

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA  
MECANICA Y ELECTRICA**



**AUTOMATIZACION DEL PROCESO DE FABRICACION  
DE PISOS VINILICOS**

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRONICO**

**CARLOS CELESTINO MEDINA RAMOS**

**PROMOCION 1975 - 2**

**LIMA \* PERU**

**1 9 7 9**

# I N D I C E

## INTRODUCCION.

### CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1 RAZONES Y CARACTERISTICAS PARA LA AUTOMATIZACION DEL PROCESO.	1
1.2 EL CONTROL DE VELOCIDAD EN LA LINEA DE PRODUCCION.	5
1.2.1 Diversos Esquemas de Control - Principio de Funcionamiento y Avances en el Control Ward - Leonard.	
1.2.1a Sistemas de Regulación de Lazo Cerrado - Introducción.	
1.2.1b Sistemas de Regulación de Velocidad Multi-lazo.	6
1.2.1c Características de los Sistemas Modernos de Control de Velocidad Lazo Cerrado.	9
1.2.2 Aplicación de los Grupos Ward-Leonard en Trenes de Laminación.	16
1.2.2a Laminadores en Caliente Continuos.	
1.2.2b Fuente Principal para los Laminadores	21
1.2.2b.1 Suministro mediante barrade distribución común.	22
1.2.2b.2 Alimentadores individuales para estaciones de laminadores.	25
1.2.2c Control de Lazo.	26
1.2.3 Aspectos Teóricos para la Automatización de Laminadores Calientes.	27

1.2.4 Esquema de Control Propuesto para el Control de Velocidad en la Línea de Producción.	41
<b>CAPITULO II. DISEÑO DEL CONTROL AUTOMATICO DEL PROCESO</b>	
2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE PRODUCCION - CARACTERISTICAS.	44
2.2 ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA AUTOMATIZACION DEL PROCESO.	47
2.3 DISEÑO DEL CONTROL AUTOMATICO DEL MEZCLADOR BAMBURY.	51
2.3.1 Pasos Necesarios para la Automatización.	
2.3.2 Circuitos de Control Automático del "BAMBURY"	
2.3.3 El Limitador de Picos de Corriente y Diseño del Circuito de Detección de Sobrepicos.	57
2.3.4 Automatización del Pistón "RAM".	60
2.3.5 Automatización de la Puerta del "BAMBURY".	62
2.3.6 Automatización del Balde.	65
2.3.7 Automatización del Pesado de Material.	68
2.4 DISEÑO DEL CONTROL AUTOMATICO DEL MOLINO.	71
2.4.1 Exigencias del Sistema de Control.	
2.4.2 Automatización del Molino - Pasos.	72
2.4.3 Funcionamiento del Sistema de Control.	
2.5. CONTROL DE VELOCIDAD DE LAS CALANDRIAS.	74

2.5.1 Exigencias para el Control.	74
2.5.2 Esquema Propuesto y Características del mismo.	75
2.5.2a La Unidad AC/DC y Amplificador de Potencia.	77
2.5.2a.1 Diseño de la Red Supresora RC Protectora de la $dv/dt$ .	80
2.5.2a.2 Cálculo del Disipador.	90
2.5.2b Circuito Limitador de Corriente.	91
2.5.2b.1 Esquema Propuesto y Características del mismo.	
2.5.2b.2 Cálculo de la Ganancia del Amplificador.	93
2.5.2b.3 Análisis del Circuito Transistorizado del Limitador de Corriente.	99
2.5.2b.4 Fuentes de Tensión $+V_{CC}$ y $-V_{CC}$ para el Limitador de Corriente.	102
2.5.2c Unidad Estabilizadora.	104
2.5.2c.1 Circuito Estabilizador Propuesto.	
2.5.2c.2 Estudio del Sistema Estabilizador STAB.	105
2.5.2c.3 Consideraciones de la Función de Transferencia.	112
2.5.2d Unidad de Disparo.	113
2.5.2d.1 Circuito de Disparo.	
2.5.2d.2 Circuito de Mezcla y Amplificación.	115
2.5.2d.3 Circuito de Referencia y Realimentación.	117

2.5.2d.4 Circuito Generador de Rampa.	121
2.5.2d.5 Sistema de Aceleración y Retardación Gradual.	123
2.5.3 Esquema de Control Completo de una Unidad Ward Leonard.	134
2.6 SINCRONIZACION DE LAS DISTINTAS UNIDADES WARD-LEONARD.	139
2.7 AUTOMATIZACION Y CONTROL DE VELOCIDAD DE LA PRENSA Y SU CONVEYOR DE ALIMENTACION.	141
2.7.1 Exigencias del Control.	
2.7.2 Diagramas de Bloques del Conjunto.	142
2.7.3 Diagrama Inicial de Trabajo.	
2.7.4 Control Automático de los Variadores de la Prensa y el Transportador - Funcionamiento.	143
2.7.5 Control de Lazo mediante los Contactores L y R.	144

**CONCLUSIONES.**

**APENDICES.**

**APENDICE 1.**

**"Los Motores de Corriente Continua Usados en la Industria de Laminación".**

**APENDICE 2.**

**"Fallas Típicas en el Sistema de Control de Velocidad".**

**APENDICE 3.**

**"Controles y Ajustes del Sistema Automático de Velocidad".**

**APENDICE 4.**

**"Dispositivos Usados en el Control de Flujo de Aire Comprimido".**

**APENDICE 5.**

**"Listado de Componentes".**

**BIBLIOGRAFIA.**

**\* \* \* \* \***

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

La industria de pisos vinílicos debe su avance en cuanto a productividad y calidad se refiere a los modernos grupos impulsores en las unidades de laminación. Punto esencial en estos grupos es la elevada exactitud en el control de velocidad de los rodillos laminadores ó calandrias y en sus respectivos transportadores de entrada y salida. Debe aclararse que en el control de velocidad se considera el adecuado control de la temperatura en el manto y en las calandrias.

En la actualidad resulta improductivo los sistemas de impulsión hidráulica para los transportadores ya que en estos se controla la velocidad mediante la presión en una bomba maestra, la cual no tiene la calidad ni la precisión requerida en este tipo de industria. Hoy se prefiere y muy populares son los motores DC algunas veces alimentados por convertidores estáticos y en gran número por grupos motor generador; es decir mediante el arreglo Ward-Leonard.

Luego que se tiene un adecuado control de velocidad surge un inconveniente y es la alimentación primaria que no debe ser discontinua para no causar efectos transitorios en los grupos de laminación. Dichos efectos originan irregularidades en el manto laminado el cual debe ser descartado en su forma de baldosas de calidad mínima.

El presente trabajo: "Automatización del Proceso de Fabricación de Pisos Vinílicos" viene a llenar un vacío en la

ya desusada forma de comando manual de equipos prioritarios en la línea de producción; así como también el uso del método de control "lazo cerrado" en el control de velocidad. Hago propicio el instante para aclarar que el trabajo se ha implementado en una fábrica peruana, a la cuál por encargo suyo automatizé los sistemas de mezcla y velocidad en la línea de producción.

El primer capítulo al cual nombro "Generalidades" tiene por finalidad exponer el avance tecnológico de forma bastante general en lo que a control de velocidad se refiere, detallando el sistema de control de "lazo cerrado" aplicado a los grupos Ward-Leonard. Luego con el afán de ilustrar el proceso de laminación se expone el comportamiento de los laminadores en caliente continuos así como también los criterios generales a considerarse cuando se automatiza laminadores de este tipo.

El Capítulo Primero finaliza con la elección de un sistema de control de "lazo cerrado" para laminadores de baja potencia. El esquema básicamente es un grupo Ward-Leonard en cuya elección pesa fuertemente su ya existencia en la fábrica. El sistema posee lazo de realimentación de velocidad, control de corriente de armadura, aceleración y retardo gradual y sistema de estabilidad como principales características.

En el Capítulo Dos luego de especificar los requerimientos de la automatización del proceso se tienen dos partes perfectamente definidas.

a) El control y automatización de un sistema de mezcla con sus aditamentos de pesado, carga y descarga del material; así como también una adecuada protección del mismo.

b) El control de velocidad en la línea de producción y la sincronización de un sistema de corte con la línea en lo que a velocidad se refiere.

a. El control y automatización del mezclador más conocido en el medio industrial como "bambury" toca un punto vital de los costos de producción. Se trata de limitar los picos de corriente que se producen durante el 40% del tiempo que dura el ciclo de mezcla. Dichos picos son del orden de 250% de la corriente nominal. Con tal fin se ha implementado un circuito limitador bastante sencillo que sensa las variaciones de corriente en una línea para disparar un circuito elemental a tiristor que en forma indirecta elimina la carga durante dichos sobrepicos.

El grueso del trabajo en sí radica en la automatización del mezclador propiamente dicho; el cual abarca el control de un pistón apizonador "RAM", la puerta de la cámara, el tiempo de proceso del material, el sistema alimentador o balde que deposita la materia prima en la cámara y finalmente dos balanzas independientes con sus respectivos transportadores y sistema de descarga. Todas estas operaciones son realizadas mediante sistemas de temporización y contactores; todo este trabajo está bastante detallado en cuanto a funcionamiento y protección se refiere.

Posteriormente se automatizó un sistema laminador primario o molino con el fin de controlar el batido y el proceso de coloración superficial llamado moteo.

b. El control de velocidad en la línea de producción se realiza en base a un esquema propuesto, por sus bondades de control y precisión para el proceso. La velocidad básicamente se controla en las calandrias ya que los transportadores funcionan como "esclavos" del generador que alimenta al motor de las calandrias.

En esta parte analizamos una unidad de poder AC/DC y amplificador de potencia que son la fuente para el campo del generador. Luego se estudia un sistema de limitación de corriente de armadura que usa amplificador y foto-aislador. Siendo el amplificador de potencia de alta ganancia se dispone de un sistema estabilizador de realimentación negativa cuya implementación es fruto de la experiencia y pruebas múltiples. Finalmente estudiamos la unidad de disparo con sus componentes de rampa, referencia, sistema de mezcla aceleración y retardación controlada en forma amplia y explícita.

El sistema de control de velocidad finaliza explicando detalladamente el funcionamiento de una unidad Ward-Leonard y la sincronización de velocidad de dos o más unidades.

La última sección del Capítulo Dos tiene por finalidad sincronizar una prensa de corte y su conveyer de ali

mentación con todo el conjunto de la línea. Dicho objetivo se consiguió mediante un arreglo de fotoceldas que detectan el nivel de la catenaria del manto.

Al final se ofrece una serie de apéndices que abarca las características de los motores DC en la industria de laminación, dispositivos neumáticos como válvulas solenoides, silenciadores, etc. También se ofrece un criterio de fallas y su posible solución en lo que corresponde al control de velocidad en la línea.

# C A P I T U L O I

## GENERALIDADES

### 1.1 RAZONES Y CARACTERISTICAS PARA LA AUTOMATIZACION DEL PROCESO.

El piso de vinil asbesto en su proceso de producción requiere como materia prima básicamente: carbonatos, resinas, aceites plastificantes y colorantes.

La materia prima es procesada; primero; en un sistema mezclador ó mixer a muy alta presión y temperatura. Esta temperatura se consigue por calentamiento de la cámara mediante vapor.

El sistema mezclador es accionado por un motor de 500 HP, 440 voltios y 600 ampers; este motor le imprime movimiento a dos rotores helicoidales que hacen el batido dentro de la cámara.

La presión sobre la masa se consigue por medio de un pistón "RAM" que trabaja a una presión de 120 lb./pulgada cuadrada.

Una vez que la masa se ha depositado en la cámara, el pistón la comprime. Y este fenómeno origina en el 40% del ciclo de mezcla una sobrecarga del orden de 200% a 250% con respecto a la corriente nominal. Cuando no se había automatizado este porcentaje dependía de la voluntad y rapidez del operador, por cuanto él, en caso de sobrecarga le quitaba la presión al pistón RAM hasta que la corriente descendiera a su valor nominal.

Una vez que cesaba la sobrecarga se le aplicaba la presión al pistón y así sucesivamente.

De lo expuesto se desprende que existe una fuerte presencia de sobrepicos de corriente que económicamente representan un gasto en exceso y además significan un deterioro para el motor y el equipo eléctrico. Teniendo en consideración este fenómeno se hace necesario la automatización del proceso de mezcla. Adicionalmente el hecho de que la alimentación sea automática permite una velocidad mayor que en sistema manual.

Ahora en cuanto al control de velocidad de la línea se espera obtener significativos ahorros de material y una mayor productividad; detallando el fenómeno.

Una vez que la masa es procesada en el mezclador, ésta es transportada a un sistema laminador primario llamado molino; aquí la masa se lamina a un espesor de 3,5 cm. Además del laminado en el molino al piso se le da una coloración superficial llamada moteo. De lo expuesto se concluye que el molino debe automatizarse con la finalidad de controlar el ciclo de laminación y moteo como una forma de evitar el procesamiento de un piso incorrectamente moteado.

Luego que la masa sale del molino esta se vuelve a laminar en una calandria; luego en una segunda y finalmente en un sistema laminador e impresor final. A medida que el manto se va adelgazando por efecto de la

laminación; la unidad de transporte de salida de cada calandria debe tener mayor velocidad y de igual valor a la velocidad tangencial del laminador siguiente. Una diferencia entre estas velocidades origina amontonamiento, fracción y ruptura del manto. Los amontonamientos sobrecargan al laminador y las tracciones disminuyen erráticamente el espesor del piso, como consecuencia del estiramiento. Con el fin de evitar este fenómeno se añade asbesto a la materia prima y su porcentaje determina el grado de automatización y control de la velocidad de la línea.

El asbesto es un material importado cuyo uso excesivo incrementa los costos de producción. Luego es muy conveniente controlar la velocidad de la línea con el fin de reducir el porcentaje de asbesto en la producción de piso vinílico.

El siguiente problema en la línea de producción es el inconveniente de tener una prensa y su transportador que la alimenta con velocidades "independientes" del conjunto de la línea y además son impulsados por motores de corriente alterna.

El problema en sí radica cuando se acelera la línea; el transportador alimenta en forma excesiva a la prensa produciendo amontonamientos en ésta; también existe gravedad en la condición de desaceleración ya que entre el transportador y la prensa existe tracción con el inconveniente de romper y/o variar el espesor del

piso; el cual indudablemente deberá ser descartado.

La solución de este problema consiste en sincronizar las velocidades de la prensa y su transportador con el conjunto de la línea de producción.

En síntesis el conjunto de problemas mencionados es **b** que ha determinado la automatización de la línea que si bien se realiza mediante métodos sencillos y de fácil mantenimiento; constituye un conjunto versátil de bajo costo y de alta confiabilidad.

## 1.2 EL CONTROL DE VELOCIDAD EN LA LINEA DE PRODUCCION

### 1.2.1 Diversos Esquemas de Control - Principio de Funcionamiento y Avances en el Control Ward Leonard.

#### 1.2.1a Sistemas de Regulación de Lazo Cerrado.

##### Introducción.

La tendencia acerca de la seguridad y exactitud de los mecanismos industriales ha originado una fuerte exigencia a los sistemas de regulación, que en estos últimos años han presentado adelantos muy ventajosos.

Los sistemas de regulación de lazos múltiples son los más frecuentemente usados en los cuales la señal de referencia para un lazo de control es derivado desde otro lazo en el mismo sistema.

En un sistema de regulación de lazo cerrado la "cantidad de salida" es controlada y comparada con "la cantidad deseada"; cualquier diferencia entre éstas se emplea para activar el sistema y de tal forma que esta diferencia sea mínima.

La diferencia entre la referencia y las señales de realimentación, conocida como la

señal error; es conveniente que permanezca pequeña aunque tenga que usarse amplificadores. Esta última condición implica la necesidad de ganancia en potencia; lo cual fácilmente puede obtenerse en un circuito a tiristores.

El progreso de este tipo de sistema de control se debe al progreso de la técnica del semiconductor; especialmente de los circuitos integrados, tiristores y transistores

Es conveniente por su mejor servicialidad y manejo que estos sistemas sean modulares y no compactos con el fin de que puedan ser usados indistintamente en control de potencia diferentes.

#### 1.2.1) Sistemas de Regulación de Velocidad Multi lazo.

Muchos sistemas de regulación y control poseen más de una variable, entre los más comunes tenemos aquel en que el control de la velocidad de la máquina y su corriente de armadura se controlaban al mismo tiempo. La función principal en estos sistemas es controlar la velocidad, sin embargo si la corriente de armadura alcanza va

lores prohibitivos; se debe contar con un sistema secundario que actúe sobre el control principal para limitar la corriente.

Un gran número de sistemas, industriales, de regulación usan simplemente etapas de mezcla y amplificación con un circuito limitador; en el cual una señal proporcional a la variable "corriente" está siendo limitada y comparada con una señal de referencia, la diferencia debe ser capaz de anular el control normal.

El sistema es bastante satisfactorio para todo tipo de esquemas Ward-Leonard, el cual si bien es inherentemente lento comparada con los sistemas convertidores estáticos tiene la gran ventaja sobre, éstos, de absorber un "Overshoot" inicial sin reducir el límite normal de control.

Estudios recientes de la "Associated Electrical Industries Limited" están encaminados a superar esta desventaja mediante la adición de un lazo de corriente dentro del lazo control de velocidad (ó voltaje) para sistemas de conversión estática. Este lazo interno permite que una señal proporcional a la corriente de arma-

madura sea comparada con una señal de referencia normal y proporcional a la corriente requerida. La diferencia o error es amplificada y usada para controlar un circuito de corrimiento de fase que es el que actúa sobre los tiristores del conversor. Sin embargo, la corriente de armadura tendrá un valor máximo siempre que la señal de referencia para la corriente de armadura sea limitada para dicho valor máximo. Esta referencia, en sí, es la señal de error de velocidad la cual está siendo limitada y amplificada. Ahora bien, para mayor claridad entiéndase que la señal de error es la diferencia de velocidad entre la referencia del operador y la señal de velocidad de un taco-generador.

Personalmente pienso que este sistema puede expandirse mucho más; por ejemplo si se usara una señal error de posición como referencia para el lazo de control de velocidad. Las variables controladas de cada lazo en estos sistemas son limitadas debido a que el máximo voltaje de referencia a cada lazo es limitado.

La estabilización de las variables controladas se simplifica desde que solamente

"una" es procesada con cualquiera de las etapas de amplificación, sin embargo cada lazo normalmente necesita una red de filtro para estabilidad. Este filtro, usualmente el tipo "lead-lag", es conveniente cuando se realiza con redes RC.

#### 1.2.1c Características de los Sistemas Modernos de Control de Velocidad Lazo Cerrado.

##### Control Ward - Leonard - ARREGLO FIG.01.

El principio básico del sistema de control Ward-Leonard es tal que la carga mecánica es accionada por un motor de excitación separada DC cuya corriente de campo se mantiene constante prescindiendo de la dirección de rotación de la máquina. La velocidad y dirección de rotación están determinadas por la magnitud y polaridad del voltaje suministrado a los terminales de armadura.

La velocidad del motor, aunque es determinada por el voltaje de armadura, está sujeta a variaciones de acuerdo a la demanda de torque en el motor. Indudablemente que esta inherente regulación del sistema introduce incorrecciones en el control de velocidad de la carga; con el fin de supe

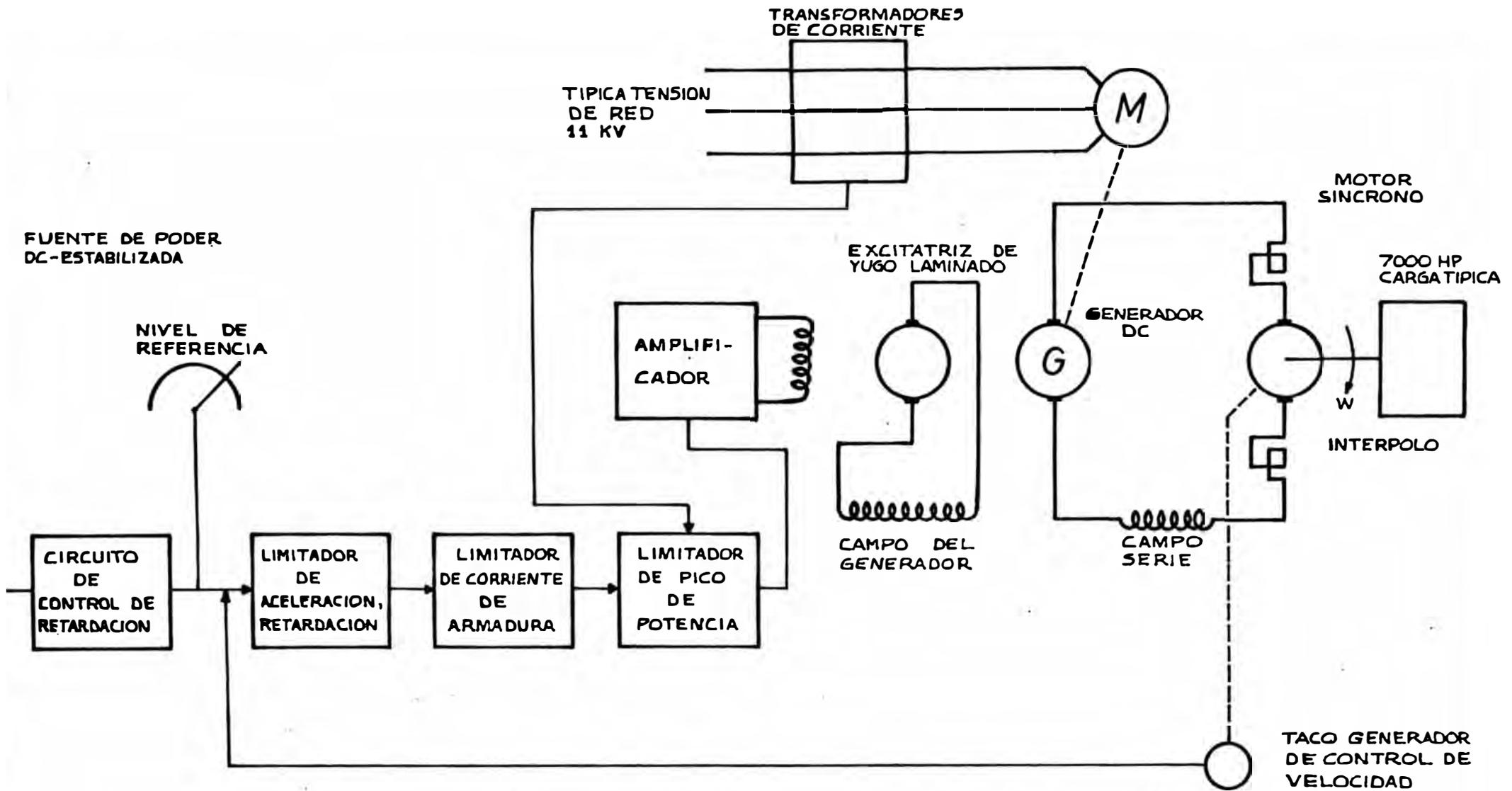


FIG. G-1

SISTEMA DE CONTROL WARD - LEONARD

rar esta incorrección, se introduce el control de velocidad de lazo cerrado.

El primer arreglo Fig. G1 nos muestra el esquema para potencias del orden de 3000 HP a 7000 HP en el cual el campo del generador es excitado por una excitatriz de yugo laminado.

El control de velocidad para el esquema Fig. G1 es tal que el voltaje de salida del generador es controlado por un amplificador estático. La diferencia entre la velocidad requerida y la velocidad actual llamada señal error actúan sobre el amplificador el cual da la señal "cambio de velocidad" para el excitador de campo.

Desde que el error de voltaje requerido para producir la salida normal del generador es pequeño comparado con el voltaje de referencia. La aplicación total del voltaje de referencia puede producir una excesiva corriente en el motor. Con el fin de evitar este inconveniente se incorpora un circuito limitador de corriente. Una señal DC proporcional a la corriente de armadura se obtiene desde una derivación a través de los arrollamientos serie é interpole. Este voltaje es comparado con un

voltaje de referencia y si la señal de corriente excede la referencia; el error se pondrá al control de velocidad y sacará fuera de "servicio" a la máquina; además se tendrá la seguridad que el torque impuesto en el motor no exceda los límites señalados.

La aplicación de un torque elevado puede producir una indeseable razón de crecimiento de aceleración ó retardación y con el fin de prevenir este inconveniente se incorpora al sistema un circuito de aceleración controlada.

Cuando se tenga equipos de elevada potencia se recomienda limitar la corriente demandada desde la fuente de poder del sistema mediante un circuito limitador de pico de potencia. Se acostumbra a tomar una muestra de los transformadores de corriente, conectados en la fuente del grupo motor - generador y la máquina prima.

La limitación de pico de potencia es otra forma de las características generalmente llamadas como "aceleración gradual".

### Control Ward - Leonard - ARREGLO Fig. G2

El funcionamiento del sistema Ward-Leonard puede ser excelentemente aprovechada si el campo del generador es suministrado por un amplificador a tiristores, el que a su vez puede ser controlado mediante un amplificador transistorizado. Se previene que cuando forzosamente se deba usar alto voltaje de campo (voltaje en exceso para alterar rápidamente la corriente de campo) se puede sobrecargar el amplificador a tiristor; conviene pues usar tiristores de elevada inercia térmica y de potencia adecuada. Aparte se recomienda usar un lazo interno para limitar la corriente de campo; de forma similar para el control de corriente de armadura.

En este sistema la corriente de campo es dependiente de una señal de referencia la cual puede ser el error de voltaje de armadura amplificado. Si este error de voltaje amplificado es limitado, la corriente de campo que sigue esta referencia será limitada y así evitaremos la sobrecarga.

La razón de aceleración o desaceleración se limitará si se inserta un circuito rampa que varíe linealmente con el tiempo des

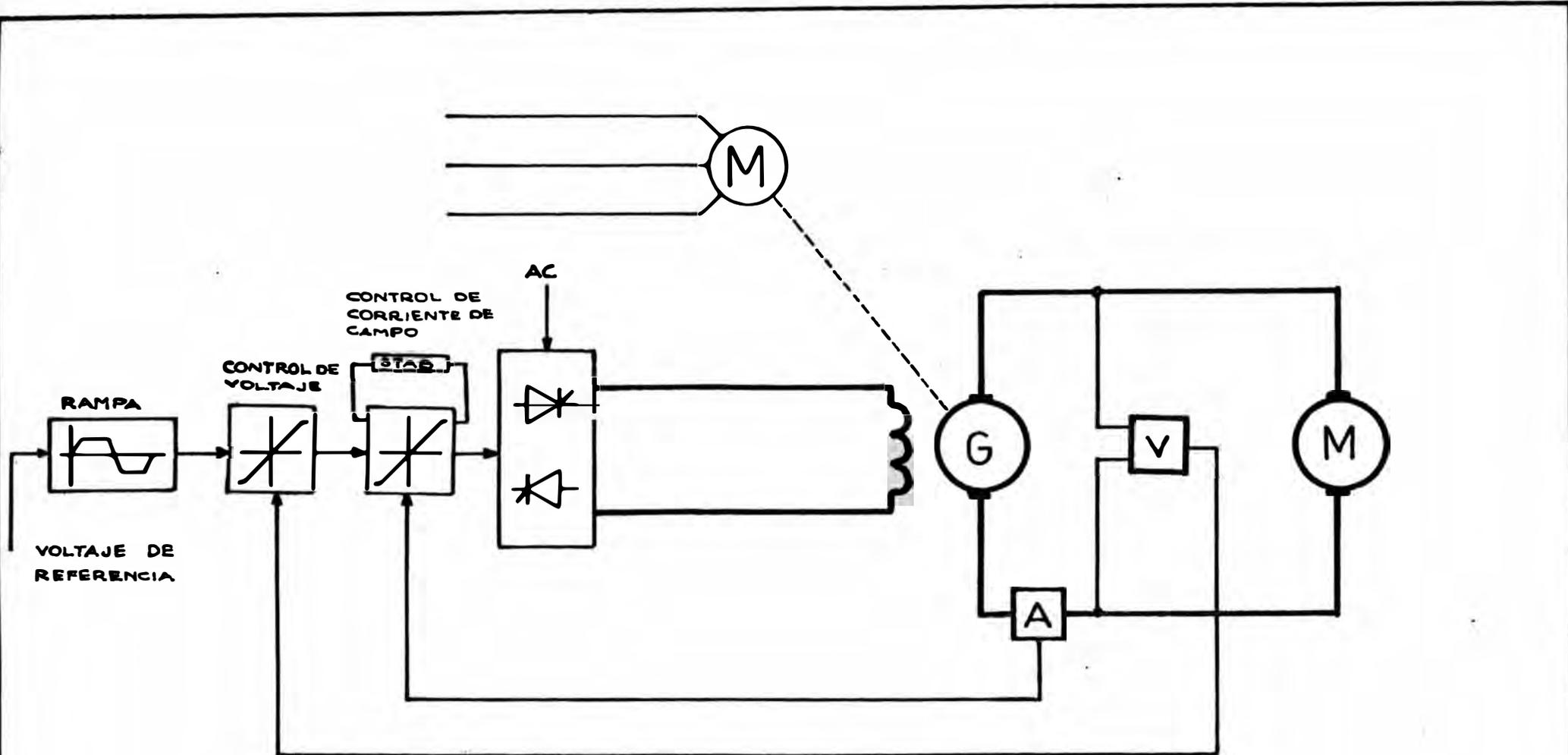


FIG. G-2

ESTABILIZADOR  


CONTROL WARD-LEONARD CON LAZO INTERNO  
 PARA LIMITAR LA CORRIENTE DE CAMPO

pués de un cambio súbito en la entrada hasta que el voltaje de la entrada y la salida sean balanceadas.

El circuito de armadura siempre es propenso a sobrecargas, pero la corriente puede ser limitada mediante un limitador de sobrecorriente, aunque la mejor respuesta al impacto de cargas repentinos se obtiene cuando se forma un lazo de corriente de armadura. El error de corriente de armadura amplificado y limitado será la referencia para el lazo de control de la corriente de campo del generador y la referencia de corriente de armadura es el error de velocidad amplificado y limitado.

