje de salida. En nuestro caso, la PAU es una carga inductiva y su impedancia esta dada por $\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ con un ángulo de defasamiento dado por. $\tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$

En este caso la corriente se retrasa a la onda de voltaje como se muestra en la figura 2.5

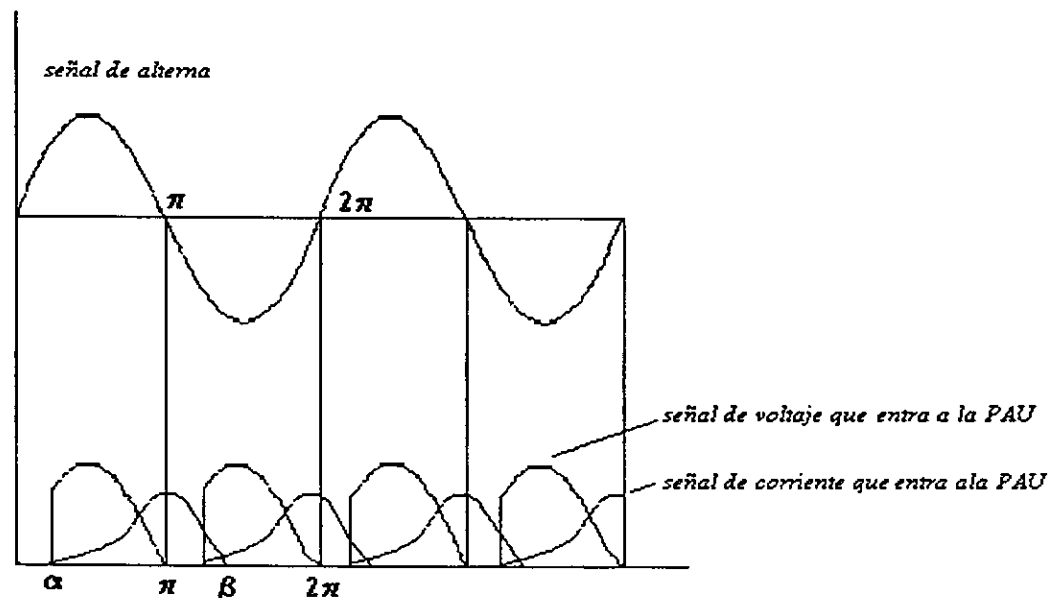


Figura 2.5 gráfica de voltaje y corriente aplicados a la PAU.

En esta figura α representa el ángulo de inicio de conducción y β el de fin de conducción, se puede observar que si β es mayor que $\pi + \alpha$ aún hay una

corriente circulando por la PAU cuando T2 ya esta en posibilidad de ser disparado, por tal motivo es necesario tener un diodo en paralelo con la carga como se observa en la figura 2.4, este se encarga de hacer circular la corriente remanente en la PAU.

Para fines de cálculo, no fue posible leer la impedancia de la PAU, sin embargo se tomaron lecturas de la corriente rms contra el porcentaje de ángulo de conducción y se obtuvo la tabla 2.1

Angulo de cond. (%)	Corriente rms (amp.)
10	0.03
20	0.04
30	0.18
40	0.73
50	1.45
60	2.78
70	4.79
80	5.46
90	5.8
100	5.81

Tabla 2.1 Valores de corriente rms leídos en la PAU a diferente ángulo de conducción

En la tabla 2.1 se observa que la corriente suministrada a la PAU no responde de manera lineal al ángulo de conducción. Esto se debe a que la PAU representa una carga inductiva, la cual distorsiona la forma de onda de corriente, aquí se observa que solo después del 40% del ángulo de conducción hay una corriente significativa para generar un par de frenado, además en esta tabla se observa que no se llega al caso de inestabilidad, donde β es mayor que

$\pi+\alpha$, puesto que los valores de corriente para 90 y 100 % de ángulo de conducción son similares.

La tarjeta de disparo de los tiristores se estudió a manera de caja negra, en donde se vio que la señal de disparo esta sincronizada con la frecuencia de la línea. Pero se sabe que esta tarjeta debe alternar el disparo de T1 y T2 para lograr una rectificación controlada.

En la figura 2.6 se observa una señal modulada que sale de la tarjeta de disparo hacia la compuerta de disparo de los tiristores, además se observa el voltaje de salida que se entrega a la PAU.

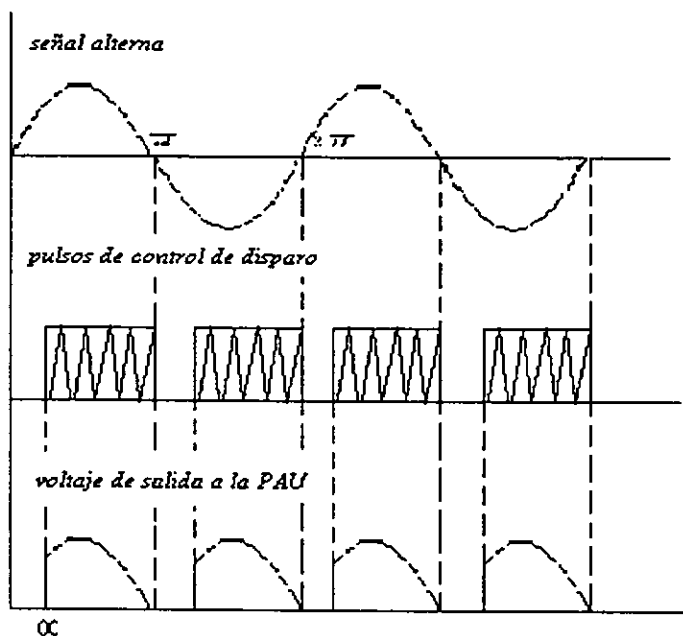


Figura 2.6 Forma de la señal de voltaje para el disparo de los tiristores.

La tarjeta no tiene ningún arreglo para provocar la conmutación de los tiristores dado que el arreglo de estos tiene una conmutación natural.

2.3 Propuesta de modernización

La modernización del módulo de operación, en lo referente al control y a la adquisición de datos se realizó de acuerdo al siguiente enfoque; para la evaluación del funcionamiento del vehículo, se utilizan masas inerciales, que como ya se comentó en el apartado 1.5, estas masas se utilizan para simular el peso del vehículo, bajo condiciones de aceleración o desaceleración, de tal forma que la potencia asignada a la PAU sólo debe ser tal que produzca las circunstancias de esfuerzos del motor a cierta velocidad que puede ser de acuerdo al *Code of Federal Regulations* (CFR) de 80.45km/h sobre terreno plano, esta carga generada por la PAU debe ponerse tomando en cuenta las pérdidas por fricción del dinamómetro. La relación entre la potencia que se absorbe y la potencia suministrada para un dinamómetro en particular debe ser determinada mediante el procedimiento de calibración que se indica en el capítulo 5.

La carga de camino de acuerdo al CFR, se determina mediante la siguiente ecuación, la cual esta determinada por el peso del vehículo y se regula agregado más o menos discos inerciales a la UMI, el área frontal del vehículo, su perfil aerodinámico considerando protuberancias, y el tipo de llanta utilizada.

$$H_p = aA + P + tw$$

donde:

H_p - Es la potencia absorbida por el dinamómetro a una cierta velocidad.

A - Es el área frontal del vehículo en ft^2 . Ésta se define como el área que el vehículo proyecta frente a un plano perpendicular al suelo, incluye neumáticos y componentes de la suspensión.

P - Es un factor de corrección en unidades de potencia que está en función del área de las protuberancias como se muestra en la tabla 2.2. Una protuberancia se define como cualquier elemento adherido al vehículo que sobresalga más de 1 pulgada de la superficie del vehículo, y que proyecte una área mayor de 0.01ft^2 sobre un plano perpendicular al suelo.

A_p (ft^2)	P (hp)
$A_p < 0.3$	0
$0.3 < A_p < 0.6$	0.4
$0.6 < A_p < 0.9$	0.7
$0.9 < A_p < 1.2$	1
$1.2 < A_p < 1.5$	1.3
$1.5 < A_p < 1.8$	1.6
$1.8 < A_p < 2.1$	1.9
$2.1 < A_p < 2.4$	2.2
$2.4 < A_p < 2.7$	2.5
$2.7 < A_p < 3.0$	2.8
$3.0 < A_p$	3.1

Tabla 2.2 Área de protuberancias vs potencia absorbida.

w - Es el peso de prueba equivalente del vehículo en lbs como se muestra en la tabla 1.1.

α - Es un factor que tiene que ver con la forma trasera del vehículo, y equivale a 0.43 para aquellos de forma fastback y a 0.5 para cualquier otro tipo de vehículos. En el siguiente párrafo se define específicamente bajo que circunstancias se considera un vehículo ligero del tipo fastback.

t - Es un factor que tiene que ver con el tipo de llantas utilizadas, y tiene los siguientes valores: 0.0 para vehículos equipados con llantas de tipo radial, y de 0.0003 para todas las demás.

Se considera que un vehículo tiene forma *fastback* si la su parte trasera marcada como Ab en la figura 2.7 forma un ángulo θ menor de 20 grados con un plano horizontal que es tangente al toldo del automóvil, además si la proyección del área Ab frente a un plano perpendicular al suelo es menor al 25% del área total proyectada por el vehículo sobre el mismo plano.

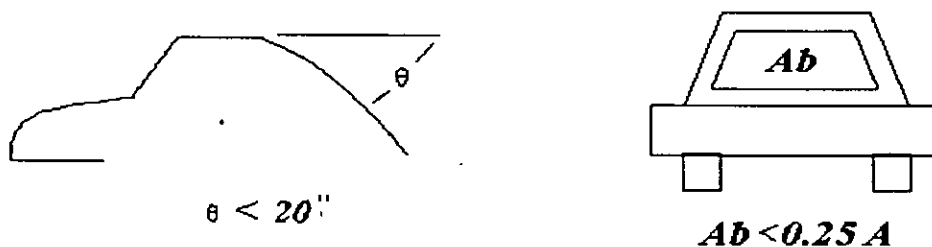


Figura 2.7 Diagrama esquemático de un vehículo tipo fastback

Además se debe agregar un 10% más de la carga calculada en la ecuación descrita anteriormente, para automóviles equipados con aire acondicionado, pero esta carga no debe exceder de 1.4 HP de potencia.

En el siguiente capítulo se describe en detalle el diseño del sistema de adquisición de datos y las funciones de control que realiza la computadora, así como el programa desarrollado para el funcionamiento del dinamómetro.

CAPÍTULO 3

Diseño

Para sustituir las funciones de control y adquisición de datos acorde al enfoque que en el capítulo anterior se mencionó, nos auxiliamos de una computadora personal, una tarjeta de adquisición de datos con opción de generar señales de control, un software de programación para dicha tarjeta, el cual se caracteriza por ser de cuarta generación y trabajar en ambiente windows; todo esto opera en conjunto con una etapa de electrónica analógica que permite acoplar las señales de entrada y salida a la PC que provienen y van al dinamómetro.

Las expectativas en el funcionamiento de este nuevo diseño permiten que por medio de la computadora y un programa desarrollado para esto, se controle de manera integral el funcionamiento del dinamómetro, manipulando: la duración de la prueba, cantidad de carga aplicada a la PAU, visualizar y almacenar las variables de velocidad de ambos rodillos, par y potencia contra tiempo, y distancia total recorrida por el vehículo, para su posterior análisis.

En la figura 3.1 se muestra un diagrama en el cual se observan las señales que fluyen entre el dinamómetro y la computadora.

Con la letra **a** se representa una señal que regula la carga, mediante la variación del ancho de un tren de pulsos que genera la computadora y que esta en fase con la línea de alimentación del equipo, a esta señal se le da potencia en la tarjeta acondicionadora y sale mediante **f** al arreglo de tiristores que entregan mediante **k** potencia a la PAU.

La señal **b** es un pulso que se genera en la PC, y al entrar a la tarjeta acondicionadora activa un relevador, mediante **g** polariza una servovalvula que infla el colchón neumático que libera el vehículo de los rodillos.

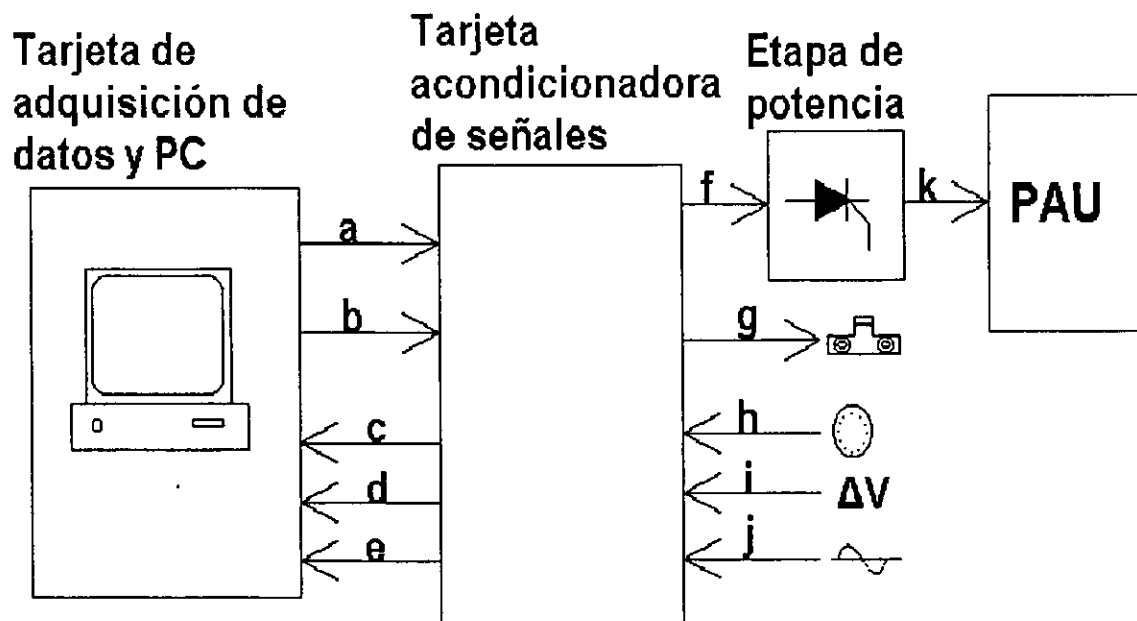


Figura 3.1 Diagrama esquemático general de la instrumentación del dinamómetro.

La **h** representa un tren de pulsos que proviene de los sensores de velocidad, en la tarjeta acondicionadora, esta señal es dividida en frecuencia y entra al sistema adquirente de datos mediante **c**.

La señal **i** es un nivel de voltaje directo que proviene de la celda de carga, el cual es proporcional al par que registra. Este nivel de voltaje entra directamente a la tarjeta adquirente en la PC mediante **d**, además, en la

tarjeta acondicionadora se genera un voltaje de polarización para la celda de carga.

La señal j es de corriente alterna, la cual proviene de un transformador que alimenta a los tiristores, esta señal es acondicionada en la tarjeta para obtener un tren de pulsos en fase con la línea de alimentación, los cuales entran a la tarjeta adquisidora mediante e .

De manera general podemos ver que la figura 3.1 muestra el sistema de instrumentación que consta de:

Variables físicas, que son visualizadas mediante sensores y transductores, para proporcionar variables que sean fáciles de manipular.

Acondicionamiento de señales, mediante arreglos electrónicos (amplificadores op., compuertas, etc.) para ser manejados por el hardware de la computadora.

Adquisición, para el procesamiento de datos sobre la base del software especificado.

Software, utilizado para desarrollar la aplicación del sistema de control y procesamiento de datos.

A continuación se describe en detalle el funcionamiento de cada uno de los circuitos que forman la tarjeta de acondicionamiento de señales.

3.1 Circuitos que forman la tarjeta de acondicionamiento de señales.

3.1.1 Circuito de sincronización con la computadora.

Dado que para el control de la carga, se requiere de una señal de 5 volts de amplitud, a una frecuencia constante de 120Hz, en fase con una señal senoidal, obtenida a la salida del transformador que alimenta al rectificador

controlado, se rectificó una señal alterna senoidal de 10 volts, utilizando un puente rectificador como se muestra en la figura 3.2 Donde la onda rectificada es acondicionada de tal forma que nos entrega niveles de voltaje comparables con los que maneja la computadora. En dicha figura se presenta la etapa de acondicionamiento utilizada, se tiene un transistor en configuración de emisor común, polarizado a 5V para no dañar a la computadora el cual va a trabajar en corte y en saturación.

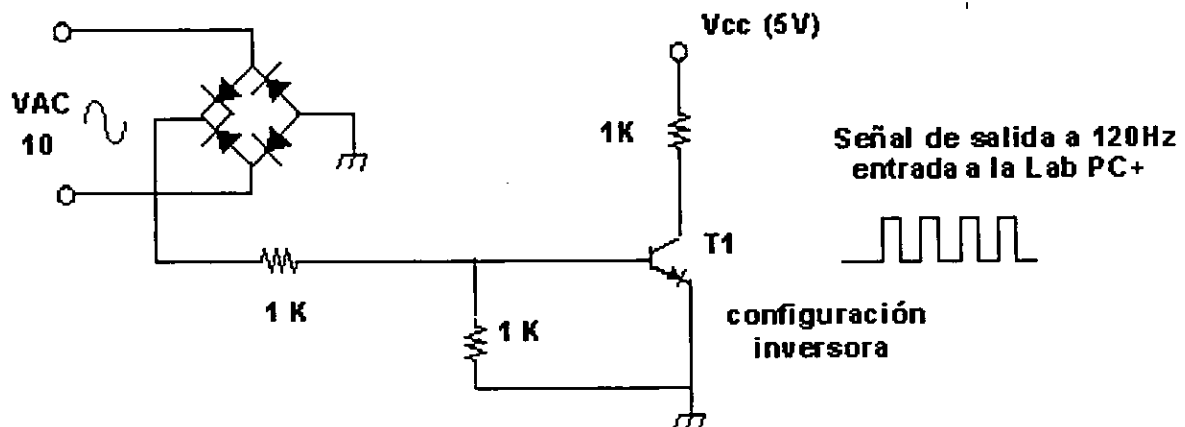


Figura 3.2 Circuito de sincronización con la computadora

Para poder obtener la señal de 120 Hz, se utilizó un circuito rectificador de onda completa tipo puente, este circuito tiene la característica de que a partir de una señal de ca de 60 Hz, podemos obtener una señal del doble de frecuencia, en este caso de 120 Hz.

Durante el semiciclo positivo los diodos D2 y D4 conducen, en tanto que los diodos D1 y D3 se encuentran en estado de “corte”.

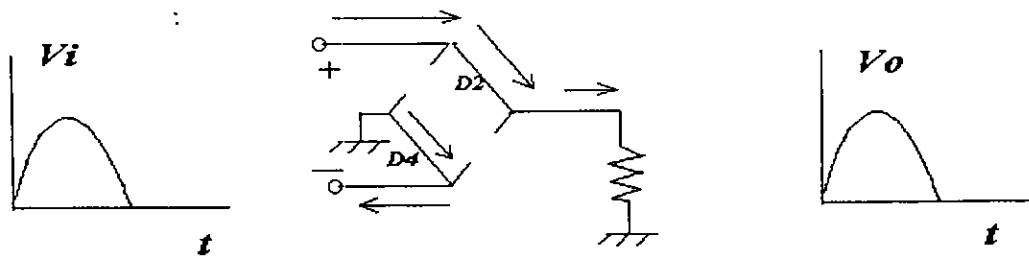


Figura 3.3 Flujo de corriente en el semiciclo positivo del rectificador.

En esta figura podemos observar que el voltaje de entrada es el mismo que el de salida. Para el semiciclo negativo los diodos que conducen ahora son D1 y D3 y los que se encuentran en estado de corte son D2 y D4. La trayectoria de conducción se muestra en la figura 3.4

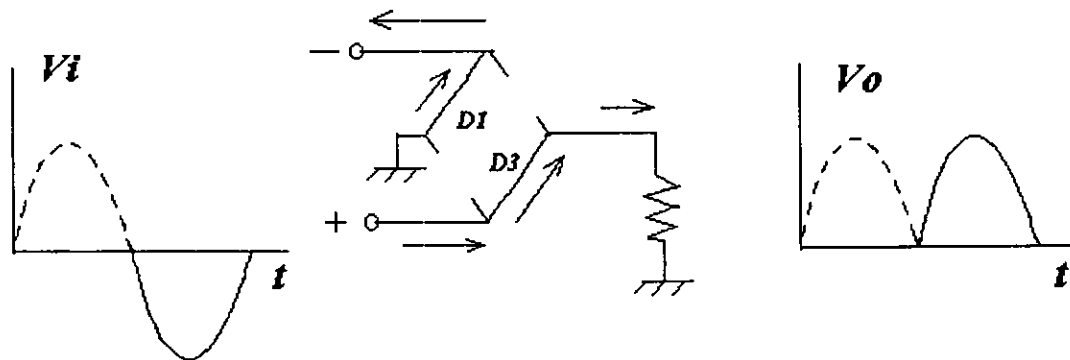


Figura 3.4 Flujo de corriente en el semiciclo negativo del rectificador.

Lo que resulta importante de este caso es que la polaridad en la carga es la misma que en el semiciclo positivo. Para un ciclo completo, los voltajes de entrada y salida se muestran en la figura anterior, en la cual se observa que la frecuencia se ha duplicado.

Por otra parte, el transistor T1 de la figura 3.2 funciona como un interruptor, cuando el voltaje en la base es mayor de 0.7 volts el transistor se va a la región de saturación, por lo que el voltaje colector emisor $V_{CE} = 0.2$ volts (prácticamente cero), cuando el voltaje en la base es menor de 0.7 volts en la base, el transistor se va a la región de corte, por lo que el voltaje en la resistencia de colector es de 5 volts. En la figura 3.5 se muestra un diagrama de la señal rectificadora que proviene del rectificador de onda completa tipo puente y el tren de pulsos sincronizado con la línea en condiciones para entrar a la tarjeta de adquisición de datos.