#### Control Ward - Leonard con Campo Limitante

En los trenes de laminación, es costumbre usar atenuadores de campo para muy altas velocidades. De tal manera que una reducción de velocidad no refuerze demasiado rápido al campo y produzca excesivo voltaje de armadura. Bajo condiciones de pleno campo un sistema de control de corriente de campo asegura que esta corriente se mantenga en un valor constante. Una señal aislada de voltaje de armadura se compara con una referencia de voltaje; de tal forma

# CONTROL WARD-LEONARD CON CAMPO LIMITANTE

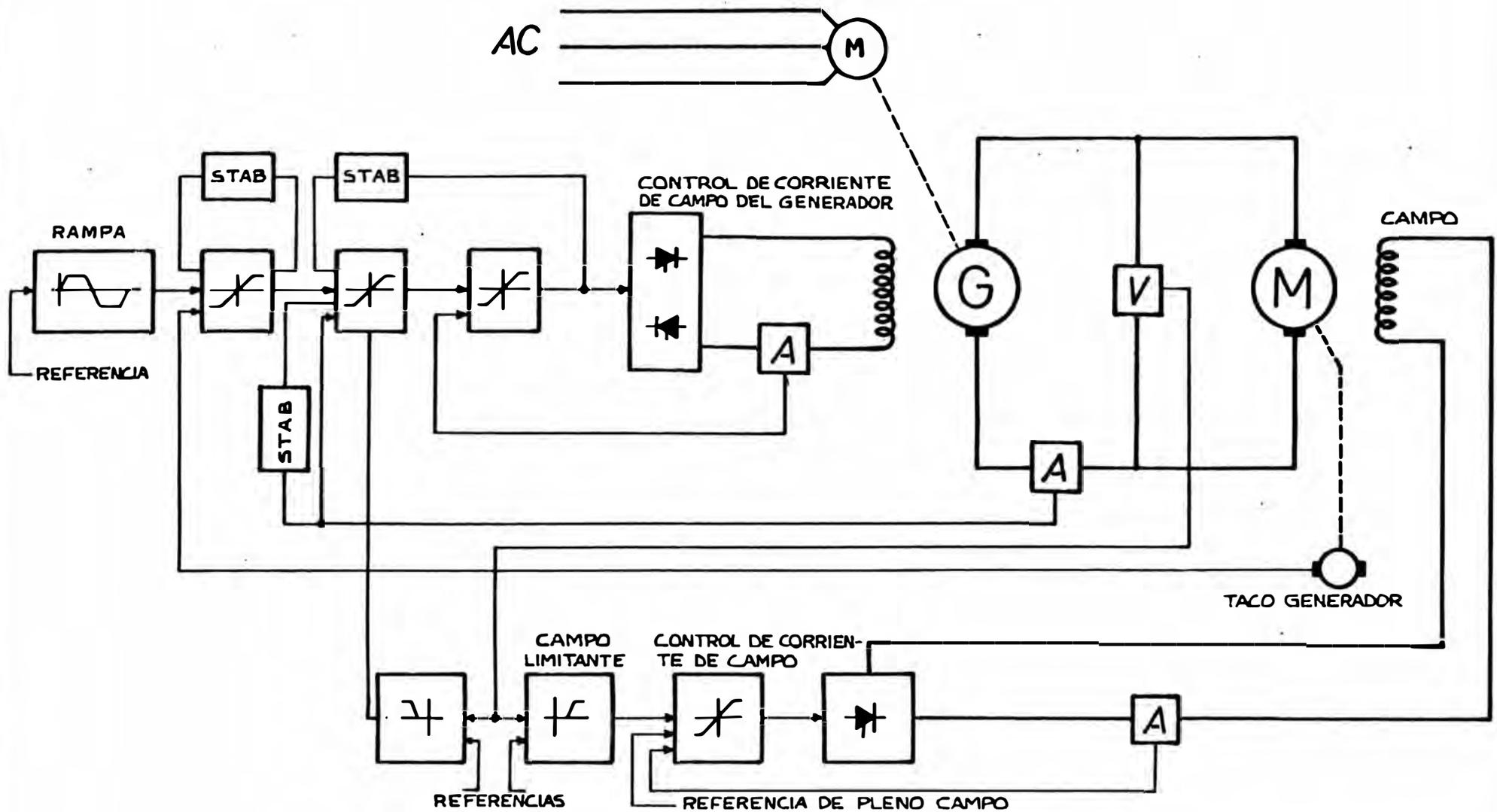


FIG. G-3

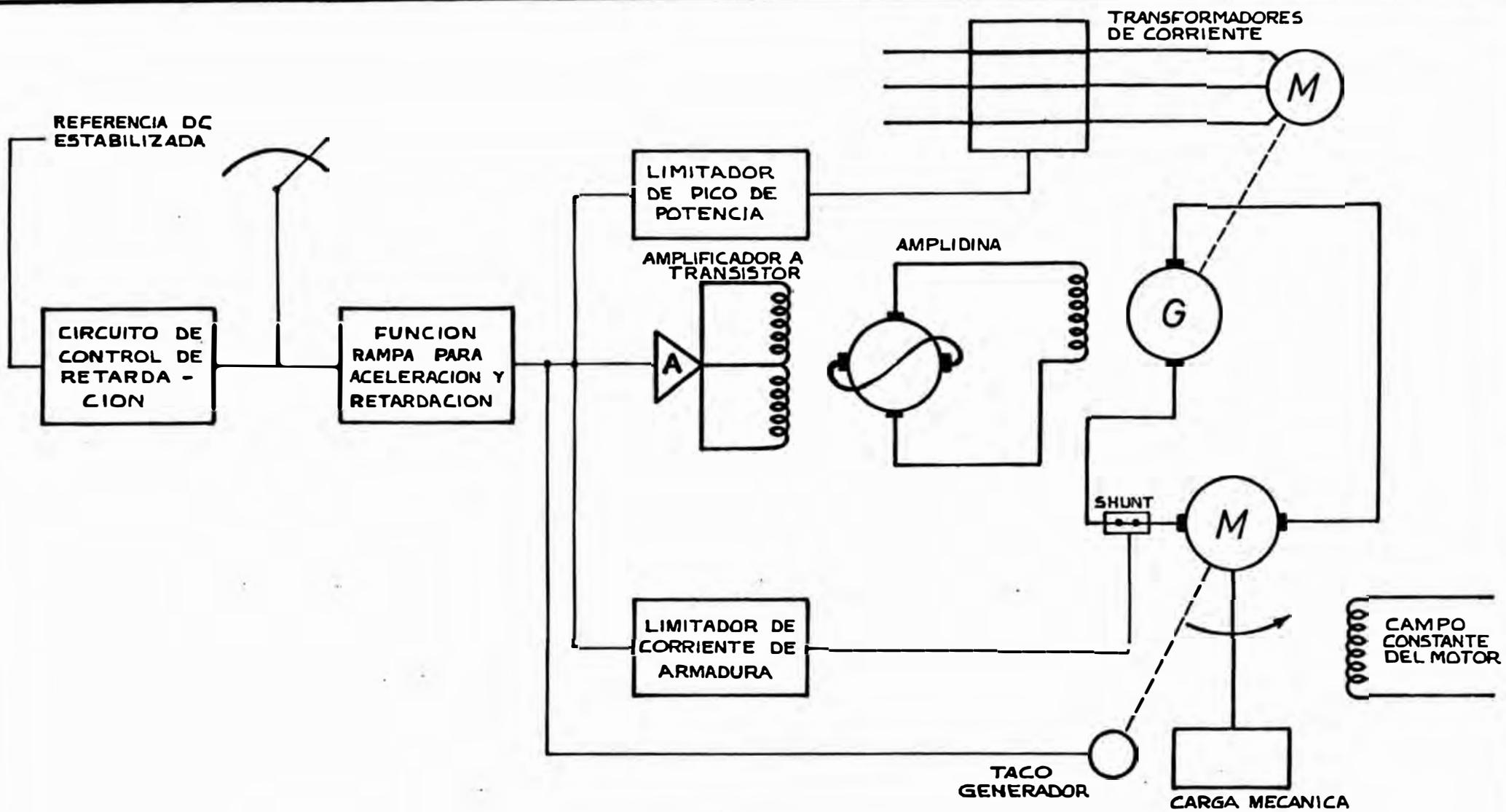


FIG-G-4

que si se excede la referencia la diferencia será absorbida por diodos de bloqueo y a la vez presente oposición a la referencia de máximo campo. Véase Fig. G3. Observe cómo de esta manera la corriente de campo del motor es reducido y así el campo limitado.

Como precaución de seguridad, un circuito reductor similar prevendrá cualquier excesivo crecimiento en el voltaje de armadura. En los arreglos normales un 5% de variación en el voltaje de armadura causará el campo en su rango de campo limitante.

La señal error de velocidad siempre controlará la corriente de armadura para producir el torque requerido, sin embargo en el rango de campo limitante, que controla el campo; indirectamente también se controla la velocidad.

Sólo como una referencia presento un esquema, hace algunos años muy usado, que usa un amplificador rotatorio AMPLIDINA Fig. G4, el cual es excitado por un amplificador a transistores. A este amplificador se le aplica la referencia a través de una unidad generador de rampa. La salida de esta unidad varía de acuerdo a una

razón constante a cambios repentinos en la entrada, y por consiguiente esta razón puede presentar la aceleración o retardación requerida.

#### Control Ward - Leonard Simulado con Campo Limitante.

Este sistema de control es muy similar al tipo WARD-LEONARD, excepto que el generador DC es reemplazado por tiristores en conexión cruzada. La Figura 65 nos muestra un arreglo para un sistema de corriente no circulante en el cual debe disponer de un circuito lógico para decidir cual conjunto de tiristores debe operar.

# CONTROL WARD-LEONARD SIMULADO

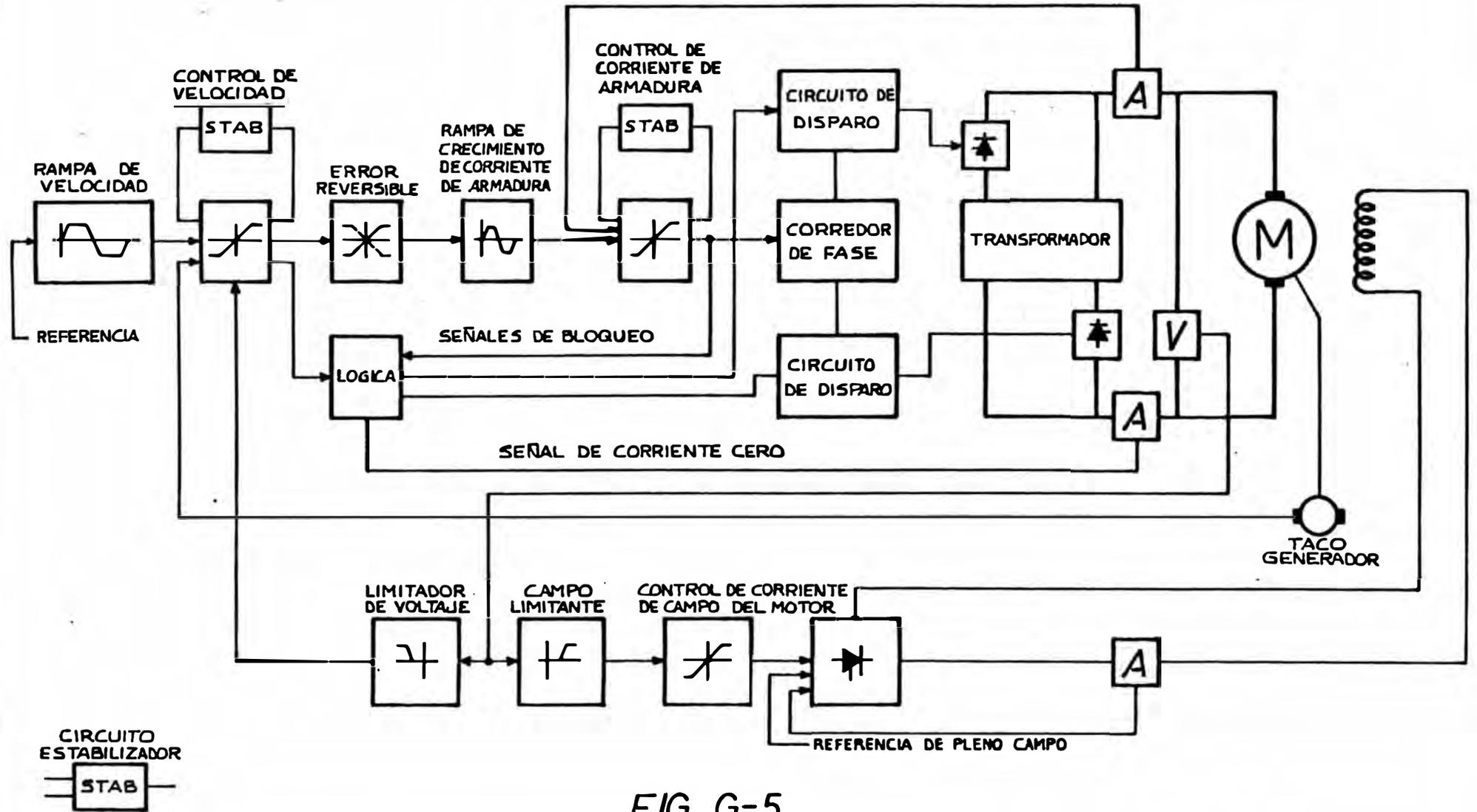


FIG. G-5

## 1.2.2 Aplicación de los Grupos Ward-Leonard en Trenes de Laminación.

### 1.2.2a Laminadores en caliente continuos.

Para obtener continuamente una elevada salida de material laminado, desde un laminador caliente continuo, el manto debe ser corrido a la mayor velocidad posible en todos los grupos laminadores; teniendo en consideración las variaciones de temperatura y tensión. El sistema de control para el impulsor de un grupo laminador y para los lazos entre grupos deben tener una respuesta rápida; con la finalidad de reducir el efecto de caída de velocidad por impacto. En el pasado los principales grupos impulsores usaban una barra de distribución; pero hoy en día se prefiere utilizar grupos individuales y entre los de mejores resultados tenemos el grupo Ward-Leonard y el de conversión a tiristores para medianas potencias.

#### Caída de la Velocidad por Impacto.

La elección del motor impulsor y el sistema de regulación es influenciada fuertemente por la caída de velocidad por impacto.

La demanda de torque del manto al rodillo no es conocida instantáneamente por el motor por dos razones. La primera es, el tiempo finito tomado para captarse las variaciones debido a la inercia de los rodillos y del impulsor. La segunda es el tiempo finito necesario para producir la corriente que el nuevo torque requiere, esto se debe a la inductancia del circuito de armadura.

Cuando no se tiene sistemas de control la caída de velocidad es del 4% al 8% de la velocidad base del motor impulsor. Recobrando el valor estacionario entre 1.5% al 2% a medida que la corriente de armadura se incrementa y el motor desarrolla un torque suficiente como para que sense la carga aplicada.

La caída por impacto produce amontonamientos de manto entre el grupo laminador donde el material está entrando y el grupo precedente; esto causa sobrecarga en los laminadores sucesivos y atoramientos en las calandrias.

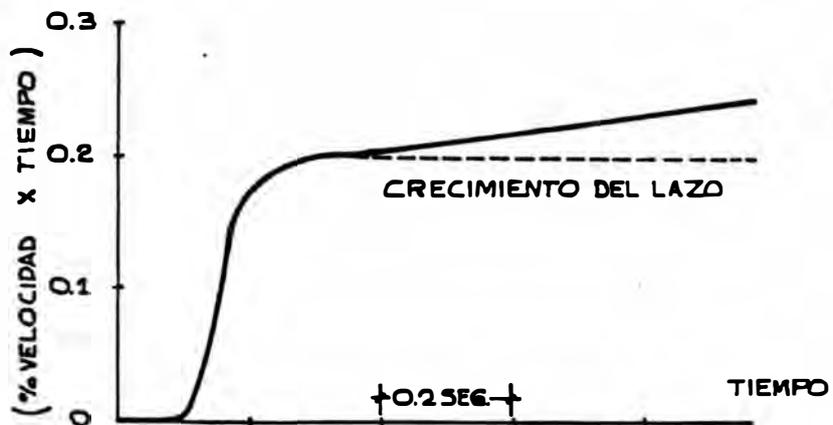
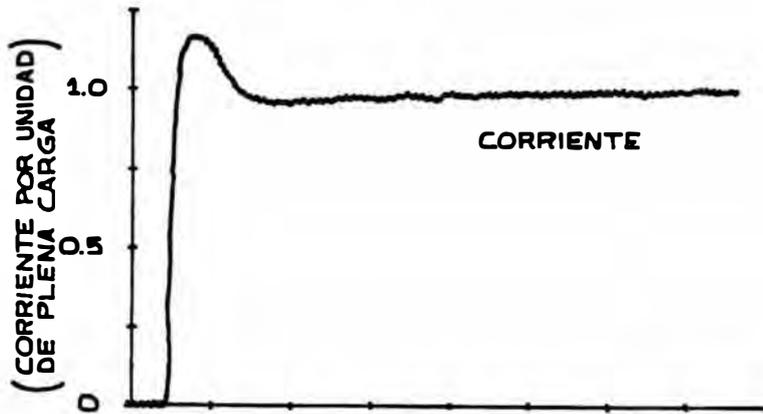
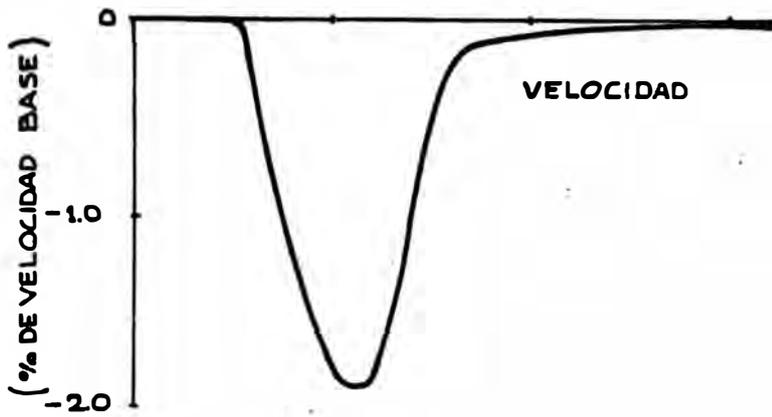
Un grave problema se presenta cuando la velocidad del impulsor no ha recuperado su valor estacionario final, entre laminas

dor y laminador se producirán fuertes tensiones que varían el espesor del laminado y algunas veces rompe el manto.

Donde las condiciones lo permitan, como por ejemplo entre grupos laminadores, se puede formar un lazo del manto el cual puede ser controlado y así poder asegurar que el manto no sufrirá tensiones.

La caída de velocidad por impacto es generalmente expresada en "% velocidad / tiempo" y se define como el área encerrada por la curva velocidad tiempo desde el tiempo del impacto hasta que la curva cruza el valor estacionario. Este valor es un índice de la "desviación del sincronismo" lo cual ocurre en el impulsor impactado con referencia al impulsor anterior.

La figura 1-2-b-1 muestra ejemplos de curvas obtenidas en base a estudios realizados con ayuda de un computador análogo durante el diseño de un sistema de control para un rodillo laminador con impulsores individuales, dando el sistema una regulación de velocidad en estado estacionario de 0.1%. El tiempo que tarda el sistema para que haya coincidencia de velocidades después del impacto a plena carga y a la velo



CURVAS OBTENIDAS DESDE UN COMPUTADOR ANALOGO DURANTE EL ESTUDIO DE LA RELACION ENTRE EL CAMBIO DE VELOCIDA. CORRIENTE Y CRECIMIENTO DEL LAZO BAJO CONDICIONES DE PLENO CAMPO.

FIG 1-2-b-1

cidad base es de 0.2 seg. que es bastante cercana a la velocidad límite.

La profundidad del lazo ó catenaria a las velocidades base y límite, es similar a la requerida para operación con reguladores de lazo, de los cuales trataremos más adelante.

TABLA 1-2-b1

Datos obtenidos desde un computador análogo sobre estudios de caída de velocidad por impacto y longitud resultante de un lazo entre un rodillo y el manto transportado.

Velocidad	Impacto %	Caída de velocidad por impacto $\frac{\% \text{ revoluciones}}{\text{minuto} \times \text{segundo}}$	Profundidad del lazo (pulgadas)	Profundidad de la catenaria (pulgadas)
60 velocidad base	1.8	0.190	0.76	7.0
120 velocidad límite	0.7	0.095	0.75	7.0

Estos datos fueron tomados en grupos laminadores situados a 14 pies uno del otro.

Para minimizar la caída de velocidad por impacto es necesario sistemas de muy rápida regulación; esto permitirá prevenir cambios bruscos de carga, fluctuaciones en la

unidad de poder y aumentos de temperatura en los bobinados.

Los sistemas por lo menos deben dar una regulación de velocidad a plena carga en estado estacionario al motor impulsor del orden del 0.10% de la velocidad base.

### Efectos de la Temperatura.

A medida que el manto pasa a través del rodillo su temperatura decrece y la parte posterior se enfría más que la parte frontal a medida que se produce el laminado. Este efecto es más pronunciado en rodillos de manto ancho debido a la gran superficie de radiación. Además es conocido que la velocidad desarrollada por el manto desde cualquier grupo laminador dado puede ser mayor que la velocidad periférica de los rodillos de trabajo debido al desplazamiento de material hacia adelante de la calandria. Se ha demostrado que el desplazamiento hacia adelante se incrementa a medida que la temperatura crece dentro del rango de temperatura de trabajo. Si, entonces, las velocidades de los impulsores se adecúan para tener en cuenta el desplazamiento frontal, un decrecimiento de temperatura del material puede oca-

sionar tensión en el manto entre dos grupos laminadores.

### Rangos de Velocidad.

El rango de velocidad de operación requerido en cada grupo laminador depende de la clase de rodillo. Para laminadores de manto puede ser de 1:5 y para laminadores discontinuos puede ser aún más alto. Desde que el rango de velocidades obtenibles para campos limitantes es generalmente no mayor que 1:3.5, alguno de los motores tendría que operar con un voltaje de armadura reducido para captar ciertos comportamientos del laminado.

#### 1.2.2b Fuente principal para los laminadores

En la mayoría de motores impulsores de rodillos laminadores, las tensiones de armadura son suministrados por generadores controlados por campo. Se acostumbra controlar el campo mediante tiristores cuyo sistema de disparo debe permitir una regulación de velocidad de alta ganancia que asegure una aceleración suave y que la velocidad de laminado se mantenga inalterable.

### 1.2.2b.1 Suministro Mediante Barra de Distribución Común.

Los motores se alimentan desde una barra de distribución común suministrada por un generador de campo controlado ó por convertidores a tiristores de alta potencia. Esto permite reducir el tamaño de las instalaciones ya que se puede aplicar a la barra diversos factores de carga.

Donde los productos son laminados requieren una "polea escalonada" a través del laminador más grande que puede ser suministrado por el rango disponible de campo limitante; si fuera necesario la alimentación de los motores debe ser hecha desde dos o más barras de distribución. Si esto no fuera hecho el ensanchamiento de la "polea escalonada" necesita que todos los motores estén operados a voltajes reducidos; esto por que se está sujeto a la velocidad del más lento. Muchos de los motores tienen que operar bajo condiciones de un campo débil, con una consecuente reducción de la capacidad de torque y un elevado efecto de impacto de carga conduciendo a mayores demandas en los sistemas de regulación.

En el caso de usar estaciones rectificadoras como el disparo es muy retardado; el factor de potencia es pequeño en la fuente de suministro.

La figura 1.2.b.2 muestra una disposición simplificada de un control de velocidad de un motor para una barra común que alimenta a un grupo de motores de otras estaciones laminadoras, donde la referencia de velocidad para el grupo es aplicado por medio de una rampa controlada comandada por un control maestro. La señal de referencia es luego llevada a un control individual para cada motor donde es comparada con la señal del motor, la señal de error se amplifica y se usa para controlar el disparo del tiristor del circuito de campo.

Un circuito común de control de voltaje ajusta y regula el disparo del tiristor del circuito de campo del generador para controlar el voltaje de la barra al valor deseado. Un punto saltante del esquema es el circuito discriminador, el cual asegura que el voltaje de la barra sea ajustado al valor más alto que sea posible y que satisfaga el requerimiento de velocidad del motor más lento. Esto asegura que todos los

# SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD MEDIANTE BARRA COMUN

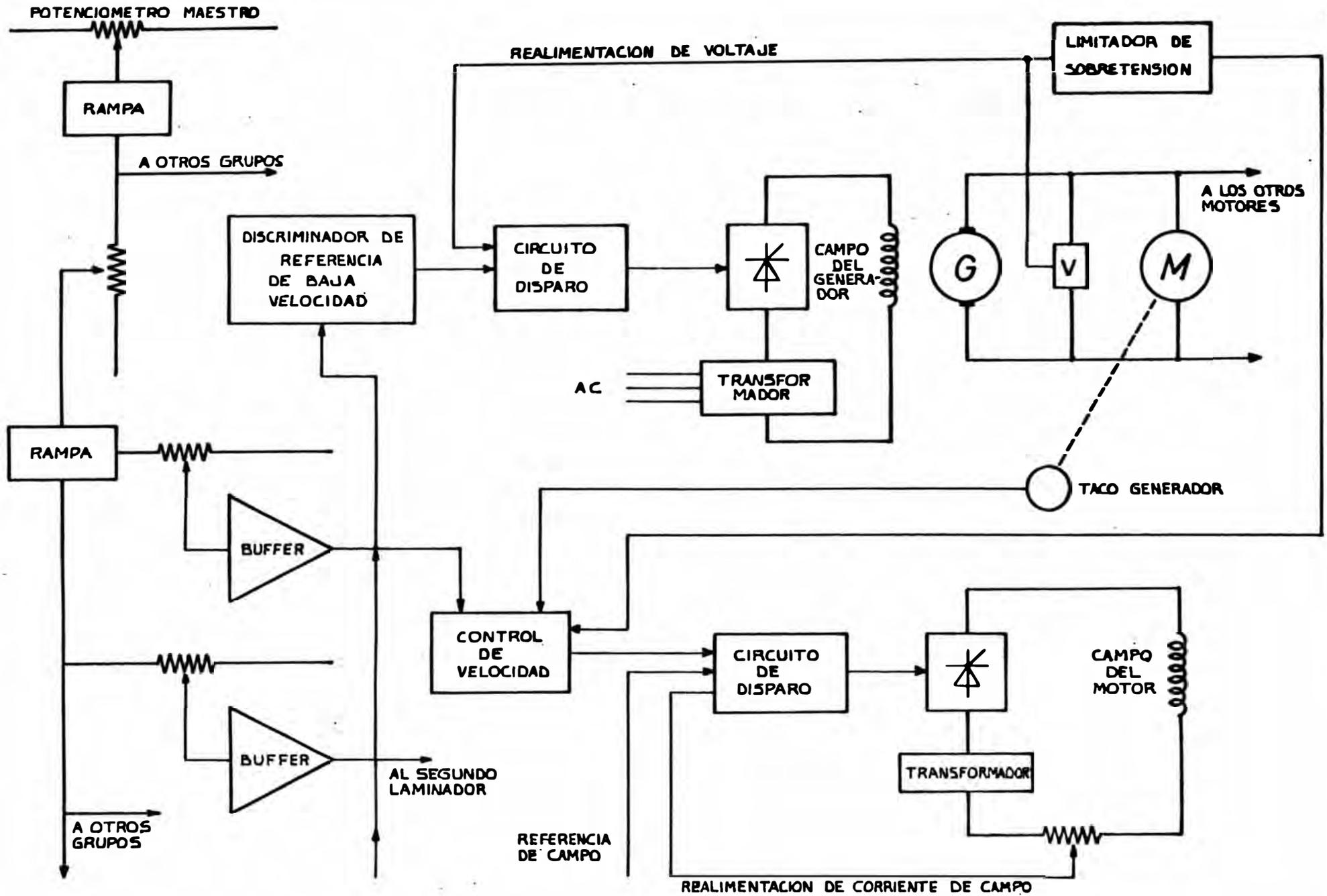


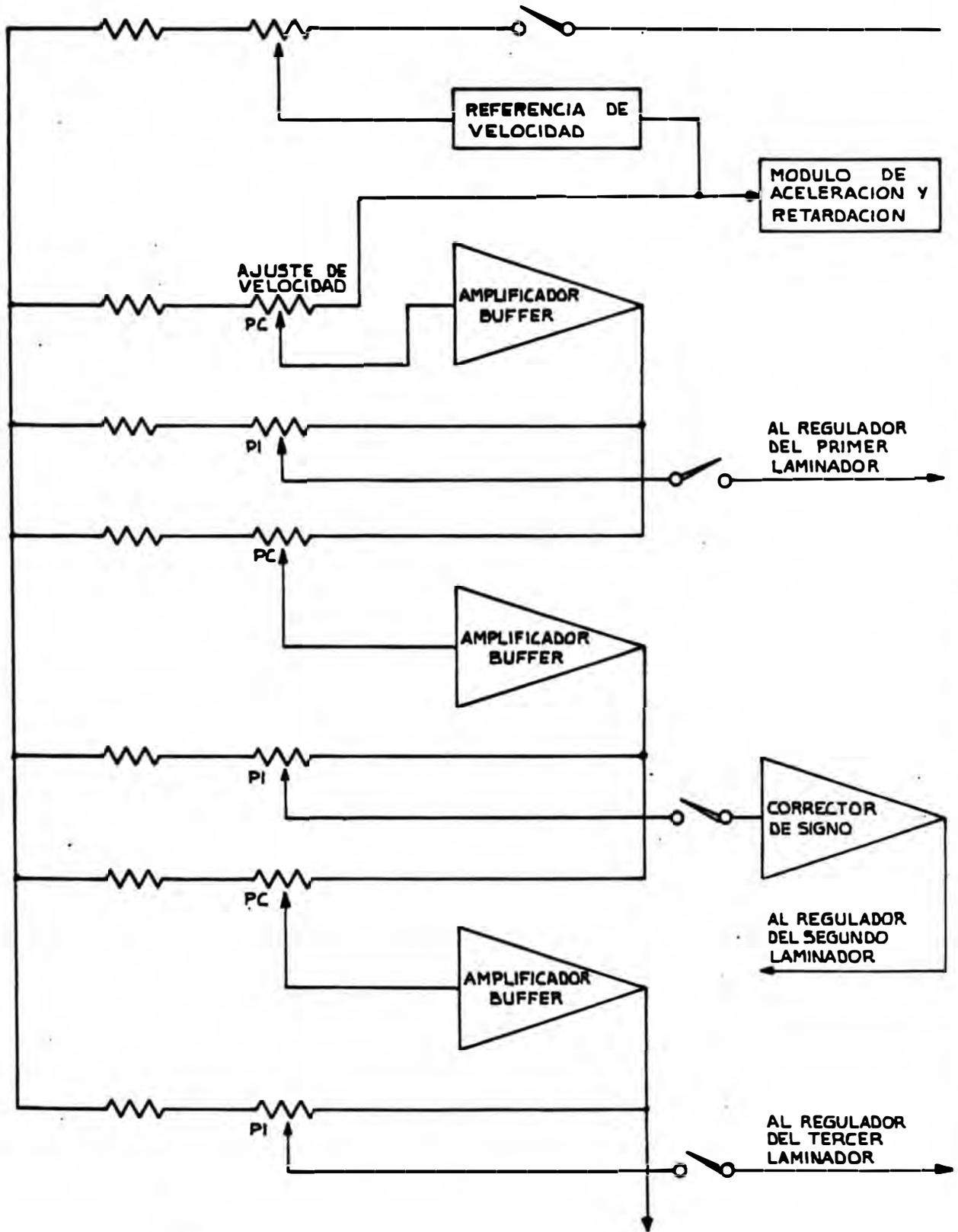
FIG. 1-2-b2

motores dentro del grupo operen bajo las mejores condiciones posibles de torque para velocidad seleccionada.

Una característica adicional que a veces es incluida es la posibilidad de cambiar el control de grupo/individual o viceversa. Con la finalidad de lograr el control en cascada tal como se aprecia en la figura 1.2.b.3. El control en cascada asegura que si el operador ajusta la velocidad de uno de los laminadores para corregir un lazo de manto; la velocidad de todas las estaciones serán ajustadas en una cantidad proporcional de tal forma que la relación correcta de velocidades sea constante.

Una facilidad adicional posibilita que la velocidad de cualquier estación pueda ser afectada sin afectar las otras unidades. Para la cual se usa realimentación negativa PI1, PI2, etc.

# CIRCUITO DE CONTROL DE REFERENCIA EN CASCADA E INDIVIDUAL



PC — POTENCIOMETRO REGULADOR A CASCADA  
 PI — POTENCIOMETRO REGULADOR INDIVIDUAL

FIG 1-2-b-3

### 1.2.2b.2 Alimentadores Individuales para Estaciones de Laminación.

La utilidad de pequeños grupos Ward-Leonard y tiristores con elevadas razones de crecimiento de voltaje permiten que muchas unidades de suministro para circuitos de campo y armadura sean más económicas.

El control básico de velocidad para un motor impulsor con suministro individual se muestra en la figura 1.2.b.4. La señal de realimentación es obtenida desde un taco generador preciso, siendo posible el control a pleno campo alrededor del 97% de la velocidad de base. En donde un sistema de campo limitante opera para controlar el motor a máxima velocidad (voltaje pleno de armadura y campo débil).

El control de velocidad en cascada puede ser aplicado individualmente a los alimentadores de los motores impulsores de un tren de laminación.

En los esquemas de barra individual y común el "sistema de control" es preferible que se haga en forma modular y que incluya formas sencillas de prueba o moni-

# CIRCUITO PARA CONTROL DE VELOCIDAD INDIVIDUAL

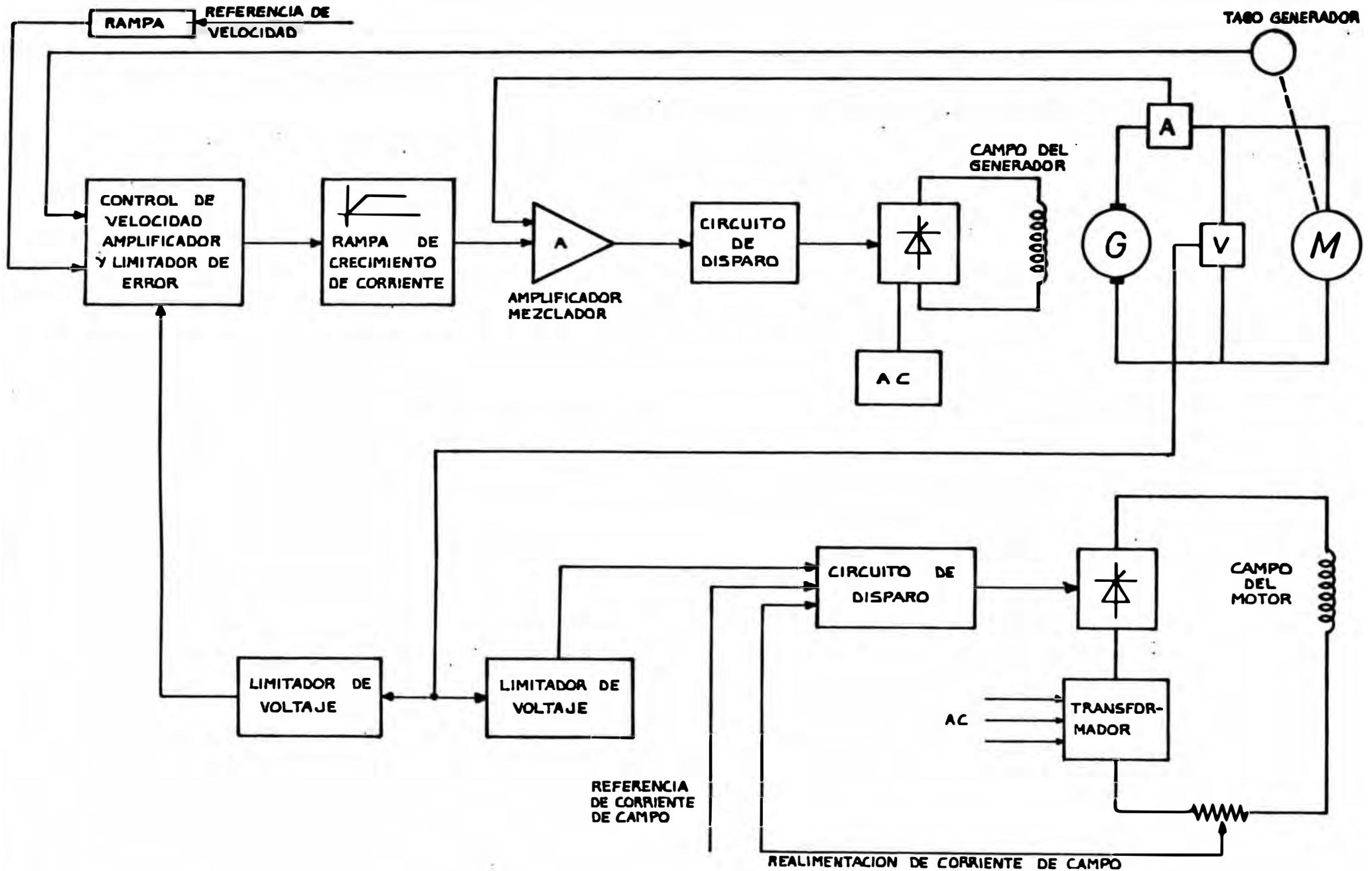


FIG. 1-2-b4

toreo. Además el sistema debe permitir el ajuste de parámetros tales como voltaje y corriente límite, etc.

Todos los rodillos de esta clase son normalmente no reversibles; aunque la inversión puede hacerse con un voltaje de campo inverso.

Cuando se use alimentador de armadura mediante tiristores es necesario colocar en paralelo a la armadura del motor resistencias que absorban los voltajes inducidos inversos.

#### 1.2.2c Control de Lazo.

A menudo se introduce un lazo ó catenaria entre dos estaciones de laminación, lo cual asegura la no presencia de tensiones sobre el manto; originado principalmente por variaciones de temperatura e impacto de carga. En toda la línea de laminación se usa varios controles de lazo; pero básicamente todos tienen el mismo principio. Un sistema explorador el cual detecta la variación en la profundidad de la catenaria desde una referencia prefijada que actuará sobre el control de velocidad del motor hasta llevarlo a su velocidad correcta y posición correcta de la catenaria.

### 1.2.3 Aspecto Teórico para la Automatización de Laminadores Calientes.

Cuando se desea aplicar cualquier tipo de control a los sistemas de laminación por rodillos calientes debe tenerse un entendimiento cabal del funcionamiento o proceso, con este fin se tratará de explicar en una forma sencilla el fenómeno de laminación.

#### Fuerza de Separación de los Rodillos Laminadores

Los valores de la fuerza de separación en los sistemas laminadores de rodillos calientes pueden ser tan altas como de 5 mil toneladas. Además esta fuerza produce dos efectos principales denominados elongación elástica hacia adentro y alargamiento de rodillos. El primero de estos efectos se muestra en la Figura 1.2c.1 la cual indica que una carga de mil toneladas origina una deflexión en el centro de los rodillos la cual puede ser evaluada considerando los rodillos como si fueran vigas empotradas en cada extremo y uniformemente cargadas sobre el ancho del manto de trabajo. Una posible expresión pa .

ra el cambio en el espesor  $h$  de la línea central es:

$$\Delta h = \frac{2BP(4L^3 - 2B^2L)}{3WE(D_W^4 + D_B^4 + 4D_W^2 D_B^2 (D_W + D_B)^2)} + \frac{5PBL}{2WE(D_W^2 + D_B^2)} \quad (1)$$

donde  $B$  es el ancho del manto,  $L$  la longitud del rodillo,  $D_B$  y  $D_W$  son los diámetros en el extremo y en el centro del rodillo,  $P$  es la fuerza de separación por unidad de área del manto y  $E$  el módulo de Young.

La relación de laminado  $S$  de la parte vacía del rodillo al espesor de la línea central de medida es:

$S = h -$  (alargamiento de rodillo + flexión de rodillo) aunque esta ecuación ha tenido que ser modificado para permitir una mayor expansión a los rodillos debido al calentamiento y decrecimiento de sus dos

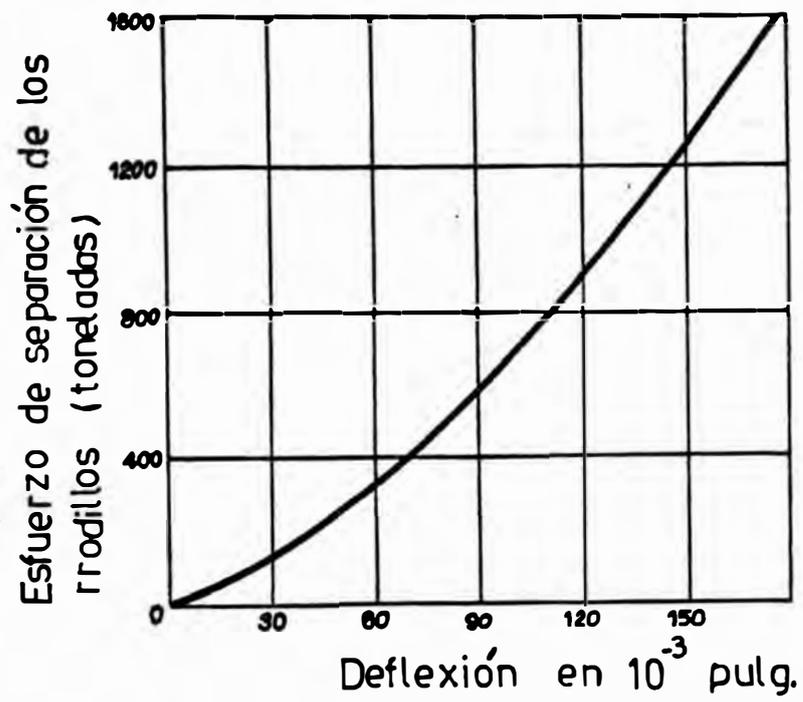


FIG 12-c-1

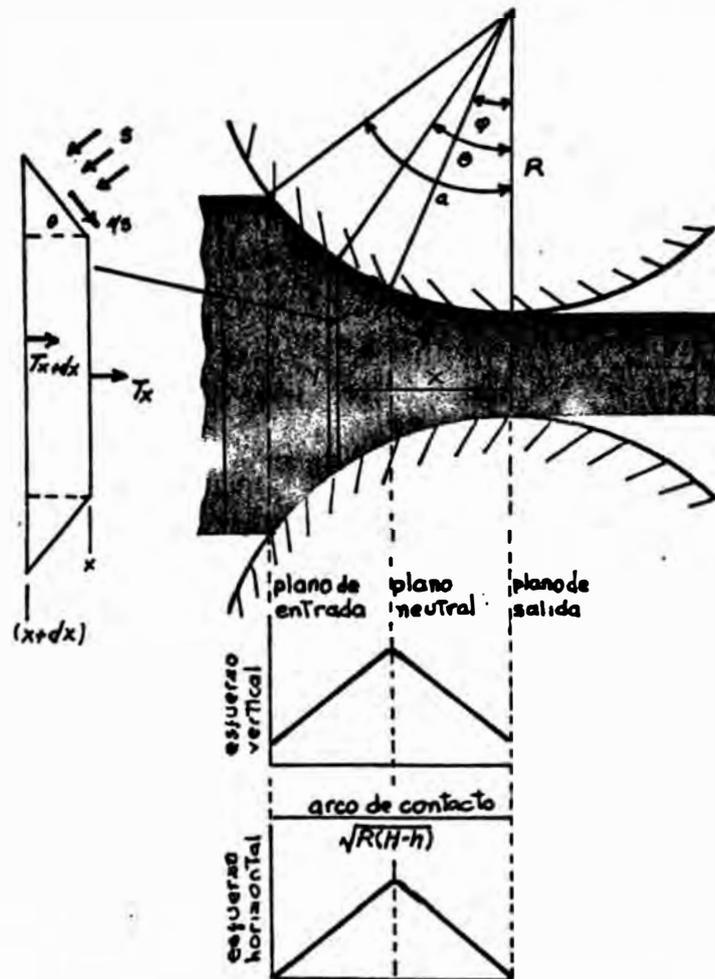


FIG 12-c-2

diámetros debido al desgaste. Es muy importante calcular la fuerza del rodillo para poder evaluar el porcentaje de laminación; con lo cual puede obtenerse un espesor correcto cuando el sistema laminador está cargado.

El método de cálculo de la fuerza y torque del rodillo descrito por SIMS, basado en el ábaco de O-ROWAN es ampliamente usado con este fin. Esta técnica da buenos resultados en lo que corresponde a mecanismos de rodillos calientes, la cual será expuesto en este acápite.

El pasaje del material entre los dos rodillos se ilustra en la Figura 1-2-c2. Si consideramos el manto en dos segmentos verticales: a medida que cada segmento pasa entre los rodillos son comprimidos verticalmente y se expanden en la dirección del movimiento de los rodillos. Debido a expansión los segmentos tienden a estrecharse a la salida de la superficie del laminador. Cerca del plano de entrada los segmentos son comprimidos de atrás hacia adelante y cerca del plano de salida ellos son comprimidos de adelante hacia atrás. Algo cerca de la mitad del arco de contacto existe un plano neutro donde se produce un cambio de dirección de la fuerza horizontal.

Si  $T$  es la fuerza total horizontal por uni

dad de área del manto que actúa a través del plano vertical a una distancia  $X$  del plano de salida. La fuerza insertada a un segmento de ancho  $dx$  situado a una distancia  $X$  está dada por:

$$T_x - T_{x+dx} = -\frac{dT}{dx} dx \quad (3)$$

Esta fuerza se equilibra con las componentes horizontales de las fuerzas de fricción y la presión normal ejercida por los rodillos en las partes superior e inferior del material. La superficie superior o inferior por unidad de ancho del segmento es  $\frac{dx}{\cos \theta}$  (Fig. 1-2-c2) y la componente horizontal debido a la presión normal de los rodillos es:

$$2S \operatorname{sen} \theta \frac{dx}{\cos \theta} = 2S \operatorname{tg} \theta dx \quad (4)$$

La componente horizontal de la fuerza de fricción que actúa arriba y abajo del segmento es:

$$\pm 2NS \cos \theta \frac{dx}{\cos \theta} = \pm 2NS dx \quad (5)$$

El signo positivo se aplica cuando la fricción actúa sobre el manto en una dirección en que  $X$  disminuya y el signo negativo cuando el manto está entre el plano neutro y el plano de entrada.

Por lo tanto la condición de equilibrio es:

$$\frac{dT}{dx} dx + 2S \operatorname{tg} \theta dx \pm 2NS dx = 0 \quad (6)$$

$$\delta \quad \frac{dT}{dx} = 2S (\operatorname{tg} \theta \pm k)$$

Pero como  $X=R \text{ sen } \theta$ ; donde  $R$  es el radio del rodillo:

$$\frac{dT}{d\theta} = 2RS \cos \theta (\text{tg} \theta \pm \mu) \quad (7)$$

Para los ángulos de consideración podemos aproximar:

$$\cos \theta \approx 1 \quad \text{y} \quad \text{tg} \theta \approx \theta; \quad \text{luego:}$$

$$\frac{dT}{d\theta} = 2RS\theta \pm 2RS \mu \quad (8)$$

Se puede demostrar que si  $K$  es el esfuerzo de la fuerza de compresión con la parte lateral inhibida en una dirección, entonces el esfuerzo en un corte neto es  $K/2$ . Si el esfuerzo de fricción  $\mu S$  llegara a exceder el rendimiento del esfuerzo en corte, la fricción entre rodillos y el manto no puede evitarse debido a que el material colabora en exceder el esfuerzo de corte. . Desde que esto implica una fricción por adhesión del material a los rodillos existe una evidencia experimental para mostrar que esto ocurre sobre casi todo el arco de contacto en el rodillo caliente. Asumiendo que  $\mu S=K/2$ .

La ecuación 7 se convierte en:

$$\frac{dT}{d\theta} = 2RS\theta \pm RK \quad (9)$$

Del trabajo de Prandtl y Nadai sobre distribución de fuerzas en material comprimidos entre

dos placas inclinadas, OROWAN derivó la siguiente relación:

$$T = y (S - \frac{\pi}{4}k) \quad (10)$$

En las ecuaciones 8 y 9 hay dos incógnitas: la fuerza total T y la presión normal S sobre los rodillos de trabajo. En 1954 Sims publicó una solución para S derivada de estas ecuaciones en la forma siguiente:

$$\frac{S^+}{K} = \frac{\pi}{4} \ln (y/h) + \frac{\pi}{4} + \sqrt{\frac{R}{h}} \operatorname{tg}^{-1} \sqrt{R/h} \quad (11)$$

$$\frac{S^-}{K} = \frac{\pi}{4} \ln (y/h) + \frac{\pi}{4} + \sqrt{\frac{R}{h}} a - \operatorname{tg}^{-1} \sqrt{R/h} \quad (12)$$

donde los signos (+) y (-) tienen el mismo significado que los signos de la ecuación 5. La fuerza P de separación de los rodillos en términos de toneladas por pulgada de ancho del material fue hallado integrando la presión del rodillo sobre el ángulo subtendido por el arco de contacto en el centro del rodillo; la expresión resultante es:

$$P = k \sqrt{R^{1-\delta}} Q_P \left( \frac{R^1}{h}, r \right) \quad (13)$$

donde  $\delta$  es el cambio (H-h), y

$$Q_P \left( \frac{R^1}{h}, r \right) = \left[ \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{1-r}{r}} \operatorname{tg}^{-1} \sqrt{\frac{r}{1-r}} - \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{1-r}{r}} \sqrt{\frac{R^1}{h}} \ln \frac{Y}{h} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1-r}{r}} \sqrt{\frac{R^1}{h}} \ln \frac{1}{1-r} \right]$$

en la cual la reducción es  $r = \frac{H-h}{h}$  y  $Y$  es el espesor del material en el plano neutro.

El radio del rodillo deformado  $R^1$  es usado en lugar de  $R$  en la ecuación 12; desde que es necesario tener en cuenta una tolerancia para la deformación elástica de los rodillos en operación bajo carga. Su relación basada en la distribución de Fuerza elíptica del rodillo sobre el arco de contacto es:

$$R^1 = R \left( 1 + \frac{qP}{\delta} \right) \quad (14)$$

La ecuación 12 contiene el factor  $K$ , el principal esfuerzo, el cual proporciona la tensión, esta razón de tensión y temperatura para cualquier composición de acero dado también está incluido en la ecuación 12. Los valores del esfuerzo han sido medidos experimentalmente sobre una leva plástica medidora para varios grados de acero sobre un adecuado rango de compresión, La razón de compresión y temperatura y estos resultados experimentales, combinados con algunos artificios de la ecuación 12 para simplificar las operaciones han sido publicados por Cook y Mc Crum para facilitar un método de la fuerza de laminación. Dado que esta técnica es dependiente de una gran cantidad de datos experimentales y la forma de la ecuación es inapropiada para el modelo matemático normal o en línea. Sin embargo, si

se usa como una base para el desarrollo de una técnica viable, el uso de datos experimentales como una integral por partes del cálculo puede ser eliminada tanto como sea posible.

Las ecuaciones han sido derivadas en términos de  $r$ ,  $\sqrt{r}$ ,  $r/h$ , la velocidad de trabajo del laminador tomando como base la razón de velocidad  $N/N_b$ , la razón de compresión a la base de velocidad  $k_b$  y la temperatura de la pieza de trabajo o manto  $\mu_n$ . Hay un número de constantes numérica y también un factor medido durante los primeros desarrollos sobre laminadores, los cuales permiten adaptar una ecuación a las propiedades de laminación de vinílicos y metalurgia. La evaluación de las constantes numéricas es llevada a cabo por múltiples retrocesos sobre los datos obtenidos desde los resultados sobre la superficie del laminador.

Sims ha derivado un método para calcular el torque de laminador mediante consideración de las fuerzas periféricas en el "orificio" laminante del rodillo, y la expresión resultante es de una forma similar a la obtenida para la fuerza de laminación; ( $\gamma'$  es muy inapropiada para usarla).

La alternativa es conocida como el método "brazo de palanca", el principio del cual se ilustra en la Figura 1-2-c3. El torque de

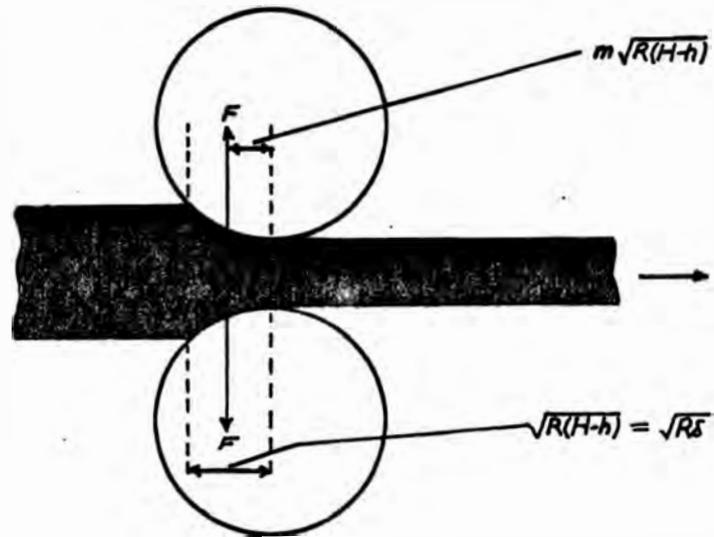


FIG. 12-c-3 Diagrama que muestra el concepto de "Brazo de palanca"

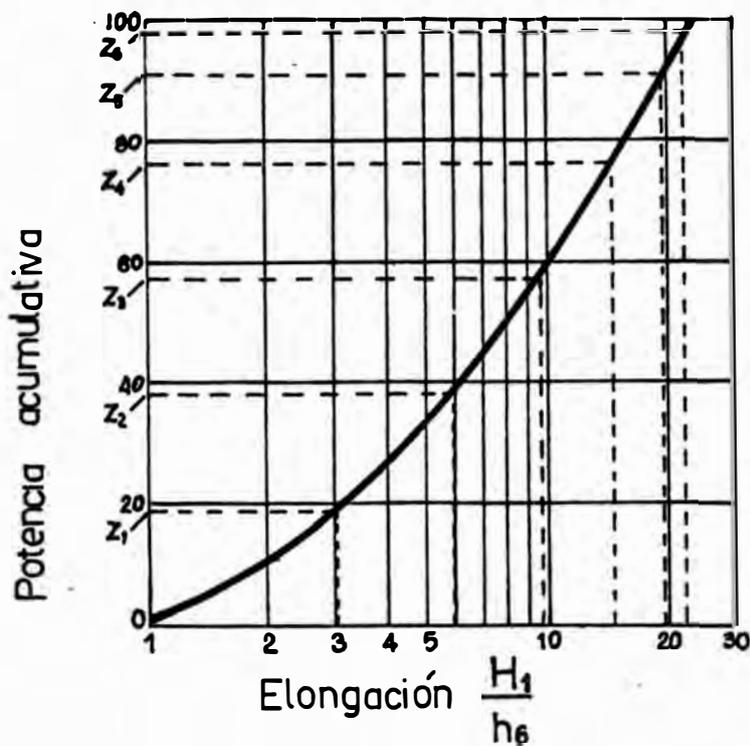


FIG. 12-c-4 Curva típica de potencia acumulativa que presenta la distribución para seis estaciones laminadoras

laminación puede ser expresado en términos de la fuerza  $F$  de separación de los rodillos actuando sobre un brazo de palanca; el cual es una fracción  $m$  del arco de contacto. El torque total es:

$$2F m \sqrt{R(H-h)} = 2Fm \sqrt{R \delta} \quad (15)$$

El valor del factor del brazo de palanca es del orden de 0.4, sin embargo los resultados de una investigación experimental da una expresión para  $m$  en términos de  $R$ ,  $R^1$ ,  $H$  y los constantes numéricas; las cuales son evaluadas por análisis regresivo.

Hay otro método para conocer la fuerza y torque laminador. Esta es basada en la premisa de que la cantidad de energía es requerida para un efecto de reducción dada, con una temperatura y velocidad dada desde cualquier entrada adelgazante es una constante para un manto dado. La unidad de energía usada es HP horas por tonelada. El método básico ha sido usado durante muchos años en las especificaciones de impulsores de rodillos, sin embargo una aproximación más detallada es necesario para obtener la exactitud para la mejor impulsión de los rodillos. Los HP horas por tonelada requerido para un efecto de reducción desde  $H_n$  hasta  $h_n$  está dado por:

$$Z = \frac{1.58 FMR (H-h)}{Bhr (1+f)} \quad (16)$$

donde  $f$  es el deslizamiento. Esto se dá en términos de la fuerza de laminación y por lo tanto su valor varía con la temperatura. Un proceso de evaluación teórica similar al seguido para las ecuaciones de la fuerza de laminación permitirá obtener una forma apropiada de la ecuación.

Aunque este método es aplicable a un simple conjunto laminador, éste es particularmente extendible a múltiples estaciones laminadoras. La Figura 1C4 muestra una curva acumulativa de HP hora por tonelada ploteada para seis estaciones de laminación, la potencia total requerida para producir un adelgazamiento desde  $H_1$  hasta  $h_6$  es  $Z_6$ . La velocidad final del rodillo puede ser determinada mediante consideraciones del descenso de temperatura requerido, y una expresión para las toneladas por hora en cada unidad, que es bastante apropiada.

$$19.3 \rho B h v \text{ toneladas/hora} \quad (17)$$

donde  $\rho$  es la densidad y  $v$  la velocidad del material. El producto de las toneladas por hora y los HP horas por tonelada es la potencia en HP para cualquier estación; y si la velocidad es conocida el torque también es posible determinarlo.

## Temperatura.

Se ha demostrado que la temperatura del material es un factor muy importante en el cálculo de la fuerza de laminación. En las placas de laminación las piezas de trabajo pueden ser mayores de 18 pulgadas de grosor y, siendo la razón de propagación de calor, dentro de la pieza, bajo comparado con la razón a la cual el calor puede perderse. Es muy importante tener un método de cálculo para hallar la temperatura media del manto procesado. La distribución de la temperatura a través del manto puede ser tomada de los cálculos.

Durante el proceso de laminación el calor se pierde por radiación y convección, y por contacto con el rodillo frío. El manto gana calor durante su pase por el arco de laminación. También existen grandes pérdidas por radiación a la atmósfera; la razón de pérdida de calor por unidad de área es:

$$\frac{dQ}{dt} = \epsilon \sigma (\mu_s^4 - \mu_A^4) \quad (18)$$

donde  $\epsilon$  es la emisividad,  $\sigma$  la constante de Stefan y  $\mu_s$  y  $\mu_A$  son la temperatura de la superficie y del ambiente respectivamente.

La ecuación que describe el flujo de ca -

lor en un cuerpo sólido es:

$$\frac{K}{\rho c} \left( \frac{\delta^2 \mu}{dx^2} + \frac{\delta^2 \mu}{dy^2} + \frac{\delta^2 \mu}{dz^2} \right) = \frac{d\mu}{dt} \quad (19)$$

donde K es la conductividad térmica y c el calor específico. Como se aprecia el estudio del calor en un punto  $\mu(x, y, z, t)$  es muy difícil por lo cual se ha desarrollado un método que a continuación describo. Sabiendo que la longitud del manto es mayor que su espesor, el gradiente de temperatura en los extremos es despreciable. Si consideramos una cinta en el manto. Esta puede dividirse en un gran número de segmentos discretos y además puede asumirse que la temperatura en cada uno de ellos es constante.

En los cálculos de la fuerza de separación de los rodillos era necesario la temperatura del manto dentro del laminador. Si consideramos una sección de ancho unitario B y espesor h. La razón de cambio de la temperatura media es dada por:

$$\frac{d\mu}{dt} = \frac{2 \epsilon \sigma (\mu_S^4 - \mu_A^4) (B+h)}{\rho c h B} \quad (20)$$

La Figura 12-c5 muestra e ilustra que la relación de pérdidas de calor en términos de  $\epsilon \sigma (\mu_S^4 - \mu_A^4)$  contra la temperatura  $\mu_S$  es aproximadamente lineal sobre el rango de temperatura

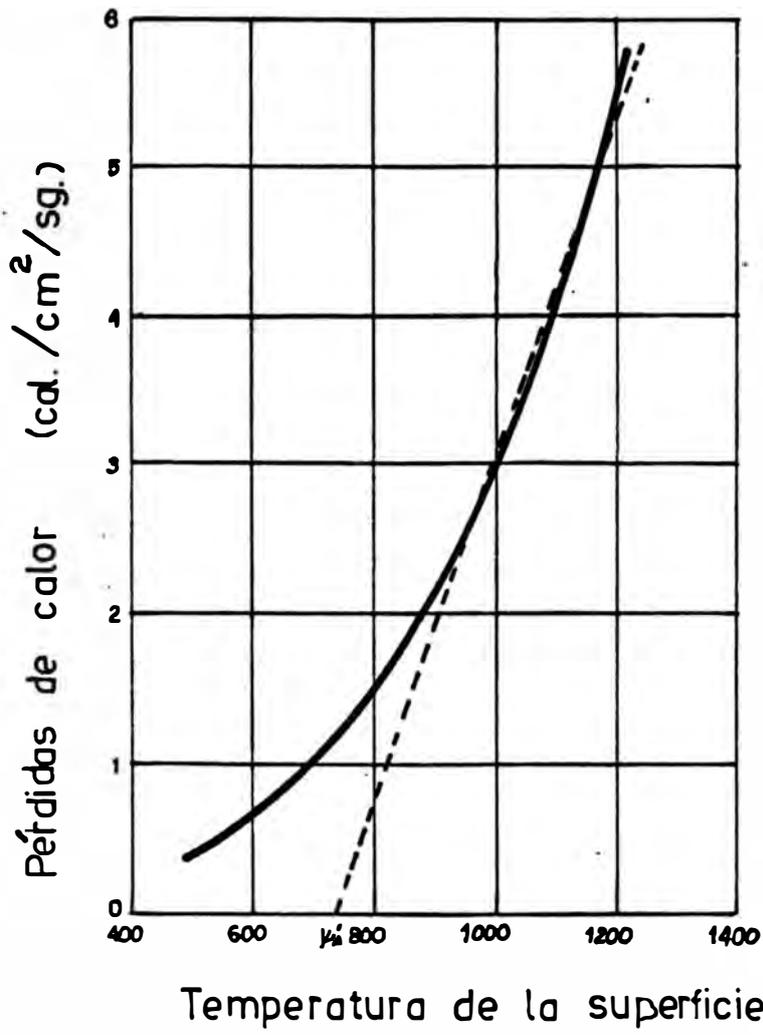


FIG 12-C-5

del rodillo caliente. Además se puede reemplazar las pérdidas de radiación por  $G(\mu_s - \mu'A)$  donde  $\mu'A$  es una pseudo temperatura ambiente y  $G$  un pseudo coeficiente de transferencia de calor. La ecuación 19 ahora puede simplificarse:

$$\frac{d\mu}{dt} = \frac{2G (\mu_s - \mu'A)(B+h)}{\rho chB} \quad (21)$$

cuya solución es

$$\mu = \mu'A + (\mu_0 - \mu'A) \left[ \frac{1 - G_1 t(B+h)}{\rho chB} + \left( \frac{G_2 t(B+h)}{\rho chB} \right)^2 \right] \quad (22)$$

Esta solución es válida para una temperatura media después de  $t$  segundos desde un valor inicial  $\mu_0$ . Los valores de  $\mu'A$ ,  $G$ , y  $G_2$  se hallarán por cálculos regresivos.

La ganancia de calor debido al trabajo hecho durante el pasaje del material durante el laminado se asume que produce un aumento uniforme de temperatura. El tiempo que toma cualquier segmento del manto para viajar através del laminador es:

$$\sqrt{\frac{H-h}{R}} \cdot \frac{60}{2N} \text{ segundos}$$

y el volumen contenido dentro del laminador es:

$$B \sqrt{R(H-h)} \left[ \frac{1}{2}(H-h) \right] \text{ pulgadas cúbicas.} \quad (23)$$

de aquí obtenemos:

$$\Delta\mu = \frac{179 \times H.P}{RBN(H+h)} \text{ } ^\circ\text{C}$$

## Velocidad.

Aunque la velocidad es obviamente un parámetro muy importante en el sistema de control de rodillos, su cálculo es directamente comparado con la fuerza de separación, torque y temperatura.

Hay dos limitaciones, en el caso general, sobre la máxima velocidad de paso del manto en el rodillo. La primera es debido a los factores que gobiernan las velocidades de entrada y salida. Las condiciones en la entrada imponen un límite sobre la velocidad de ingreso entre rangos entre la mitad y la base completa de velocidad. La velocidad de salida puede ser la máxima a la cual el manto puede ser invertido y reingresado a la apropiada velocidad de entrada en aproximadamente el tiempo requerido para cambiar la dirección del laminador.

La segunda limitación se debe al decrecimiento del torque de la unidad impulsora alrededor de la velocidad base. Los modernos laminadores poseen impulsores con aceleración gradual que implica una "aceleración" gradual de torque.