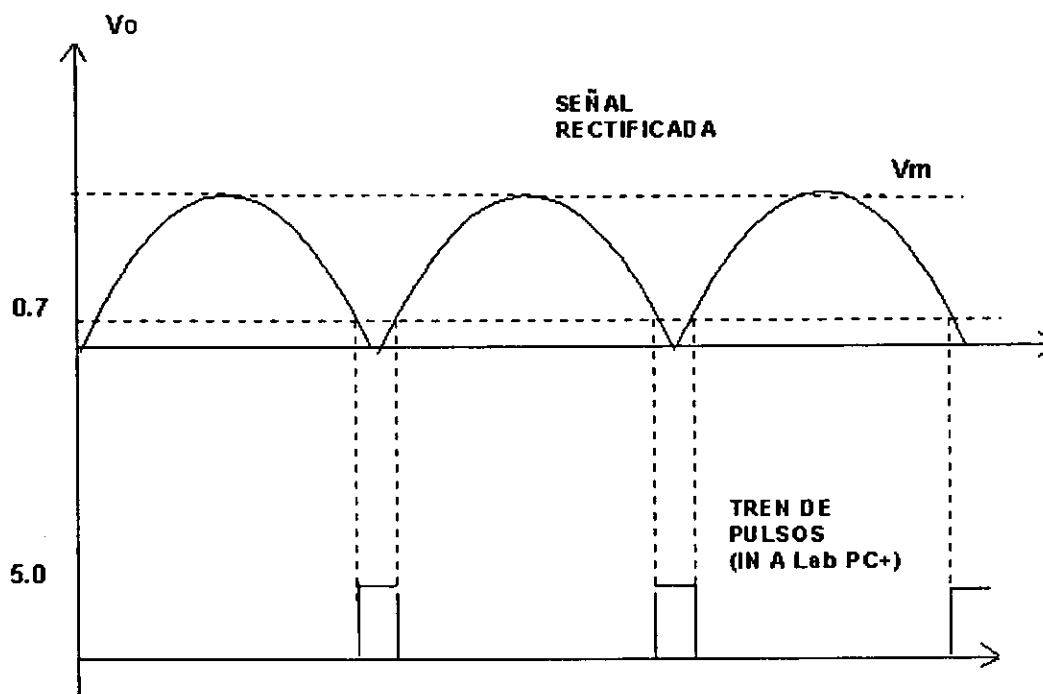


Figura 3.5 Señales de entrada y salida al circuito de sincronización.

Una vez obtenido el tren de pulsos, éste se proporciona como entrada al puerto B, y el Gate del contador 0 de la tarjeta de adquisición de datos Lab PC+(terminales 22 y 42 respectivamente); esto es para que el puerto B y el contador de la tarjeta se sincronicen con la señal de entrada.

3.1.2 Circuito de acoplamiento de la señal de control de disparo.

Una vez hecho lo anterior, y al pasar por la rutina que hace la modulación por ancho de pulso, en la salida del contador 0 de la tarjeta de Lab PC+ (terminal 41) se obtiene un tren de pulsos con una amplitud de 5 volts y una frecuencia de 120 Hz. Para que esta señal pueda controlar la intensidad de carga que se proporciona mediante la electrónica de potencia, previamente deberá ser acondicionada. El circuito de acondicionamiento se muestra en la figura 3.6

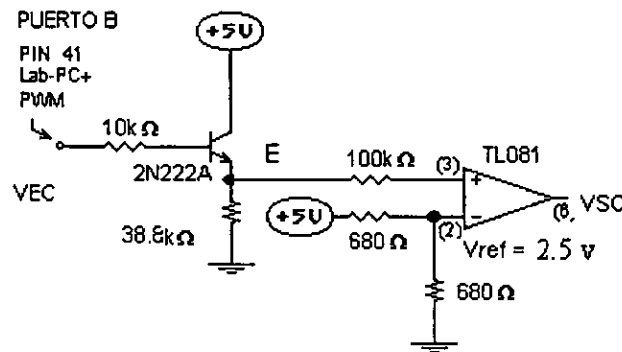


Figura 3.6 Circuito de potencia para disparo de la tarjeta de control de tiristores.

En este caso, cuando el transistor 2N222 está en corte, no fluye corriente por el colector y la resistencia de emisor no mantiene ningún voltaje, por tanto a la salida hay cero volts; cuando el transistor está en saturación hay una corriente de colector muy similar a la corriente de emisor, por tanto hay una caída de voltaje en la resistencia de emisor que es aproximadamente 5 volts menos el voltaje colector emisor de saturación (0.2), de esta forma el transistor trabaja como interruptor, moviéndose de la región de corte a la de saturación.

Posteriormente la señal entra a un circuito comparador, el cual se realizó con un amplificador operacional TL081 conectado en malla abierta, con un voltaje de referencia de 2.5 volts, el cual opera de la siguiente manera: Cuando se tiene en la terminal positiva un voltaje mayor de 2.5 volts, en la salida se tiene el voltaje de polarización positivo del amplificador operacional (+15 volts), pero cuando el voltaje en la terminal negativa es menor de 2.5 volts, en la salida tendremos el valor de polarización negativa del amplificador operacional (-15 volts). A continuación en la figura 3.7 se muestra la señal obtenida.

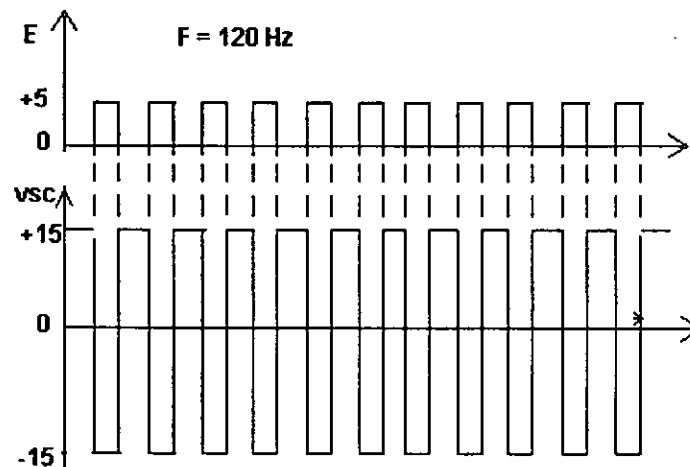


Figura 3.7 Señales obtenidas del circuito de la figura 3.6

Cabe mencionar que en general el amplificador operacional es un circuito que proporciona una ganancia idealmente infinita, con una impedancia de entrada alta y una impedancia de salida baja. Al conectarlo en malla abierta trabaja como comparador. Es decir cuando la señal de entrada por la terminal positiva es mayor al voltaje de referencia en la terminal

negativa, se obtiene en la salida un nivel de voltaje igual al voltaje de polarización positivo, pero si la señal de entrada es menor que el voltaje de referencia la salida será un nivel de voltaje igual al voltaje de polarización negativo. Esto se observa mas claro al revisar la ecuación en malla abierta del amplificador operacional.

$$V_s = a_v(V_p - V_n)$$

donde

V_s es el voltaje de salida.

a_v es la ganancia.

V_p es el voltaje en la terminal positiva.

V_n es el voltaje en la terminal negativa.

Idealmente la ganancia en malla abierta es infinita, por lo tanto si V_p es mayor que V_n , entonces V_s tiende a infinito; pero si V_p es menor que V_n entonces V_s tiende a un valor negativo infinito. En realidad V_s sólo puede llegar a valores de polarización del amplificador operacional.

3.1.3 Circuito de protección de disparo.

Este circuito se retomo del diseño original, en donde para poder dar carga a la PAU, se debería cumplir una condición inicial consistente en que los rodillos del dinamómetro rebasaran la velocidad de 20 kph. Esta condición originalmente se cumplía mediante el interruptor ubicado en la base del transistor T2, en donde si este esta cerrado, entonces T2 se encuentra en la región de activa y circula una corriente en el colector lo que permite que

el transistor T3 se encuentre en la región de activa directa y la señal en la base de T3 pueda pasar hasta el colector de T3. Por otra parte cuando el interruptor se encuentra abierto, T2 se va a la región de corte y no hay corriente en el colector, de esta forma T3 también se encuentra en corte y la señal en la base de T3 no pasa al colector. En la figura 3.8 se observa un diagrama esquemático de dicho circuito.

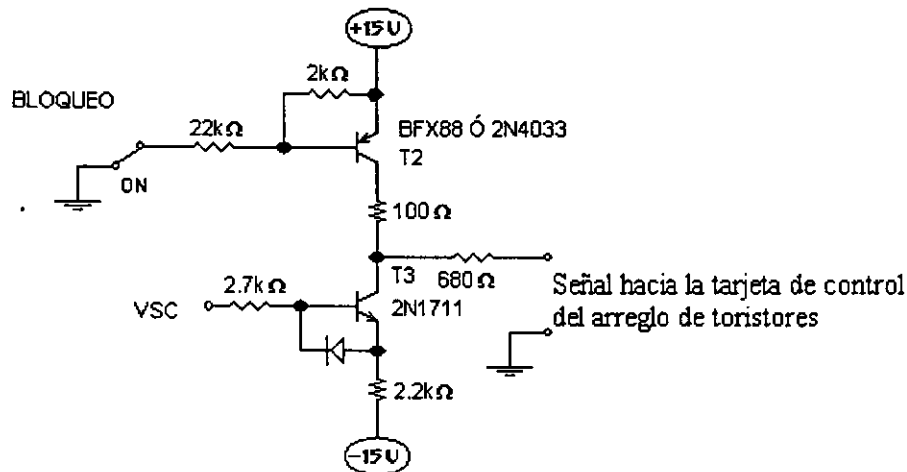


Figura 3.8 Diagrama esquemático del circuito de protección de disparo.

En este diagrama se observa adicionalmente un diodo entre la base y el emisor de T3 el cual evita enviar el transistor a la región de corte.

3.1.4 Circuito para el acondicionamiento de los sensores de velocidad.

Para obtener los parámetros de velocidad y distancia se utilizaron transductores, los cuales se usan comúnmente para medir velocidad angular, y a partir de ese parámetro es posible calcular velocidad lineal y desplazamiento.

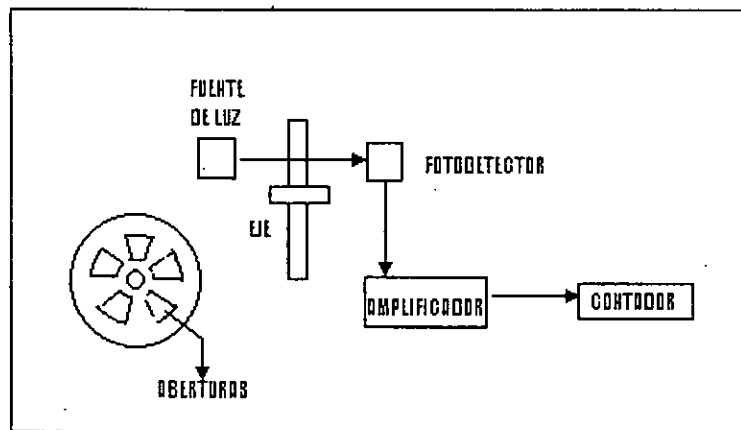


Figura 3.9 Diagrama general de un transductor de velocidad angular

La figura 3.9 muestra un dispositivo para medir velocidad angular, donde, conforme gira la rueda, la luz de la fuente en forma alternativa se transmite y se detiene, con lo cual se obtiene una señal digital del fotodetector. La señal obtenida es amplificada y enviada a un circuito contador para su procesamiento. La frecuencia de la señal es proporcional a la velocidad angular. La sensibilidad del dispositivo puede mejorarse aumentando el número de cortes, aunque esto también depende del tiempo de respuesta del dispositivo. En nuestro caso se hicieron 18 ranuras al disco utilizado.

A medida que aumenta la velocidad de los rodillos, el ancho de pulso del sensor de velocidad disminuye, por lo que se tuvieron problemas con la detección de los pulsos, para solucionar este problema fue necesario utilizar un arreglo de flip – flop JK para dividir la frecuencia de la señal obtenida. La figura 3.10 muestra el diagrama esquemático del circuito utilizado previo al uso de los flip – flops.

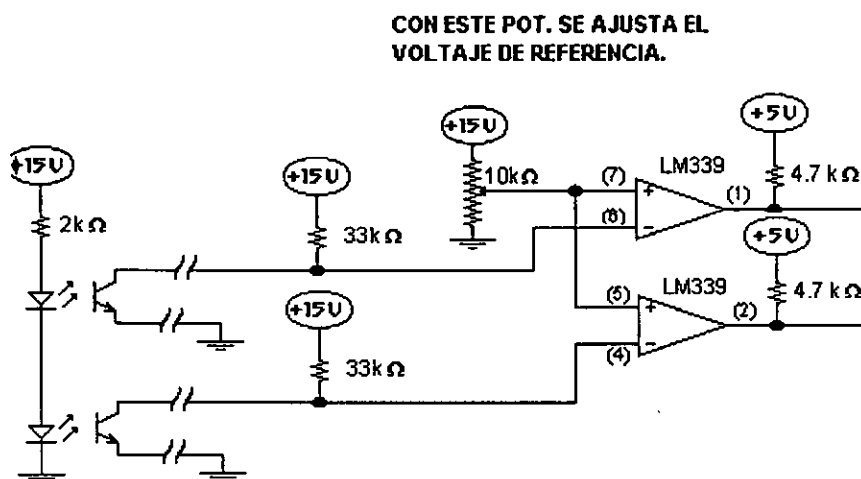


Figura 3.10 Diagrama esquemático del circuito empleado para el procesamiento de las señales de velocidad.

La señal obtenida del optoacoplador pasa por un comparador, en donde el potenciómetro sirve para fijar el voltaje de referencia. Las resistencias de 33 K en el colector de los fototransistores son para polarizarlos y las resistencias a la salida de los comparadores son para fijar los niveles de voltaje a la salida acorde a las necesidades de los flip - flops JK. Estos se caracterizan por cambiar de estado a la salida con un flanco de bajada en el reloj. La figura 3.11 muestra la tabla de estados del flip – flop JK, mientras que la figura 3.12 muestra gráficamente los estados en la salida Q al haber un

cambio en el pulso del reloj de un estado alto a uno bajo. Precisamente es esta la propiedad que se aprovecha al utilizar el flanco de bajada del sensor de velocidad para dividir la frecuencia y cuadrar la señal.

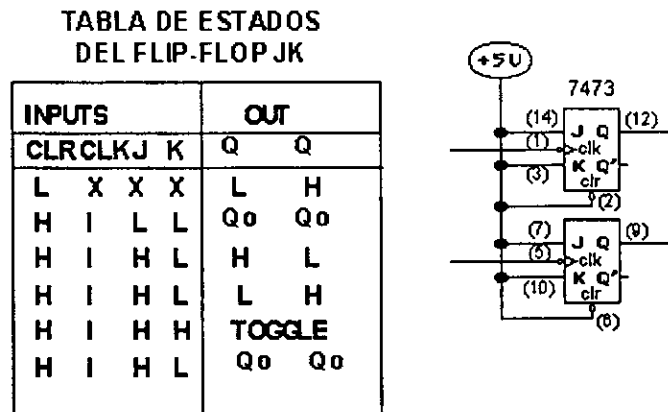


Figura 3.11 Tabla de estados a la salida de los flip – flops.

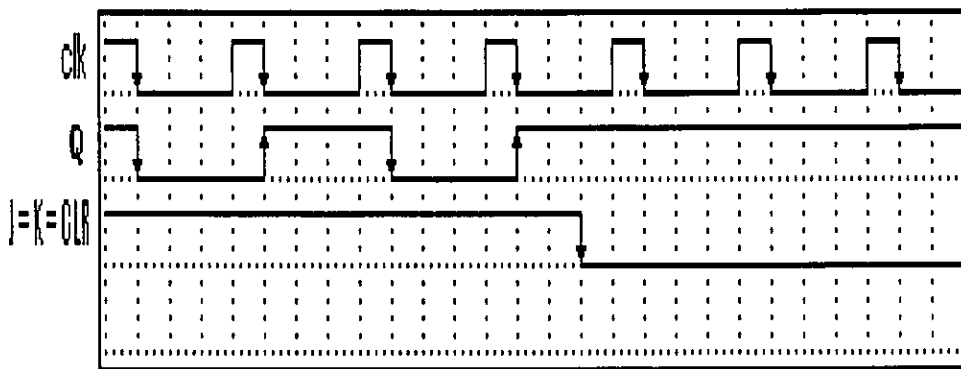


Figura 3.12 Gráfica de estados en las terminales del flip - flop.

La señal proveniente de los flip – flops se hace pasar por unos circuitos comparadores (schmitt triggers), las cuales entran por las terminales 1 y 13 del circuito que se muestra en la figura 3.13, para garantizar una señal real para la medición de los pulsos provenientes de los flip - flops, es necesario

generar en la computadora un tren de pulsos de una frecuencia calculada de acuerdo al numero de orificios del disco utilizado en el sensor de velocidad, esta señal proviene de la terminal 14 de la tarjeta Lab PC+, su funcionamiento se puede explicar con la tabla de verdad de la figura 3.13, donde X es la señal proveniente del flip – flop, mientras que Y es la señal proveniente de la computadora, en donde se puede observar que se tendrá un estado alto en la salida siempre y cuando ambas entradas coincidan en un nivel alto evitando así la lectura de falsos pulsos. Las salidas VSR1 y VSR2 que corresponden a las señales de los sensores de los rodillos delantero y trasero, entran al reloj de los contadores 1 y 2 de la tarjeta correspondientes a las terminales 45 y 48 respectivamente. Fue necesaria la implementación de dicho circuito dado que al realizar pruebas se pudo observar que al exceder una velocidad de 25 kph el valor tenía una desviación grande con respecto a la real.

TABLA DE ESTADOS
COMPUERTA AND

X	Y	OUT
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

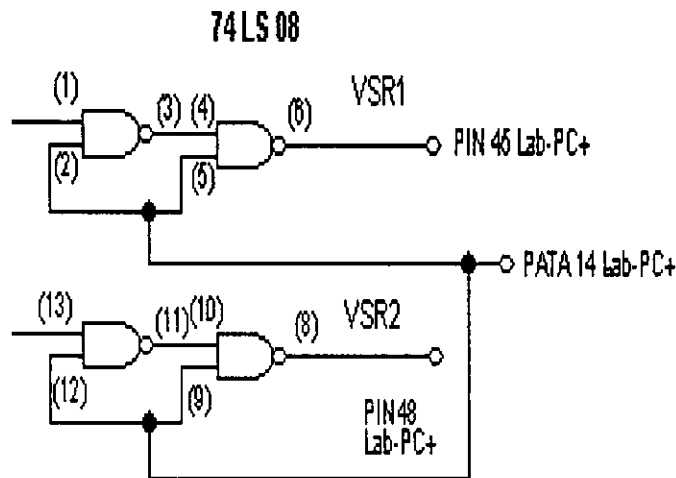


Figura 3.11 Diagrama de conexiones de los circuitos Schmitt Trigger y su tabla de estados.

3.1.5 Sensor de carga.

Para efectos de medición de la carga se utiliza un potenciómetro acoplado a un resorte, esto en conjunto lo hemos denominado celda de carga. A través de ésta se mide el par y por ende la potencia, mediante una variación de voltaje que se encuentra en función de la deformación del resorte, como se muestra en la siguiente figura 3.14. La distancia L es el brazo de palanca correspondiente para obtener el calculo del par. En la tarjeta de acondicionamiento se polariza el potenciómetro, y la señal obtenida de éste se introduce al convertidor analógico/digital, a través del canal 0 de la tarjeta Lab PC+. Dicho valor es procesado posteriormente para obtener los valores de carga en las unidades correspondientes.

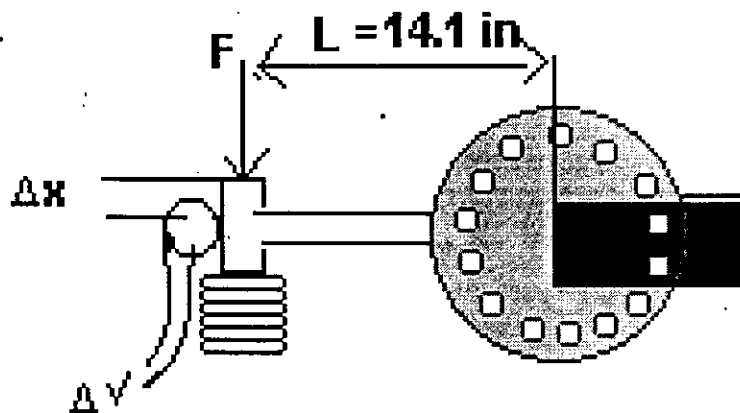


Figura 3.14 Diagrama del sensor de carga.

3.1.6 Circuito para liberar el vehículo del dinamómetro.

Para liberar el vehículo de los rodillos se utiliza un colchón neumático que se infla con un compresor a una presión de 20 psi, para tener control sobre él, se utiliza una válvula que al polarizarse con un voltaje entre 20 y 45 volts de corriente directa permite el flujo de aire hacia el interior del colcón. La polarización de esta válvula en nuestro caso se hace con un voltaje de 15 y -15 volts, los cuales al no tener referencia de tierra al polarizar la válvula dan una tensión total de 30 volts. Se adopto esta opción porque se utilizo una fuente que originalmente ya estaba en el diseño electrónico original.

Por su parte para que la computadora pueda controlar la válvula se requiere de un circuito adicional el cual se muestra en la figura 3.15 El control se efectúa desde la computadora utilizando el puerto C de la tarjeta Lab PC+ (terminal 35) para activar un relevador que aísla las impedancias entre la válvula y la tarjeta Lab PC+

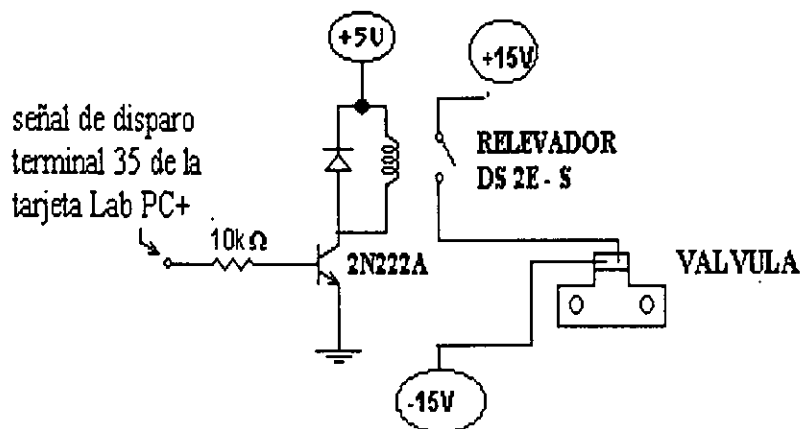


Figura 3.15 circuito de control para la válvula neumática

En este caso en la base del transistor se tienen dos niveles de voltaje, cuando esta en estado alto el transistor conduce polarizando el inductor,

cuando se tiene un nivel bajo de voltaje en la base del transistor, este se va a la región de corte pero el inductor mantiene la corriente que pasa por él, por esa razón se pone el diodo puente que cierra el circuito formando un lazo entre el diodo y el inductor hasta que la corriente se disipa, de no tener ese diodo el transistor se dañaría.

Adicionalmente comentamos se cuenta con un candado que impide activar el colchón mientras los rodillos están en movimiento o el usuario se encuentra efectuando una prueba a un vehículo. Este candado se ha desarrollado vía software y por lo tanto se comentará en detalle en su momento.