La máxima velocidad puede ser escogida considerando la más baja de estas dos limitaciones.

Es muy importante que la temperatura en el rodillo sea mantenida dentro de los límites que especifican las normas de producción de pisos; además puede observarse que todas las relaciones de temperatura son dependientes de la velocidad.

#### 1.2.4 Esquema de Control Propuesto para el Control de Velocidad en la Línea de Producción.

El esquema propuesto, Fig. 1-2-d, como puede observarse aprovecha las ventajas de los sistemas antes descritos.

Este sistema Ward Leonard opera de la siguiente manera: La velocidad del motor M depende de la tensión de armadura que proporciona el Generador G.

En este sistema la corriente de campo depende de la referencia impuesta, la cual es procesada en un circuito que limita la aceleración o retardación con el fin de que al exigirse un elevado torque en la máquina, el campo del motor no se vea reforzado súbitamente.

La señal error de velocidad básicamente está determinada por la diferencia entre la señal de referencia y la señal de realimentación de velocidad; además de una señal de realimentación proporcional a las variaciones de tensión de campo.

# SISTEMA WARD-LEONARD PROPUESTO PARA CONTROL DE VELOCIDAD EN LAMINACION DE PISOS VINILICOS

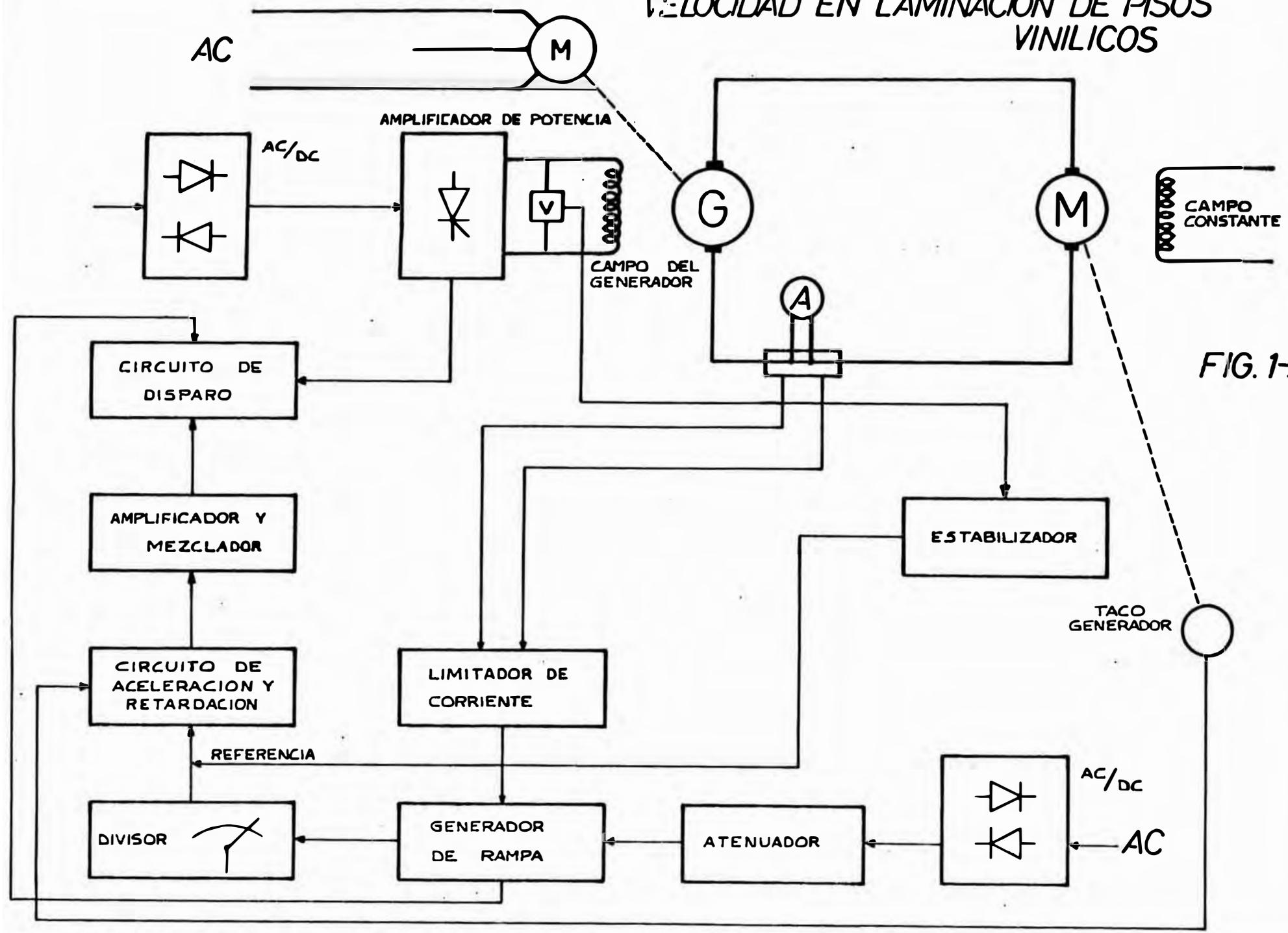


FIG. 1-2-D

Con el fin de evitar una excesiva corriente se dispone de un circuito limitador de corriente que toma la muy pequeña tensión de los bornes de un amperímetro; la amplifica y la compara con la corriente máxima del circuito rampa. Si la corriente de armadura crece al orden del 15% ó 20% de sobrecarga el limitador de corriente pondrá en derivación el circuito rampa; es decir la referencia empezará a disminuir.

Si la referencia decrece entonces se considera que el campo se está limitando.

Cuando la corriente de armadura alcanza un 40% de sobrecarga el circuito limitador de corriente debe anular la salida del generador de Rampa. Por lo tanto la corriente de campo del generador quedará anulada. De igual forma la tensión de armadura será llevada al mínimo conjuntamente con la velocidad del motor M.

Los circuitos de mezcla, de disparo, etc trabajan con muy bajas potencias a excepción del bloque amplificador de potencia que es en sí la unidad de poder para excitar el campo; éste básicamente para nuestro caso es un circuito a tiristor.

El esquema mostrado no posee control de corriente de campo; para las potencias de trabajo, alrededor de 100 HP, es más conveniente enclavar el campo del motor a un valor constante.

No se recomienda limitador de picos de potencia ya que las corriente no son muy elevadas, en otras palabras trabajamos con máquinas pequeñas.

El Circuito Estabilizador en sí es una red RC que toma muestras de tensión de campo. y transmite las variaciones como una señal de realimentación negativa para compensar el campo y obtener un mejor índice de control de la velocidad.

Se aclara que el uso del sistema Ward - Leonard en nuestro caso es debido a la gran cantidad de impactos presentes en el proceso de laminación. Otra razón es la de su existencia como grupo antes de aplicar el sistema automático.

## C A P I T U L O    I I

### DISEÑO DEL CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO

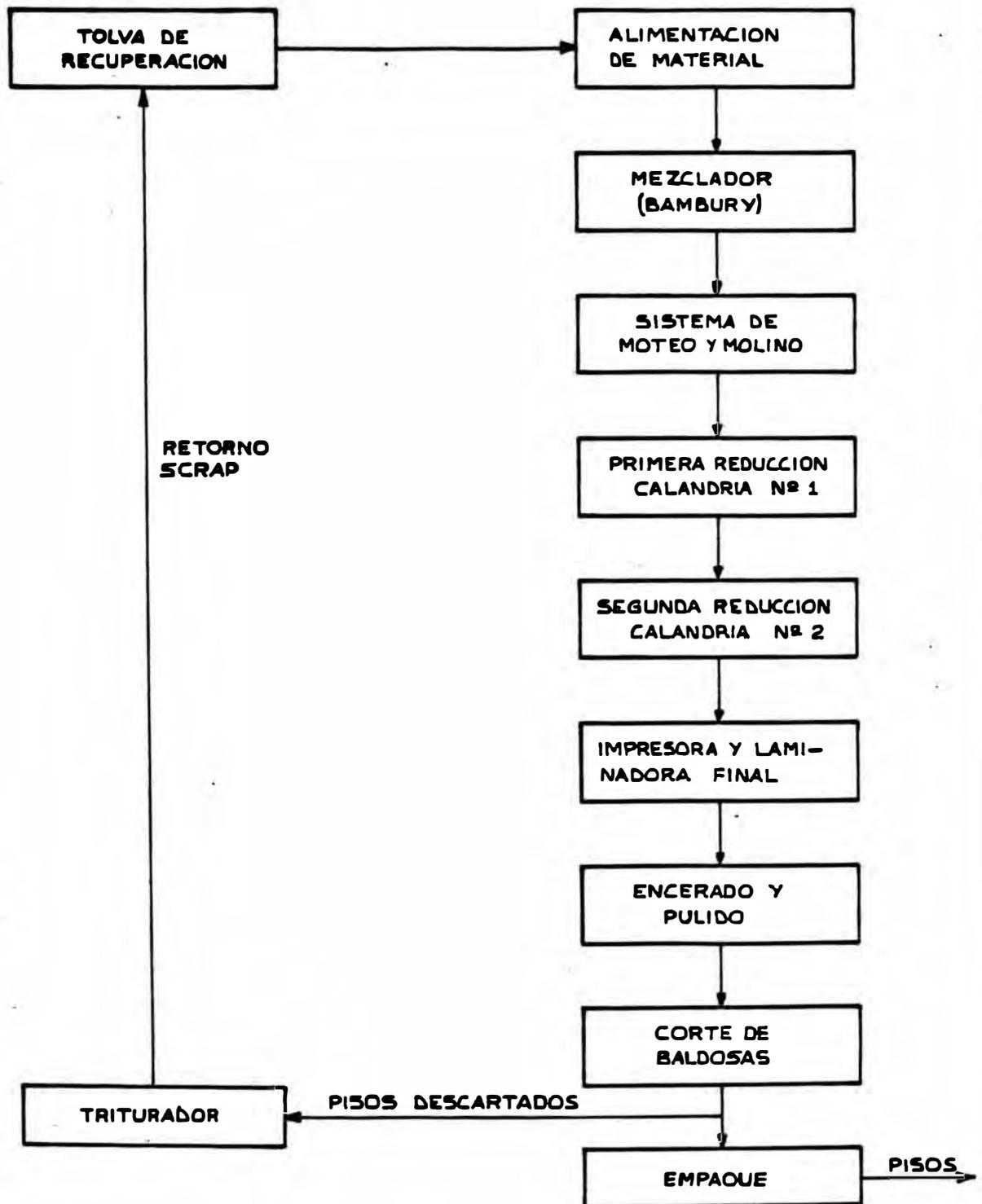
#### 2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE PRODUCCION - CARACTERÍSTICAS

En nuestro diagrama se puede apreciar el bloque alimentador de material; el cual está controlado por una balanza Howe Richardson; que pesa "scrap" y descarga sobre un balde; luego se posee un depósito; mezclador de resina, asbesto, plastificante y tintes; llamado "blender" el cual descarga sobre su transportador que descarga sobre una balanza Toledo la cual posee un control electrónico de pesado, diseñado de acuerdo con todo el conjunto. La balanza Toledo posee un pequeño transportador que descarga el material sobre un balde.

Una vez que se ha cargado el balde se deposita la masa en el mezclador donde es calentada a vapor y convertida en una masa compacta mediante una presión muy alta. La masa no debe estar en la cámara del mezclador ("EAMBURY") más allá del tiempo programado como promedio 35 segundos. Este tiempo depende del piso que se fabrica; si la masa se queda en la cámara un tiempo mayor se quema y produce gases fuertemente tóxicos.

En el bloque del molino el cual posee un rodillo frío y otro calentado a vapor, la masa que viene del mezclador por medio del transportador ("MAYFRAN") es transformada en una masa de aproximadamente un metro

# DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE PRODUCCION



de ancho por dos metros de largo y de 0.035 metros de es peso, el peso aproximadamente es de 100 Kg.; a esta ma-  
sa se le llama "Batch".

Una vez que la masa ha sido procesada en el molino en el cual al final de la laminación recibe un trata -  
miento de coloración superficial llamado moteo; la masa es transportada hacia la primera reducción y luego a la segunda. Las reducciones se realizan por calentamiento a vapor de los rodillos cuya temperatura es constante y controlada automáticamente.

A partir de la primera reducción el manto es conti -  
n<sub>u</sub>o por lo tanto entre cada elemento de proceso el man-  
to no debe sufrir fracciones ya que esto originaría una  
variación en su espesor. De esto se deduce que el con -  
trol de velocidad entre transportadores y laminadores de -  
be ser de alta calidad.

En el bloque impresora y laminadora final el manto recibe una impresión en alto relieve y la coloración fi-  
nal. Existe un tipo de pisos que no requieren de la im -  
presión; sin embargo el laminador le dá un cierto pulido y acabado al piso.

A la salida del bloque de impresión podemos decir que tenemos el piso propiamente dicho; luego éste se en-  
fría, encera y pule.

Una vez que el piso está pulido se transporta a la prensa para cortar el manto en baldosas, con el inconve-

niente de que no existe sincronismo entre la prensa y su transportador de alimentación; ni tampoco estos últimos y el conjunto de la línea. Aquí radica una razón preponderante para sincronizar estas máquinas con el objeto de no originar estiramientos del manto y por consiguiente su descarte como baldosas.

El piso descartado es llenado mediante transportadores ó conveyors, previa trituración en un "chopper", hacia la tolva de recuperación donde se volverá a procesar posteriormente mezclado con materia prima.

Los espesores de las baldosas son  $1/8$ ,  $1/12$ ,  $1/16$  y  $1/25$  de pulgada; dependiendo de cada tipo de piso.

La producción por "batch" de 100 Kg. de peso es de 10 m a 20 m, de acuerdo al espesor de laminación.

Es fácil darse cuenta que mientras el batch se va adelgazando, la unidad que recibe el material lo debe transportar a una mayor velocidad; por ejemplo la primera reducción tiene una velocidad promedio de 40 pies por minuto y la segunda 80 pies por minuto pero debe cuidarse que estas velocidades se desalineen debido a que el piso o se rompe o se va juntando para luego atorarse. Es aquí pues donde debe usarse un regulador automático de velocidad.

## 2.2 ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA AUTOMATIZACION DEL PROCESO.

La automatización del proceso cubrirá tres etapas perfectamente definidas; las cuales son:

- a.- Automatización del sistema de mezcla y laminador primario ó molino.
  - b.- Automatización del control de velocidad en el tren de laminación y la sincronización de las distintas unidades Ward-Leonard.
  - c.- Sincronización de la prensa de corte con toda la línea de producción.
- a.- Automatización del Sistema de Mezcla y Molino.

La prioridad para automatizar este sistema es la de reducir el elevado consumo de energía por el motor impulsor del "Bambury"; luego se justifica el control de los elevados sobrepicos que se producen durante el 40% del ciclo de mezcla. Tales sobrepicos llegan al 250% de la corriente nominal.

Un segundo requerimiento es tener una mezcla uniforme para lo cual se deberá batir la masa durante un tiempo igual para todos los ciclos de mezcla. También deberá buscarse una mayor velocidad en el ciclo de mezcla por efecto de independencia de operador y versatibilidad del sistema.

El sistema automático deberá tener capacidad de anular todo tipo de operación manual con el fin de evitar la presencia de operadores ya que el polvo emanado del asbesto es altamente tóxico.

Esta sección del sistema automático deberá cubrir la sección de pesado de materia prima y la alimentación de la cámara del mezclador.

La automatización del laminador primario denominado molino se debe efectuar con la finalidad de dar independencia al laminado, respecto del operador, con el objeto de procesar la masa un tiempo fijo y constante ya sea durante el batido como el de coloración superficial llamado moteo.

El sistema deberá poseer sistemas de seguridad y alarma en casos críticos tales como la no apertura de la puerta, etc.

#### b.- Automatización del Control de Velocidad.

El excesivo aumento en los precios de materia prima es un fuerte incentivo para mejorar una línea de producción. En la industria de laminación esta necesidad se hace mayor cada día, ya que en su materia prima usa asbesto el cual en el mercado internacional día a día sube el precio.

Los sistemas de control de velocidad no deben tener una variación superior al 1% con respecto a

la velocidad base, es decir el sistema debe tener alta calidad y correctos sistemas de realimentación.

Al sistema de control se le exige tener capacidad de trabajo bajo influencia de una referencia extraña, que bien puede ser una señal maestra para controlar todas las unidades laminadoras con un sólo control maestro.

El sistema de motor impulsor y calandrias no deberán ser arrancados en posición de velocidad diferente de cero ó inercia vencida.

Con el fin de eliminar el crecimiento excesivo de la corriente de armadura deberá incluirse un lazo de realimentación para tal fin.

Los lazos de realimentación deberán ser capaces de ajustar automáticamente la velocidad frente a pequeños disturbios ó cuando se pasa de cero carga a carga normal de operación

El sistema deberá ser sencillo en cuanto mantenimiento y servicialidad se refiere.

Por su facilidad de implementación se recomienda usar fuentes de tensión monofásica ya que al usar un sólo tiristor el control resulta bastante simple y de calidad adecuada.

El sistema debe tener capacidad de operar los conjuntos laminadores a velocidades proporcionales cuando el proceso así lo requiera.

c.- Sincronización de la prensa de corte y su transportador de alimentación con el tren de laminación.

Se tiene un gran inconveniente en la línea y esto radica en la independencia de la velocidad de la prensa y su transportador con todo el tren. Luego se hace necesario sincronizarlos con el fin de evitar amontonamientos y tracciones en el manto que deterioran el piso.

Con el fin de evitar las tracciones y amontonamientos el sistema debe poseer un control de profundidad de una catenaria formada entre el transportador de pulido y el transportador que alimenta la prensa.

En caso de reducir la velocidad de la línea el sistema bajará la velocidad del transportador y la prensa por efecto del control de la catenaria; idénticamente para un proceso de aceleración el sistema deberá siempre mantener constante dicho lazo.

En caso de ausencia de lazo el sistema no deberá sensor "tracción en el manto"; este quedará fuera de servicio ya que de no ser así los motoredutores reducirán la velocidad de la prensa y su transportador a límites no recomendables originando deterioro en el sistema reductor.

## 2.3 DISEÑO DEL CONTROL AUTOMATICO DEL MEZCLADOR BAMBURY

### 2.3.1 Pasos Necesarios en la Automatización.

- i Los pasos necesarios para el control automático deben ser:
- a. Limitar los picos de corriente; controlable entre 500A y 800 amperes.
  - b. Automatización del pistón (RAM) y la puerta (DOOR) de la cámara de mezcla.
  - c. Automatización de carga de materia prima a la cámara (balde).
  - d. Automatización del pesado de materias primas ("scrap" y materia virgen del "blender").

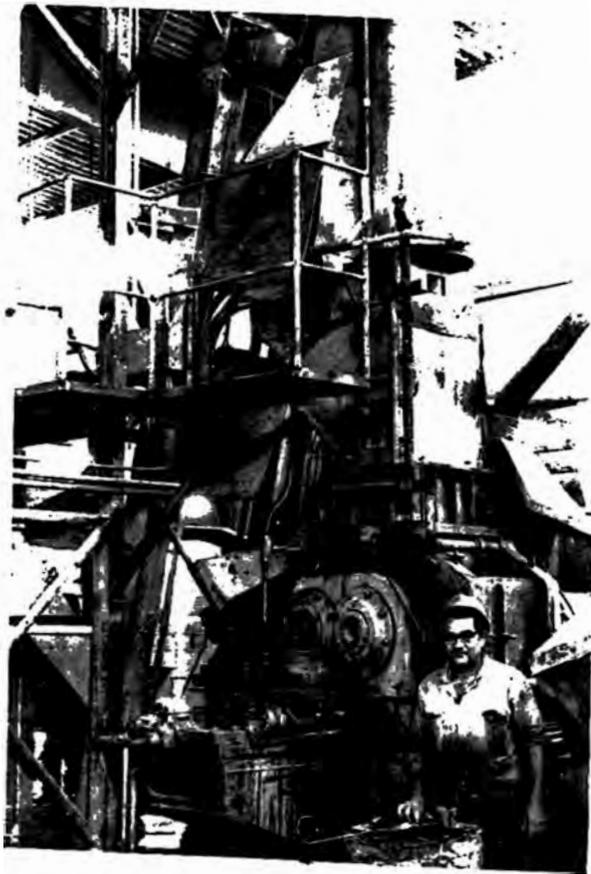
### 2.3.2 Circuitos de Control Automático del "Bambury"

Ver planos de:

- Circuito original manual. Fig. 23-1.
- Circuitos del control automático. Fig. 23-2.
- Circuito de la balanza para pesar. ~~Sergp Manual~~ y automático . Fig. 23-3. y 23.3a.

#### a) Funcionamiento del Sistema Automático.

Una vez que se tiene pesado el material y se tienen las condiciones para operar las máquinas se iniciará el ciclo presionando un "push bottom", primero se carga "scrap" en el bal-



**SISTEMA MEZCLADOR "BAMBURY"  
OBSERVE EL SISTEMA DE PISTON  
(ARRIBA), LA PUERTA DE LA CAMARA  
Y LOS ROTORES (ABAJO)**



**CONSOLA DE CONTROL MANUAL Y AUTO-  
MÁTICO OBSERVE LA ALARMA "BELL"  
EL AMPERIMETRO Y EL TEMPORIZADOR**

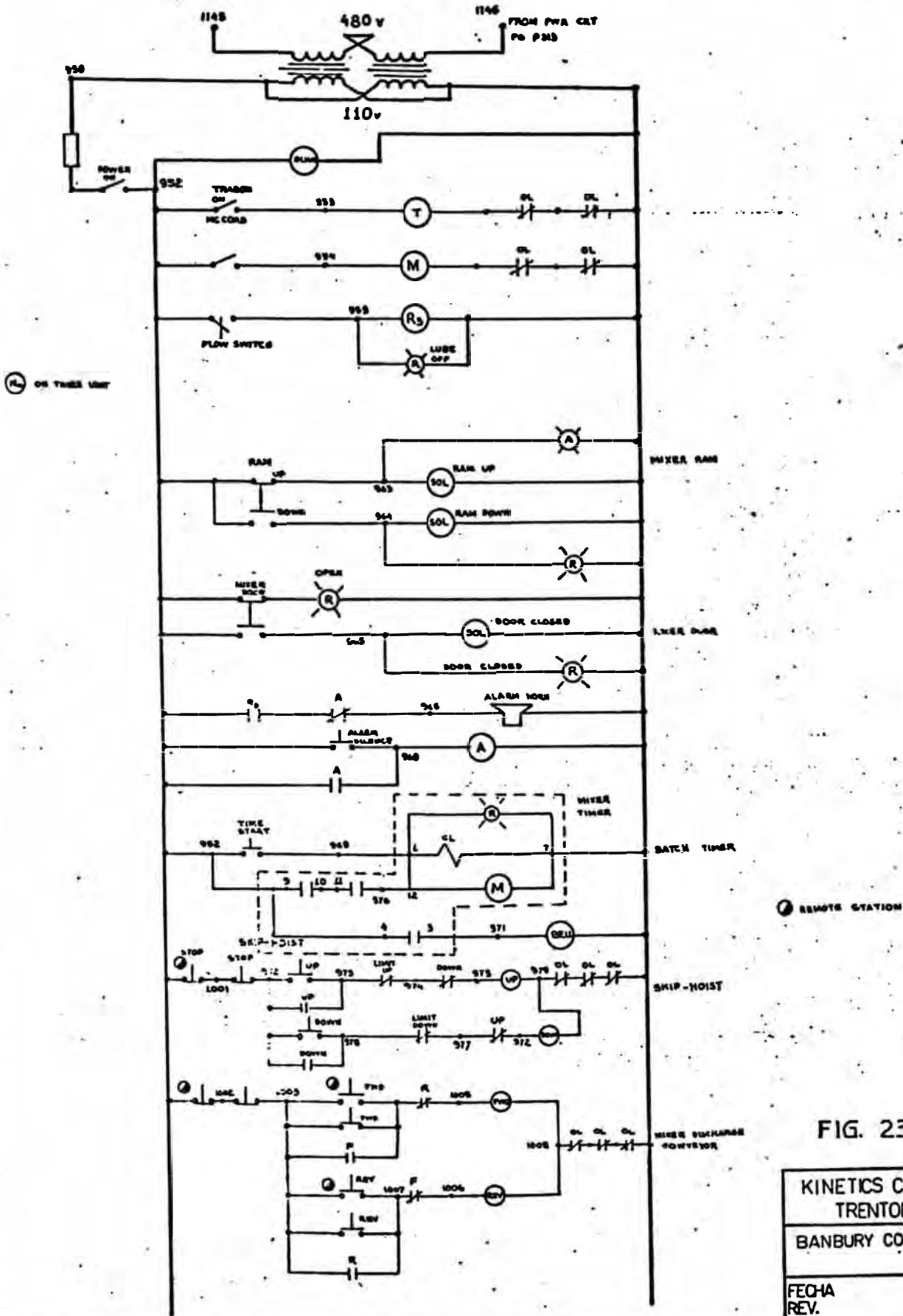


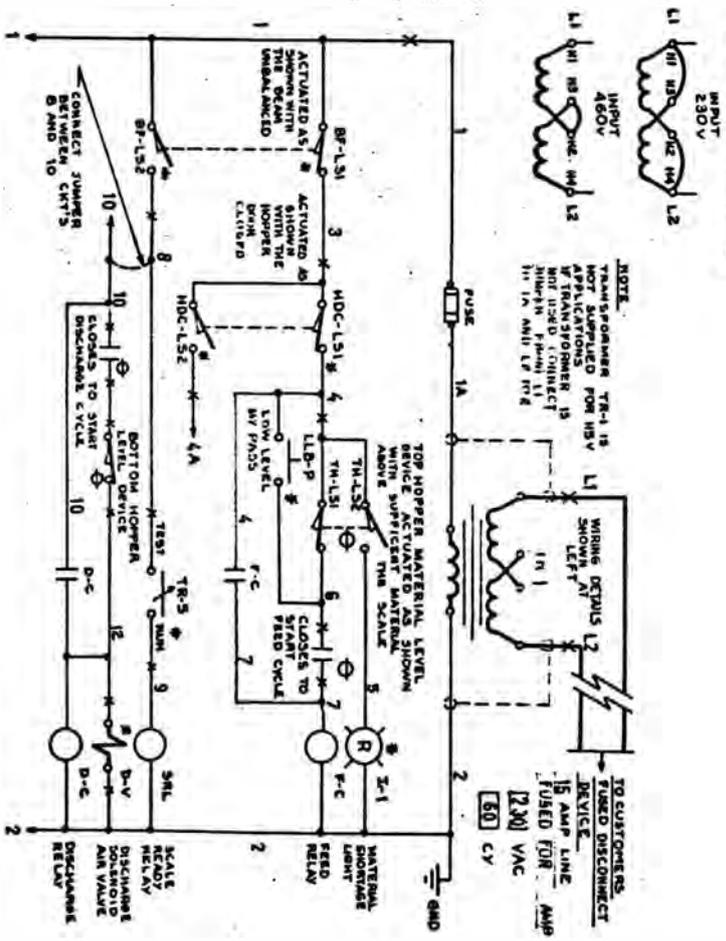
FIG. 23-1

KINETICS CONTROL SIST.  
TRENTON N.J.  
BANBURY CONTROL PANEL

FECHA  
REV.

P 313-21

TR-1 PRIMARY CONNECTIONS



CONTACTS RELATED  
 10 AMPS AT 250 VAC  
 3 AMPS AT 220 VAC  
 NON-INDUCTIVE LOAD  
 FOR CUSTOMERS USE

- SIGNALS REQUIRED TO START:**
- A- PROVIDE MATERIAL ABOVE THE SCALE TO CLOSE TOP HOPPER LEVEL DRIVE CONTACTS ACROSS CIRCUITS 4 AND 6. A JUMPER MUST BE INSTALLED IF A LEVEL INDICATION IS NOT USED. MATERIAL SHORTAGE LIGHT I-1 WILL NOT OPERATE UNTIL 4 AMPS OF MATERIAL SHORTAGE LIGHT I-1 WILL BE PROVIDED.
  - B- PROVIDE CONTACT CLOSURE ACROSS CIRCUITS 6 AND 7. TO START THE SCALE FEED CYCLE, A SUSTAINED SIGNAL OF 25 MS MINIMUM DURATION IS REQUIRED. HOWEVER, A SUSTAINED SIGNAL MAY ALSO BE USED IF THE ABOVE CONTROL SIGNAL IS NOT REQUIRED, A JUMPER MUST BE INSTALLED ACROSS CIRCUITS 6 AND 7.
  - C- PROVIDE AIR PRESSURE FOR THE PNEUMATIC CONTROLS OF THE B- PROVIDE AIR PRESSURE FOR THE DRAWING FROM AN APPROPRIATE SOURCE.
- SCALE READY:**
- A- INCREASE SIGNAL TWO NORMALLY OPEN CONTACTS (LAMPED) TO CIRCUITS 18, 19 AND 20, 21 PROVIDE THIS SIGNAL.
- SCALE DISCHARGE:**
- A- PROVIDE SUFFICIENT ROOM BELOW THE SCALE TO ACCEPT A FULL SCALE FEED. THE BOTTOM HOPPER LEVEL INDICATOR CONTACT CIRCUIT IS INDICATED BY THE BOTTOM HOPPER LEVEL INDICATOR. CONTACT CIRCUIT IF A BOTTOM HOPPER LEVEL INDICATOR IS NOT USED, A JUMPER MUST BE INSTALLED ACROSS CIRCUITS 11 AND 12.
  - B- PROVIDE A CONTACT CLOSURE ACROSS CIRCUITS 10 AND 11 TO START THE SCALE DISCHARGE CYCLE.
- NOTES:**
- 1- SEE DWG. 70440-0102 FOR MECHANICAL WIRING DIAGRAM OR ADD ON FEATURES.
  - 2- SEE DWG. 70460-0401 FOR LAYOUT OF EQUIPMENT WARD INDICATES TERMINAL BLOCK CONNECTION.
  - 3- SYMBOL "X" ON CIRCUIT LINES INDICATES TERMINAL BLOCK CONNECTION.
  - 4- SYMBOL ⊕ INDICATES EQUIPMENT BY OTHERS.
  - 5- SYMBOL \* INDICATES EQUIPMENT MOUNTED ON OR NEAR THE SCALE.
  - 6- ALL EQUIPMENT IS LOCATED UNLESS OTHERWISE NOTED

FIG. 23-3

HOWE & RICHARSON

BALANZA PARA PESAR SCRAP  
 CIRCUITO ORIGINAL



de y a la vez se inicia la descarga de materia prima; esto ocurre durante un tiempo programado como promedio de 10 segundos.

Terminada la operación de descarga sube el balde a la vez se pesa "scrap" y materia prima.

Al llegar el balde a 3/4 de altura seguirá subiendo sólo si la puerta está cerrada, si no existe materia procesada y si el pistón está en su parte superior.

Cumplidas las anteriores condiciones sube el balde y deposita la masa en la cámara del bambury. Este permanece volteado dos segundos para que caiga toda la masa; luego el balde empieza a bajar y se activa el circuito del pistón para iniciar el proceso de mezclado .

Durante el proceso de mezcla se producen los sobrepicos y para anularla se pasa el pistón de "DOWN" a "UP" hasta que finaliza la sobrecarga.

El balde al llegar al final se recarga con "scrap" y materia prima, una vez que termina esta operación el balde sube hasta 3/4 de altura y espera las condiciones para depositar la masa en la cámara.

Cuando se termina el proceso de mezcla se abre la puerta, se sube el pistón y se activa un transportador; siempre que no exista material por procesarse en la siguiente etapa de la línea.

Una vez que la puerta llega al final de su apertura, ésta es retenida durante dos segundos para que tenga tiempo el material de caer. Después de este tiempo la puerta se cierra y el balde sube para descargar en la cámara el material a procesarse; y así sucesivamente.