Finalmente en la figura 3.16 se muestra un diagrama de conexiones de la tarjeta de acondicionamiento

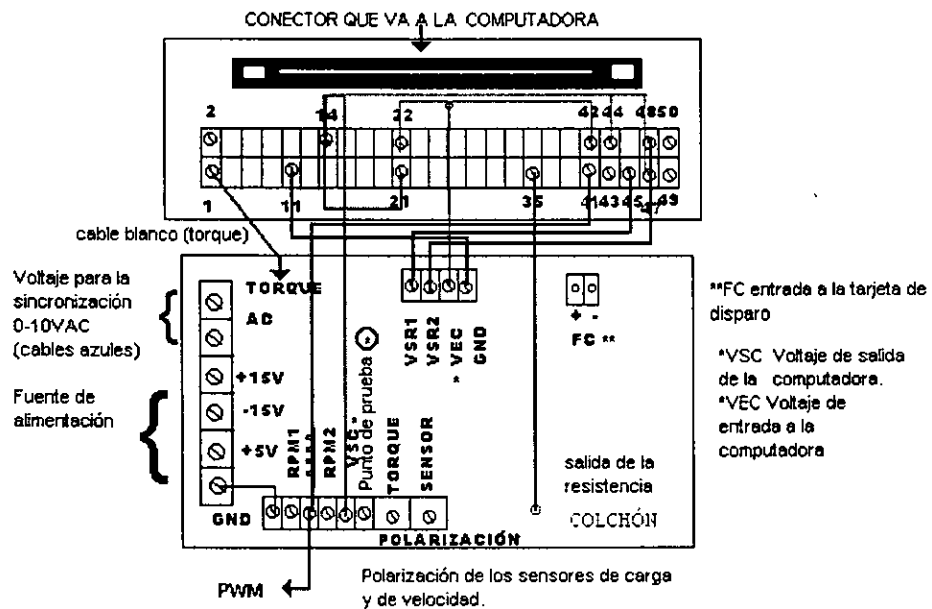


Figura 3.16 Tarjeta de acondicionamiento de señales.

3.2 Tarjeta de adquisición de datos.

Para la adquisición, procesamiento y control de datos se hizo uso de la tarjeta de adquisición de datos Lab PC+ de la compañía National Instruments, a continuación se describen sus características generales:

La tarjeta Lab PC+ es de bajo costo, multifuncional, con convertidor analógico/digital (ADC) y con contadores de entrada/salida (I/O); su convertidor analógico/digital es de 12 bits de aproximación sucesiva con 8 entradas analógicas, las cuales pueden ser configuradas como 8 entradas simples o por cuatro canales diferenciales. La tarjeta también contiene dos convertidores digitales/analógicos (DAC) de 12 bits y con voltaje de salida, 24 líneas de I/O digitales compatibles con tecnología TTL, y seis contadores de 16-bits con canales para estos de I/O. Esta se muestra en la figura 3.17

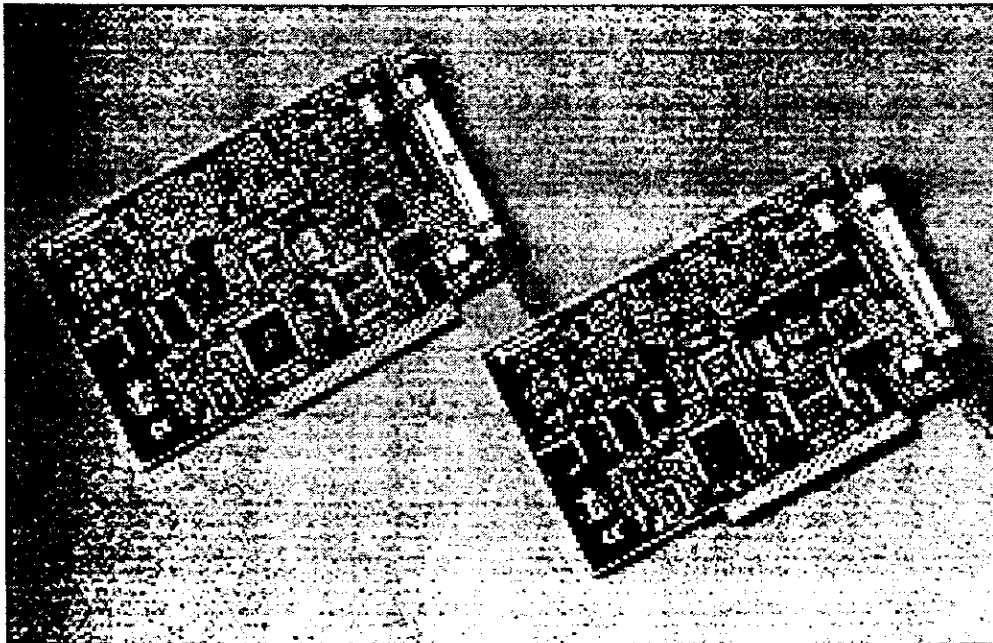


Figura 3.17 Tarjeta de adquisición de datos Lab. PC+

El bajo costo de un sistema basado en la Lab-PC+ la hace ideal para trabajo en el laboratorio y dentro de un ambiente tanto empresarial como académico. La entrada analógica es muy usada en análisis de señales y depurado de datos. El ADC de 12-bit es muy usado en resoluciones altas, en aplicaciones tales como cromatografía, medición de temperatura, y voltaje de DC. Los canales analógicos de salida pueden ser muy empleados en experimentos de estimulación, por máquinas, procesos de control y en la generación de señales. Las 24 líneas digitales I/O compatibles con TTL pueden ser empleadas para controlar la conmutación de dispositivos extremos dado por los transistores y relevadores; para leer el estado lógico digital externo, y para la generación de interrupciones. Los contadores pueden ser empleados a sincronizar eventos, generación de pulsos, y medición de frecuencia y tiempo. La Lab-PC+, usada en conjunto con una PC, es versátil, de bajo costo para una plataforma para pruebas en laboratorio, medición y control.

Para el empleo de esta se necesita de:

- Manual de usuario de la Lab PC+.
- Uno de los siguientes paquetes de Software y documentación:
 - Ni-DAQ para PC compatibles
 - LabVIEW
 - Lab WINDOWS/CUI
- Como mínimo una computadora 486, con características de: 30MB libres en disco duro, 2.4 MB de memoria RAM, adicionales a la memoria requerida para la operación del sistema. Es recomendable tener por lo menos 8MB de RAM para Windows.

3.3 Software para diagnóstico de vehículos.

Para el desarrollo del sistema de control y procesamiento de datos se empleó el software para desarrollo de aplicaciones denominado Lab VIEW, un software basado en un lenguaje gráfico para la realización de instrumentación virtual; si se tratara de definir este concepto, se puede decir que se caracteriza porque el usuario puede definir libremente el procesamiento más adecuado a sus necesidades de las señales que entran a la tarjeta de adquisición de datos, utilizando iconos que conectados entre sí forman un programa.

La utilización del software Lab VIEW en conjunto con las herramientas necesarias para construir instrumentos virtuales es poderosa, ya que expande su funcionalidad cuando es conectada a las enormes capacidades de las PC, estaciones de trabajo, y sus variadas aplicaciones. No solamente son bajos los costos de los sistemas de instrumentación virtual, debido a las escalas económicas de la industria en computación, además, el desarrollo y costo de mantenimiento son demasiado reducidos en comparación con la instrumentación tradicional, debido al uso de arquitectura denominada de “plataforma abierta” y un código de módulos reusable. El software con librerías designado para la instrumentación, así como el uso de instrumentos que manejan librerías, minimiza el tiempo de desarrollo, con utilerías de una amplia disponibilidad para solucionar problemas, garantizando con ello bajo costo en el mantenimiento, en la figura 3.18 se observa de manera gráfica las ventajas del uso de este tipo de instrumentación.

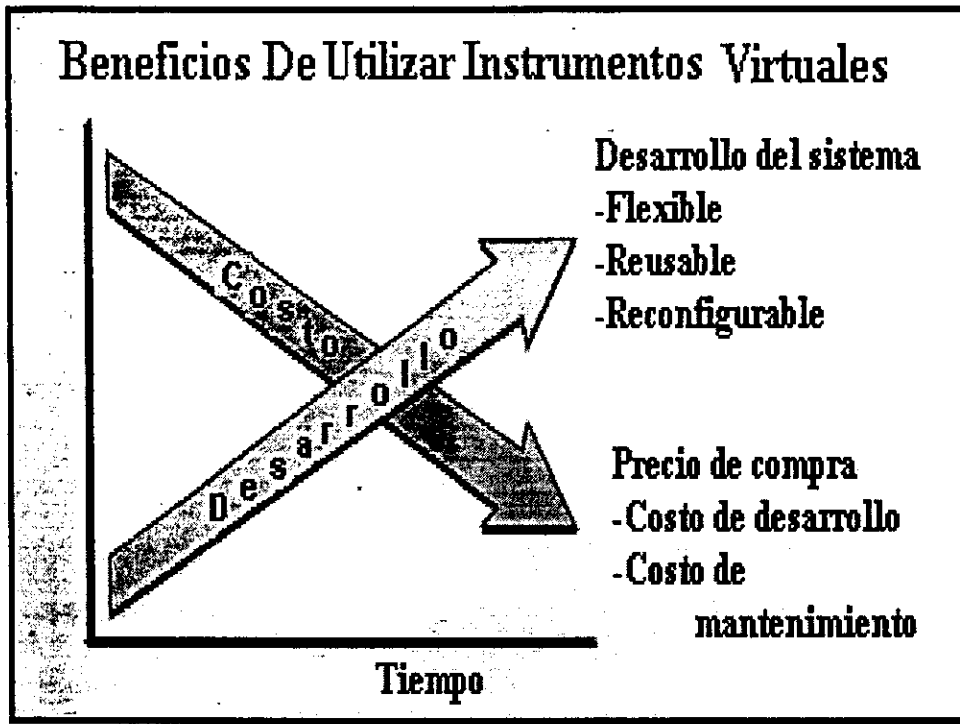


Figura 3.18 Gráfica de los beneficios de utilizar instrumentación virtual.

3.3.1 Lab VIEW

Lab VIEW es un lenguaje de programación gráfica; con el cual se pueden desarrollar instrumentos virtuales con aplicaciones específicas mediante una serie de programas. Existe una gran variedad de lenguajes orientados a objetos, con ciertas aplicaciones específicas, sin embargo LabVIEW difiere a los demás en cuanto a las aplicaciones, es decir, otros lenguajes de programación utilizan una estructura basada en textos para crear líneas de código, mientras que LabVIEW utiliza un lenguaje gráfico denominado "G" para crear diagramas en forma de bloques los cuales resultan ser el programa.

Para utilizar Lab VIEW no se necesita ser experto en programación, ya que este utiliza iconos, terminología e ideas familiares para los científicos e ingenieros; LabVIEW tiene extensas librerías de funciones y subrutinas para la mejor realización de tareas. LabVIEW también contiene aplicaciones específicas, librerías para adquisición de datos, e instrumentos de control en serie, análisis y presentación de datos, y almacenamiento de este. Como complemento, LabVIEW cuenta con un depurador, que utiliza puntos de ruptura y animación de la ejecución del programa donde se puede visualizar el paso de los datos a través del programa.

El funcionamiento de Lab VIEW incluye librerías de funciones y herramientas de desarrollo designada a una adquisición específica de datos e instrumentos de control.

Los programas de LabVIEW son llamados Instrumentos Virtuales (VI en inglés), porque su apariencia y operación imita o simula a los instrumentos reales.

3.3.2 Módulos de programación VI's.

La interface interactiva con el usuario de los VI's es llamada panel frontal, porque éste simula el panel de un instrumento físico; este puede contener botones, switches, gráficas y otros controles e indicadores. Los datos son introducidos mediante iconos, los cuales, al igual que los resultados se pueden ver en la pantalla de la computadora.

El VI recibe instrucciones desde el programa desarrollado, el cual es construido en lenguaje G, la forma en que Lab VIEW visualiza la información se muestra en las figuras 3.19 y 3.20.

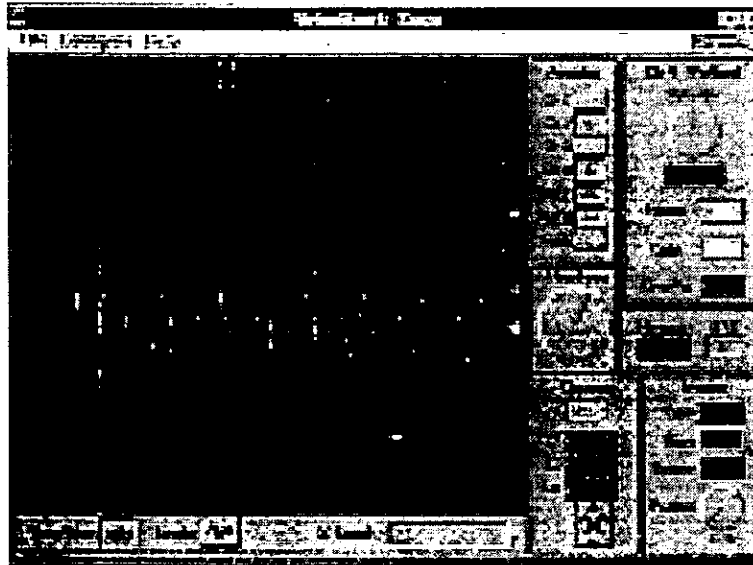


Figura 3.19 Panel frontal de control desplegado por Lab VIEW.

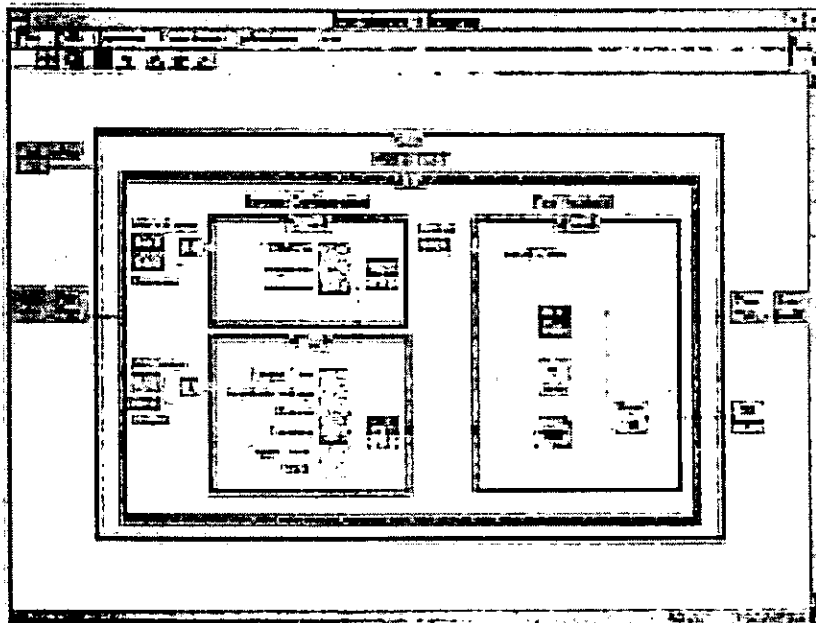


Figura 3.20 Panel de diagramas de programación.

Los VI's tienen son modulares, se pueden emplear como programas de alto nivel, o como subprogramas. Un VI que se encuentra dentro de otro VI es llamado subVI.

Con estas características, LabVIEW se adhiere al concepto de programación modular. Se puede dividir una aplicación dentro de una serie de tareas, por lo que una aplicación complicada llega a ser una serie de simples subrutinas. Se puede construir un VI para realizar una y después combinar con otros para completar una tarea compleja, así un VI de alto nivel contiene varios subVI's que representan específicas funciones.

Para depurar un programa suele ser fácil, porque la ejecución de cada subVI se hace de manera independiente al resto de las aplicaciones.

3.6 Programa para el funcionamiento del dinamómetro.

En la figura 3.21 se muestra el diagrama a bloques de los módulos que integrarán el programa realizado en el Lab VIEW para el control y adquisición de datos. Cumpliendo con las siguientes etapas:

- 1.- Menú principal, En el panel frontal se visualiza mediante botones las opciones que se pueden realizar.
- 2.- La rutina SubVI "Prueba", realiza las siguientes funciones:
 - Activa el colchón, en función del inicio y fin de cada prueba con algún vehículo, como medida de seguridad mantiene desactivado el colchón mientras los rodillos están en movimiento.

- Se tiene un subprograma SubVI “lectura”, encargado de medir de manera instantánea la frecuencia de ambos rodillos, para procesarla y obtener la velocidad y desplazamiento del vehículo, además presenta en forma gráfica la velocidad vs tiempo del rodillo delantero, por otro lado con el voltaje leído en la celda de carga se calcula el par y mediante una operación efectuada por la computadora entre el voltaje de la celda de carga y la frecuencia leída en el rodillo delantero se calcula la potencia del vehículo en HP. Los valores instantáneos de par y potencia también se despliegan en el la pantalla.
- Selección de carga, este control se encuentra localizado en el panel frontal, cuya función es enviar un pulso a la tarjeta acondicionadora de señales para entrar a la etapa de electrónica de potencia; dicha señal se consigue mediante la rutina 2 (SubVI “modulador por ancho de pulso”).
- Subrutina para selección de carga (SubVI “modulador por ancho de pulso”). La función principal es de por medio de la modulación por ancho de pulso obtener a la salida una señal (tren de pulsos) y por ende poder modular la intensidad de la corriente eléctrica en las bobinas que conforman el estator del dinamómetro. Por lo que la Subrutina es controlada en el panel frontal por medio de controles que tienen la opción de dar un valor de carga que se requiere aplicar ya sea en grados o en porcentajes, al igual que contiene un control “on/off” para que el usuario active o inhiba la señal (tren de pulsos) durante la ejecución de este SubVI.
- Almacenar la información en un archivo al finalizar cada prueba, con un nombre que esta en función de la fecha y cuya extensión tiene el número de prueba realizada en ese día

Además se encarga de almacenar la información en un archivo al termino de cada prueba, con un nombre que esta en función de la fecha en que es realizada y cuya extensión tiene el número de prueba realizada ese día.

Descripción del menú principal, este programa tendrá como objetivo principal administrar, organizar la ejecución del sistema y presentar una simulación del dinamómetro con los rodillos.

En esta fase del programa el usuario podrá acceder a el VI de prueba, calibración o cerrar el programa.

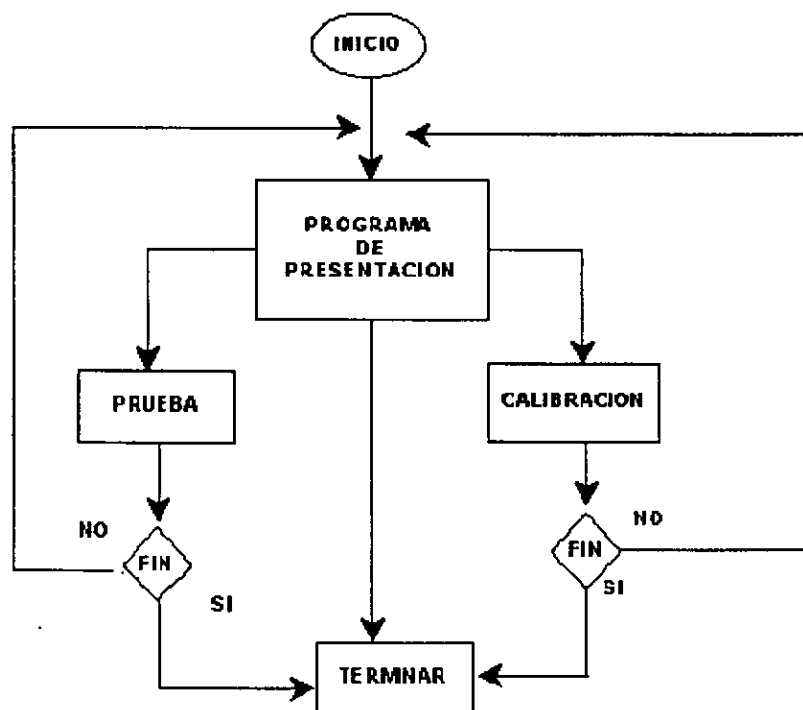


Figura 3.21 Diagrama de flujo del menú principal.

3.6.1 Descripción del SubVI “prueba”.

El objetivo principal de los programas, en conjunto con el hardware es evaluar el comportamiento de vehículos ligeros con una carga aplicada por la PAU, monitoreando las velocidades de ambos rodillos y utilizando los datos de velocidad del rodillo frontal (que suministra la carga), junto con el valor de par leído en la celda de carga para calcular la potencia demandada al vehículo; posteriormente con los datos almacenados, el programa realiza las operaciones que más adelante se mencionan, para así obtener los parámetros de velocidad distancia, par y potencia.

Como se muestra en el diagrama de flujo de las figuras 3.23 (a) y 3.23 (b), el programa realiza las siguientes funciones : controlar la posición de el colchón, la duración de la prueba, cantidad de carga aplicada al igual que la obtención de ciertos parámetros como lo son el tiempo, velocidad, distancia, par, potencia. En el panel frontal se encuentran tanto indicadores como controladores, entre los cuales se encuentra la gráfica de velocidad vs tiempo correspondiente a los datos del rodillo trasero, así como un indicador de potencia dada por el rodillo frontal; también se localizan controles: para la posición del colchón, de tiempo de duración de la prueba, cantidad de carga aplicada (en porcentaje o en grados), paro de la prueba, y salida de programa, además, de tener letreros de precaución como de confirmación, y una opción para almacenar los valores al concluir cada una de las pruebas.

3.6.2 Descripción del SubVI “Lectura”

En este subVI se realiza la lectura del número de pulsos dados por los sensores de los rodillos del dinamómetro, para así obtener como salida las frecuencias FREC1 y FREC2 correspondientes al rodillo delantero y trasero

respectivamente. Para dicho efecto se emplean los contadores 1, 2 terminales 45 y 48 respectivamente y el puerto A de la tarjeta Lab PC+. Ambos contadores se programan en “modo cero”, dado que, de esta forma se puede realizar el conteo de los ciclos realizados “m” cada cierto tiempo dado por la cuenta máxima posible que puede contener el contador, variable de entrada del SubVI “Lectura” y que es denominado como “MAXIMO”. Considerando que el reloj de los contadores está dado por la señal que proviene de los sensores de velocidad y que la compuerta (*gate*) de estos es controlado por el puerto A, la salida se encuentra en estado alto, como se puede ver en la figura 3.22, y cambia a estado cero cuando la compuerta del contador es disparado, efectuandose el disparo cada 2400 μ seg tiempo requerido para que se puedan hacer mediciones de señales con frecuencias que van desde los 3 Hz hasta los 26KHz.