Abriendo un switch que le llamo FIN AUTO se abre el lazo, y se procesará la masa que esté en alguna etapa y finalmente se detendrá todo el sistema.

b) Explicación Detallada del Diagrama de Flujo.

Primero deberá pesarse materia prima y scrap en sus respectivas balanzas.

El balde deberá estar en su posición de límite inferior.

Luego que la cámara alcance la temperatura de trabajo necesario, la lubricación de sellos y rodamientos correcta, se procede a constatar la presión de aire del circuito

# DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA AUTOMATICO

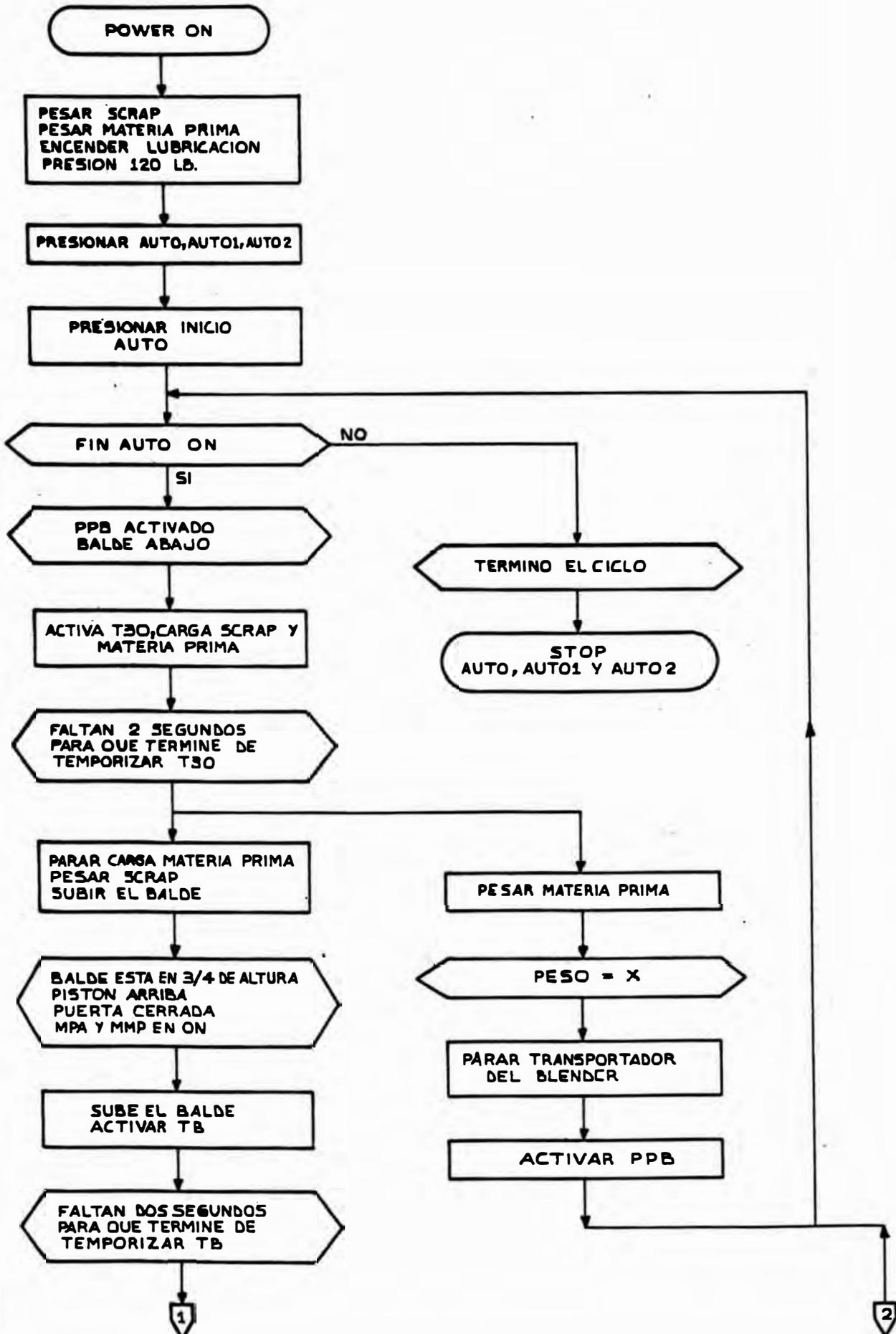
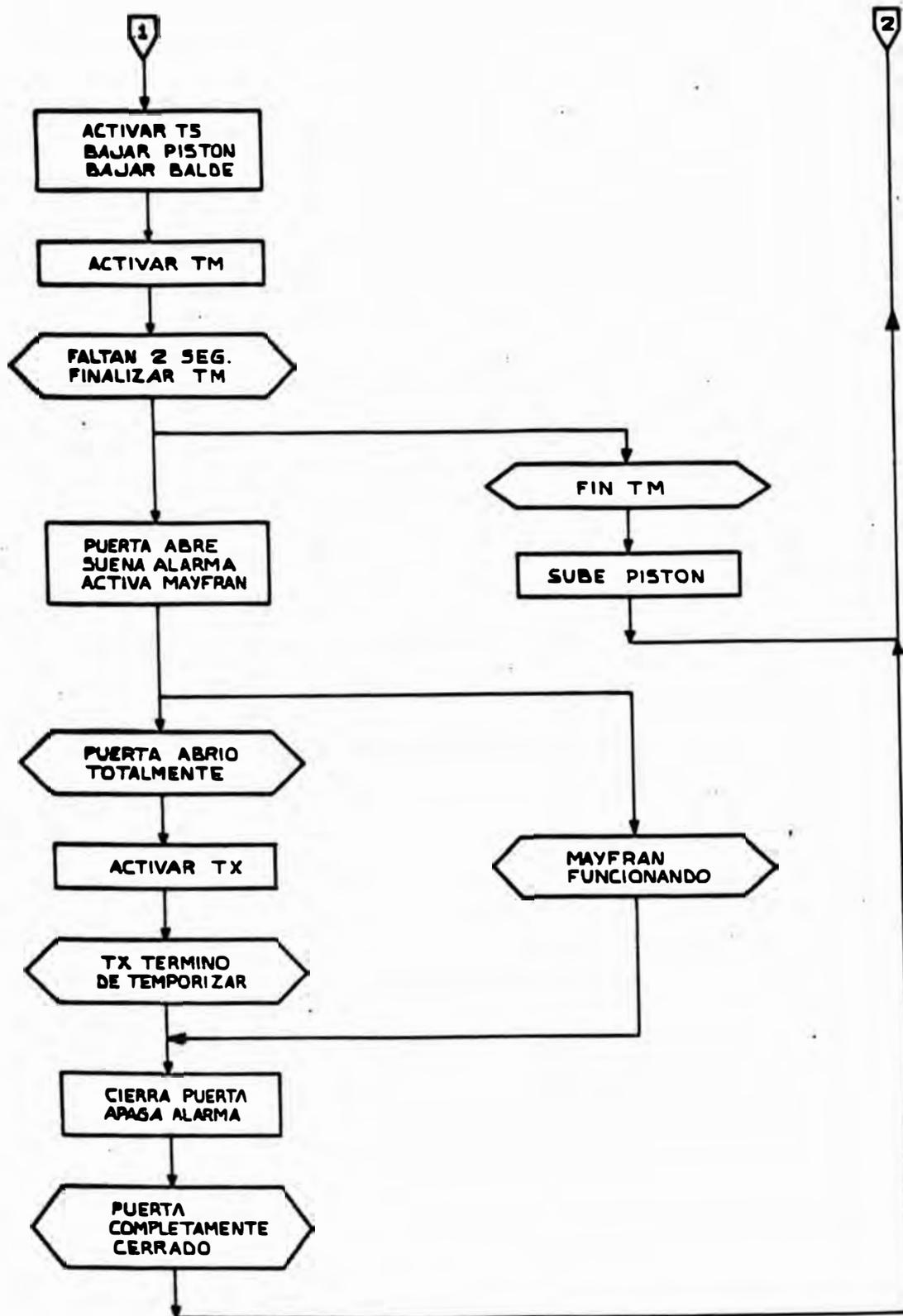


FIG. 23-4



neumático de la puerta y el pistón RAM.

Cumplidas las condiciones antes dichas se energizan los contactores, AUTO, AUTO1 y AUTO2 en este momento cae en forma automática el scrap; luego se presiona "inicio AUTO" activándose así el temporizador T30 y el contactor BG0 que activa al transportador de la balanza; dos segundos antes de finalizar la temporización de T30 se activa su contacto C2 el cual hace trabajar durante estos dos segundos a TA30 que desconecta el transportador de la balanza. Mediante un contacto normalmente abierto TA30 activa la línea de subida del balde. El balde empieza a subir debido a que se ha energizado los contactores X y UP1. Observe que el contactor X activa el pesado de scrap y que TA30 activa la carga de la balanza mediante el transportador del "blender".

En su primera operación la puerta está cerrada luego MS3 está en ON además RIO está desenergizado. Por lo tanto al llegar el balde a 3/4 de altura se activa el switch "3/4ON" y se energiza el temporizador TB que permite que el balde continúe subiendo y deposite la masa en la cámara. El balde permanece dos segundos volteado y dos segundos antes de la

temporización TB actúa al contactor T5 que activa la bajada del balde.

El contactor T5, que sólo trabaja dos segundos, activa al contactor RIO y al temporizador TM.

Al energizarse RIO baja el pistón para presionar la masa; si la corriente excede el límite programado se activan el contactor 10CR pasando el pistón de bajo a alto durante la sobrecarga y reposicionándose luego que ésta cesa.

Dos segundos antes de finalizar la temporización el temporizador TM energiza la alarma BELL para indicar que el material terminó de procesarse.

Junto con BELL se energiza TOD y OD; el contactor OD inicia la apertura de la puerta y la activación de los contactores FWD del transportador "MAYFRAN" y R2.

La puerta cuando llega al final de su apertura energiza al temporizador TX el cual detiene 2 segundos a la puerta y al final de la temporización la cierra, al desenergizarse el contactor OD.

Cuando el temporizador TM finalizó su ciclo es

te reposiciona al pistón en su posición alto.

T5 había energizado el balde el cual al llegar al final de su carrera inferior activa la balanza de carga de scrap y al transportador de la balanza mediante la energización de T30 y BGO una vez que cesa la carga como habíamos explicado el balde sube hasta 3/4 de altura y espera que el pistón esté arriba, que la puerta esté cerrada que en el mayfran no haya material en la entrada del molino con lo cual MMP y MPA están abiertos Pasadas tales condiciones el ciclo se repite

En el circuito del sistema automático se aprecia los sistemas de lubricación del sistema mecánico del mezclador BAMBURY; también se aprecia el sistema de refrigeración para el cubículo donde se encuentran los dispositivos de control.

Todos los contactores usados son del tipo 3T A21 debido a que los motores de lubricación, del balde, etc. son menores de 5 HP., todos ellos trabajan con tensión de línea de 480 voltios trifásica.

## 2. .3 El Limitador de Picos de Corriente.

El motor del bambury es de 500 HP, 440VAC, 60Hz y su corriente nominal es de 600 ampers.

La sobrecarga del motor, 250%, se produce durante los 15 segundos de inicio de mezcla de la masa. El tiempo de mezcla es 35 segundos aproximadamente.

La masa en la cámara es comprimida mediante el pistón "RAM" contra los rotores helicoidales; es necesario que en los instantes de sobrecarga se "suba el pistón y luego que no existe sobrecarga "bajarlo" para comprimir la masa.

La Figura 23.5 muestra el esquema sin control de picos de corriente y de batido manual de la masa.

Se debe colocar contactos que cambien de "DOWN" a "UP" sólo en sobrecarga. La posición normal del pistón será "DOWN".

### Diseño del Circuito de Detección de Sobrepicos

#### Requerimientos.

Energizar el contactor 10CR entre límites de 500 y 700 ampers y desenergizarlo 100 ampers por debajo de la corriente programada.

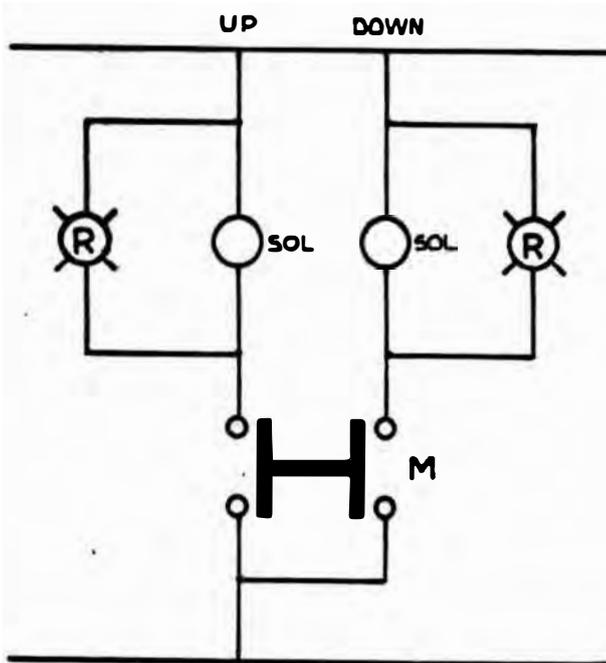


**CONSOLA DE CONTROL MANUAL Y AUTOMATICO**



**MOTOR DEL "BAMBURY" DE 500 HP , OBSERVE EL REDUCTOR DE VELOCIDAD Y LOS SISTEMAS DE LUBRICACION**

## CIRCUITO DE CONTROL MANUAL



SOL — VALVULAS SOLENOIDES QUE CONTROLAN EL PASO DE AIRE COMPRIMIDO.

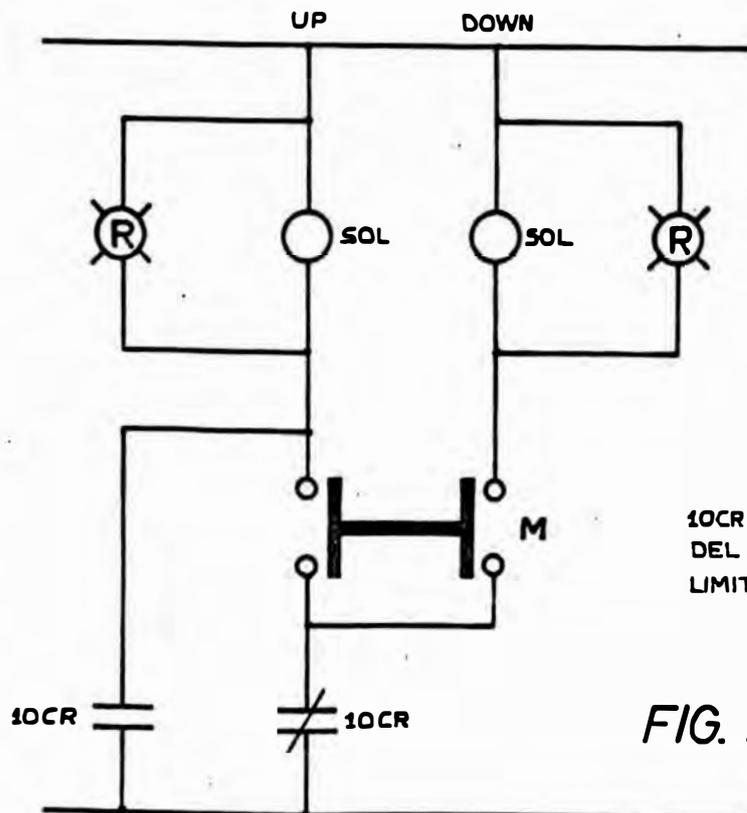
M — LLAVE DE CODO CON NEUTRO PARA ENERGIZAR UNO U OTRO SOLENOIDE.

UP — POSICION ARRIBA DEL PISTON.

DOWN — POSICION ABAJO DEL PISTON.

FIG. 23-5

## CIRCUITO CON LIMITADOR DE CORRIENTE



10CR SON LOS CONTACTOS DEL CONTACTOR DEL LIMITADOR DE CORRIENTE

FIG. 23-6

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DEL LIMITADOR DE CORRIENTE

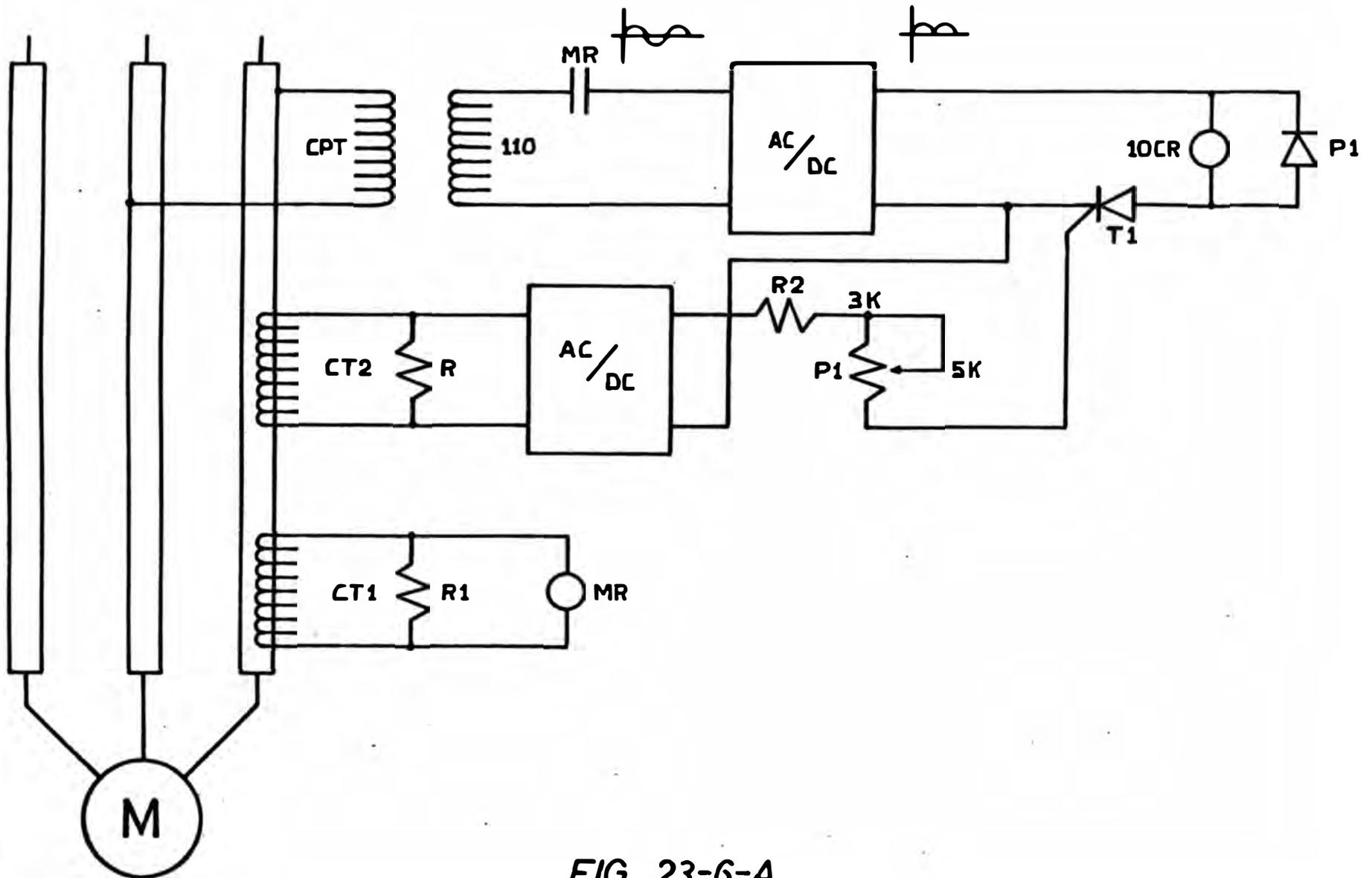


FIG. 23-6-A

Diseño Pasos.

- a. Se diseñará partiendo de el control de disparo de un tiristor por tensión para los picos máximos.
- b. Para reposicionar se controlará el mínimo en un Relay de corriente alterna.

Desc cripción del Diagrama de Bloques del Limitador de Corriente.

Cuando la corriente es del orden de 450 a 500 ampers se energiza MR y cierra el contacto MR.

Según la tensión programada entre el gate y cátodo del tiristor  $T_1$  se energiza 10CR.

Al disminuir la corriente de línea a 400-350 am pers se desenergiza MR y por consiguiente 10CR.

CPT es un transformador 220/110 volts que sirve para alimentar la bobina del contactor 10CR.

Con  $P_1$  se selecciona el valor de la corriente a controlar..

La conducción del tiristor ensayado siempre fue de 6 volt. entre gate-cátodo.

$R_2$  Y  $P_1$  representan simples resistencias para a mortiguar el paso de corriente a través del tiristor  $T_1$  entre gate y cátodo.

Los puentes rectificadores fueron formados por diodos de 1 amper 1000 voltios, 1N4004.

D1 es un diodo usado como "Swamping diode" protector de sobre picos intensos, puede ser un IN4004 ó IN1696.

El tiristor T1 fue escogido con estas características:

- Corriente de gate 4 miliampers.

Voltaje de gate 8 volts.

Corriente de ánodo cátodo - 5 ampers.

El tiristor que reúne tales características es el 2N3528.

#### Obtención de las Resistencias R y R<sub>1</sub> y del Relay MP.

CT2 y CT1 son transformadores de corriente de tipo anular de 50 voltampers c/u de relación 600/5. Estos cuando se les usa a circuito abierto presentan elevados picos de tensión, a la vez que se deterioran, en el arranque del motor.

Durante los primeros ensayos los diodos rectificadores se destruyeron cada vez que se arrancaba el motor.

Con el fin de proteger los diodos se usó resistencias R y R<sub>1</sub> con el fin de amortiguarlos pi-

cos de tensión.

Después de muchos ensayos se optó  $R=10^A/40W$ .  
presentando los siguientes datos:

Corriente de línea	100	200	300	400	500	600	700	800
Tensión en los bornes de R	4	7	8.5	12	14	18	20	22

$R_1$  se escogió igual a  $R=9 /40W$ .

El relay MR se escogió uno de 20 voltios AC,  
calibrándolo para que energizara en 13 voltios  
aproximadamente.

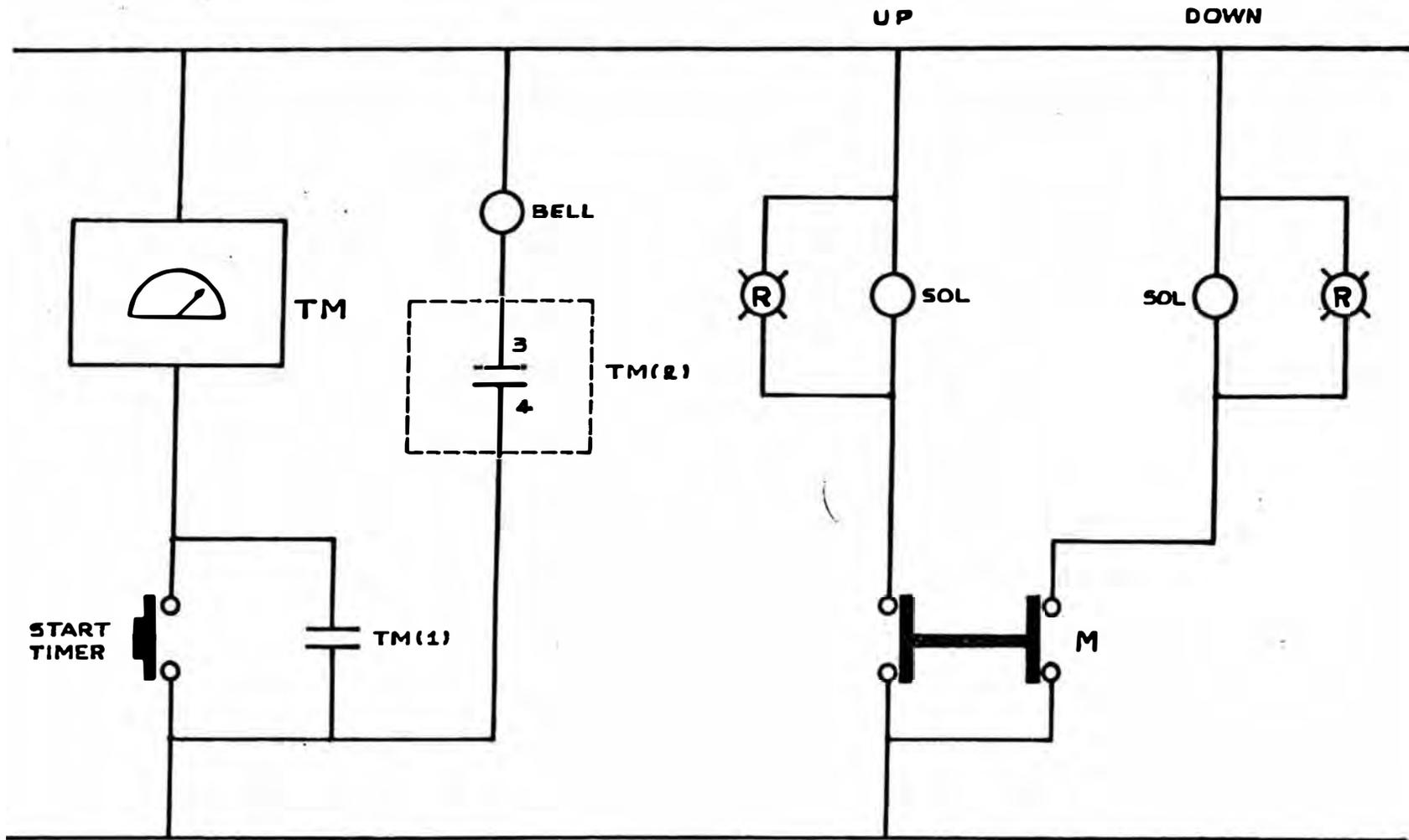
Algo que se puede apreciar es que la corriente  
, en el punto de 600 ampers, en el secundario  
del transformador es 2 ampers, lo cual nos dice  
claramente de la saturación del mismo; sin em-  
bargo el control de sobrepicos exige esta con-  
dición.

#### 2.3.4 Automatización del pistón "RAM"

##### Sistema de control manual.

El operador energizaba el Timer TM luego que el  
RAM estaba abajo "DOWN"; ver figura 23.7; dos  
segundos antes de terminar la temporización so-  
naba el timbre indicando que se había termina-  
do el proceso de mezcla y que debería subirse

*AUTOMATIZACION DEL PISTON RAM  
CIRCUITO DE MANDO INICIAL MANUAL*



*FIG 23-7*

el RAM y abrir la puerta.

En casos de sobrecorriente el operador cambiaba el RAM a la posición UP y una vez que cesaba la sobrecarga lo pasaba a DOWN.

TM y "BELL" actúan en este sistema sólo como elementos indicadores y no de control.

#### Sistema Automático del Pistón RAM

El RAM normalmente debe tener la posición UP o arriba y pasar a la posición bajo "DOWN" durante el tiempo de mezcla.

SE aclara que además existirá fluctuaciones entre las posiciones "UP" y "DOWN" debido al control de límite de picos de corriente durante la sobrecarga.

Las fluctuaciones permiten un mejor batido de la mezcla en lo que corresponde a homogeneidad.

#### Funcionamiento del Circuito de Mando Automático.

El contactor AUTO permite trabajar el sistema en automático o en manual. Ver Figura 23.8.

MS es un micro switch que es accionado cuando el balde está regresando luego de haber depositado la masa en la cámara, ver figura 23.9 - MS está colocado a 3/4 de altura entre el piso y el punto de vaciado de la masa como se observa en el

CIRCUITO DE MANDO AUTOMATICO DEL PISTON RAM

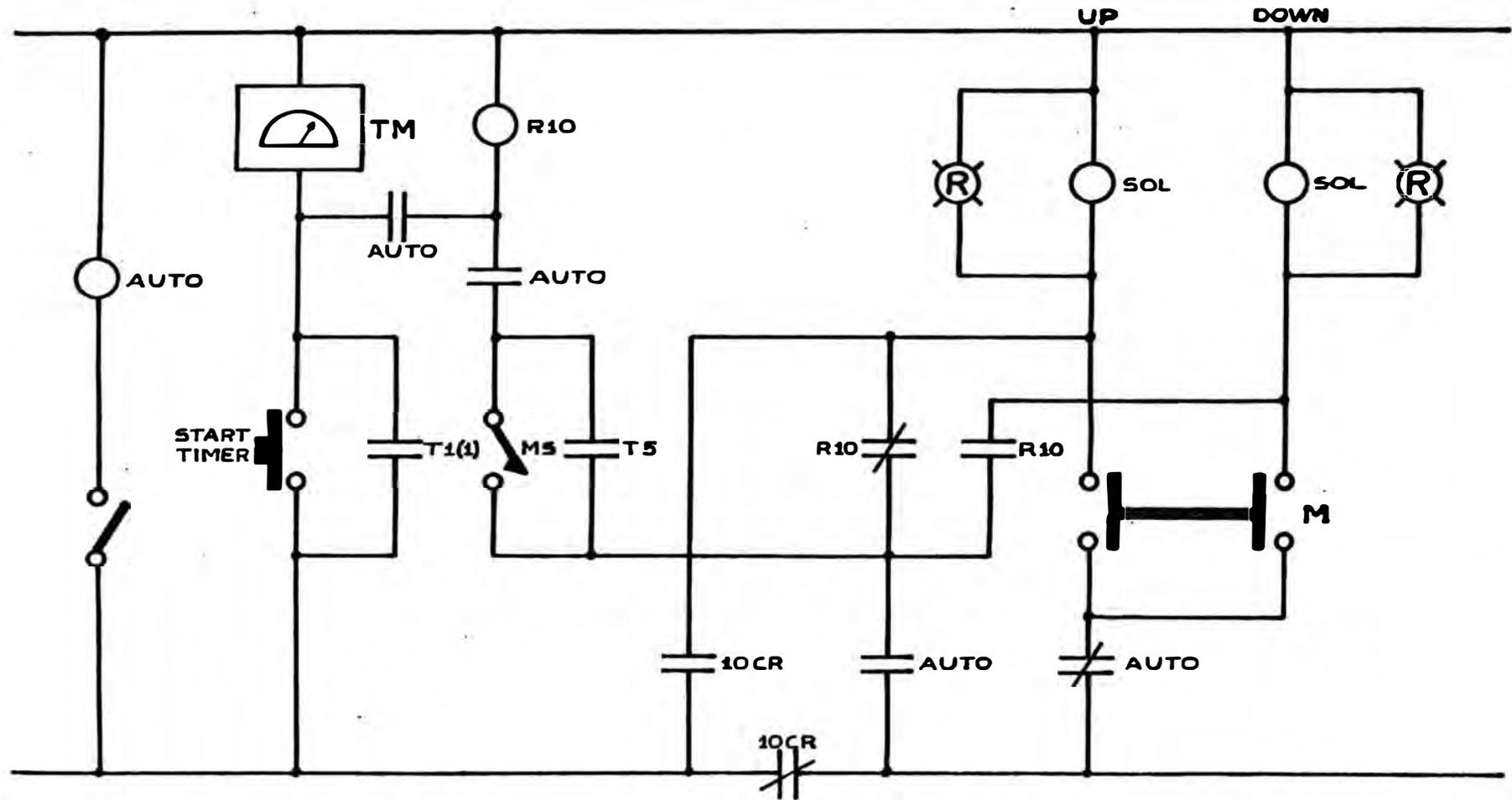


FIG 23-8

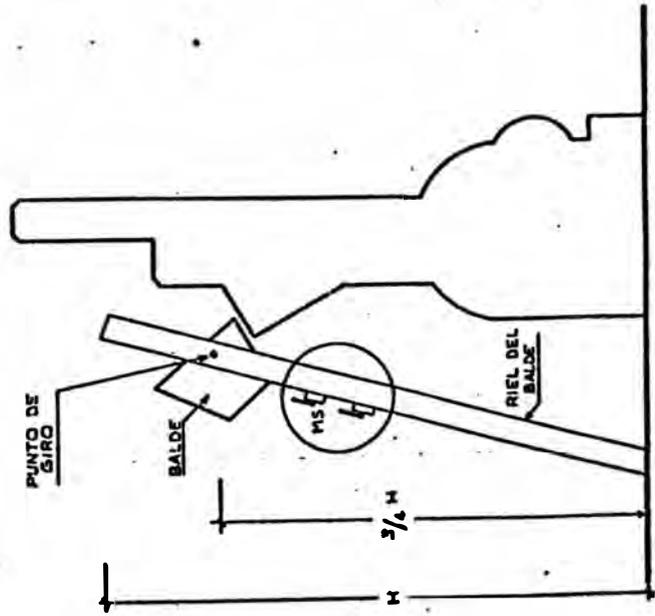
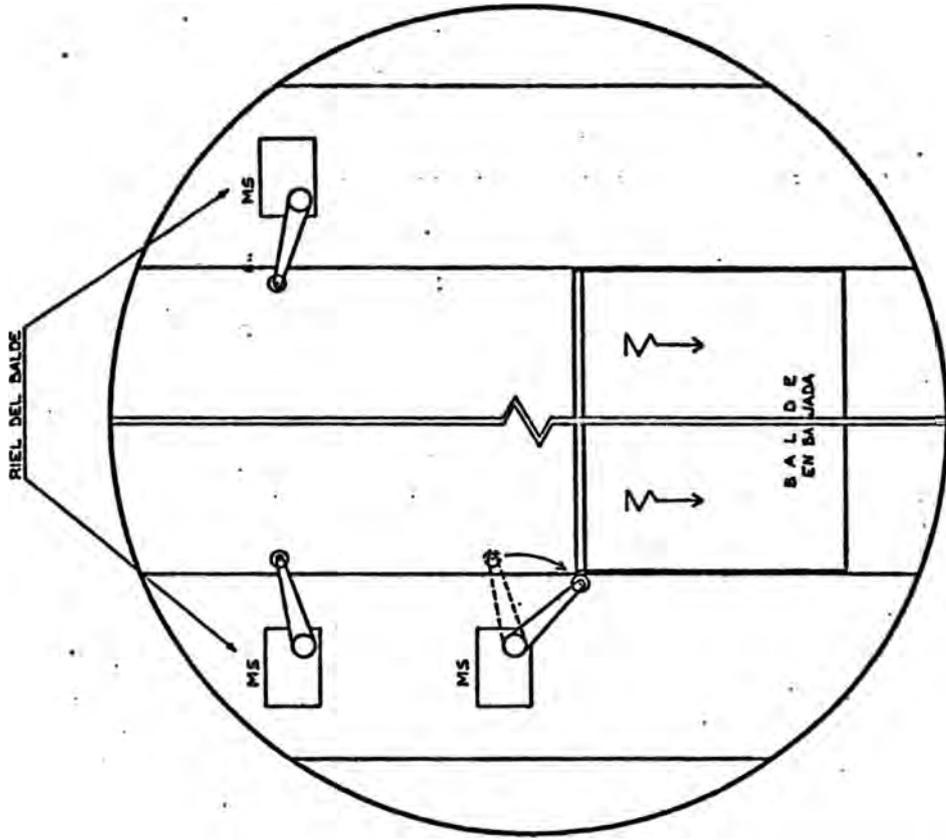


FIG. 23-9

esquema 23- 9.

Una vez que es accionado MS; R<sub>10</sub> se energiza y TM inicia la temporización y el batido de la mezcla.

Al energizarse R<sub>10</sub> energiza al solenoide DOWN para que el pistón baje a comprimir la masa.

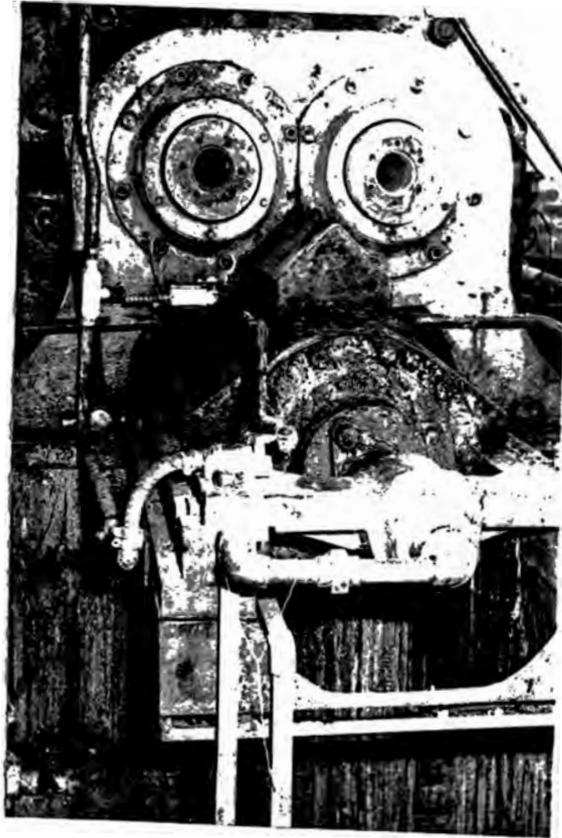
R<sub>10</sub> está energizado a través de TM(1) durante el período de mezcla.

Terminada la temporización TM(1) se reposiciona pasa de ON a OFF y se desenergiza R<sub>10</sub> pasando el "RAM" a la posición UP. En este momento la masa está lista para pasar a procesarse en el molino.

#### 2.3.5 Automatización de la Puerta del Bambury.

##### Exigencias.

- Al finalizar el ciclo de batido la puerta estará abierta dos segundos; en su límite de apertura.
- La puerta sólo debe permanecer cerrada durante el periodo de mezcla.
- La puerta sólo podrá cerrarse si el transportador "MAYFRAN" está en movimiento.
- La puerta deberá abrirse en caso de ausencia de suministro eléctrico; para evitar la formación de gases tóxicos en la cámara pasado el periodo de mezcla.

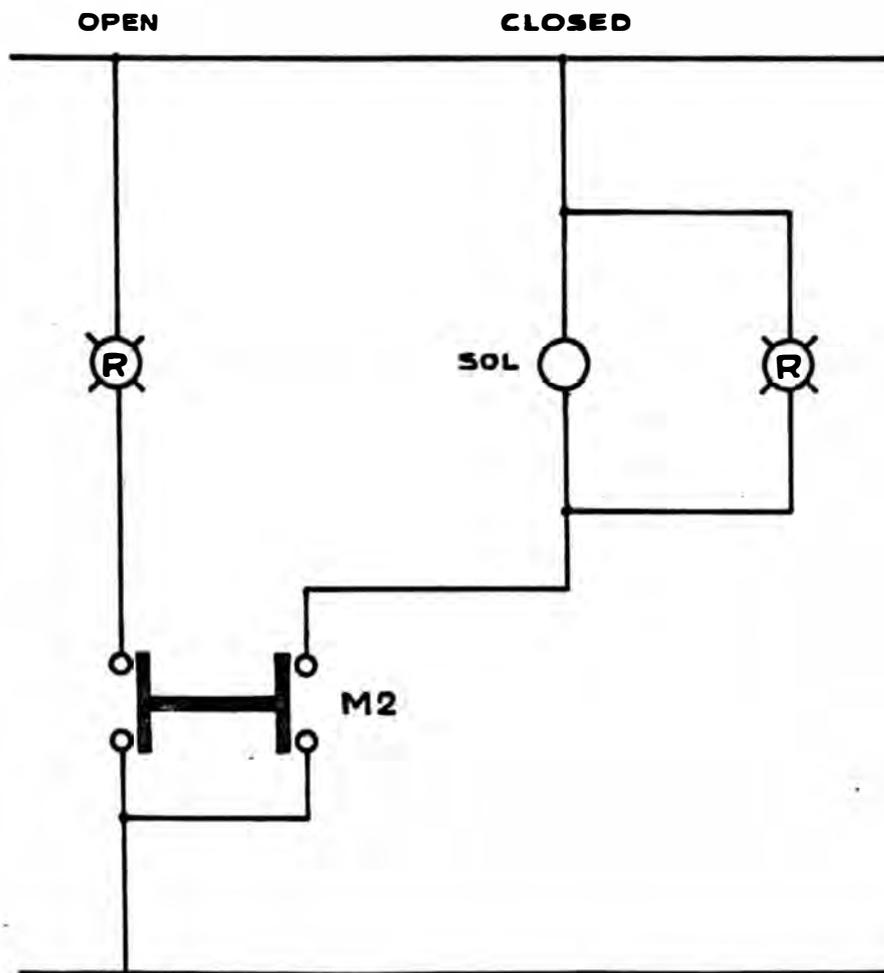


**PUERTA DE LA CAMARA ABIERTA  
OBSERVE LOS MICRO SWITCHS**



**BALDE EN 3/4 DE ALTURA  
OBSERVE EL MICRO SWITCHS  
3/4 ON, 3/4 OF**

*CIRCUITO DE CONTROL MANUAL  
DE LA PUERTA*



*FIG 23-10*

### Características del Sistema de la Puerta.

La apertura y cierre de la cámara se hace mediante un sistema neumático.

La puerta para llegar a su límite de apertura demora 11 segundos (promedio) y cuatro segundos en llegar a su límite de cierre.

La descarga de la masa mezclada demora como máximo 15 segundos; la descarga es por gravedad y expulsión, debido a los rotores.

#### a. Circuito de Control Manual.

El sistema mostrado sólo usa un solenoide para cerrar la puerta (closed).

M2 es una llave para abrir o cerrar la puerta en forma manual.

Sistema Automático (Componentes)

Véase la figura 2 3-11.

Auto - contactos del contactor AUTO que permite aislar el sistema manual y pasarlo a la forma automática.

BELL alarma (timbre que indica apertura de la puerta).

T (2) es un contacto que se cierra los dos últimos segundos al finalizar la temporización.

# SISTEMA AUTOMATICO DE LA PUERTA

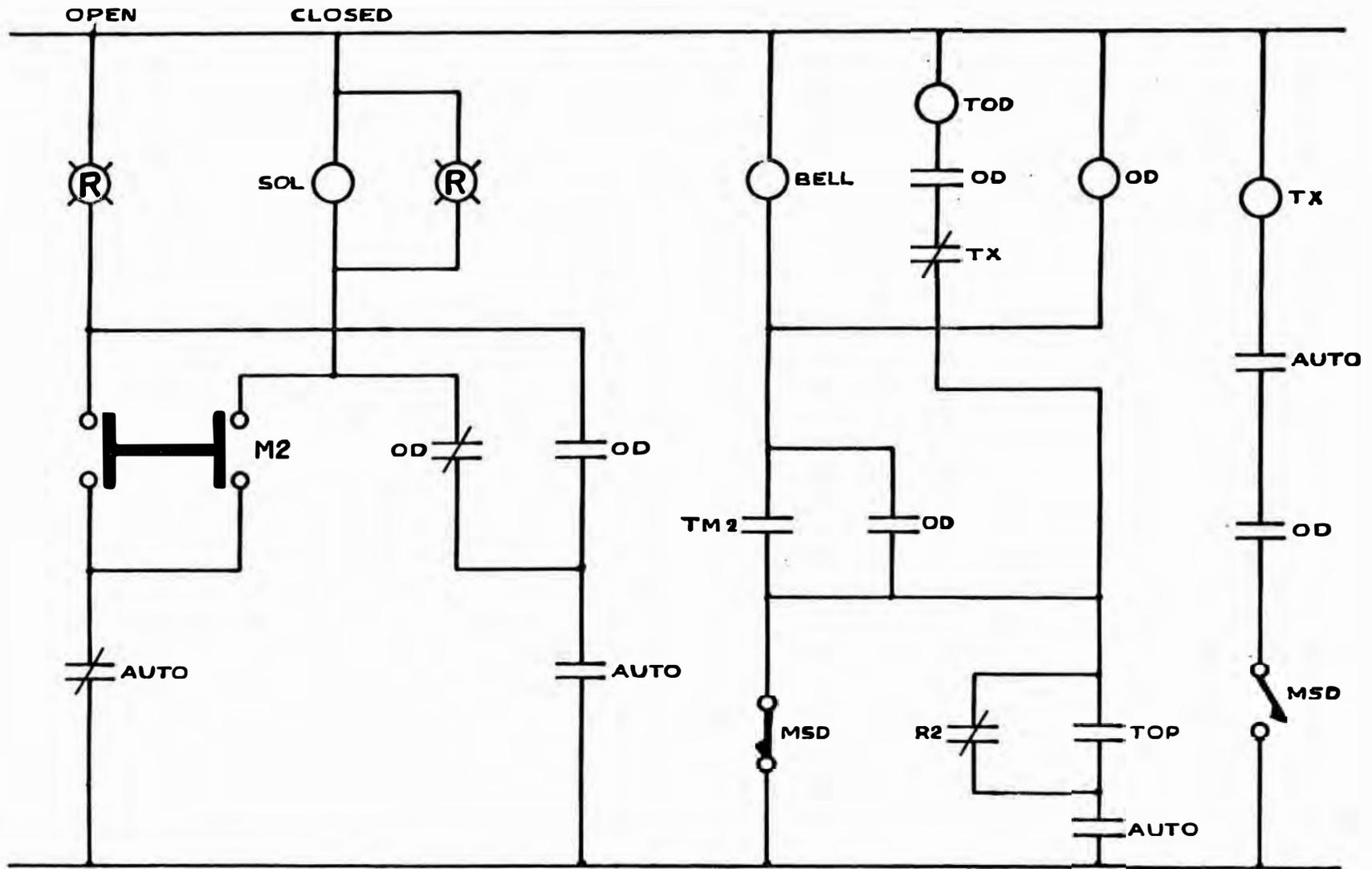


FIG 23-11

OD es un contactor que permite la apertura y cierre de la puerta.

MSD es un microswitch que pasa de ON a OF sólo cuando la puerta llega a su límite de apertura.

R2 - Contacto del Relay R2 que se energiza al funcionar el transportador MAYFRAN.

b. Funcionamiento del Sistema Automático de la Puerta.

Al energizar el contactor AUTO se cierra la puerta, se anula el control sobre el transportador del material mezclado MAYFRAN y a la vez que el pistón RAM sube como hemos visto en el sistema anterior.

Una vez que la masa ha sido depositada en la cámara, baja el balde actúa MS y energiza el contactor R10 y TM iniciándose el batido de la masa.

Dos segundos antes de terminar el batido de la masa el contacto TM(2) pasa de OF. a ON y se energiza el contactor OD y la alarma "BELL". En este instante se inicia la apertura de la puerta la que sólo podrá cerrarse si la puerta ha llegado al límite de apertura, si el transportador "mayfram" está en movimiento y si ha per

manecido en su límite de apertura dos segundos.

La detección del límite de apertura es mecánica mediante un microswitch situado al final de la carrera de apertura.

La alarma "BELL" sólo dejará de sonar siempre que hayan cumplido las tres condiciones para el cierre de la puerta.

Si faltara energía eléctrica el contactor AUTO se desenergiza y de igual forma el solenoide "SOL CLOSED"; lo cual permite que la puerta se abra con el fin de no permitir que la mezcla se quemé y forme gases tóxicos en la cámara.

### 2.3.6 Automatización del Balde.

Para alimentar de materia prima a la cámara se dispone de un balde que es subido mediante un motor que tira de él por medio de dos cables de acero. Ver Figura 2 3-12.

#### a. Funcionamiento del Circuito Manual.

El contactor "UP1" permite al motor subir el balde (ver fig. 2 3-13) y anular el contactor "DWN1" si no se para el balde en ningún punto el balde llega a su máximo punto superior y se voltea depositando la masa en la cámara y a la vez que se abre el contacto LIMIT UP1, que es un medio de protección, que desco -

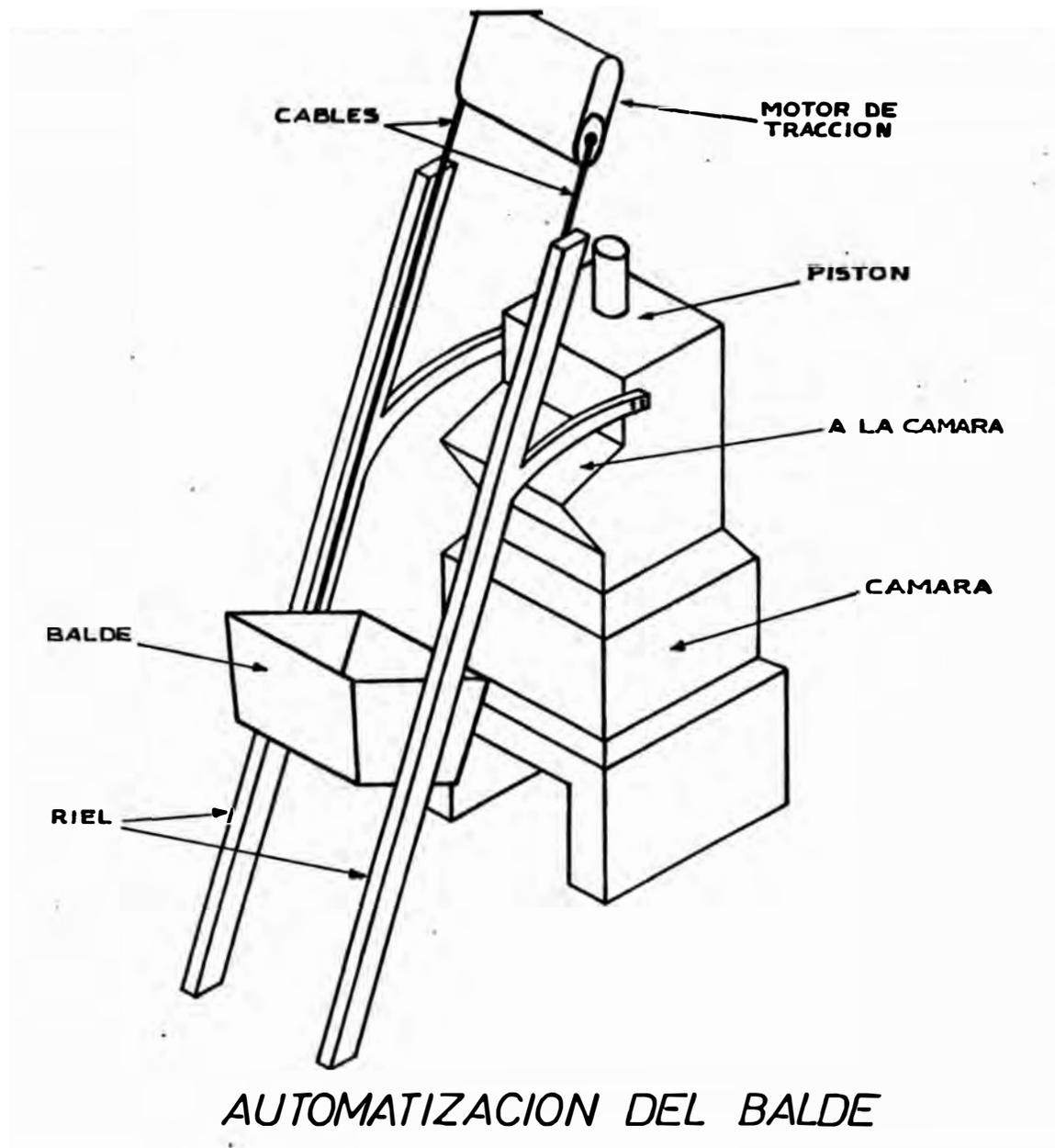


FIG 23-12

# CIRCUITO INICIAL MANUAL DEL BALDE

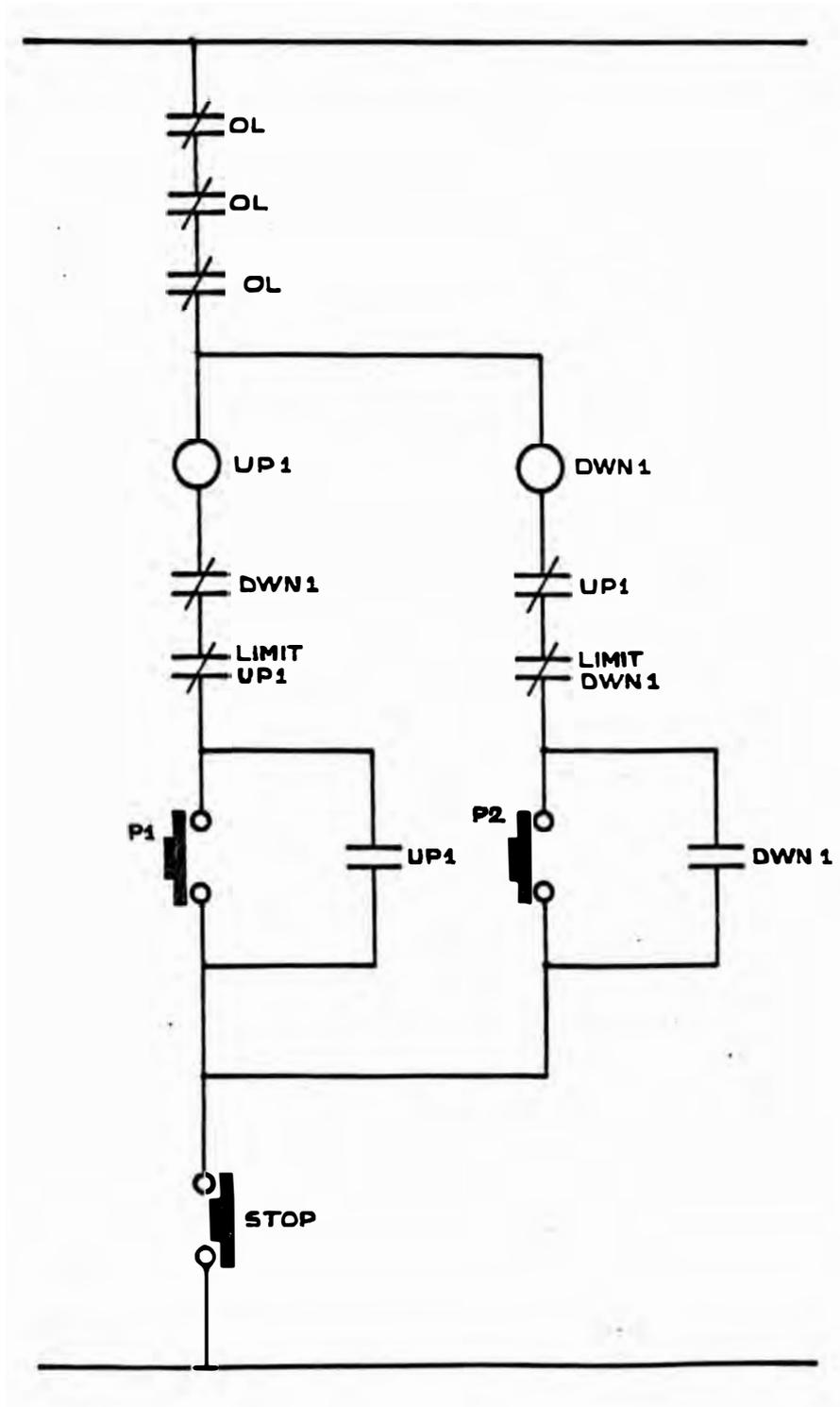


FIG. 23-13

necta el motor.

El contactor DWN1 permite bajar el balde y cuando llega a su máximo punto inferior el contacto LIMIT DWN1 se abre y desconecta el motor.

El balde sólo es operado cuando la puerta está cerrada (completamente) y el pistón "RAM" está en su punto superior.

b. Sistema Automático del Balde.

Exigencias.

El balde sólo podrá depositar la masa en la cámara cuando la puerta esté completamente cerrada y el RAM esté en su máximo punto superior.

Una vez depositada la masa en el balde éste deberá subir hasta  $3/4$  de altura; si se ha cumplido la exigencia anterior podrá depositar la masa en la cámara.

El balde debe permanecer dos segundos volteado para que caiga toda la masa, debido que en el proceso el material virgen se adhiere a las paredes del balde.

Durante la implementación se le impuso otra exigencia al balde; no se preparará un nuevo "batch" si existe uno preparado a la salida de la cámara, otro en la entrada del molino y finalmente un tercero en los rodillos del molino.

Esta última exigencia es muy importante ya que esta condición se presenta por falla en algún punto de la línea.

#### Funcionamiento del Sistema Automático del Balde.

Primero se energiza AUT01. Ver Fig. 23-14.

La última operación del balde lo dejó a éste en su posición inferior.

La subida del balde se inicia presionando S.A; en este momento se energiza "X" y "UP1". El balde sube hasta 3/4 de altura donde se abren los switch 3/4OF. En esta posición el balde espera que el switch MS3 esté cerrado, es decir que la puerta esté completamente cerrada, que no exista material en el transportador MAYFRAN, lo cual se detecta en el switch MMP, y que el contacto de R10 esté cerrado lo cual nos indica que el pistón RAM se halla en la posición de arriba.

El micro-switch 3/4 ON se activa en el mismo instante que 3/4 OF.

Cumplidas las condiciones mencionadas se energiza y el balde se ve obligado a subir y descargar la masa. Los switches de protección LIMIT

# CIRCUITO DE MANDO AUTOMÁTICO DEL BALDE

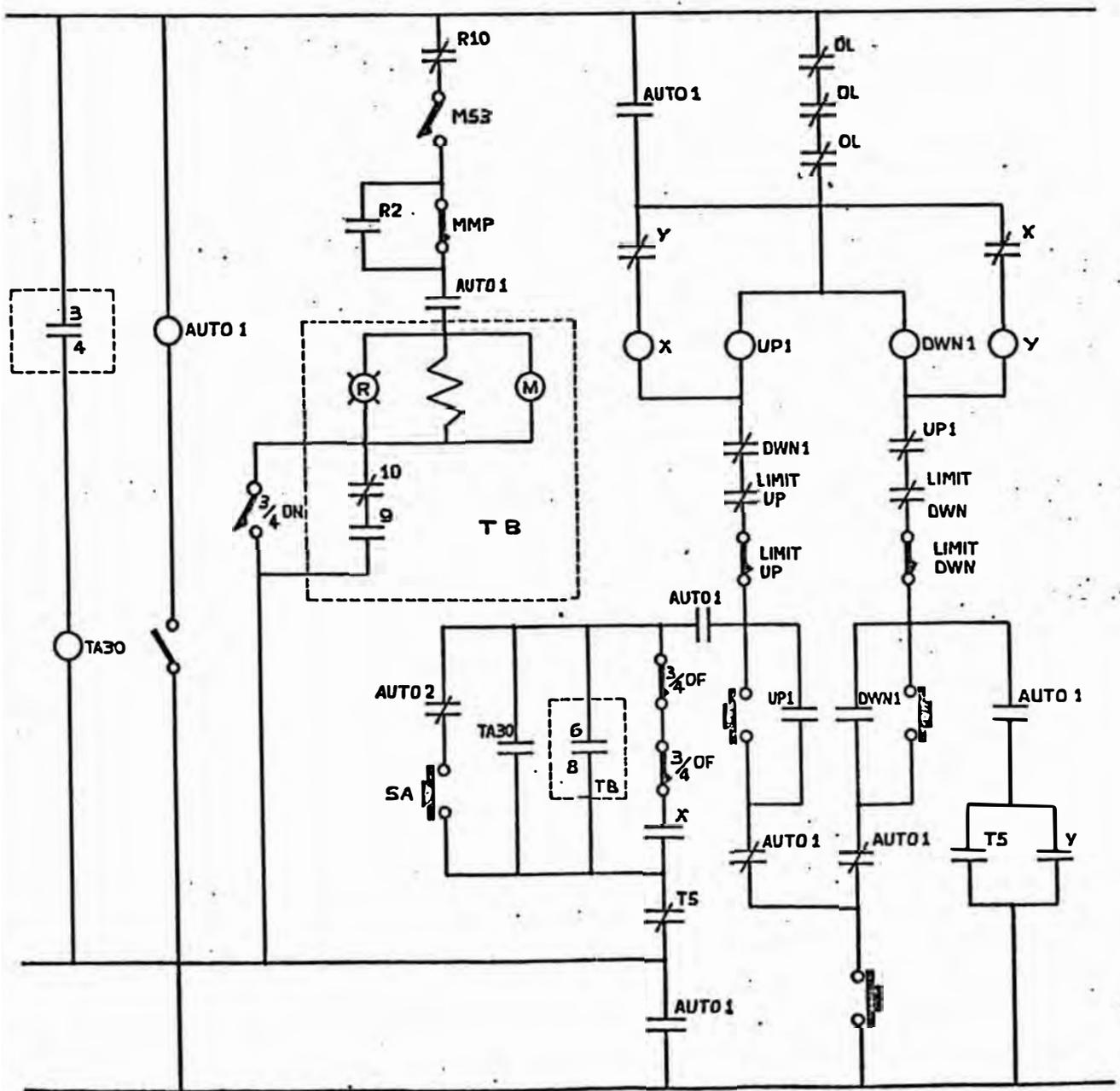


FIG. 23-14

UP desconectan al motor; el balde debe permanecer dos segundos volteado para que caiga la masa; cuando finalizan estos dos segundos faltan tres segundos para que finalice la temporización. En este momento el contacto (3) (4) de TB se energiza y activa al contactor T5; éste desconecta al sistema de subida del balde y activa a los contactores Y y "DWN1" iniciándose la bajada del balde y a la vez cierra el circuito del temporizador TM para que se inicie el proceso de mezclado de la masa; para mejor indicación véase la automatización del pistón "RAM".

### 2.3.7 Automatización del Pesado de Material.

#### a. Funcionamiento del Sistema Manual de Pesado.

Como puede observarse de la Figura 23-15 y 23-16 se debe energizar DBL; transportador de descarga del blender; hasta que se pese la cantidad de material necesario.

Una vez que la balanza ha sido cargada se presiona el "push button" que activa al contactor DBA para mover el transportador de descarga de la balanza al balde. Finalizada esta operación nos encontramos en condición de activar el sistema automático del balde, pistón "RAM" y puerta de la cámara.