Los contadores cuentan de forma decreciente, por lo que el número efectivo de pulsos contados está dado por la diferencia del valor máximo de conteo (Máximo) y el valor que el contador posee después del contéo. En lo referente al tiempo, el programa toma como referencia la lectura dada por el reloj de la computadora personal al finalizar cada contéo y obtiene un período efectivo; dado que el dato leído por la computadora está en μ segundos éste es dividido entre 1000 para obtenerlo en segundos; al considerar que la frecuencia está en función de los número de vueltas dadas (ciclos) por el rodillo por período, tenemos que :

$$F = \frac{1}{T} \times m$$

Donde:

- F.- Frecuencia leída.
- T.- Período, en segundos..
- m.-Numero de ciclos contados.

Cada vez que termine el programa automaticamente se pone en cero la salida del puerto A para dejar de exitar las compuertas de ambos contadores y por ende detener el contéo de pulsos.

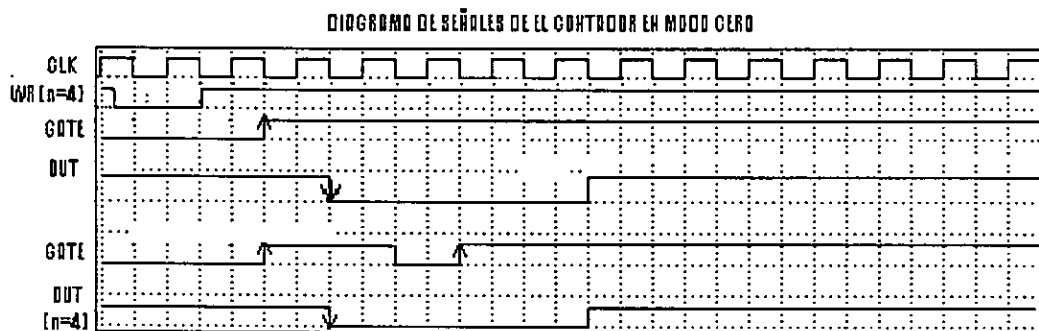


Figura 3.22 Diagrama de señales del contador en “modo cero”

3.6.3 Descripción del SubVI “Modulación por ancho de pulso”

(PWM)

Para el control de Carga se realizó una rutina cuya construcción general se muestra en la figura 3.24, mostrándose en el panel frontal en forma de un controlador, el cual tiene la opción de aplicar la carga en porcentaje de modulación del pulso o en grados de ángulo de disparo.

El objetivo de esta rutina es el de generar una señal tipo TTL, con una $F=120$ Hz constante y un ancho de pulso variable, el cual va a ser controlado según los requerimientos del usuario. Esta señal nos va a ser útil para el control del disparo de los tiristores, variando por ende la cantidad de carga aplicada a la PAU. Dado que la frecuencia variaba dependiendo de las tareas que estuviera

efectuando la PC, para garantizar una $F=120\text{Hz}$ se vio la necesidad de sincronizar a la computadora con una señal externa con el circuito mostrado en la figura 3.2.

El contador cero se utilizó en “modo 1” para que empiece a contar en el momento en que la compuerta (*gate 0*), se encuentre en alto, siendo la entrada a esta compuerta (terminal 22, PB0) la señal dada en el emisor del transistor T1, y cuyo cambio de estado esta en función del diagrama de señales, mos ejemplificado para una cuenta de 4. En este caso la cuenta máxima del contador es variable y es dada en forma indirecta por el usuario, pero con la restricción de ser menor a 65,536 en binario (cuenta máxima del contador). La señal generada por el contador 0, tiene como salida la terminal 41 de la tarjeta de adquisición de datos y es denominada “OUTB0”. El contador posee una señal de reloj interna de 2 MHz que utiliza como base de tiempo, por lo que para cubrir un periodo completo de 180° con duración $T = (1/120 \text{ Hz}) = 8.33 \text{ mseg.}$, el contador tiene que contar 16,660 pulsos del reloj interno de 2 MHz, teniendo así, cada pulso un período base de $T_b = (1/2\text{MHz}) = 0.5\mu\text{seg.}$

El usuario especifica ya sea en porcentaje o en grados la carga que va a ser aplicada (nivel de intensidad del frenado) y en función de este valor “lec2” será el valor de la cuenta máxima del contador, este valor es leído por la computadora vía el puerto B, y por tanto nos va a dar el cambio de estado siendo dado en una frecuencia no mayor a 120Hz, como se muestra en las siguientes ecuaciones:

Para la conversión en grados de ángulo de disparo:

$$X1 = lec2 - 180; Y1 = \left[\left(1 - \frac{X1}{180} \right) * 16600 \right] + 100$$

Para la conversión en porcentaje de modulación:

$$X1 = lec2 - 100; Y1 = \left[\left(\frac{X1}{100} \right) * 16600 \right] + 100$$

Donde:

lec2= Valor leído en el display.

Y1= Valor máximo de cuenta.

A la salida del puerto B, terminal 41 de la tarjeta Lab PC+, tenemos el tren de pulsos con una frecuencia cte. de 120Hz y un ancho de pulso determinado por el usuario, para de este modo entrar al circuito que se muestra en la figura 3.6 , para despues aplicar el frenado requerido.

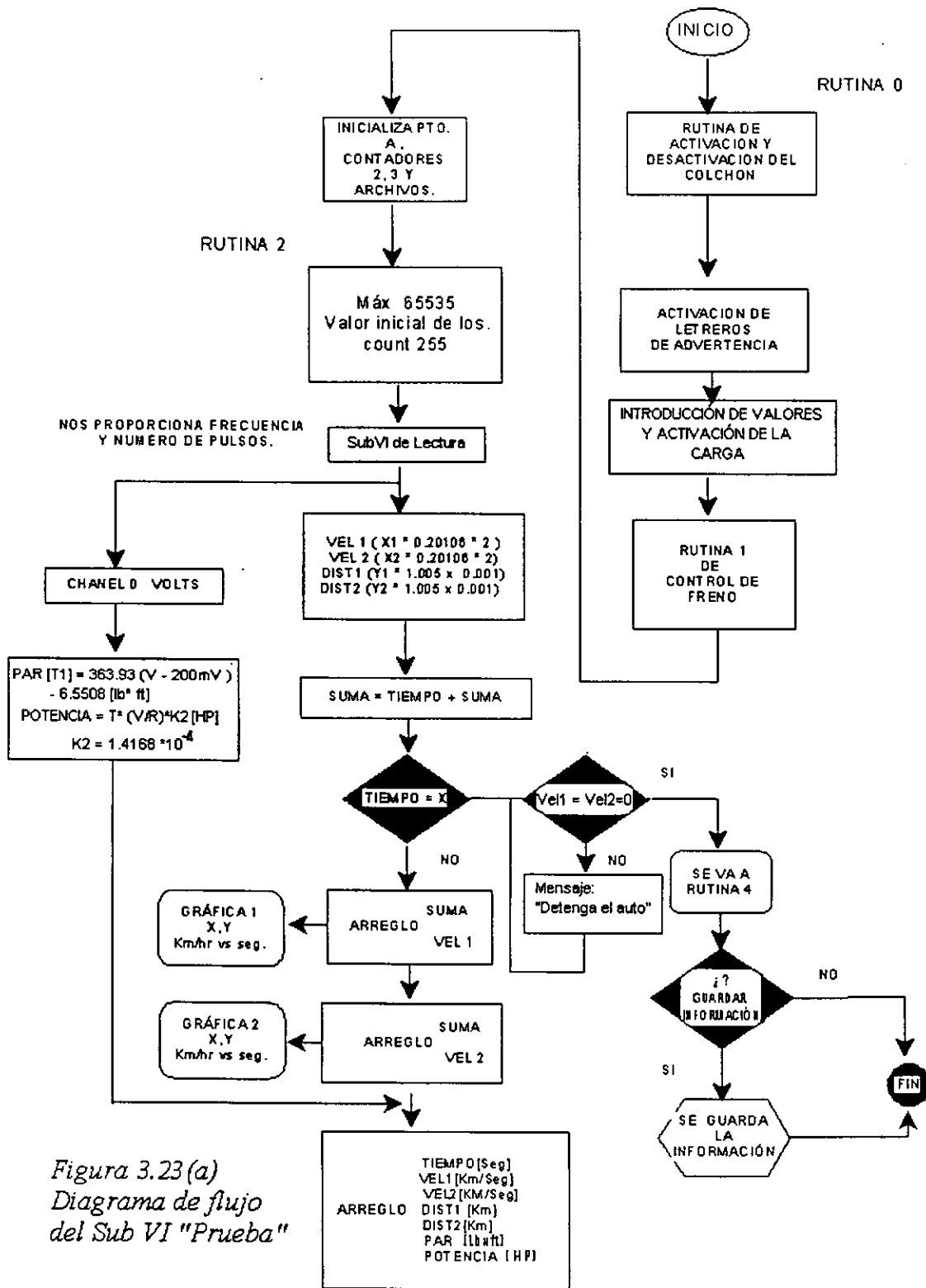


Figura 3.23 (a)
Diagrama de flujo del Sub VI "Prueba"

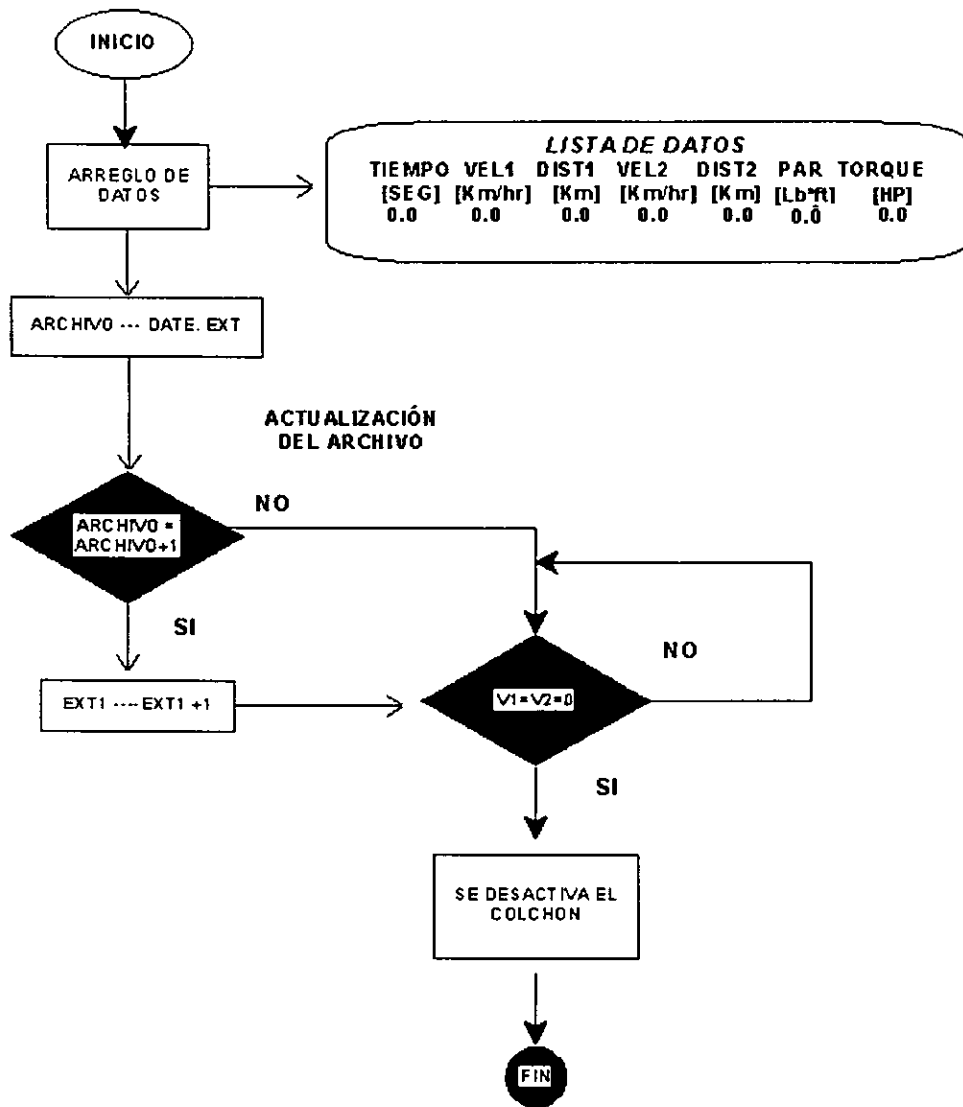


Figura 3.23(b) Diagrama de flujo de la Rutina 4

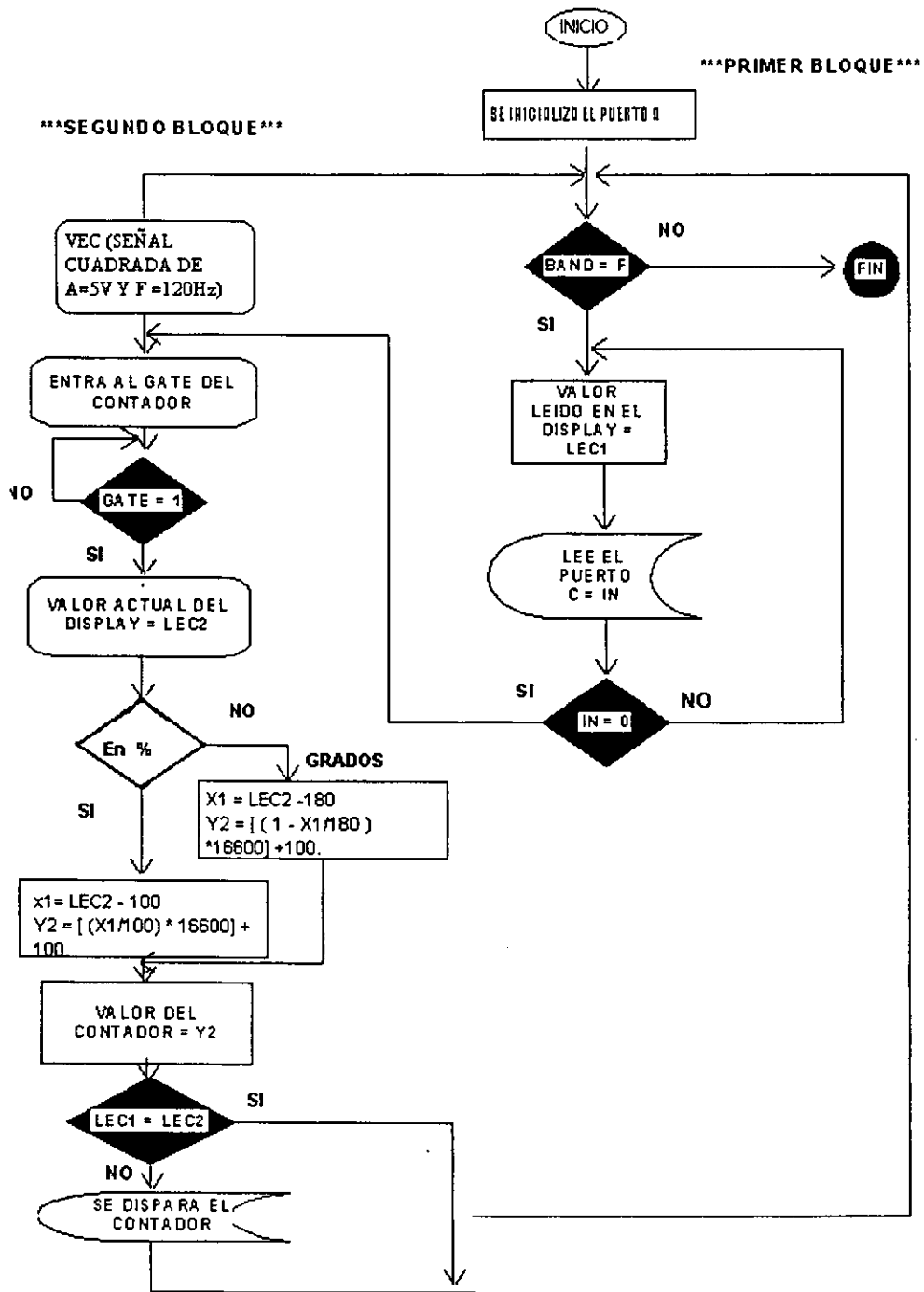


Figura 3.24 Diagrama de flujo del modulador por ancho de pulso

3.7 Cálculos efectuados por el programa.

Para el cálculo de velocidad, distancia, potencia y torque se efectúan las siguientes consideraciones y ecuaciones, tomando en cuenta los circuitos que se emplearon para el acoplamiento de las señales obtenidas de los sensores.

Considerando que se tienen 18 orificios en el disco que forma parte del sensor de velocidad, y que el circuito para el acoplamiento de la señal dada por los sensores esta formado por flip-flops que son divisores de frecuencia, se obtiene una frecuencia f_f a la salida de estos, y por consiguiente para obtener la frecuencia real de velocidad f_r , f_f es multiplicada por 2, por otro lado considerando que la frecuencia leída por los sensores f_s esta dada en radianes/ segundo, es obtenida en función del numero de pulso leídos entre el número de orificios del disco y a su vez dividida entre el tiempo transcurrido para obtener así el número de vueltas dadas por segundo, que sería la equivalencia a radianes/segundo, a continuación se deduce paso a paso la ecuación para el cálculo de la velocidad.

Considerando que la velocidad del vehículo es la misma que la del rodillo, tenemos que:

$$V_r = \omega_r R$$

Si V_r es la velocidad del rodillo (m/s).

ω_r la velocidad angular del rodillo (rad/s).

R el radio del rodillo (0.16 m).

Por otra parte, $\omega_r = 2\pi f_r$, donde f_r es la frecuencia a la cual gira el rodillo.

Como el sensor de velocidad tiene 18 orificios, entonces se considera que $f_r = f_s/18$, al poner la ecuación para el cálculo de velocidad en función de f_s se tiene:

$$V_r = 2\pi(0.16) (f_s/18)$$

Si la frecuencia obtenida del Flip-Flop es la que realmente entra a la computadora, entonces se deberá poner la función de velocidad en términos de esta frecuencia.

$$\text{Como } f_s = 2 f_f$$

$$V_r = 2\pi(0.16) (f_f/9)(\text{m/s})$$

Para obtener V_r en kph se multiplica la ecuación por 3.6

$$V_r = 2\pi(0.16) (f_f/9)(3.6)(\text{kph})$$

Para calcular la distancia que recorre el vehículo, consideramos el perímetro del rodillo definido por

$$P_r = 2 \pi (0.16) = 1.005312 \text{ (m)}.$$

La distancia recorrida está dada por:

$$D_r = 1.005312(f_r)$$

La distancia en función de la frecuencia del sensor es

$$D_r = 1.005312(f_s/18)$$

Y en función de la frecuencia de la salida de los Flip-flops es:

$$D_r = 1.005312(f_f/9) \text{ (m)}$$

Para obtenerla en km se multiplica por un factor de 0.001

$$D_r = 1.005312(f_r/9)(0.001) \text{ (km)}$$

En lo concerniente al calculo del par, partimos de la función lineal que arroja la calibración de la celda de carga y que se deduce en la sección 4.1, esta ecuación relaciona el par leído en lb*ft con el voltaje entregado por la celda de carga.

$$\text{Par} = 363.93(V_{\text{tot}}) - 6.5508 \text{ (lb*ft)}$$

V_{tot} = Voltaje leído en la celda de carga menos un voltaje que entrega la celda correspondiente a una carga aplicada.

Este valor de voltaje entra al convertidor ADC de la tarjeta Lab PC+.

Para el cálculo de la potencia, partimos de que:

$$\text{Potencia} = \text{Par} * \omega_r$$

En función de la frecuencia del rodillo tenemos:

$$\text{Potencia} = \text{Par} (2\pi f_r)$$

En función del sensor de velocidad,

$$\text{Potencia} = \text{Par} (2\pi f_s/18)$$

En función de la frecuencia del flip-flop

$$\text{Potencia} = \text{Par} (2\pi f_s/9)$$

Sustituyendo la ecuación del cálculo del par en función del voltaje de la celda de carga se tiene:

$$\text{Potencia} = (363.93(V_{\text{tot}}) - 6.5508) (2\pi f_s/9) \text{ (lb*ft/s)}$$

Utilizando el siguiente factor de conversión

$$1\text{HP} = 550 \text{ (lb*ft/s)}$$

$$\text{Potencia} = (363.93(V_{\text{tot}}) - 6.5508) (2\pi f_s/9)(1/550) \text{ (HP)}$$

3.8 Modo de operación del sistema.

En las figuras 3.25 y 3.26 se muestra el sistema final, el cual funciona como se menciona a continuación.

Una vez que el usuario entra al programa deberá:

1. *Activar el colchón para que pueda ser introducido el vehículo a los rodillos.*
2. *Proporcionar el tiempo de duración de la prueba, el valor de la carga aplicada en ángulo de disparo o en porcentaje de modulación del ancho del pulso.*
3. *Presionar los botones "desactivar el colchón" y posteriormente el de "aplicar carga".*
4. *Presionar el botón "empezar" para iniciar la prueba.*
5. *Deberá regresar al punto 3, si por alguna razón se olvido desactivar el colchón, ya que aparece un letrero de precaución, y no empieza la prueba hasta ser desactivado este*
6. *Confirmar que los datos proporcionados de tiempo y carga son los correctos, de no ser así regresen al punto 2.*

7. Una vez echo lo anterior se inicia la prueba

Nota. Si por cualquier motivo desea terminar la prueba antes de tiempo, presionar el botón "paro".

8. Al terminar la prueba se puede guardar la información o no, según se requiera.

9. Si se requiere realizar otra prueba, regresar al primer punto, de lo contrario si desea volver al menú principal presione el botón de salir.