# CIRCUITO DE MANDO INICIAL DEL PESADO DEL MATERIAL

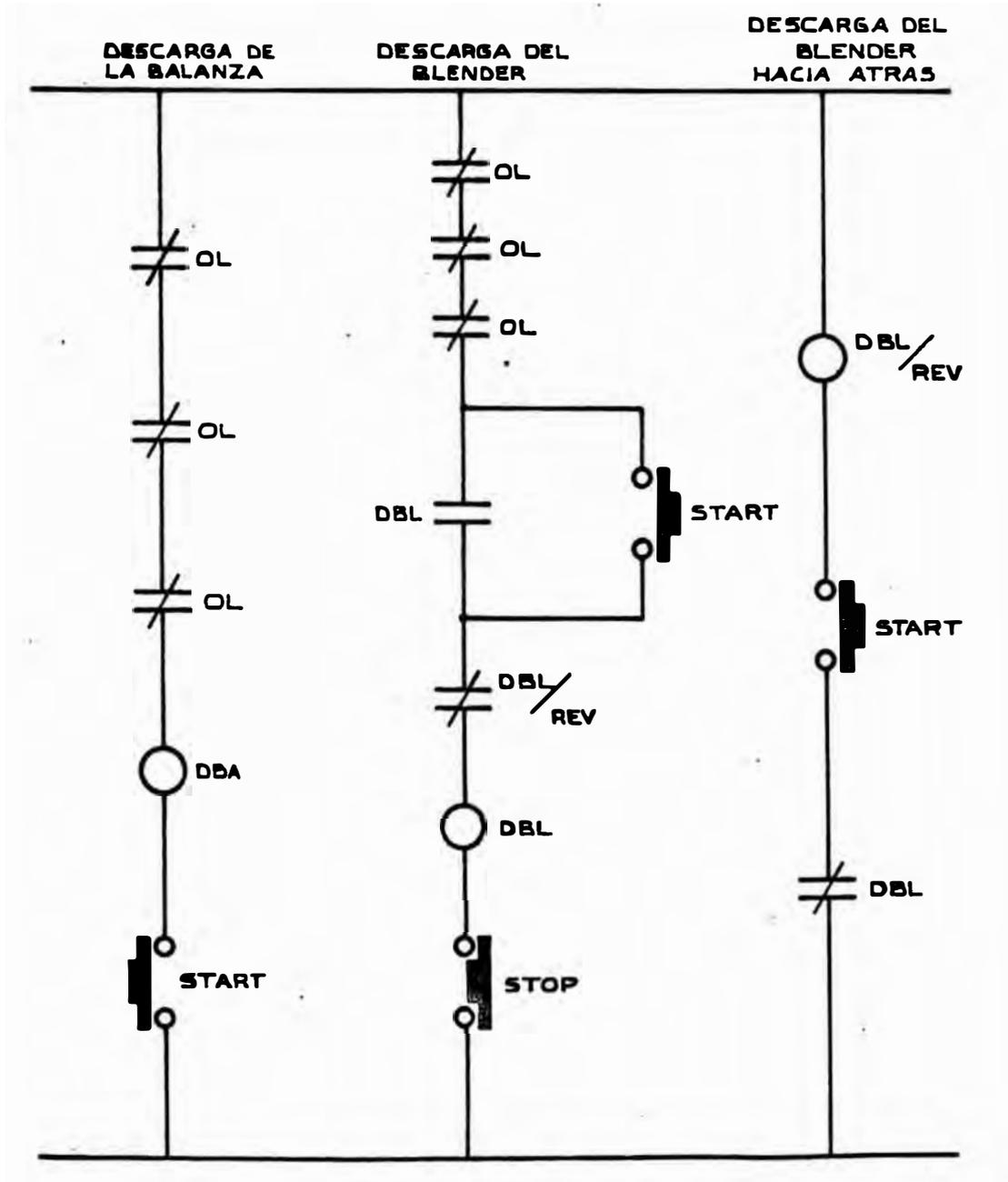


FIG. 23-15

*FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA  
MANUAL DE PESADO  
(ASPECTO FISICO)*

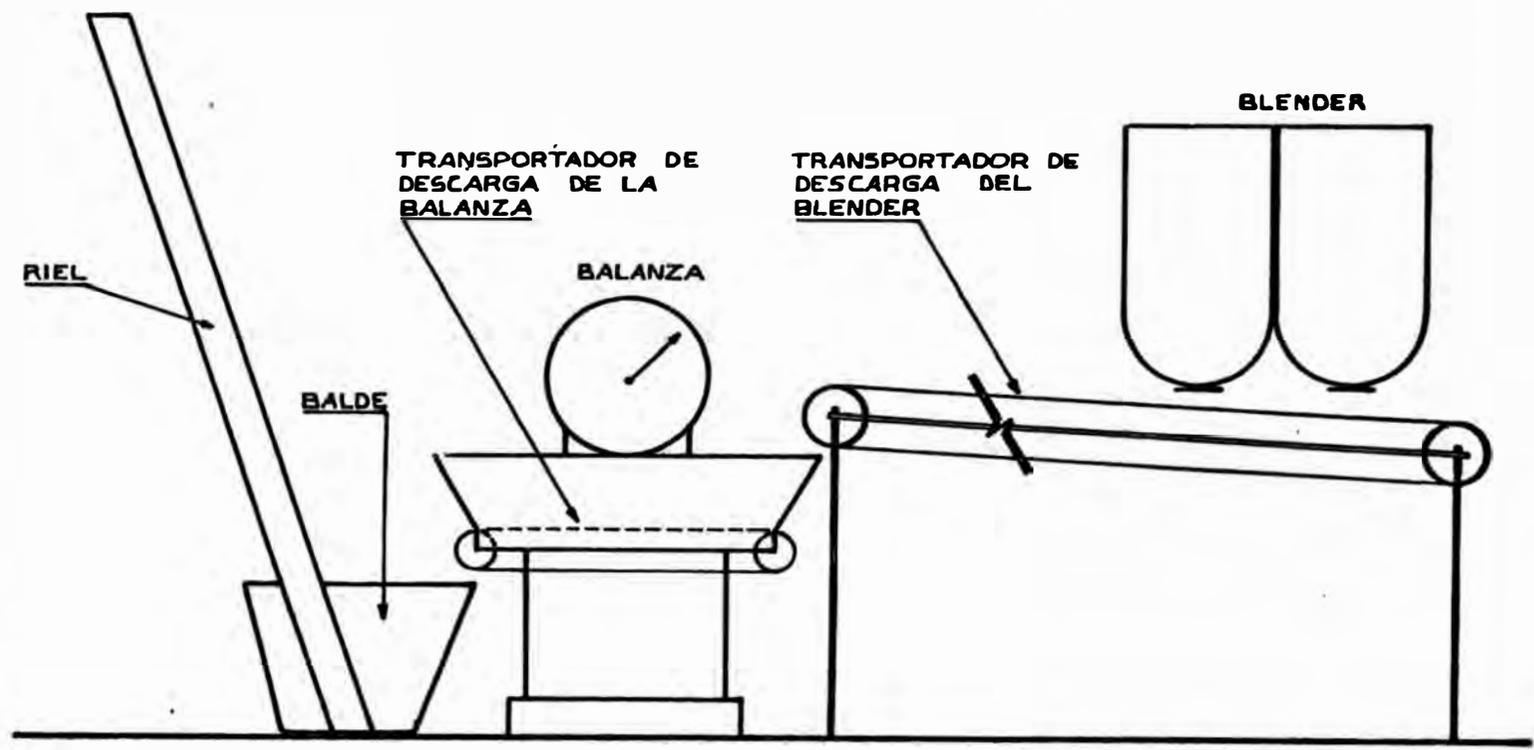
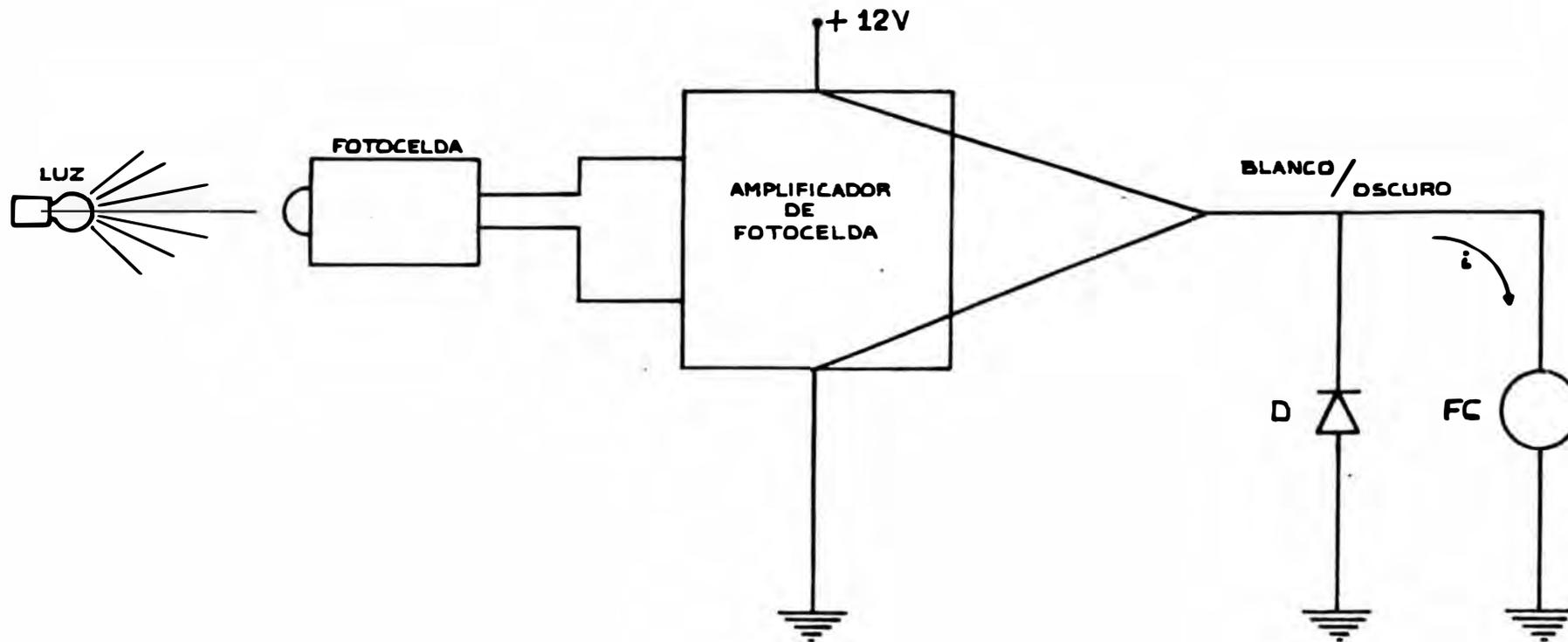


FIG 23-16



FC — CONTACTOR CON BOBINA DE 12 VDC

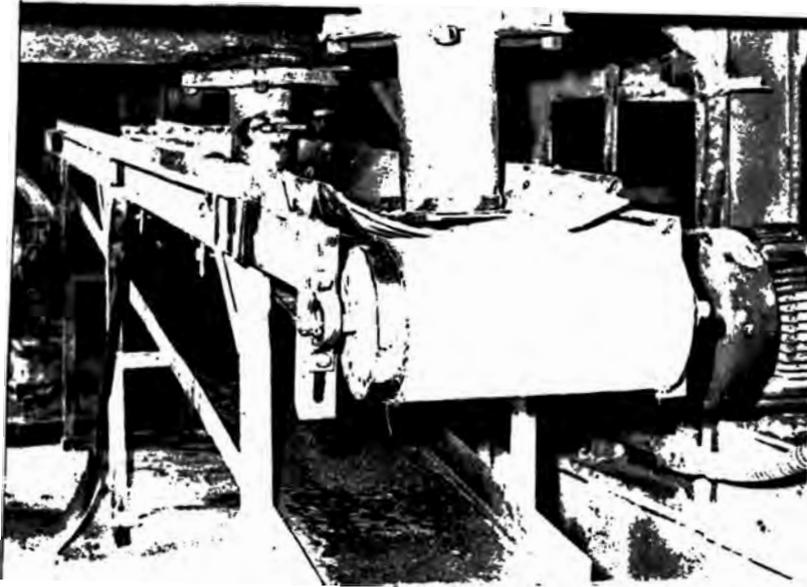
D — DIODO 1N1696 QUE ELIMINA LA TENSION  $L \frac{di}{dt}$  DE LA BOBINA DEL CONTACTOR

CIRCUITO DE CONTROL DE PESADO DE LA BALANZA  
"TOLEDO"

b. Sistema Automático de Pesado.

Exigencias.

- Al subir el balde se debe activar el transportador de descarga del blender para pesar el material en la balanza.
- Alcanzado el peso programado en la balanza se debe parar el transportador del blender.
- En el mismo instante que se inicia la subida del balde se debe pesar material ya procesado (picado por descarte en el control de calidad) llamado SCRAP.
- Al llegar el balde a su límite inferior se debe cargar scrap y activar el transportador de descarga de la balanza.
- Las operaciones de carga del balde se harán durante un tiempo programado en un temporizador. .
- Dos segundos antes de finalizar la temporización se anula el sistema de carga y a la vez se debe activar la subida del balde.
- De la condición anterior se puede concluir que quedan enlazados todos los sistemas automáticos es decir queda el lazo de control cerrado.



**TRANSPORTADOR DEL "BLENDER"**



**SISTEMA DE PESADO, OBSERVE EL BALDE, LA BALANZA "TOLEDO" Y LA BOCA DE DESCARGA DE "SCRAP"**

### c. Funcionamiento del Sistema Automático de Pesado

Para iniciar el proceso primero deberá pesarse materia prima y scrap; además una vez que se haya terminado el pesado se debe energizar el contactor AUT02.

Se presiona el push bottom INICIO AUTO y se energiza el temporizador T30 y de igual forma el contactor BGO.

Una vez energizado BGO se activa el transportador de descarga de la balanza.

Faltando dos segundos para finalizar la temporización el contacto C-2 del temporizador T30 pasa de OF a ON y se activa el contactor TA30.

Activado el contactor TA30 se desactiva el transportador de la balanza y se activa el transportador del blender para pesar nuevamente materia prima hasta que se abra el contacto FC que indica que se tiene el peso programado.

Al pegar el contactor TA30 también se activa el circuito de subida del balde, el cual al llegar hasta 3/4 de altura para esperar se cumplan todas las condiciones para que el balde deposite la masa en la cámara.

# CIRCUITO DE CONTROL AUTOMATICO DE PESADO

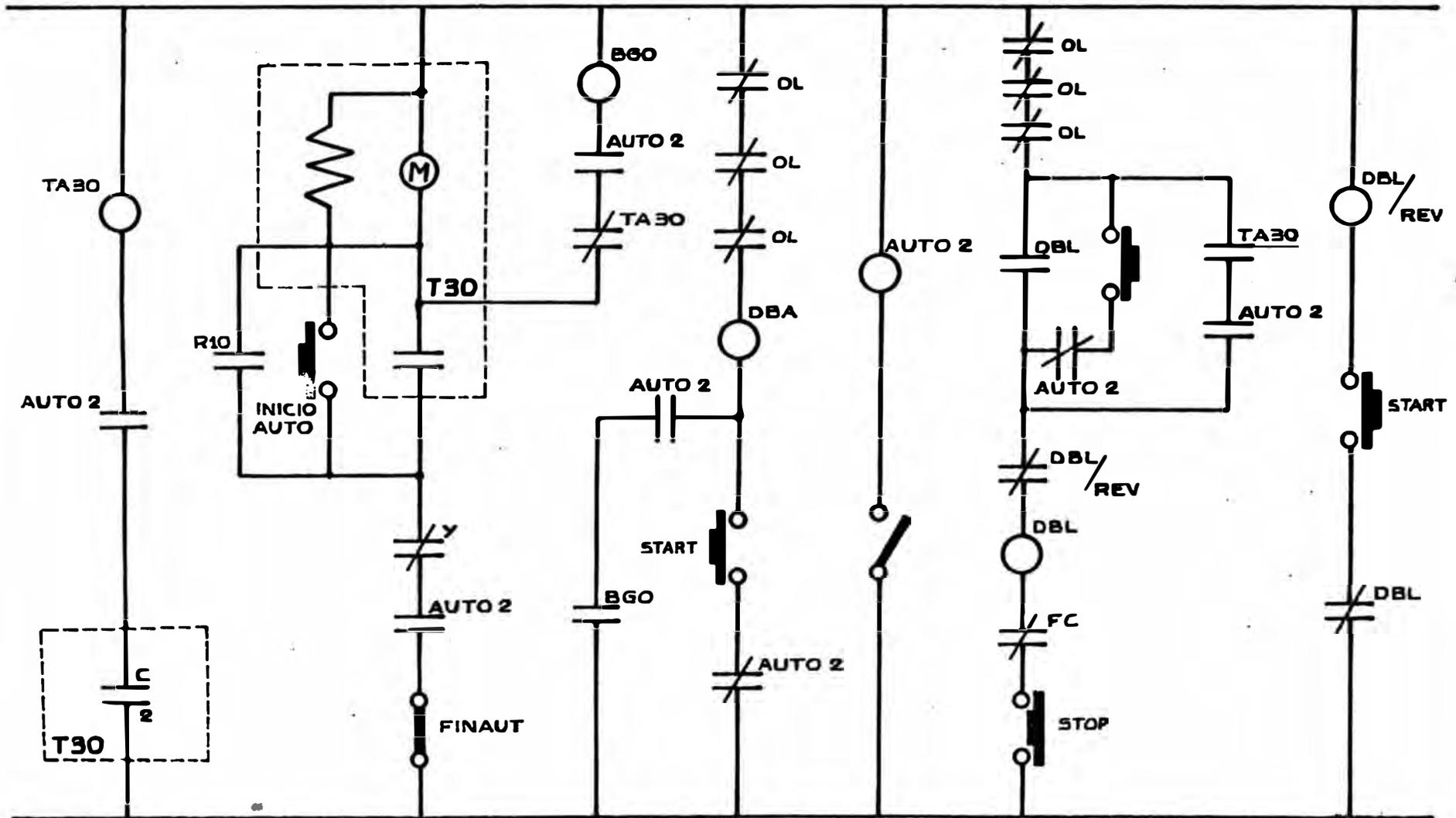


FIG. 23-17

## 2.4 DISEÑO DEL CONTROL AUTMÁTICO DEL MOLINO

Una vez que la materia prima es mezclada y calentada en el mixer, ésta pasa al molino donde es transformada en una masa de 1 metro de ancho por dos metros de largo y de 0.035m de espesor, con un peso promedio de 100 Kg.

Los rodillos del molino son accionados por un motor de 180HP trifásico, previa reducción de velocidad. Los rodillos permanecen girando durante toda la jornada de trabajo.

### 2.4.1 Exigencias del Sistema de Control.

El molino debe procesar la masa un tiempo prefijado (promedio 10 segundos); luego se debe activar un temporizador  $T_{M1}$ .

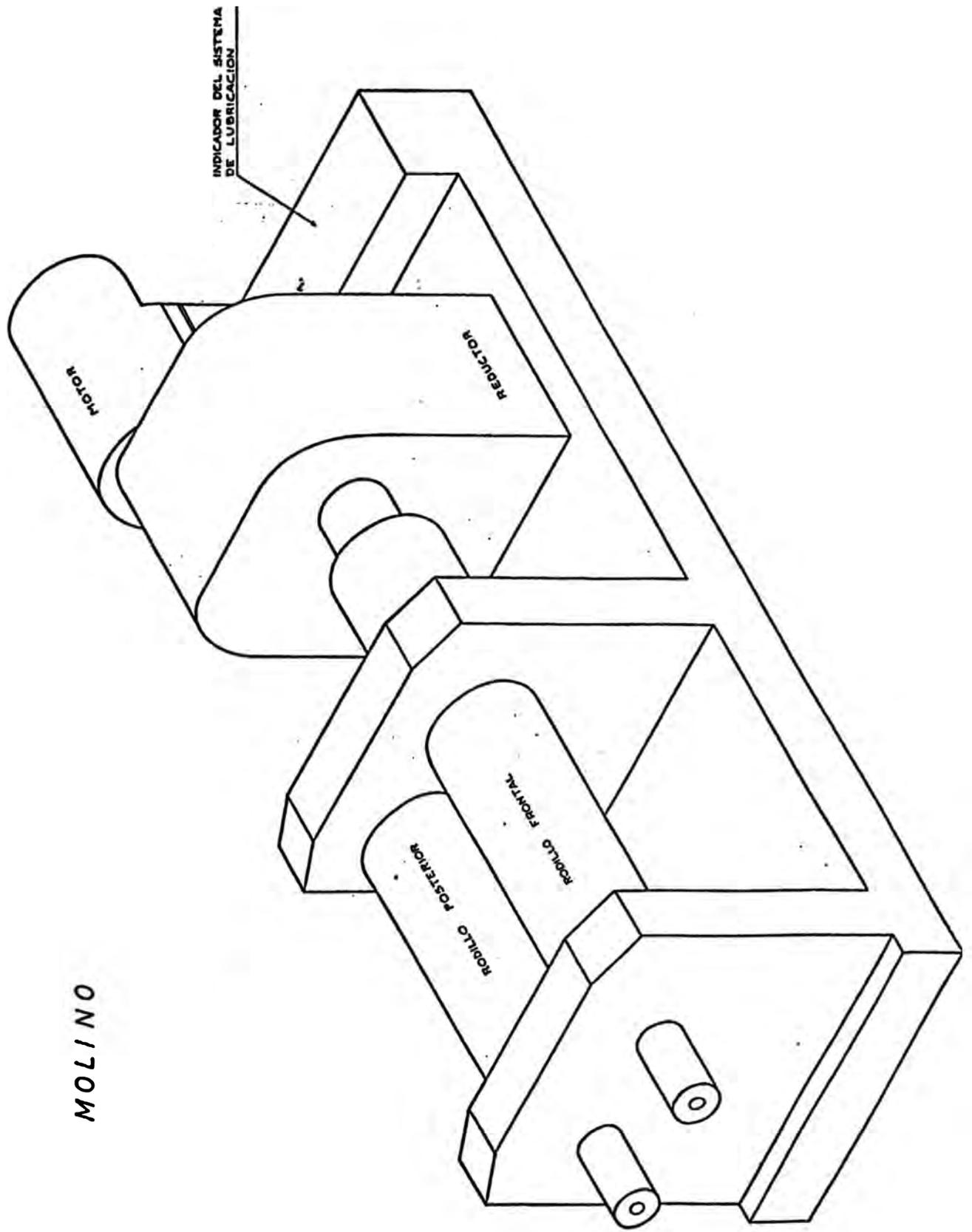
$T_{M1}$  energiza a un vibrador de moteo para que caiga sobre la superficie del material y se dé una coloración especial (superficial).

Pasado el tiempo de temporización de  $T_{M1}$  se debe batir unos segundos más (5 como promedio).

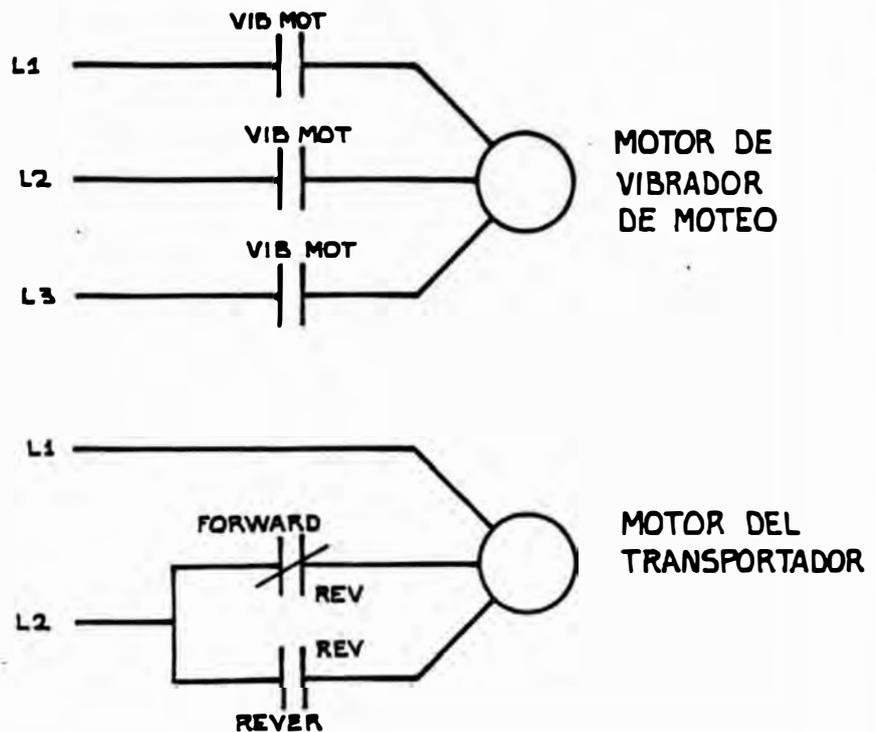
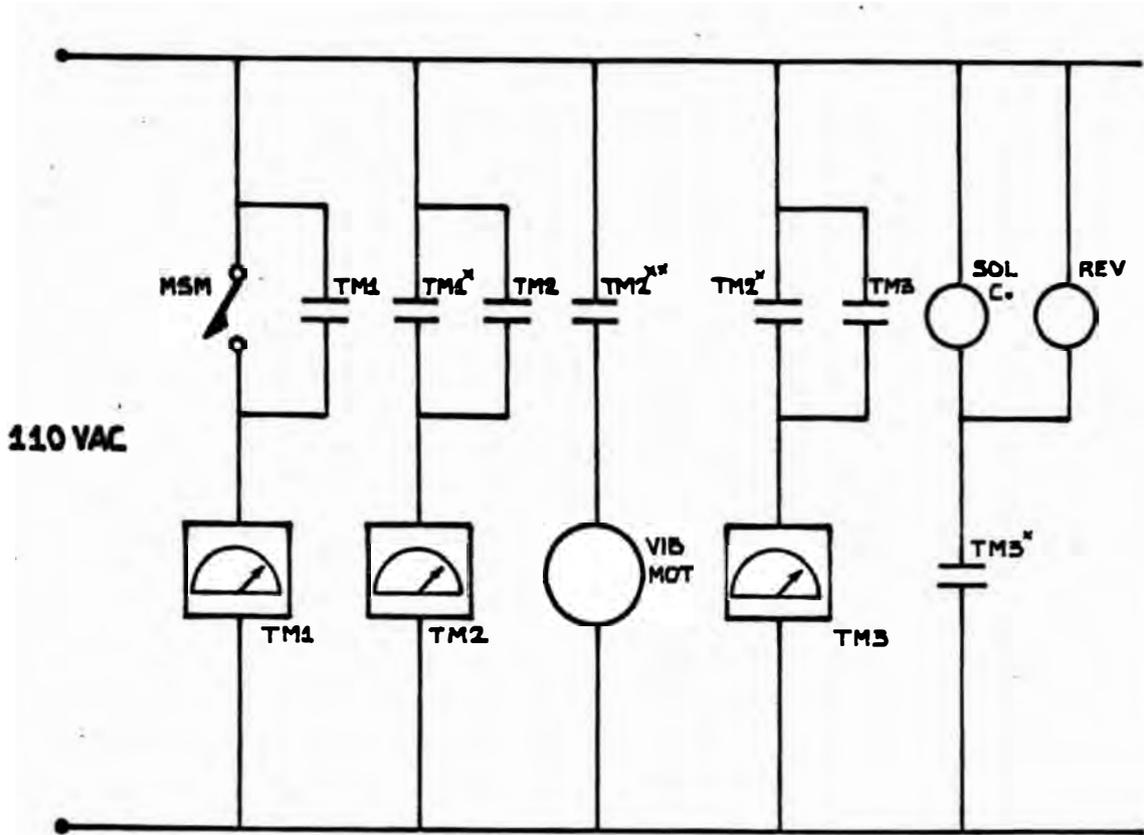
Luego del último batido debe caer una cuchilla tangencialmente a los rodillos, para que caiga la masa en el transportador.

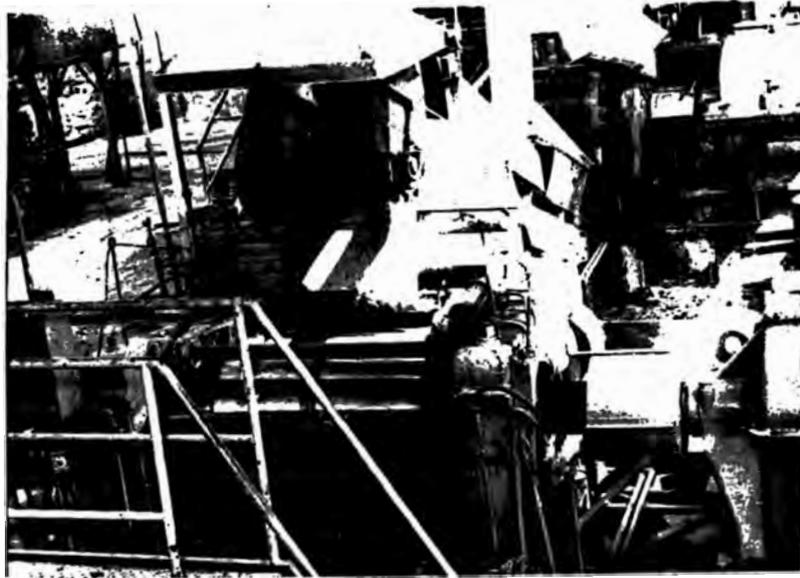
En el momento que cae la masa el transportador debe funcionar al revés (REVES); sólo durante el tiempo de corte.

# MOLINO



# ESQUEMA DE CONTROL DEL MOLINO





**SISTEMA LAMINADOR PRIMARIO O MOLINO  
OBSERVE EN LA PARTE SUPERIOR EL TRANSPORTADOR "MAYFRAN"**

### 2.4.2 Automatización del Molino.

#### Pasos.

a) Al caer la masa debe accionarse a un micro-switch para iniciar el proceso.

b) Dada la exigencia de control del tiempo se usará temporizadores.

c) La cuchilla será controlada con una válvula solenoide.

### 2.4.3 Funcionamiento del Sistema de Control..

Al caer la masa al micro-switch MSM y se energiza  $T_{M1}$  iniciándose un proceso de batido de la masa.

Dos segundos antes de finalizar la temporización de  $T_{M1}$  el contacto  $T_{M1}$  se cierra y energiza el temporizador  $T_{M2}$  en ese momento se cierra el contacto  $T_{M2}$  y se energiza el contactor VIBMOT a la vez que se inicia el moteo de la masa.

Dos segundos antes de finalizar la temporización  $T_{M2}$  se energiza el temporizador  $T_{M3}$  por cierre del contacto  $T_{M2}$  luego se inicia el segundo periodo de batido.

Dos segundos antes de finalizar el segundo período de batido se cierra el contacto  $T_{M3}$  y e

energiza el solenoide de la cuchilla SOLC y el contactor REV.

Energizado SOLC y REV cae la cuchilla y corta el material. El transportador que giraba en la forma hacia adelante FORWARD es accionado al revés o REVES; esto sólo dos segundos.

Con esto termina un ciclo de operación del molino.

## 2.5 CONTROL DE VELOCIDAD DE LAS CALANDRIAS.

Dos rodillos laminadores forman lo que usualmente se denomina calandria cuya finalidad es reducir el espesor de un manto en los trenes de laminación, en nuestro caso para fabricar pisos vinílicos

Una vez que se tiene un adecuado control de temperatura en el sistema laminador casi todos los defectos que se produzcan en el piso serán consecuencia de una mala regulación de velocidad. Con la finalidad de reducir al mínimo estos defectos estudiaremos un sistema de control sencillo y altamente versátil.

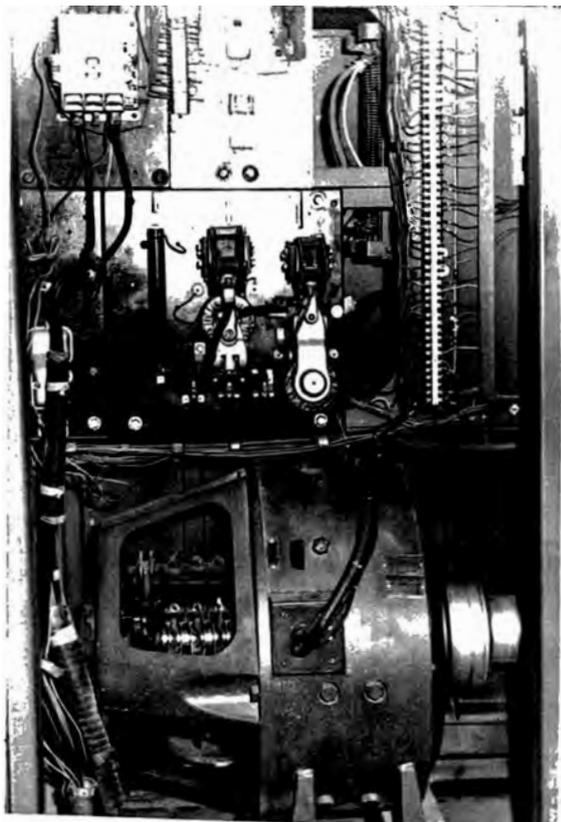
### 2.5.1 Exigencias para el Control.

El hecho de existir grupo Ward-Leonard en la fábrica determina su uso y por lo tanto el control deberá realizarse en base a un esquema de control de este tipo.