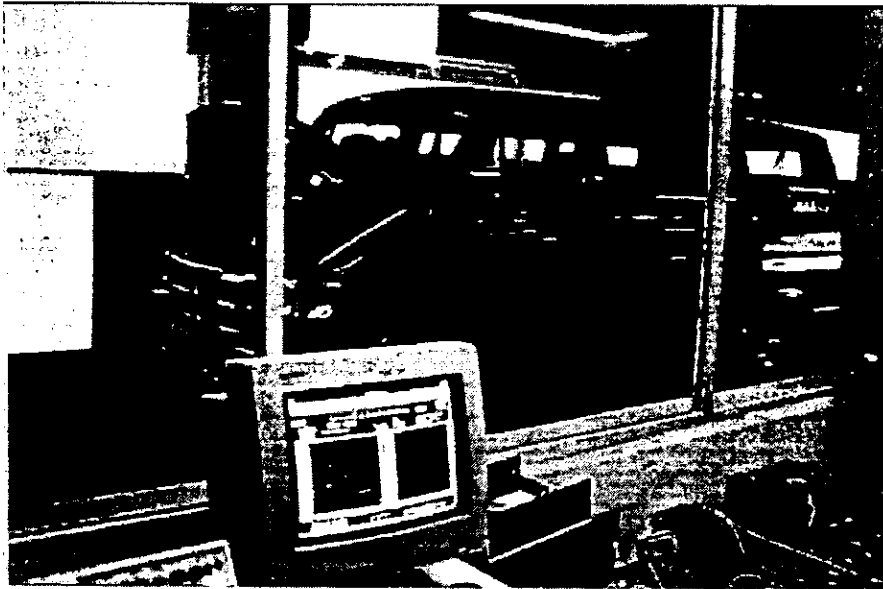


Figura 3.25 Sistema actual para el dinamómetro de chasis

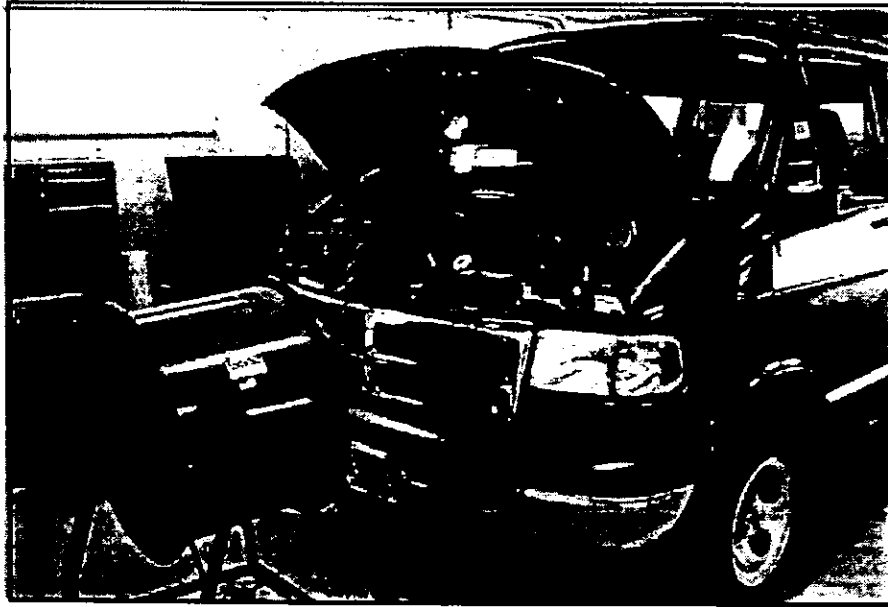


Figura 3.26 Colocación del vehículo sobre los rodillos.

CAPÍTULO 4

Calibración

4.1 Calibración del dinamómetro

El dinamómetro debe ser calibrado por lo menos cada mes, además se deben verificar sus parámetros de funcionamiento para que estén dentro del rango de exactitud aceptado, por lo menos una vez a la semana. La calibración consiste en dos procedimientos, elaborados acorde a normas internacionales que regulan los procedimientos de calibración de los dinamómetros. Estos dos procedimientos los hemos denominado “Calibración Estática y Dinámica”, el primero consiste en determinar la linealidad de la celda de carga, el segundo procedimiento consiste en determinar las pérdidas por fricción que se generan en los rodamientos de los rodillos.

4.1.1 Calibración estática

Esta calibración se realiza sin provocar movimiento en los rodillos del dinamómetro y, sin energizar la PAU. Para la calibración del dinamómetro se necesita un árbol que se coloca sobre la celda de carga, al cual se le incorporan masas de valor conocido que simulan la fuerza que ha de actuar sobre la celda de carga, obteniendo de ella valores de voltaje correspondientes a diversos valores de par leído.

Secuencia para la calibración:

- Se energiza la celda de carga.

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

- Se registra la lectura de voltaje en la celda de carga previo a la colocación del árbol de calibración. A este valor se le conoce como voltaje de offset, el cual debe estar alrededor de 200 mV.
- Se coloca el árbol de calibración sobre la celda de carga, cuidando que esté perfectamente nivelado.
- Se verifica que el voltaje de offset no varíe al colocar el árbol de calibración.
- Si varía éste valor debe considerarse como un nuevo valor de offset al inicio de la calibración.
- Se coloca una masa con un valor de 35 lb. sobre el árbol y se realiza la lectura de voltaje en la celda de carga.
- Agregando una segunda masa de calibración, con lo cual se tienen 70 lb. se repite el procedimiento anterior, para lo cual se obtiene una lectura de voltaje correspondiente a este valor de carga.
- Al agregar la tercera masa con lo cual se tienen 105 lb, se vuelve a registrar el valor de voltaje leído en la celda de carga.
- Este procedimiento se repite tres o cinco ocasiones, dependiendo de la repetibilidad de los eventos.
- Los valores obtenidos son promediados y con ellos se genera una tabla de voltaje vs. Par; los valores de par se obtienen multiplicando el brazo de palanca, que es la distancia que hay del eje de la PAU a la celda de carga 14.1 in ó 1.175 ft, por la fuerza generada por las masas de calibración.
- Posteriormente con los datos de par y voltaje se obtiene la curva de calibración de la celda de carga, la cual es muy semejante a una línea recta, como se ejemplifica en la figura 4.1. En esta figura también se

presenta una tabla en la que se observan los valores de par contra el voltaje en la celda de carga.

Par (lb·ft)	V - V offset	V tot.
41.125	0.13	
82.25	0.244	
123.375	0.356	

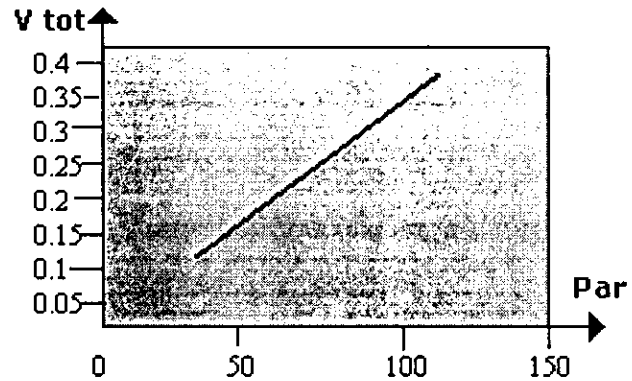


Figura 4.1 Curva de respuesta de la celda de carga

$$m = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}; y = mx + b$$

$$\therefore PAR = 363.93 \times V_{tot} - 6.5508$$

Ecuación que relaciona el voltaje de la celda de carga con el par en lbf-ft.

Esta ecuación se obtiene de hacer una regresión lineal con los valores tabulados en la figura 4.1

4.1.2 Calibración dinámica:

Esta se caracteriza por realizarse con los rodillos en movimiento y sin aplicación de carga a la PAU; también se denomina “Calibración en Coastdown”.

La determinación de la calibración en coastdown es sumamente importante, debido a que la energía absorbida por la PAU es tan sólo una

parte de la potencia total absorbida por el dinamómetro; la fricción que se genera en los rodamientos de los rodillos provoca una cantidad adicional de potencia absorbida durante el uso del dinamómetro.

4.1.3 Calibración en coastdown

A continuación se numera el procedimiento específico utilizado para la calibración en coastdown.

1. Antes de realizar el coastdown, y si el dinamómetro no ha operado durante dos horas, se deben calentar los rodamientos del dinamómetro, subiendo un vehículo y manteniéndolo rodando por un tiempo mínimo de 15 minutos, a una velocidad de 48 kph (CFR 86.135-82).
2. Al inicio de la calibración se debe elegir a que velocidad se desea hacer ésta, puesto que la potencia absorbida por los rodillos está en función de su velocidad angular, por ejemplo según el CFR esta debe ser a 50 mph.
3. Una vez seleccionada la velocidad a la que se desea hacer la calibración, se marca un intervalo de velocidades en las cuales iniciará y terminará la calibración. Por ejemplo, si se desea hacer la calibración a 55 kph, el intervalo de velocidades será de 50 a 60 kph.
4. Al comenzar la calibración, los rodillos deben ser llevados por algún medio a la velocidad de 5 kph arriba del límite superior del intervalo, e inmediatamente después se debe desacoplar el dispositivo (vehículo o motor) utilizado para llevar el dinamómetro a esta velocidad, dejando que los rodillos desaceleren libremente hasta la velocidad límite inferior del intervalo de calibración.
5. Mediante el procedimiento descrito anteriormente y con ayuda del sistema de adquisición de datos de la computadora que controla al dinamómetro, se

genera una curva de velocidad vs. tiempo, en la cual es posible observar la curva de desaceleración libre de los rodillos.

6. Todo este procedimiento debe repetirse por lo menos en tres ocasiones, y debe hacerse de manera independiente para cada rodillo.
7. Con los valores de velocidad inicial, velocidad final y tiempo en que el rodillo tarda en pasar del límite superior al inferior (tiempo de coastdown), es posible conocer la potencia absorbida por el rodillo mediante las siguientes ecuaciones, las cuales fueron obtenidas de ecuaciones similares que se mencionan en el CFR y manual del dinamómetro Clayton.

$$FRPA = \frac{745.7 * FRI}{2} \cdot \frac{(V_1^2 - V_2^2) \cdot (0.2777)^2}{T_{FR}}$$

Esta ecuación representa el cálculo de pérdidas de potencia del rodillo delantero.

$$RRPA = \frac{745.7 * RRI}{2} \cdot \frac{(V_1^2 - V_2^2) \cdot (0.2777)^2}{T_{RR}}$$

Esta ecuación representa el cálculo de pérdidas de potencia del rodillo trasero.

siendo:

V_1 = Máxima velocidad del intervalo (kph).

V_2 = Mínima velocidad del intervalo (kph).

FRI = Peso del rodillo frontal (kg).

RRI = Peso del rodillo trasero (kg).

T_{FR} = Tiempo de coastdown del rodillo frontal (segundos).

TRR = Tiempo de coastdown del rodillo trasero (segundos).

FRPA = Absorción de potencia del rodillo frontal.

RRPA = Absorción de potencia del rodillo trasero.

La potencia real absorbida por cada rodillo es sumada a la potencia absorbida por la PAU para obtener la potencia total absorbida por el dinamómetro, como se muestra en la siguiente ecuación

$$PTA = PI + FRPA + RRPA$$

Esta ecuación permite calcular la potencia total absorbida por el dinamómetro.

donde:

PTA = Potencia total absorbida.

PI = potencia absorbida por la PAU

FRPA = Absorción de potencia del rodillo frontal.

RRPA = Absorción de potencia del rodillo trasero.

Al realizar la calibración dinámica, se obtendrá un valor diferente de potencia absorbida para cada velocidad; sin embargo, acorde al procedimiento indicado por el CFR (86.118-78), en el que se indica que la potencia absorbida por los rodillos, y para fines de cálculo, será la obtenida a una velocidad de 50 mph (80.5 kph), con un intervalo de 10 mph (16.09 kph); es decir se deben llevar los rodillos a una velocidad 60 mph (96.54 kph), que representa 5 mph (8.05 kph) arriba del límite del intervalo de coastdown, de

tal forma que el intervalo de coastdown queda definido entre un rango de velocidades entre 55 y 45 mph o (88.495 kph y 72.405 kph).

Se sabe que la potencia absorbida por los rodillos no es constante, depende de la velocidad a la cual estén girando los rodillos y su inercia. Para el caso de un dinamómetro con una UMI, el coastdown se debe realizar para cada combinación de discos acoplados al dinamómetro. Sin embargo el dinamómetro de chasis del Laboratorio de Control de Emisiones, al no tener UMI se considera que tiene una carga inercial fija, quedando únicamente como variable la velocidad a la cual ha de determinarse la calibración dinámica, como se menciona en el párrafo anterior.

4.2 Determinación del mapa de curvas características

Como se menciona en el capítulo 1, todo dinamómetro debe tener un mapa de curvas características, el cual muestra bajo que condiciones de carga aplicada y régimen de giro es confiable realizar los ensayos.

En nuestro caso hemos intentado obtener este mapa con base al manual de operación original del equipo, información solicitada a los fabricantes, también a las limitaciones del nuevo diseño y a los ensayos realizados en el dinamómetro, obteniendo los siguientes resultados.

En cuanto a los parámetros de velocidad, sabemos que el dinamómetro puede operar desde 0 hasta 200 kph, aunque se recomienda que no opere abajo de 20 kph con carga en la PAU más de 15 minutos, debido a que se pueden tener problemas de refrigeración en el freno.

Para obtener la línea de mínima potencia, se realizaron algunos ensayos con un vehículo, a fin de determinar la sensibilidad de la celda da carga a diferentes velocidades, sin exceder los 80 kph por cuestiones de seguridad, de lo cual se dedujo la siguiente tabla:

velocidad (kph)	potencia (HP)
20	4.76
40	5.4
60	8.48
80	9.1

Tabla 4.1 Potencia mínima leída en el dinamómetro hasta 80 kph.

De acuerdo con la figura 2.12 y con los resultados experimentales de la tabla 4.1 se puede inferir, que la potencia mínima que se puede leer en la celda de carga a 200 kph tendrá que ser mayor a 9.1 HP.

En cuanto al máximo par y potencia, sabemos que la celda puede leer valores de hasta 1812 lbf-ft y que la PAU tiene una potencia de frenado de 240 HP, pero desconocemos a que velocidades se pueden obtener esos parámetros; además, consideramos peligroso intentar obtener esos parámetros de funcionamiento del dinamómetro, debido a que para lograr obtener un par elevado, que llegue a los límites de operación de la celda de carga, se requiere de un vehículo con un par elevado, que además sea capaz de mantener ese par a altas velocidades para poder llegar al límite de potencia absorbida; todo esto

implica problemas de adherencia de los neumáticos a los rodillos y posible daño en el motor del vehículo.

4.3 Metodologías de ensayo

Existe una gran cantidad de ensayos que pueden realizarse en el dinamómetro de chasis, bajo el nuevo esquema de control que se ha desarrollado en esta tesis; y ya que por lo general los dinamómetros existentes actualmente en el país están configurados para realizar algún protocolo muy específico, el del Laboratorio de Control de Emisiones está en aparente ventaja en cuanto a poder realizar cualquier tipo de ensayo; para dar idea de esto, consideramos pertinente describir dos procedimientos que resultan ser muy ilustrativos para esbozar la utilidad del equipo, el primero se utiliza por lo general para determinar las emisiones contaminantes de un vehículo de combustión interna bajo un ciclo de manejo, el segundo es un procedimiento para determinar el desempeño de un vehículo eléctrico; ambos protocolos son avalados a nivel mundial (SAE: J2177, C F R: 86.132-90, 86.135-82, 86.135-90, 86.137-82 y 86.137-90)

4.3.1 Acondicionamiento previo de vehículos a gasolina

Se recomienda que antes de iniciar cualquier ensayo sobre el dinamómetro de chasis, el vehículo deberá acondicionarse con el fin de estabilizar las condiciones iniciales del ensayo.

Para vehículos que utilicen gasolina como combustible el procedimiento de acondicionamiento es el siguiente :

Antes de subir el vehículo al dinamómetro, se debe drenar el tanque de combustible hasta un nivel de 40% y una hora después el vehículo debe ser

colocado sobre el dinamómetro sin poner en marcha el motor y calibrar los neumáticos a 45 psi, posteriormente se debe recorrer un ciclo de manejo preestablecido.

Después de cinco minutos, posteriores a la terminación del ciclo de manejo, el vehículo deberá ser retirado fuera del dinamómetro también sin hacer funcionar el motor y debe permanecer en reposo por un periodo no menor a 12 horas ni mayor de 36, bajo condiciones de temperatura y humedad controladas, para posteriormente realizar las pruebas pertinentes.

Para acondicionar un vehículo eléctrico la normativa indica que éste debe ser guardado por un periodo mínimo de 8 horas a una temperatura ambiente que oscila entre 16 a 32°C, antes de iniciar las pruebas sobre dinamómetro, las cuales deben hacerse con las baterías totalmente cargadas. La carga de las baterías debe hacerse de acuerdo con los procedimientos y equipo recomendado por el fabricante.

4.3.2 Procedimiento para evaluar emisiones de un vehículo con motor de combustión interna

La prueba completa sobre dinamómetro para vehículos con motor de combustión interna, a los cuales se les pretende hacer un estudio de emisiones contaminantes, consiste en recorrer un ciclo de manejo iniciando con el motor frío. El primer periodo consta de un recorrido de 7.5 millas (12.1 kilómetros), que se recorren en 505 segundos, en este periodo se recolecta en una bolsa de un material impermeable a los hidrocarburos una muestra de las emisiones diluidas de los gases de escape, que posteriormente serán analizadas; a esta primera etapa se le conoce como fase fría. Posteriormente el vehículo recorrerá otro ciclo con una duración aproximada de 866 segundos en donde

se recolectan las emisiones en una segunda bolsa, esta etapa se le conoce como fase caliente, ya que se inició con el motor a la temperatura de operación normal. Los contaminantes de cada una de las bolsas son analizados por separado y se entregan resultados del contaminante en g/km recorrido. Es necesario comentar que para realizar este tipo de pruebas, el Laboratorio de Control de Emisiones debe contar con analizadores de flujo constante (que en la actualidad no dispone).

Durante la operación del dinamómetro, se fija la velocidad de un ventilador externo encargado de refrigerar el motor, el cual se ubica firmemente a una distancia de 12 pulgadas (30.5 centímetros) del vehículo, en la parte frontal del mismo. En el caso de los vehículos que contengan el motor en la parte trasera, el ventilador se pondrá en una posición tal que sea capaz de proveer aire suficiente para mantener el vehículo suficientemente refrigerado. La capacidad del ventilador no excederá los 2.5 metros cúbicos por segundo; la idea de poner este ventilador se debe a que, como el vehículo se encuentra rodando durante la prueba, pero no está en movimiento, el motor puede llegar a calentarse más allá de las condiciones normales de funcionamiento, lo cual repercute en resultados y en un posible daño al vehículo.

Al hacer el ensayo, se debe procurar que la oscilación del vehículo sobre los rodillos sea mínima, ya que esto dará una lectura de velocidad más real; para minimizar este efecto se deben tener tensores horizontales que impidan ese movimiento, pero no se deben utilizar elementos de sujeción con componentes verticales, ya que estos pueden modificar las condiciones de adherencia de los neumáticos con los rodillos.

Las ruedas de tracción que se posan sobre los rodillos, en el momento de la prueba, deben inflarse hasta una presión de 45 psi (310 kPa) a fin de impedir un daño en los neumáticos y simular más fielmente el rodamiento sobre el perímetro, puesto que al subir el vehículo al dinamómetro se tienen dos puntos de contacto con la superficie del neumático.

Si el dinamómetro no ha sido operado durante un período de 2 horas, antes de iniciar la prueba se deberá subir otro vehículo por un período de 15 minutos a una velocidad de 30 mph (48 kph) con el fin de estabilizar el funcionamiento de los rodamientos del dinamómetro.

4.3.3 Procedimiento de pruebas para vehículos con motor eléctrico

El grado de contaminación ambiental generada por los motores térmicos de los automóviles ha enfocado la atención de los fabricantes a desarrollar nuevas fuentes de conversión de energía mecánica, en este sentido actualmente se empieza a abrir el mercado para los vehículos eléctricos, que ofrecen una alternativa al no tener emisiones contaminantes por la combustión como el motor térmico; las características particulares del vehículo eléctrico llevan a determinar un procedimiento de pruebas específico para este tipo de automóviles, que difieren de las pruebas que normalmente se harían a un vehículo de combustión interna, este tipo de pruebas está enfocada a la caracterización de los vehículos en lo referente a su potencia y velocidad.

Para realizar los ensayos, el vehículo debe ser evaluado bajo condiciones de operación normal; esto se refiere a que el automóvil debe portar todos sus accesorios como son espejos, bombas, auxiliares, etc; y se

debe considerar el peso equivalente promedio, los neumáticos empleados, serán los especificados por el fabricante.

Por otra parte se debe considerar que la carga suministrada por la PAU debe estar en función de las condiciones aerodinámicas y del peso del vehículo.

Alternativamente a la potencia leída por medio de la celda de carga del dinamómetro, se recomienda leer la potencia que entregan las baterías, también se deben realizar algunas pruebas parciales que permitan evaluar íntegramente al vehículo eléctrico, estas pruebas se describen en detalle a continuación:

- La primera se llama “Rango de Velocidad Estable”. El propósito de esta prueba es determinar el máximo tiempo que un vehículo eléctrico puede mantener una velocidad constante.

La prueba consiste en llevar el vehículo a una velocidad predeterminada sobre el dinamómetro sin interrupciones, permitiéndose una variación de $\pm 5\%$ de la velocidad programada; la prueba finaliza cuando la velocidad cae por debajo del 5% de la velocidad inicial, o cuando son alcanzadas limitaciones propias del diseño del vehículo: por ejemplo, en el caso que al continuar con la prueba, resulte un deterioro de la vida de las baterías. La prueba debe ser realizada en un rango mínimo de tres velocidades incluyendo una prueba a máxima velocidad de crucero, cada una debe ser realizada individualmente con las baterías de propulsión totalmente cargadas. A continuación se muestra un gráfica del rango de velocidad para una prueba de este tipo.

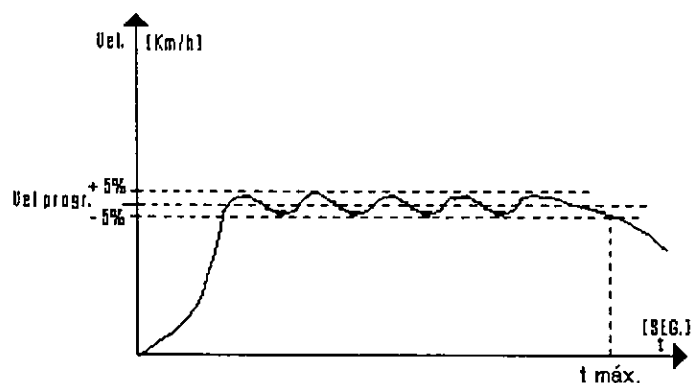


FIGURA 4.2 Resultados de una prueba de rango de velocidad.

Como resultado de esta prueba se obtiene una curva que muestra la velocidad en función del tiempo, figura 4.2, en la cual la velocidad de prueba se mantiene hasta que las baterías lo permitan; se recomienda realizar varios ensayos bajo las mismas condiciones y promediar los resultados obtenidos.

- La segunda prueba de importancia se conoce como “Prueba del Rango de Operación del vehículo bajo un Ciclo de Manejo Seleccionado”.

El propósito de esta prueba es determinar la máxima distancia recorrida y la energía consumida cuando el vehículo rueda sobre el dinamómetro recorriendo un ciclo de manejo definido, para lo cual se define un ciclo de manejo con cuatro variantes que están en función del tipo de uso que se le dará al vehículo eléctrico; los cuatro ciclos de manejo tienen las características que se muestran en la figura 4.3 y tabla 4.2

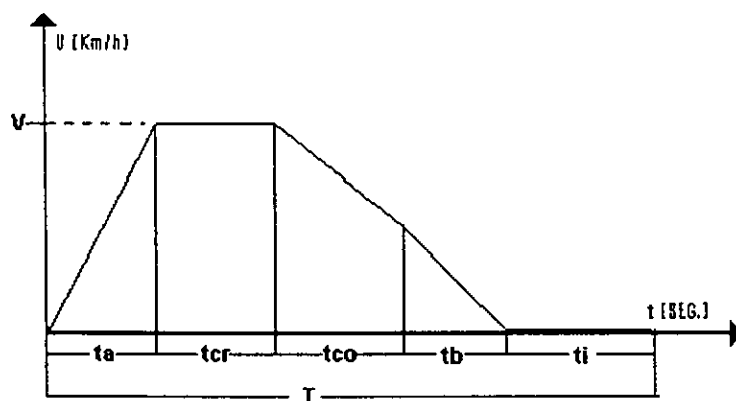


Figura 4.3 Ciclo de manejo para vehículos eléctricos.

Ciclo	A	B	C	D
V	16 ± 1.5 km/h	32 ± 1.5 km/h	48 ± 1.5 km/h	72 ± 1.5 km/h
ta	4 ± 1	19 ± 1	18 ± 2	28 ± 2
tcr	0	19 ± 1	20 ± 2	50 ± 2
tco	2 ± 1	4 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
tb	3 ± 1	5 ± 1	9 ± 1	9 ± 1
ti	30 ± 2	25 ± 2	25 ± 2	25 ± 2
T	39 ± 2	72 ± 2	80 ± 2	122 ± 2

Tabla 4.2 Tiempos de las etapas de los ciclos de manejo para vehículos eléctricos.

donde:

V = Velocidad de crucero del vehículo [kph] ó [mph].

ta = Tiempo de aceleración [seg].

t_{cr} =Tiempo de cuesta crucero [seg].

t_{co} =Tiempo de cuesta abajo [seg].

t_b =Tiempo de ruptura a velocidad cero [seg].

t_i =Tiempo libre en velocidad cero [seg].

T =Tiempo total del ciclo de manejo [seg].

Los valores de los parámetros de los cuatro ciclos de prueba se describen en la tabla 4.2.

Ciclo de manejo A. Es caracterizado por una velocidad máxima de manejo de 16 kph (10mph) y es destinado a la realización de pruebas con vehículos designados para uso en rutas fijas con alta frecuencia de paradas (por ejemplo: vehículos de repartición postal o de agua, microbuses, etc.).

Ciclo de manejo B. Se caracteriza por la aplicación de una velocidad máxima de manejo de 32 kph (20 mph) y es destinado en pruebas de vehículos para uso en rutas fijas con mediana frecuencia de paradas (por ejemplo: vehículos repartidores de pan, autobuses, etc.).

Ciclo de manejo C. Es caracterizado por una velocidad crucero de 48 kph (30 mph) y es destinado para pruebas de vehículos que se usan en rutas variables o no siguen una ruta con mediana frecuencia de paradas (por ejemplo: repartidores de paquetes postales o camiones repartidores de paquetes de almacenes, etc.).

Ciclo de manejo D. Es caracterizado por una velocidad crucero de 72 kph (45 mph) y es destinado para uso en pruebas de vehículos que usan rutas variables o no siguen una ruta y son manejados en áreas suburbanas (por ejemplo: vehículos particulares.)

El ciclo debe ser realizado repetidamente y sin interrupciones, hasta que las baterías por descarga no alcance a realizar un ciclo completo. Deben ser registrados: el número de ciclos totalmente concluidos, el tipo de ciclo utilizado, así como el promedio de los ciclos concluidos y la dispersión de datos.

- La tercer prueba se llama determinación de las características de aceleración del vehículo. El propósito de esta prueba es determinar la máxima aceleración del vehículo con las baterías a diversos estados iniciales de carga.

La prueba debe ser realizada a diferentes porcentajes de descarga de las baterías, acelerando el vehículo desde cero hasta una velocidad predeterminada obteniendo una gráfica de velocidad vs tiempo de la cual se estima la aceleración, dicha gráfica se muestra en la figura 4.4.

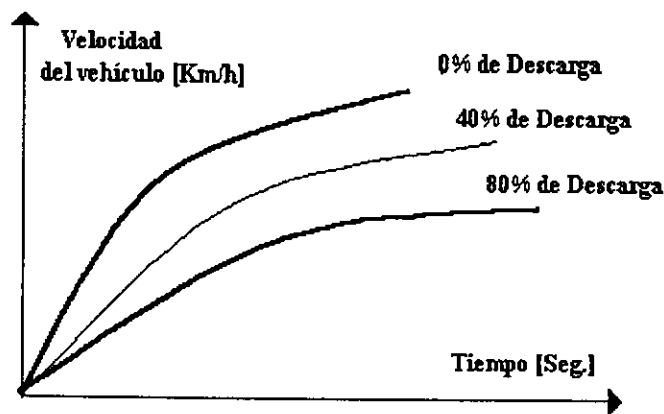


Figura 4.4 curva de aceleración de un vehículo eléctrico.

Resultados, conclusiones y trabajos futuros.

Si intentamos hacer una clasificación de los diferentes tipos de trabajos de investigación, se encuentran los siguientes:

- De tipo experimental. En la cual se tiene una hipótesis que ha de ser corroborada con algún método experimental para ser aprobada o rechazada.
- De desarrollo: En donde se parte de un problema específico al cual se le pretende dar una solución de forma óptima en cuanto a lo económico y funcional.

El presente trabajo se clasifica como de desarrollo, dado que el objetivo principal es de resolver de una forma óptima la modernización y restauración del dinamómetro. De esta manera los resultados obtenidos, son los siguientes:

Un beneficio económico, puesto que solo se invirtió el 16 % del precio comercial de un dinamómetro similar.

Se logró rescatar un equipo costoso y que la Facultad de Ingeniería ingresara al estudio de la potencia vehicular por medio de un dinamómetro de chasis.

Se logró adquirir experiencia en el desarrollo de proyectos con tecnología de punta consistente en una programación aplicada a realizar una instrumentación virtual, que servirá para la elaboración de proyectos futuros en el laboratorio de control de emisiones.

Sin embargo, aunque el dinamómetro opera de manera confiable, han surgido ideas que permitirán que este funcione mejor. Pensamos que al balancear la carga inductiva, no se tendrá un adelanto de la corriente respecto al voltaje aplicado a la PAU, lo cual permitirá hacer un control más fino del freno que aplica la PAU al vehículo, adicionalmente se pretende cambiar la celda de

carga por una de tipo piezoeléctrica, la cual ofrece la ventaja de amortiguar las oscilaciones producidas en la lectura del par cuando hay un cambio de régimen.

Asimismo en lo futuro, se pretende implementar, una unidad de masas inerciales que permita realizar estudios avalados a nivel internacional, un ciclo de manejo representativo de la ciudad de México y lograr tener un sistema completo de análisis de emisiones con muestreo a volumen constante.

Aunque actualmente se han caracterizado algunos vehículos, el dinamómetro de chasis del laboratorio de control de emisiones empieza a ser reconocido en el ámbito automotriz, y cada vez se incrementa el número de personas que solicitan un servicio, por esta razón, se pretende acreditar ante la SECOFI como laboratorio de pruebas con el fin de avalar los resultados de los ensayos que se realizan en el laboratorio.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] **Manual Clayton para Dinamómetro de Chasis.**
- [2] **Motores De Combustión Interna Alternativos**
Prof. Dr. M. Muñoz y Prof. Dr. F. Payri
Sección De Publicaciones De La E.T.S. De Ing. Industriales
Fundación general U.P.M.
Pag. 523 – 537
- [3] **Engine Testing Theory and practice**
Michael Plint and Anthony Martyr
De. Butterworth Heinemann
Reimpresión en 1996
Pag. 100 – 115
- [4] **Power Electronics, Applications and design.**
Ned Mohan, Tore M. undeland & William P. Robbins.
John Wiley & Sons in 1989.
- [5] **Manual de Usuario de el Software Lab VIEW.**
- [6] **Manual de Usuario Para la Tarjeta de Lab PC+.**
- [7] **Code of Federal Regulation**
Protection of Environment, 40, Parts 86 to 99
Revised as of July 1, 1990
Sección B
- [8] **1990 SAE HANDBOOK VOLUME 3**
Engness, Fuels, Lubricants, Emissions & Noise.
Cooperative Engineering Program.
Society of Automotive Engineers, Inc.
Sección 23 - 26.

- [9] **Métodos experimentales para ingenieros.**
Jack P. Hollman
Mc. Graw Hill
Pag.8-26

- [10] **Digital integrated electronics**
H. Taub, D Schilling.
Mc Graw Hill
Pag. 78 – 84

- [11] **Thyristor devica data**
Motorola
Pag. 1.5.1 – 1.5.30.

- [12] **Electrónica industrial**
Timothy j. Maloney.
Prentice Hall
Pag. 192 – 212

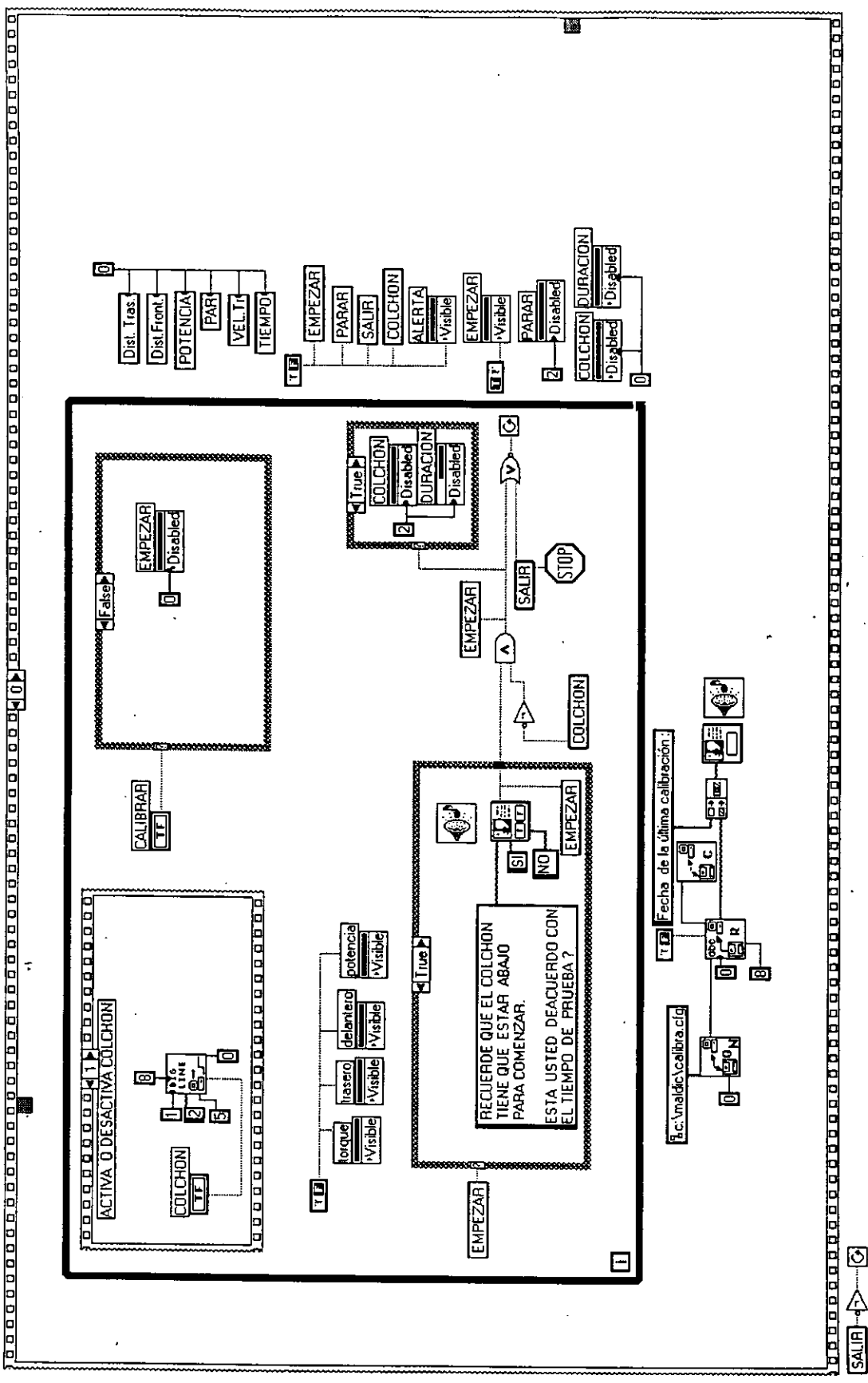
- [13] **Power electronics**
Muhammad h. Rashid.
Prentice Hall
Pag 37-40, 130-141

- [14] **Mecánica de fluidos**
Frank M. White
Mc Graw Hill.
Pag. 185 – 195

- [15] **Diseño digital**
M. Morris Mano
Prentice Hall
Pag. 205 – 251

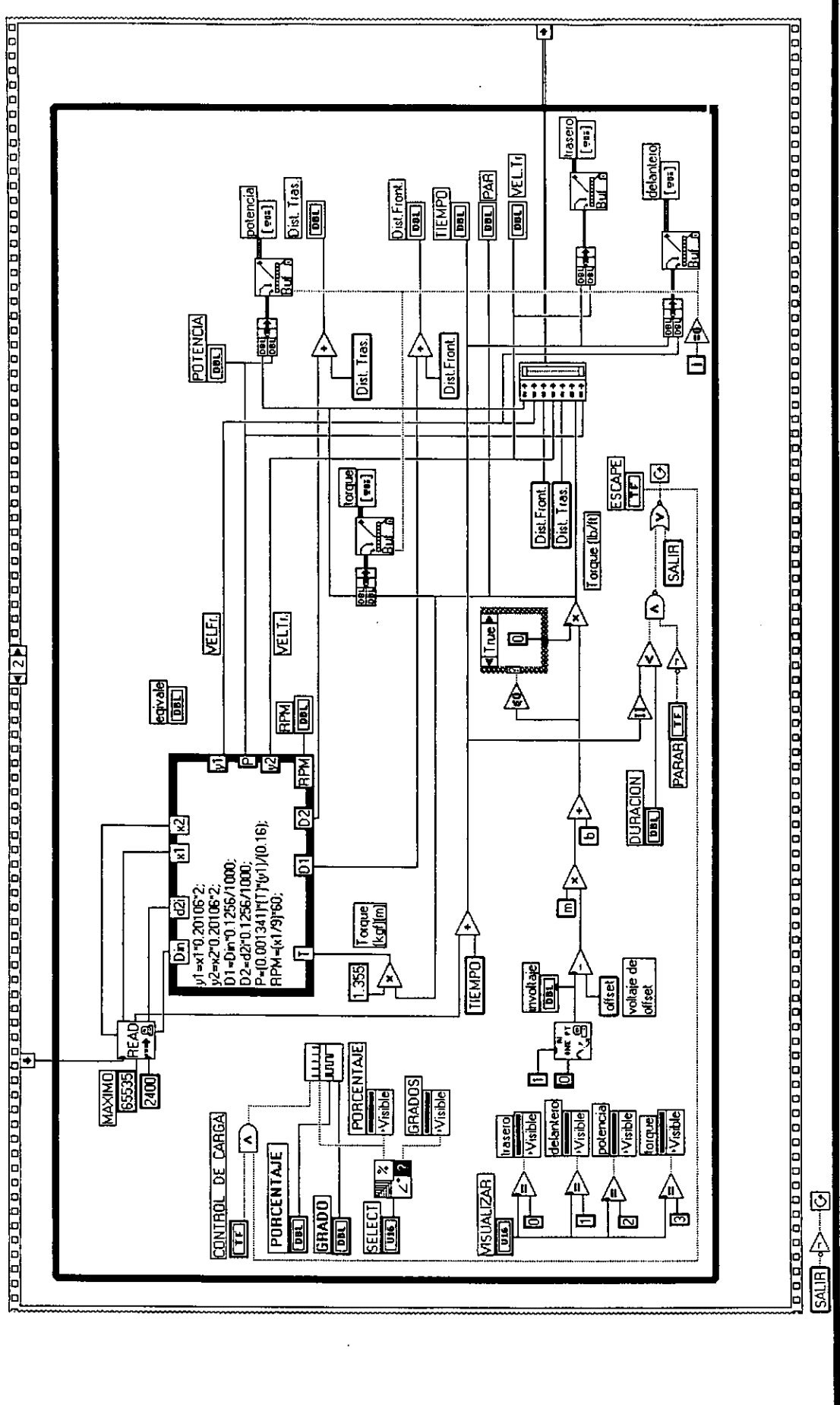
- [16] **Circuitos electrónicos**
D. Shilling, C. Belove.
Publicaciones Marcombo.
Pag. 472 - 512

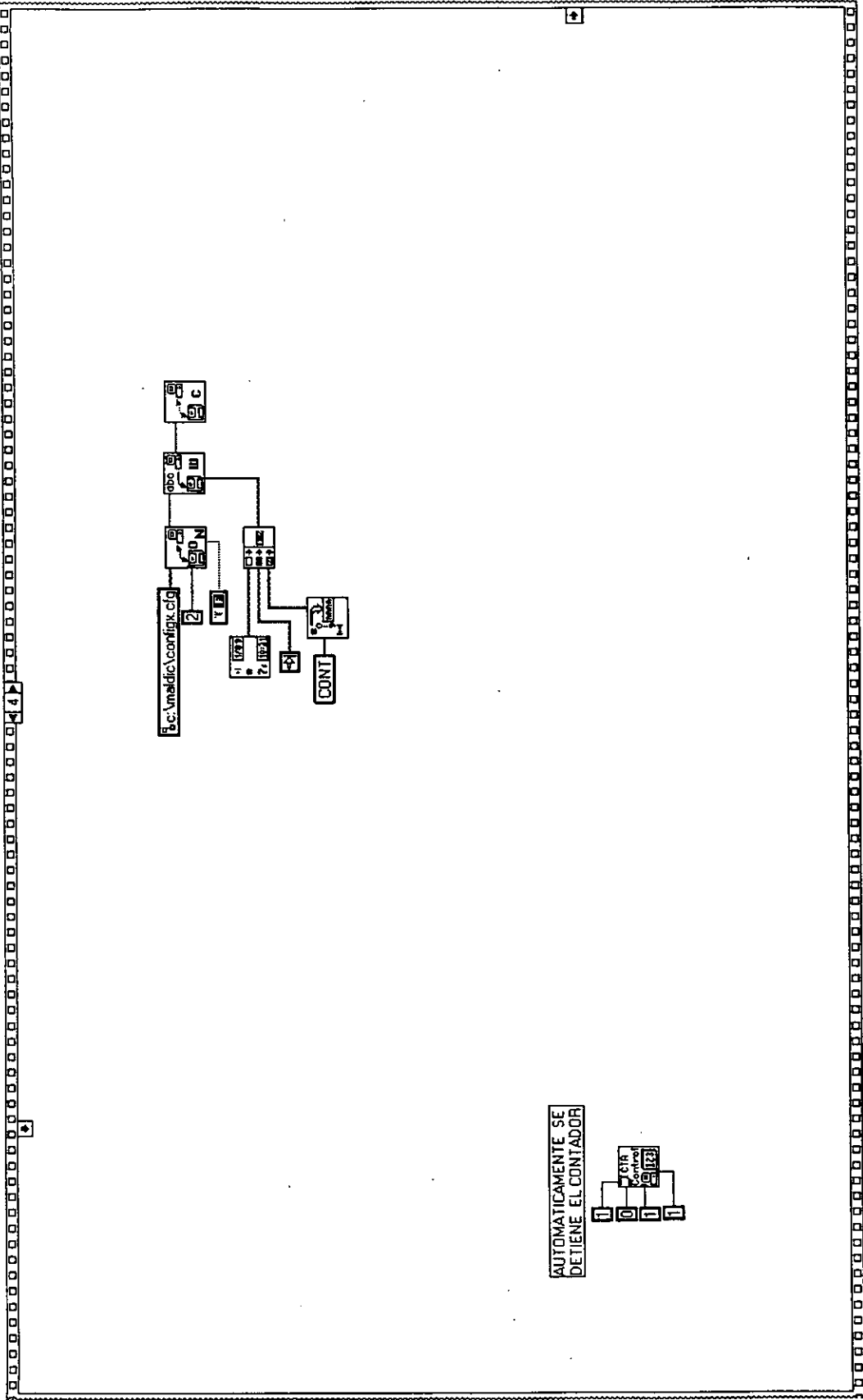
APENDICE A



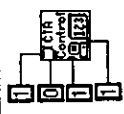
SALIR

T



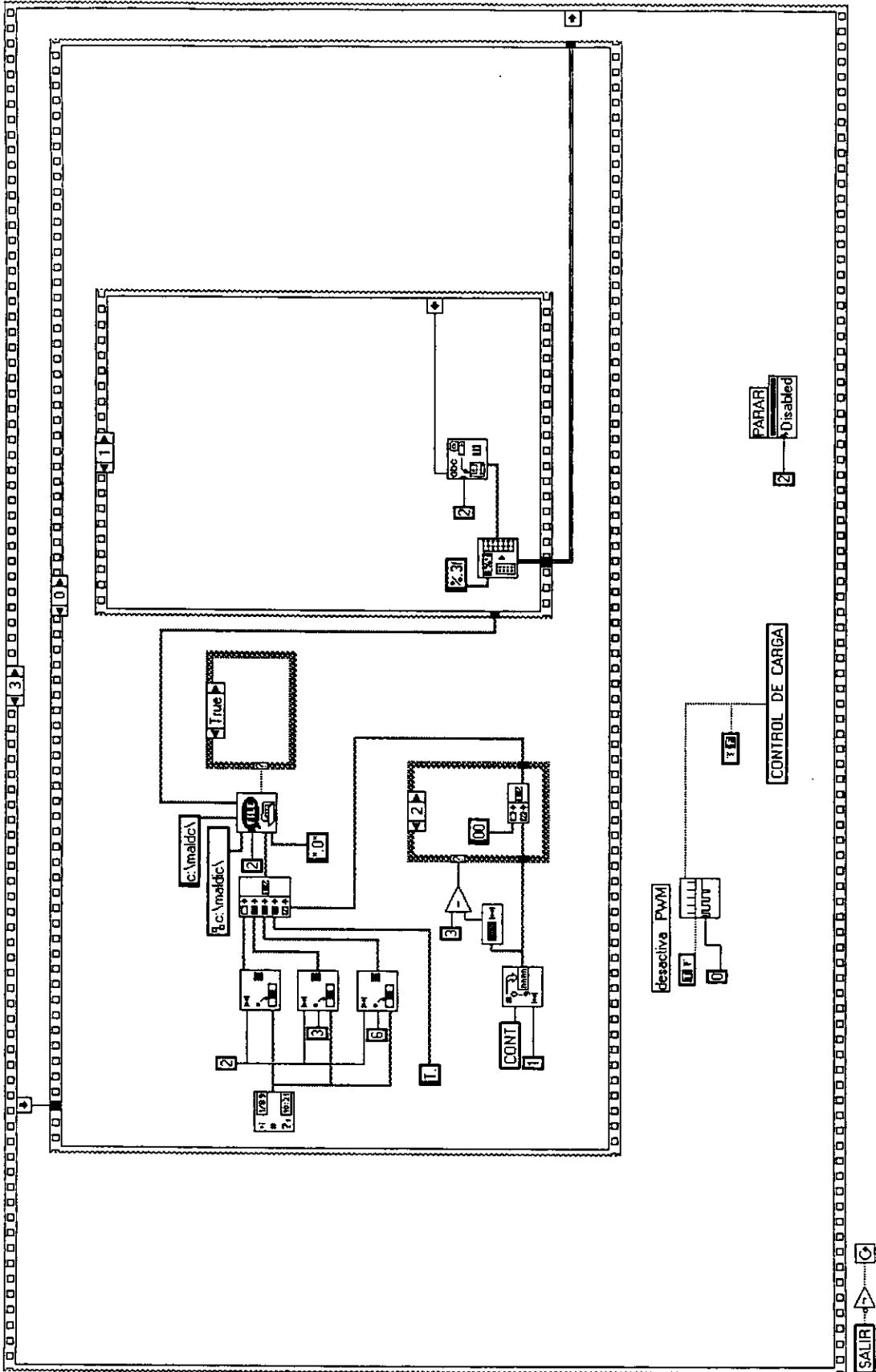


AUTOMATICAMENTE SE
DETIENE EL CONTADOR

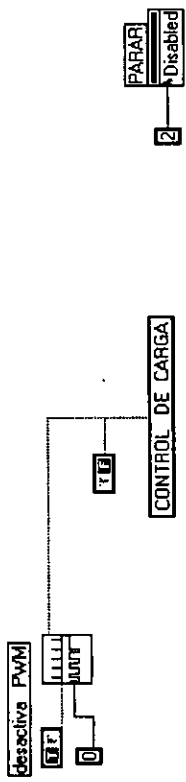
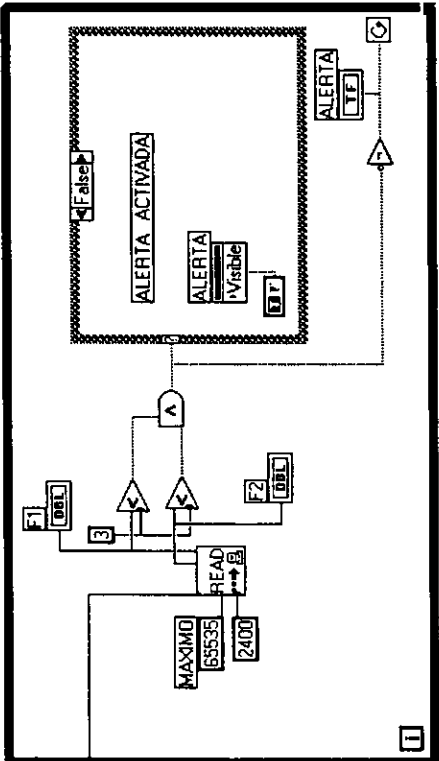
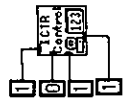
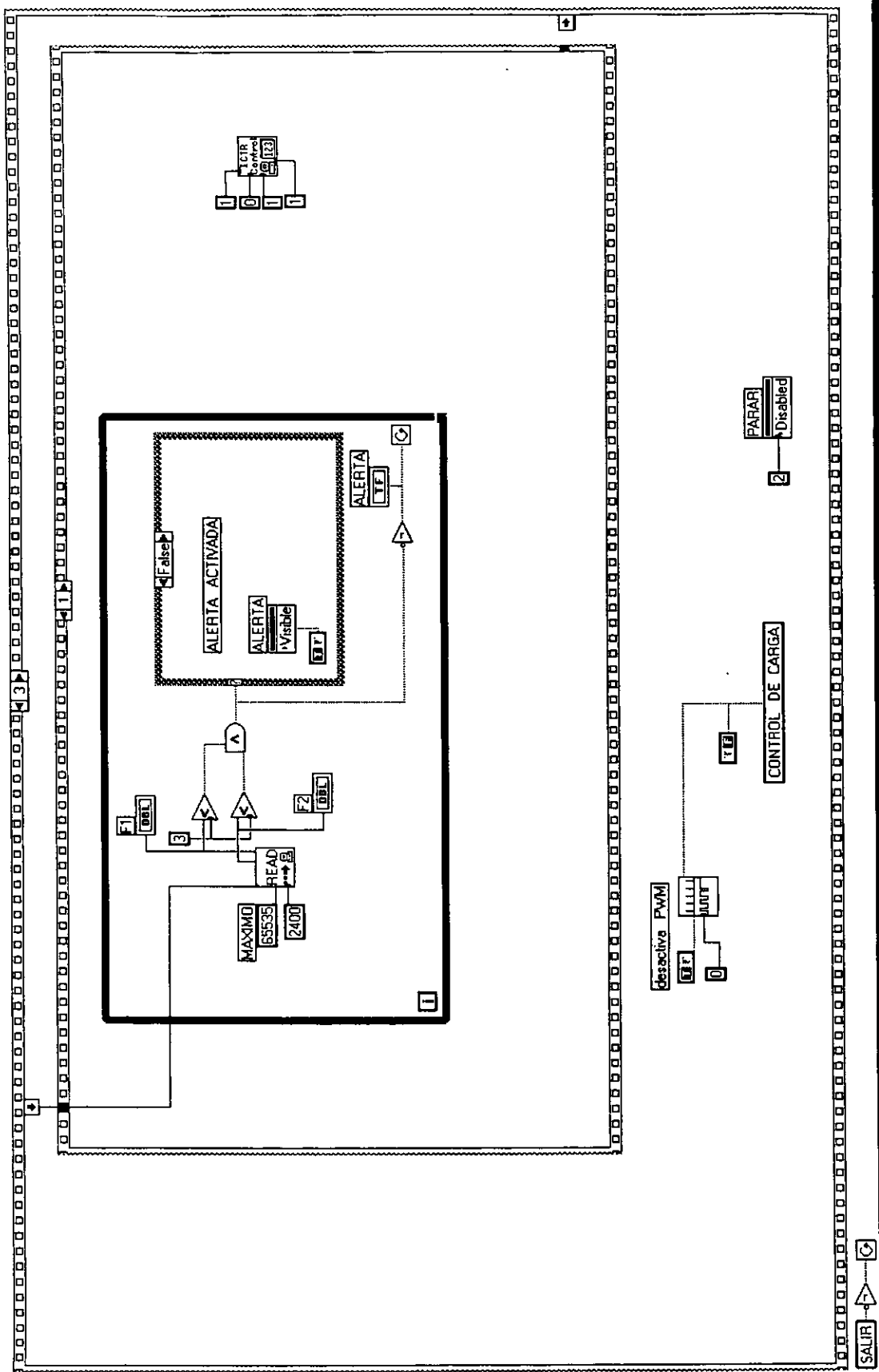


SALIR

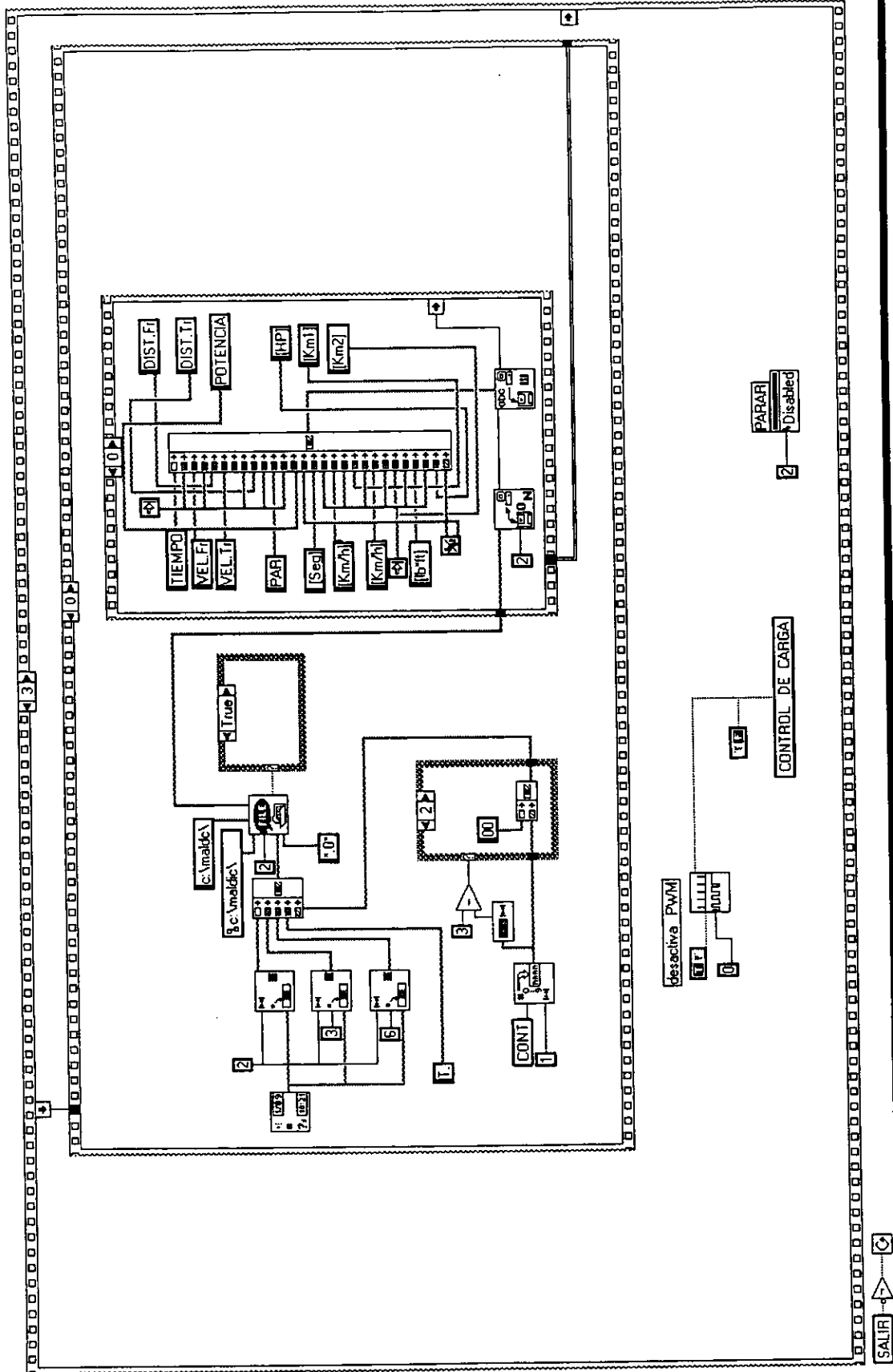
1

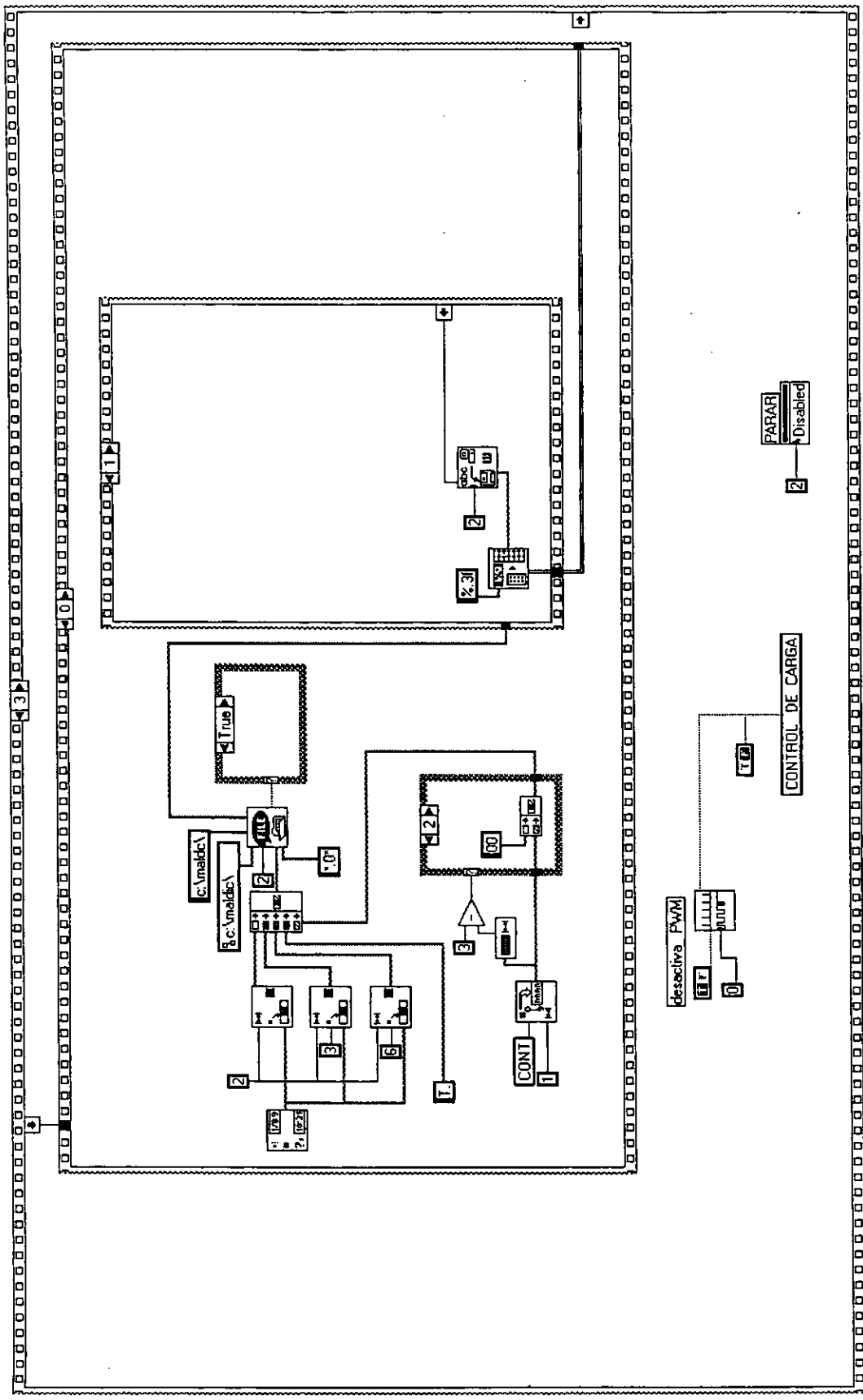


SAIIR



SALIR

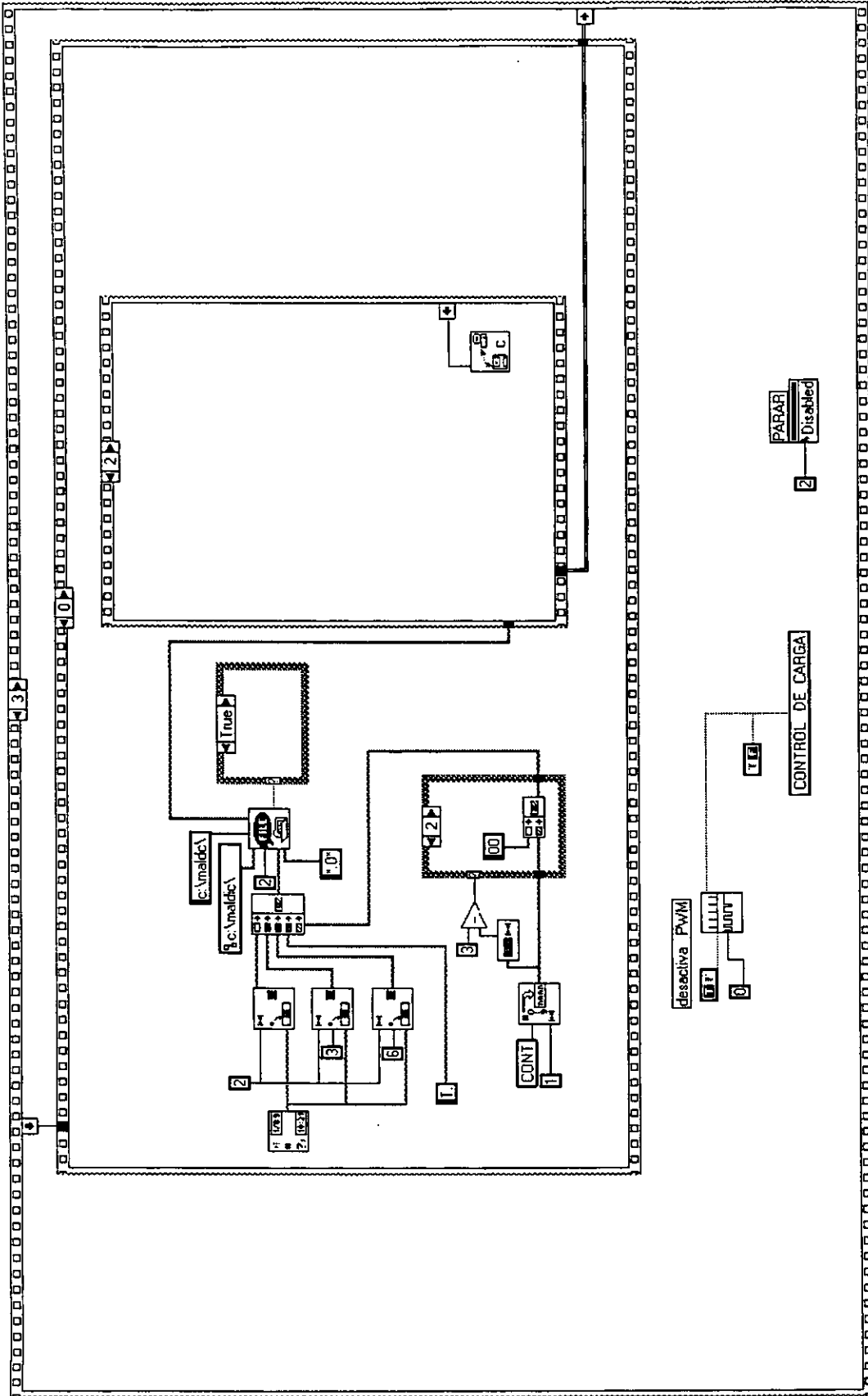




desactiva PWM

CONTROL DE CARGA

SALIR



PARAR Disabled

CONTROL DE CARGA

desactiva PWM
1 0

SALIR

1

COMP.A.VI

File Edit Operate Controls Windows

selector

Q Q

QQ

COMP.A.VI Diagram

File Edit Operate Functions Windows

selector

U16

1

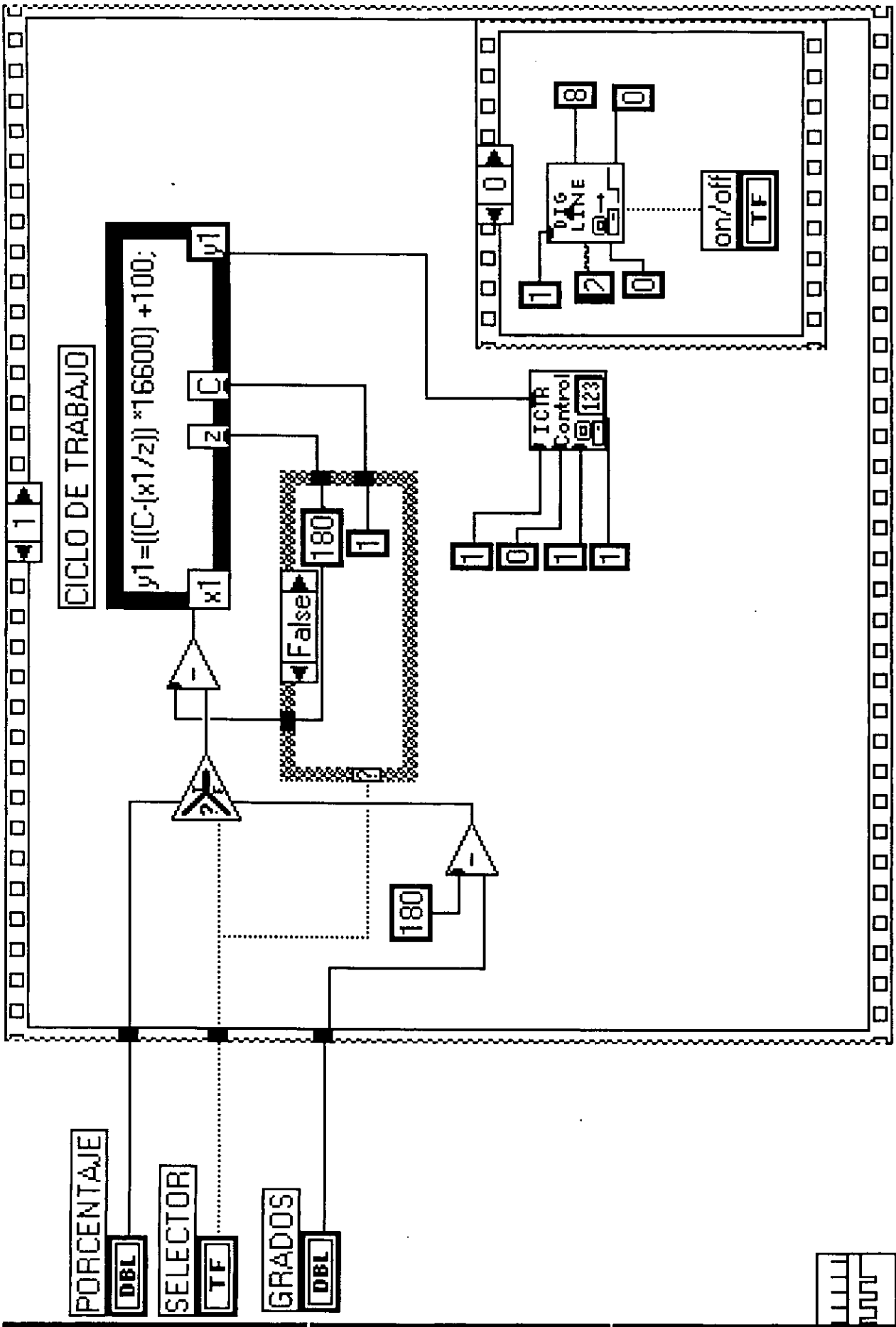
Q TF

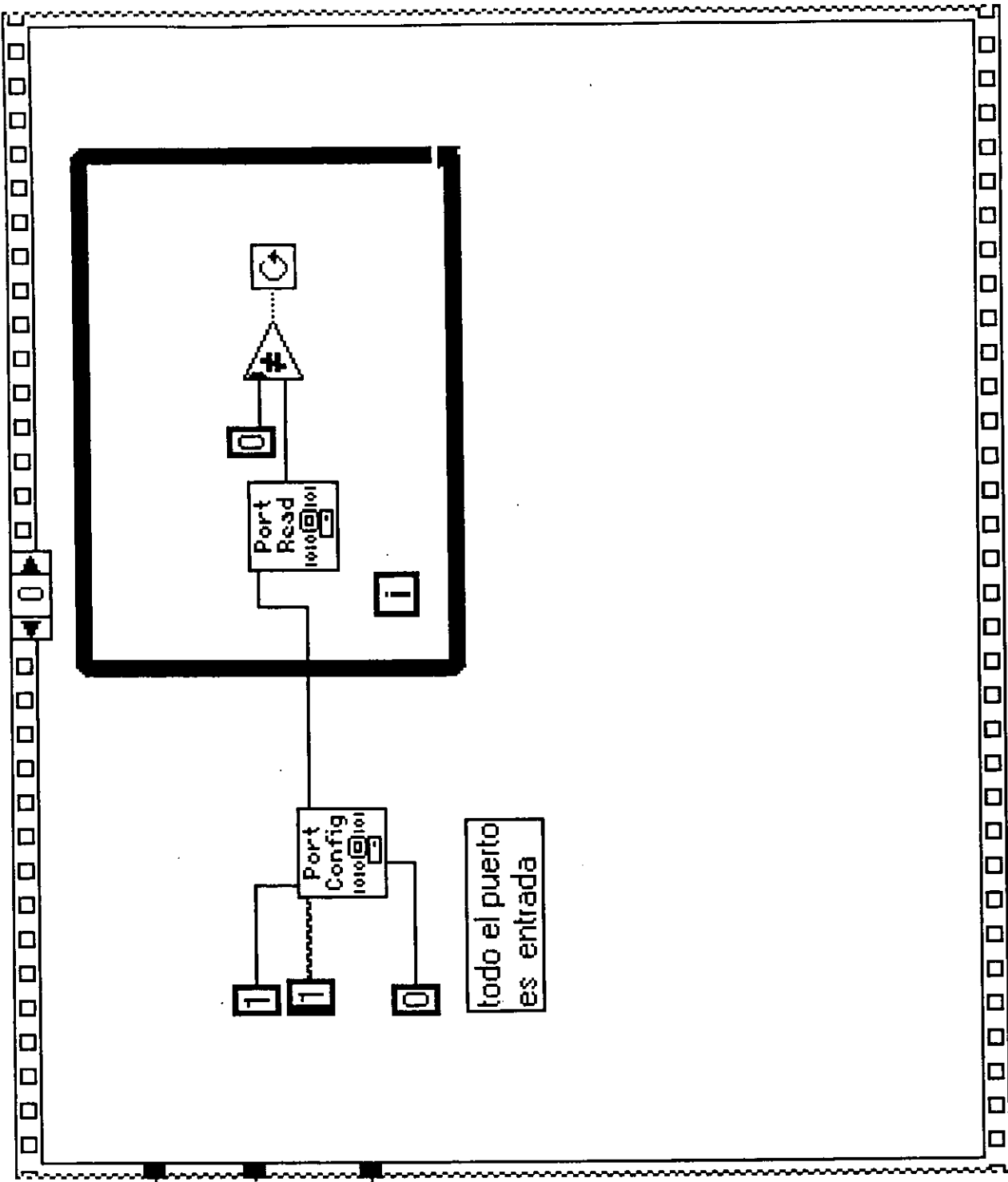
QQ TF

Help

selector

COMP.A.VI





PORCENTAJE

DBL

SELECTOR

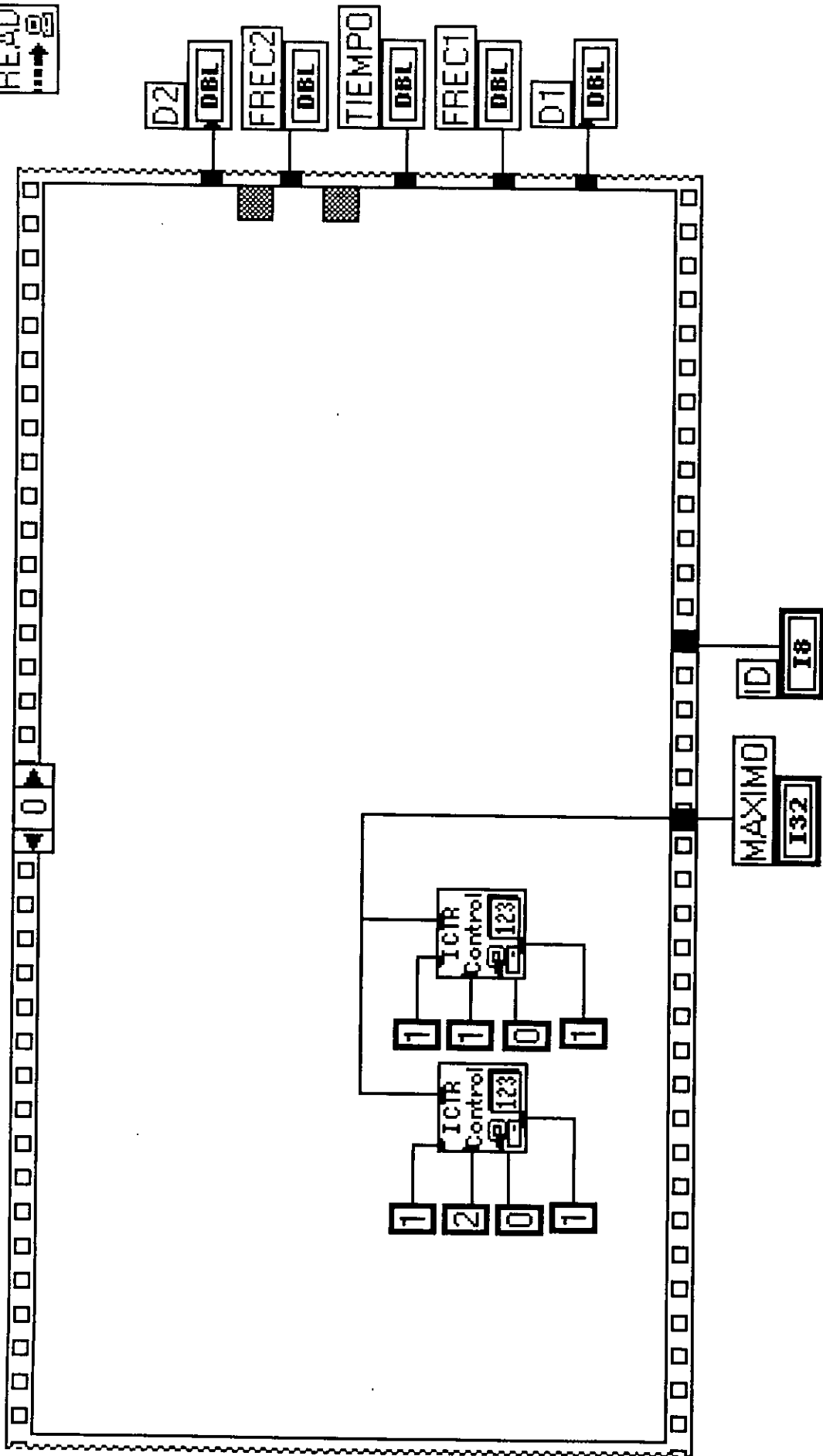
TF

GRADOS

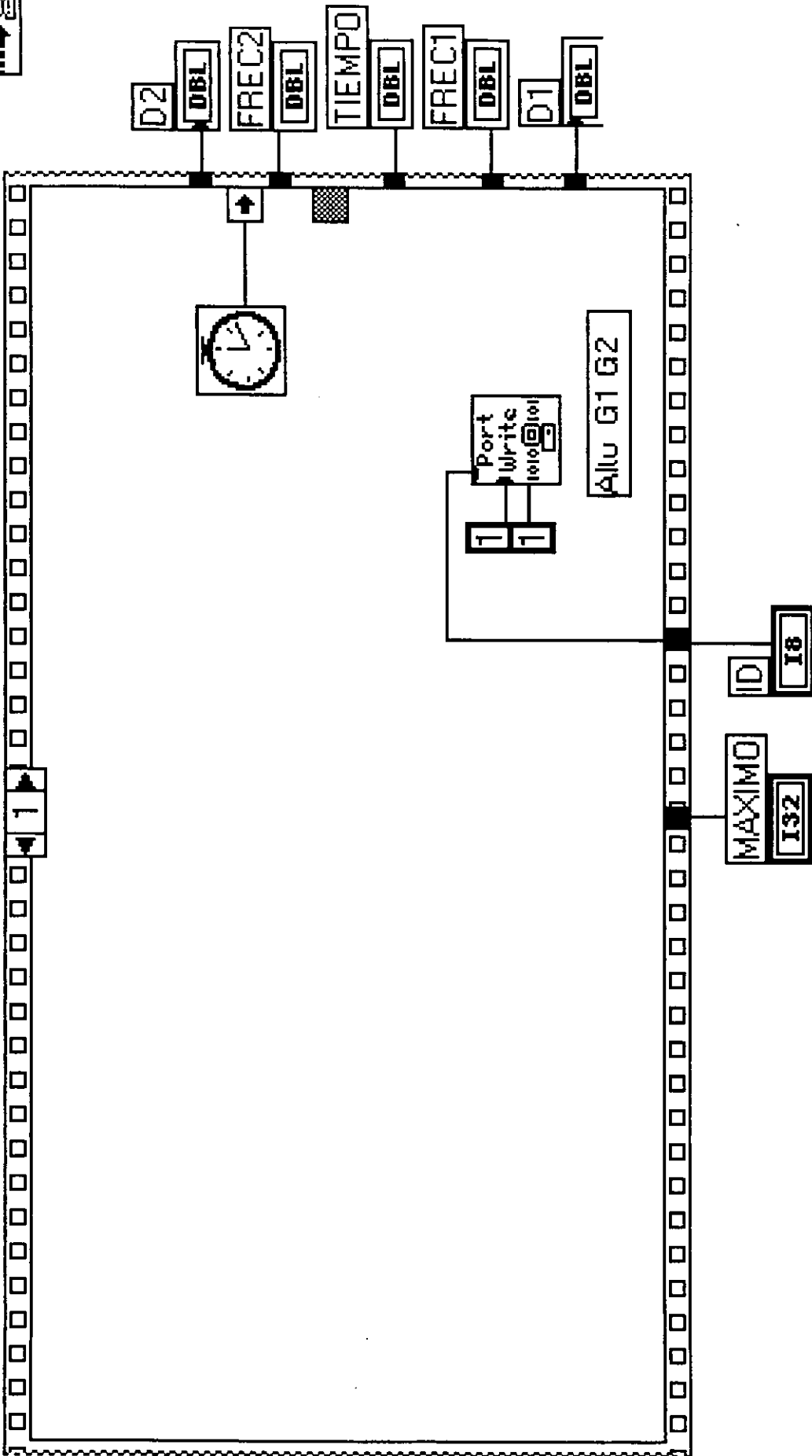
DBL

|||||
|||||

READ
↑

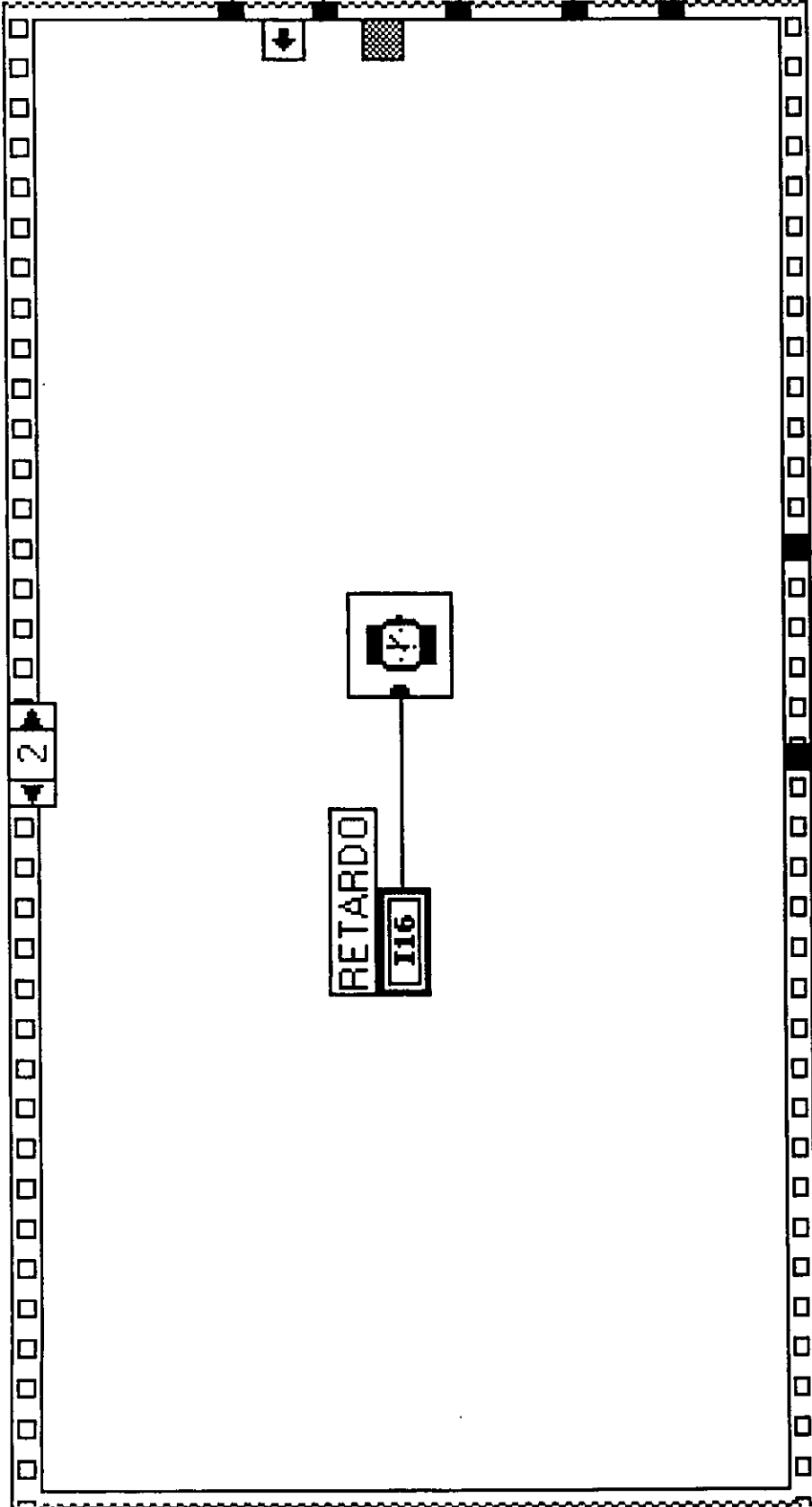


READ




READ
↑
↓

D2 DBL
FREC2 DBL
TIEMPO DBL
FREC1 DBL
D1 DBL



RETARDO
I16



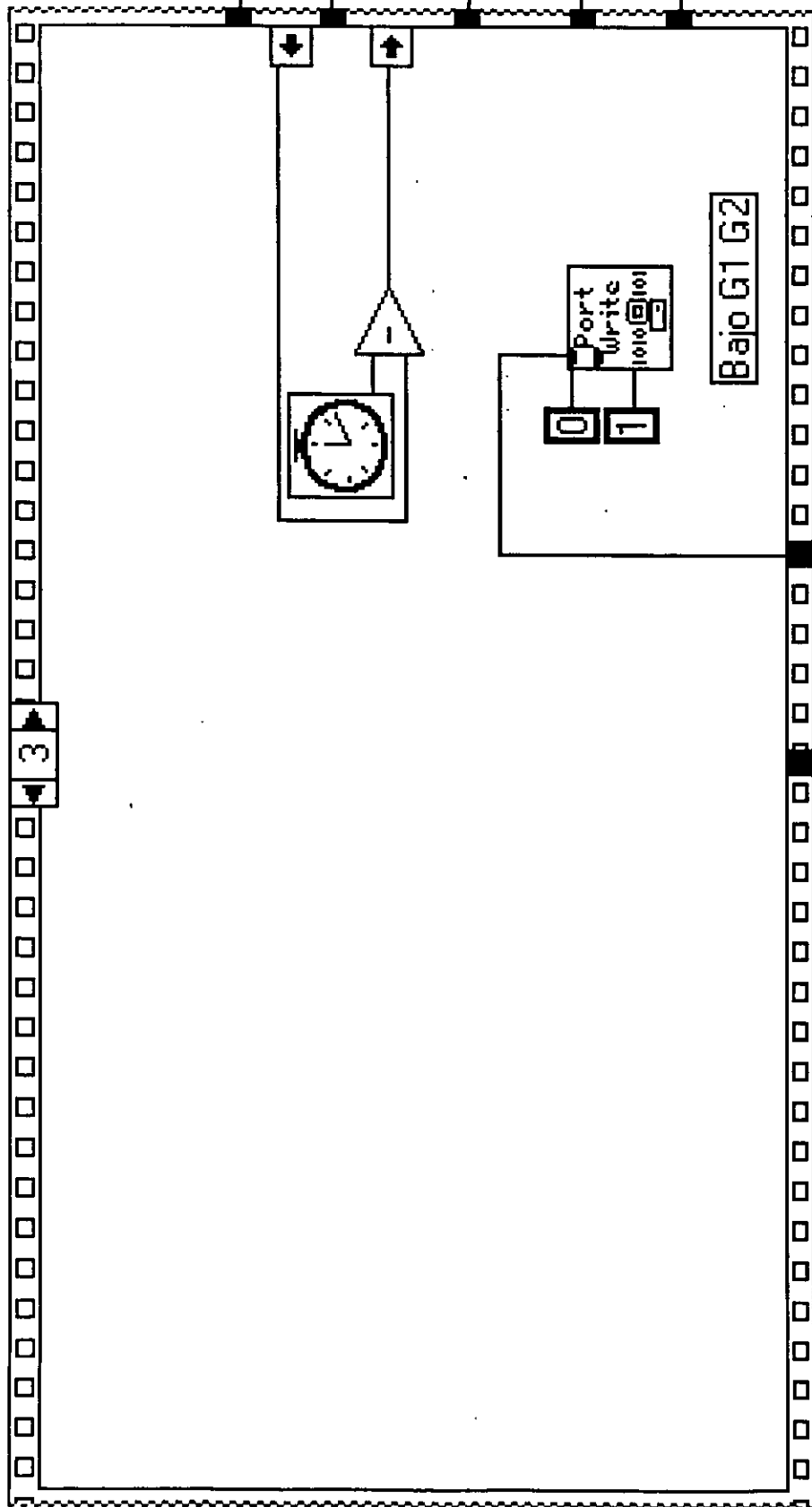
MAXIMO
I32

ID
I8

2

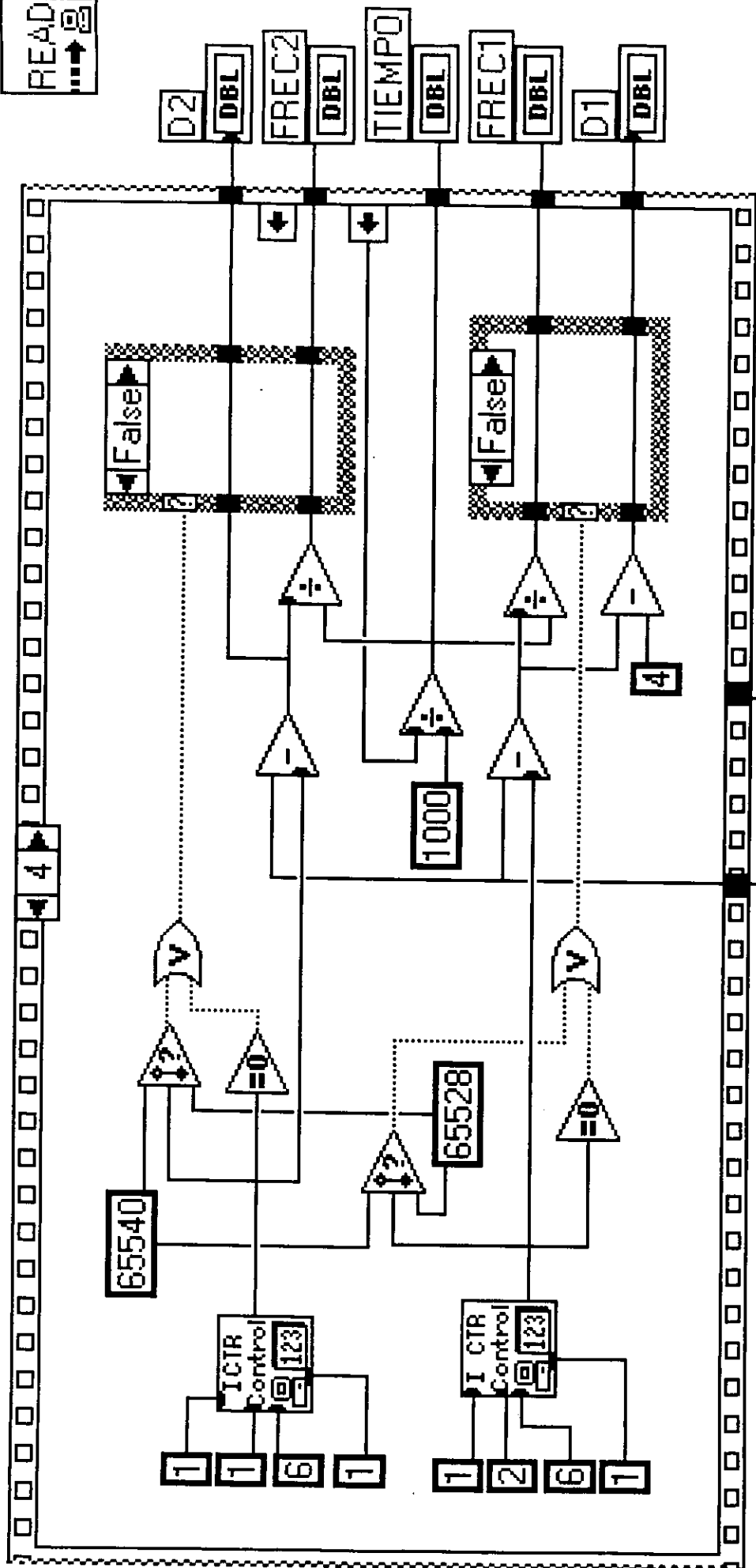
READ

D2 DBL
FREC2 DBL
TIEMPO DBL
FREC1 DBL
D1 DBL



MAXIMO 132
ID 18

READ
↑



IC TR Control
1 1 6 7

I CTR Control
1 2 6 7

65540

65528

MAXIMO
132

ID
18

1000

4

4

False

False