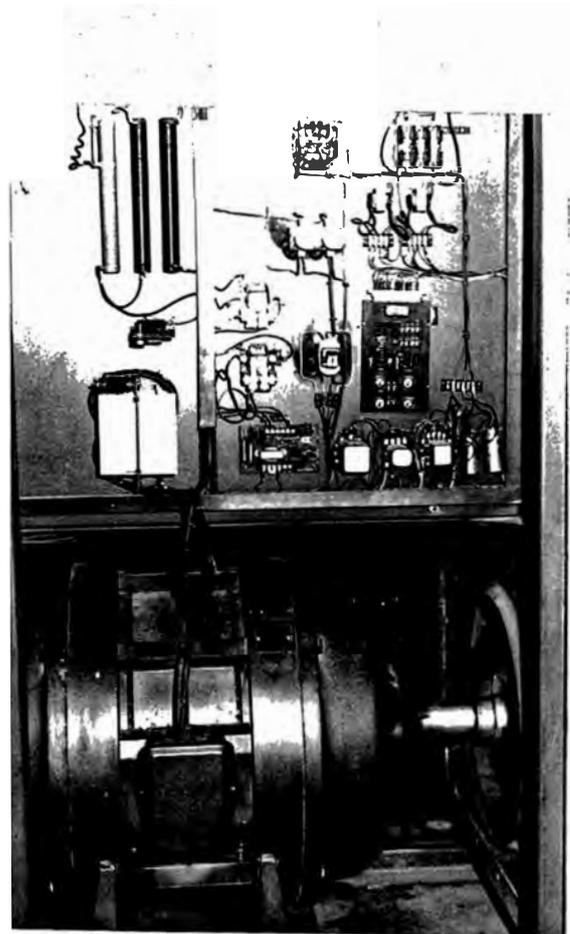
La variación de velocidad en condiciones estables del sistema no será mayor de 1%.

Los sistemas de control deberán tener capacidad para trabajar en un grupo cualquiera independiente de la potencia del motor cuya velocidad se controla.

El motor impulsor no debe arrancarse en condición de velocidad diferente a cero.

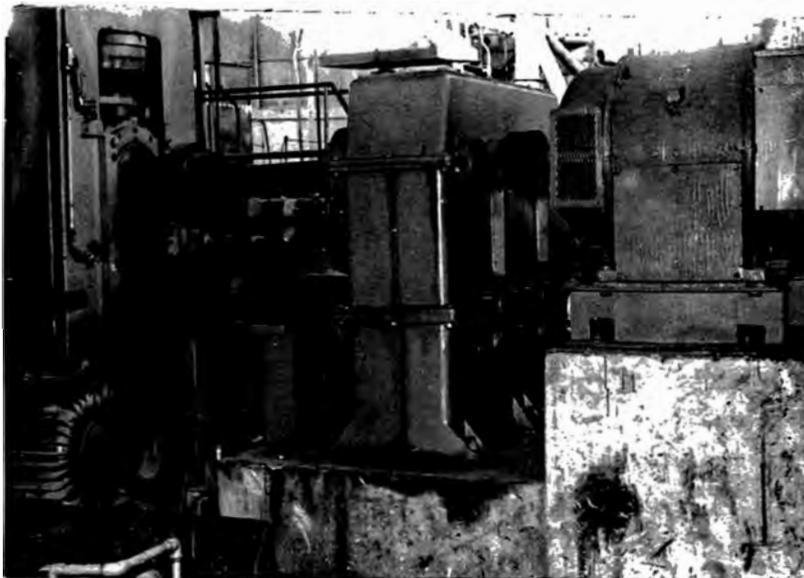


**MOTOR AC**



**GENERADOR DC**

**MOTOR DC O IMPULSOR, OBSERVE EL REDUCTOR DE VELOCIDAD Y LA TRANSMISION DE LOS RODILLOS**



**GRUPO WARD-LEONARD USADO EN LAMINACION**

El control de todos los grupos debe hacerse individualmente o automáticamente juntos, con velocidades proporcionales o iguales.

El sistema debe ser capaz de, a la condición de "velocidad cero", vencer la inercia del conjunto laminador.

La limitación de corriente de armadura será una importante exigencia para proteger el generador y motor DC cuando se traben los laminadores.

#### 2.5.2 Esquema Propuesto y Características del mismo.

La Figura 1.2.D muestra un esquema que viene a ser un compendio de las bondades de diversos esquemas de control Ward-Leonard. Dicho sistema posee las siguientes características principales:

a) Control de velocidad por variación de la intensidad de campo del generador G.

b) Lazo de limitación de corriente de armadura del generador G y del motor DC. Este lazo es una forma de control de sobrepico de potencia y un control indirecto del campo del generador.

c) Un lazo de realimentación de velocidad desde un taco-generador cuyo voltaje es comparado con una referencia para activar un circuito de disparo que controla la intensidad de campo.

d) Un sistema estabilizador de realimentación negativa que sensa las variaciones bruscas de la tensión de campo.

e) Un sistema de aceleración y retardación gradual para evitar el excesivo crecimiento de la intensidad de campo y las variaciones bruscas de velocidad del motor DC.

Con el fin de detallar la capacidad de control presento a continuación el diseño de cada bloque; sin embargo aclaro que si se asume ciertos detalles es por la carencia de datos e información de las máquinas.

### 2.5.2a La Unidad de Poder AC/DC y Amplificador de Potencia.

Básicamente esta unidad es la fuente de poder para excitación de campo del generador, ya sea para el campo auxiliar como para el campo principal. El campo auxiliar es del 25% y es el que permite llevar al generador a la condición de apagado completo; el voltaje de polarización se toma de la unidad AC/DC y ajustado mediante un potenciómetro. El bobinado del campo principal del generador es energizado por el amplificador de potencia a tiristor.

Por razones de mantenimiento y bajo costo se ha elegido una unidad de poder AC/DC del tipo monofásico de onda completa y el amplificador de potencia lo formamos con un tiristor que en nuestro caso actuará como un switch controlado.

#### Esquema propuesto y cargas que alimenta.

Como puede observarse la primera carga que alimenta la unidad de poder es el campo constante del motor de impulsión, el campo auxiliar del generador, un contactor M que interconecta las armaduras del generador con el motor más dos resistencias "BLEED Resistor" ó Resistencia de drenaje.

UNIDAD DE PODER AC/DC CON CARGAS

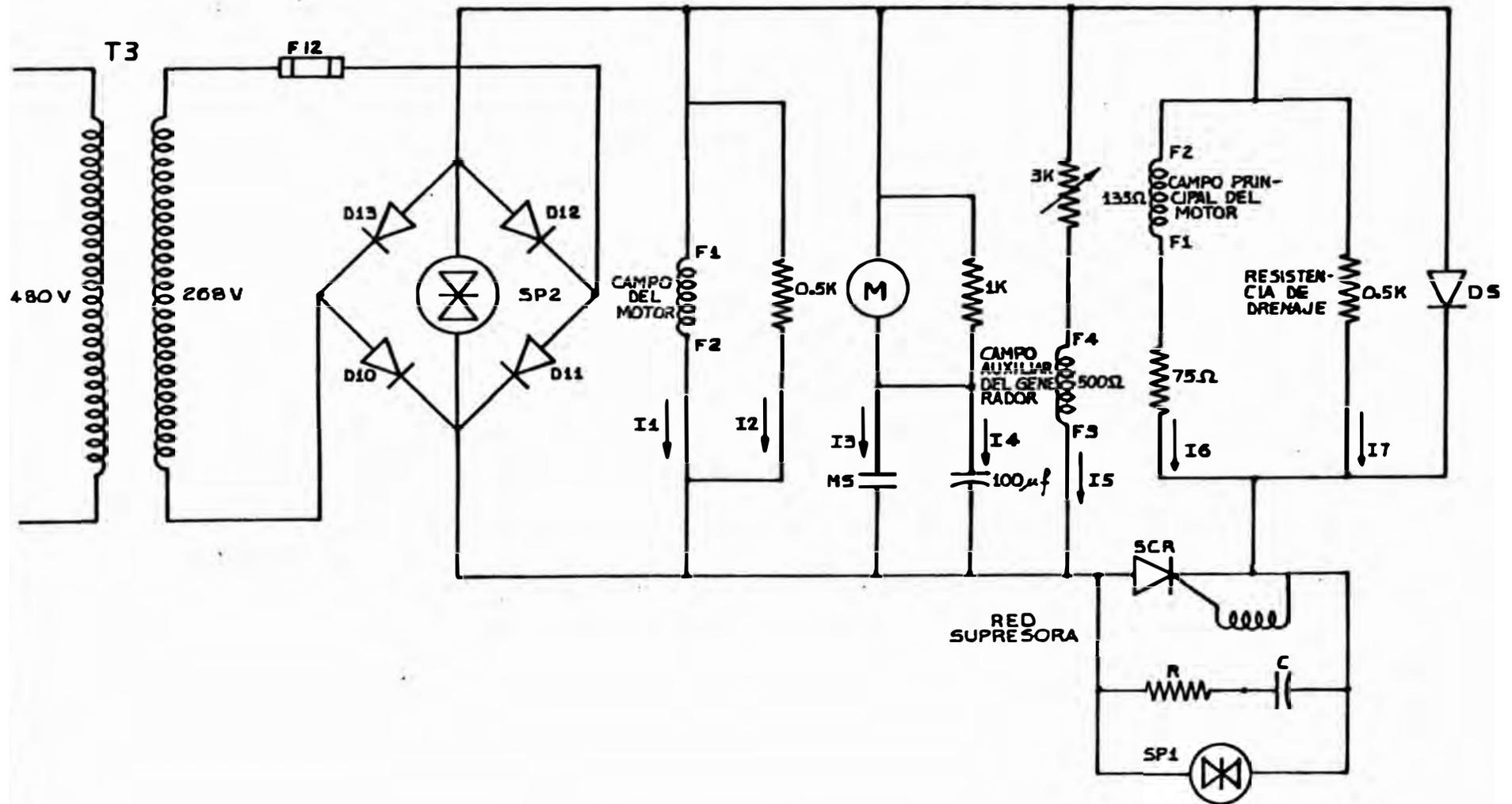


FIG 25 b1-1

Una vez que el tiristor es disparado podemos decir que hemos amplificado en potencia la "referencia"; este amplificador a tiristor es quien alimenta al campo principal del generador con la finalidad de variar la excitación según la velocidad que se desee en el motor.

Entre el ánodo y el cátodo del tiristor se aprecia una red RC en paralelo con un diodo supresor; cuya finalidad es proteger al semiconductor en los transitorios y en la condición de apagado del mismo.

#### Estudio de la Unidad AC/DC y Amplificador de Potencia.

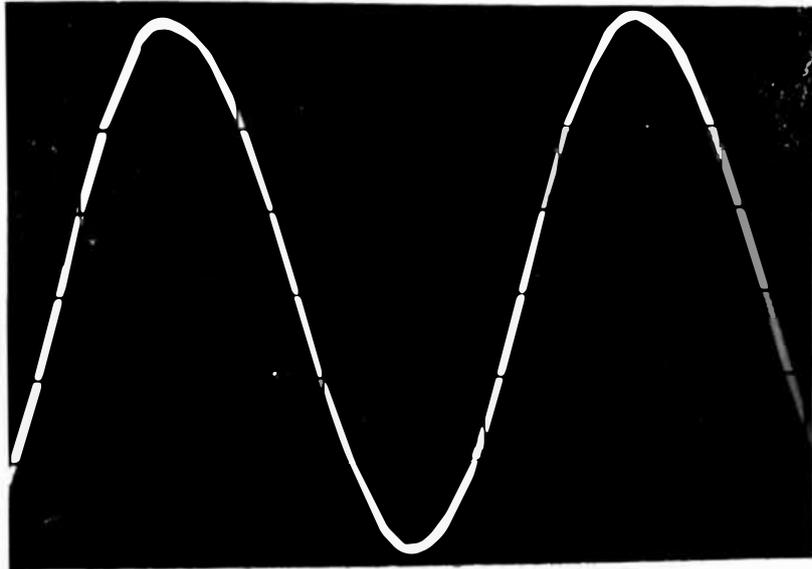
En primer lugar es conveniente conocer la máxima corriente con la que trabajan los diodos con la condición de conducción máxima.

Sabemos que el voltaje pico para este esquema es:

$$V_{\text{pico}} = 268\sqrt{2} \approx 380 \text{ volt.}$$

Luego, considerando las corrientes para un sobrediseño.

$$I_1 = \frac{380}{62.5} \approx 6 \text{ amper.} \quad I_2 = \frac{380}{500} \approx 0.76 \approx 1 \text{ amper.}$$



ONDA DE TENSION ALTERNA DE 268 VOLT-60 HZ

$I_3 = 0.5$  amper. como dato aproximado para la bobina del contactor M.

$$I_4 = \frac{380}{1000} = 0.38 \approx 0.5 \text{ ampers.}$$

$$I_5 = \frac{380}{500+3000} \text{ donde } 0 \leq x \leq 1$$

podemos considerar  $I_5 = 0.5$  amper, como un dato práctico.

$$I_6 = \frac{380}{210} \approx 1.9 \approx 2 \text{ ampers.}$$

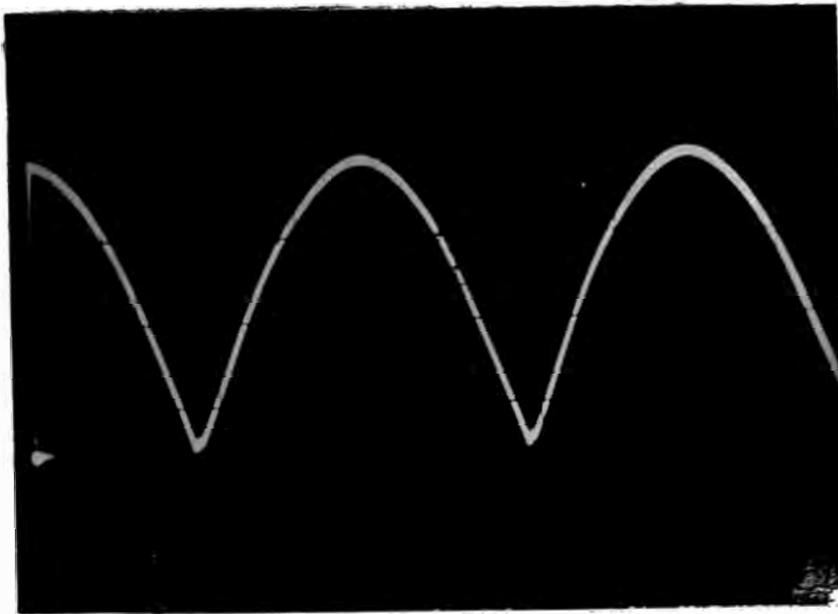
$$I_7 = \frac{350}{500} = 0.76 \approx 1 \text{ amper.}$$

∴ La corriente total será aproximadamente  $I_T \approx 12$  ampers.

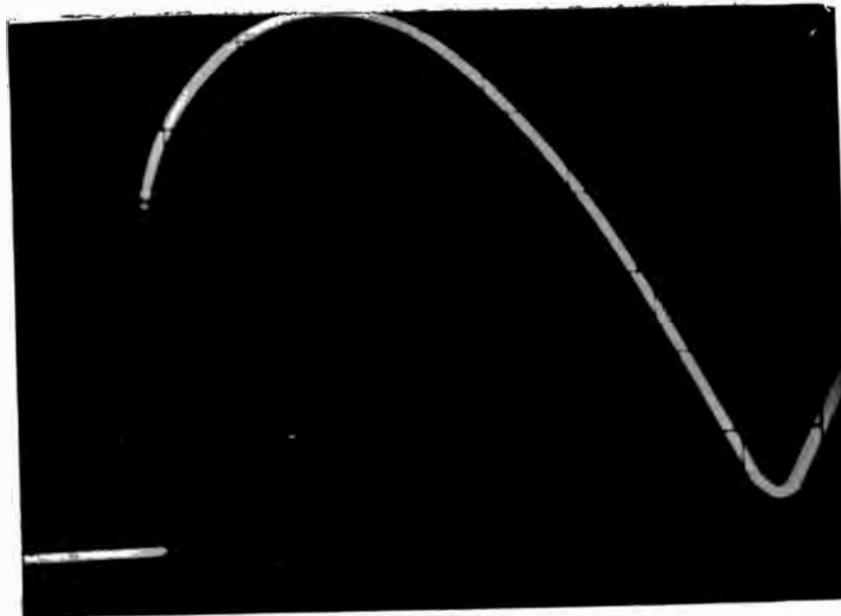
además el voltaje de pico es aproximadamente de 400 voltios.

Los diodos apropiados para este caso serán del tipo A40M y A41M cuyas características de Voltaje=600 voltios y máxima corriente directa = 30 ampers asegura un correcto sobredimensionamiento y seguridad y confiabilidad.

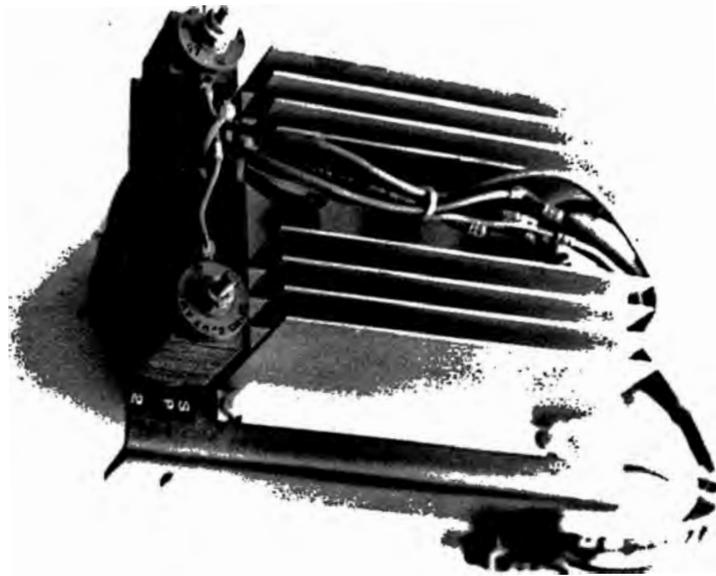
Los diodos A40M y A41M sólo se diferencian por tener uno el ánodo a la carcasa y el otro al cátodo; esto permite una gran flexibilidad en el montaje sobre disipadores.



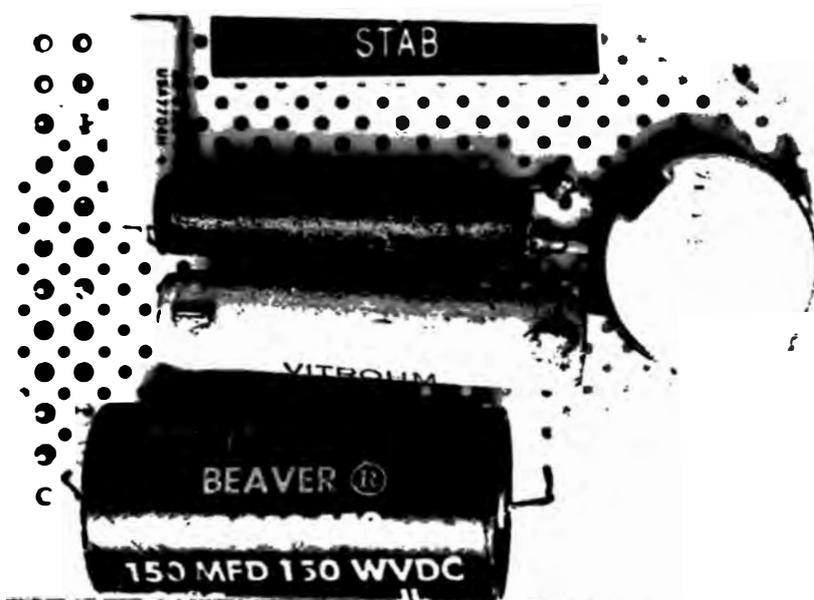
FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE DE LA FUENTE DE PODER AC / DC  
268 VOLT-60 HZ



FORMA DE ONDA DE CORRIENTE EN EL AMPLIFICADOR DE POTENCIA  
(SCR) DISPARADO EN  $30.8^\circ$ , VOLTAJE PICO  $268\sqrt{2}$ -60 HZ



UNIDAD DE PODER AC/DC Y AMPLIFICADOR DE POTENCIA  
OBSERVE LOS DIODOS CONMUTADORES SP1 Y SP2

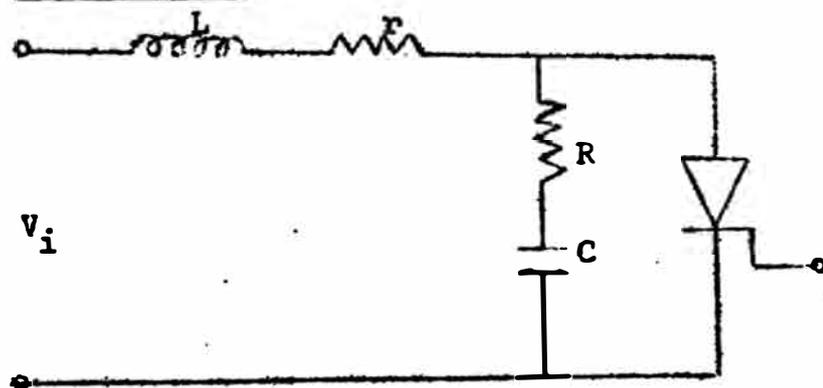


UNIDAD DE ESTABILIZACION "STAB"

El tiristor básicamente trabaja con una corriente de aproximadamente 3 amperes; teniendo en consideración que este dispositivo es en sí una de las partes más delicadas del control escogeré el SCR C30D cuyas características son de 600 voltios de voltaje inverso y 30 amperios en condición directa.

El diodo DS conocido como "Swamping diode" tiene la finalidad de absorber la fuerza contra-electromotriz del bobinado de campo, ya que éste será excitado en forma súbita en el momento que se dispara el tiristor.

2.5.2a1 Diseño de la Red Supresora R-C; Protectora de la  $dv/dt$ .



Debe tenerse en cuenta que la velocidad excesiva de crecimiento de la tensión aplicada entre ánodo y cátodo ( $dv/dt$ ) podría provocar el cebado del tiristor bloqueado en ausencia de señal de puerta. Es-

ta variación excesiva de velocidad es causada por variaciones bruscas de una fuerza electromotriz (de una carga constituida por ejemplo, por el rotor de un motor con colector). Luego un buen medio para limitar la  $dv/dT$  es conectando una red RC en paralelo con el tiristor. Además es importante aclarar que la  $dv/dT$  que debe protegerse es la producida en el instante del corte del tiristor; así como también que la red protectora debe ser eminentemente capacitiva.

Todo lo aclarado hasta aquí sólo es rigurosamente válido cuando la puesta en corte del tiristor tiene lugar después que el circuito principal ha alcanzado su régimen estacionario.

Hecho estas aclaraciones iremos al diseño en sí de la Red.

El circuito de la Fig. A es sustituido por dos modelos: Fig. B en donde el tiristor está conduciendo y Fig. C, en donde el tiristor está bloqueado. eléctricamente, el problema del corte del tiristor es pues el cambio de régimen de la intensidad  $I_{ON}$  por otra de distinta amplitud y fase  $I_{OF}$ , cuyo valor en el instante de corte (para el que se supondrá  $t=0$ ) no es nu-

lo sino  $I_p$  y que lleva un ángulo de adelan\_ to respecto a la tensión de  $\alpha$ ?

La ecuación que gobierna a  $I_p$  es:

$$I_p = I_{M \text{ OFF}} \text{ Sen}(\mu + \alpha) \quad \alpha = \frac{T^{-1}}{R} \frac{1}{\omega C - \omega L}$$

$$R = r + R_1$$

$I_{M \text{ OFF}}$  intensidad pico con el tiristor cor\_ tado.

$$I_{M \text{ OFF}} = \frac{V_m}{|Z_2|} \quad \cdot \quad Z_2 = \left[ R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 \right]^{1/2}$$

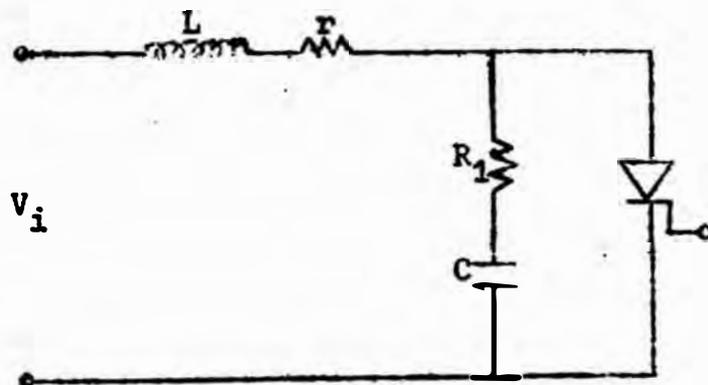


Fig. A

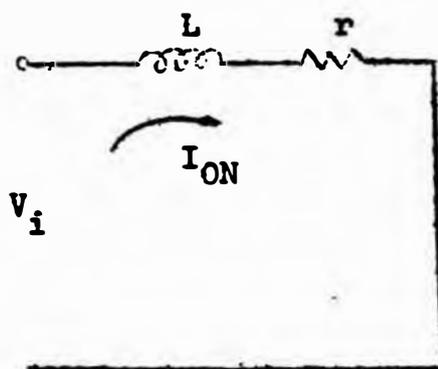


Fig. B

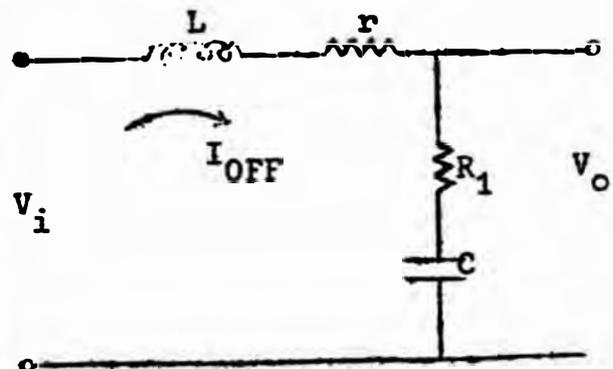


Fig. C

De la Fig. B:

$$I_{ON} = \frac{V_m}{|Z_1|} |\text{Sen}(wt - \mu)|. \quad \mu = T_g^{-1} \frac{WL}{r}$$

Cuando  $I_{ON} = 0 \implies wt = \mu$

$$\text{Luego: } V_i = V_m |\text{Sen}(\mu)|$$

Donde  $V_m$  es el valor máximo de la tensión en la red, éste no es el valor al cual la tensión subirá en forma más o menos rápida durante la conmutación.

Cálculo de  $V_o$ .

De la Fig. C:

$$V_o = I_{M \text{ OFF}} \left[ R_1^2 + 1/c^2 w^2 \right] = I_{M \text{ OFF}} Z_3.$$

Sa e os:

$$V_m = I_{M \text{ OFF}} Z_2. \quad Z_3 = \left[ R_1^2 + \frac{1}{c^2 w^2} \right]^{1/2}$$

$$\text{Luego: } \frac{V_o}{V_m} = \frac{Z_3}{Z_2}$$

$$\boxed{V_o = \frac{Z_3}{Z_2} V_m} \quad (1)$$

La expresión indica que  $V_o$  puede ser tanto mayor que  $V_m$ ; como  $Z_3/Z_2$  sea mayor que la unidad.

En consecuencia el valor de  $V_o$  y no el de  $V_m$  es que el tiristor debe estar en condiciones de bloquear.

La condición para que haya sobre tensión es la siguiente:

$$\frac{Z_3}{Z_2} > 1 \quad \text{ó bien}$$

$$R_1^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2} > R_1^2 + R R_1 r + r^2 + \omega^2 L^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2} - \frac{2L}{C}$$

$$\boxed{\frac{2L}{C} > (2R_1 + r)r + \omega^2 L^2} \quad (o)$$

Habíamos dicho que durante el corte:

$$V_1 = V_m \text{ Sen } \mu$$

Durante este mismo tiempo el voltaje en el tiristor era:

$$V_o = \frac{Z_3}{Z_2} V_m \left| \text{Sen}(\mu - \gamma) \right|.$$

$$\text{Donde } \gamma = - \text{Tg}^{-1} \left( \frac{1}{\omega R_1 C} \right) + \text{Tg}^{-1} \left( \frac{1/\omega C - \omega L}{R} \right)$$

Cálculo del Valor  $dv/dt$ .

Tenemos ya una idea física y numérica de los detalles que acompañan al fe

nómeno de corte del tiristor, es decir el cambio de régimen de intensidades que debe ocurrir en este momento. Este fenómeno transitorio de cambio de régimen acarrea una aparición rápida de la tensión en los bor - nes del tiristor:  $dv/dT$ .

En la práctica se debe limitar el valor de  $dv/dT$  impuesto al tiristor durante el estado transitorio por debajo del valor máximo suministrado por el fabricante.

La ecuación diferencial para el instante  $t=0$  es:

$$L \frac{di}{dT} + Ri + \frac{1}{C} \int idT = \left| V_m \text{ Sen}(\mu) \right| \quad (2)$$

En realidad se observará que  $V_m \left| \text{Sen} \mu \right|$  debería haberse sustituido por  $V_m \left| \text{Sen} wt \right|$  ya que el valor de la tensión es variable con el tiempo, pero dado que el fenómeno es mucho más rápido que la corriente alterna (y la experiencia lo confirma) diremos que esta sustitución es una muy buena aproximación.

La resolución de la ecuación (2) es muy tediosa, pero gracias a estudios realizados se logró la siguiente solución , aproximada:

$$i(t) = \frac{V_m |\text{Sen } \mu|}{L K} e^{-\frac{R}{2L}t} \text{Sen}(Kt) \quad (3)$$

$$\text{donde } K = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \quad (4)$$

De la ecuación (4) podemos obtener la frecuencia de las oscilaciones amortiguadas durante el estado de corte del tiristor.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

De la misma expresión (4) podemos obtener la razón de amortiguamiento del sistema.

$$\zeta^2 = \left(\frac{R}{2L}\right)^2 \frac{1}{LC}$$

$$\zeta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Según experimentos realizados, se logran buenas condiciones de funcionamiento para  $\zeta$  comprendido en el rango de:  
 $0.5 \leq \zeta \leq 1$ :

De la expresión (3) y de la Fig. C.:

$$V_o(t) = R_1 i(t) + \frac{1}{C} \int \frac{V_m \text{Sen } \theta}{K L} e^{-nt} \text{Sen}(Kt) dt,$$

Donde  $n=R/2L$ .

Derivando  $V_o(t)$  obtenemos:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{V_m |\text{Sen } \mu| e^{-nt}}{L K} (R_1 k \text{ Cos}(Kt) - R_1 n \text{ Sen}(k t) + \frac{1}{C} \text{ Sen}(k t))$$

Ahora el problema es determinar el valor máximo de  $dv/dt$ , y debido a lo complicado de su cálculo, se logra una buena aproximación cuando  $\text{Sen}(kt) = 1$ .

$$\text{O bien } t = \frac{\pi}{2k}$$

Esta expresión nos da una idea de lo que el sobrepico transitorio tarda en aparecer.

Por tanto la derivada máxima es entonces:

$$dv/dt = \frac{V_m |\text{Sen } \mu|}{K L} (1 - R_1 n) e^{-nt} \quad t = \frac{\pi}{2k}$$

Reemplazando los valores de  $k$ ,  $n$  :

$$dv/dt = V_m \text{ Sen } \mu \left[ \frac{2L - R_1 RC}{\sqrt{4LC - R^2 C^2}} \right] e^{-R/2L t}$$

Para nuestro diseño contamos con los siguientes datos:

$$r = 210 \Omega$$

$$L = 0.1 \text{ Hy para un caso extremo.}$$

$$V_o = 400 \text{ volts.}$$

$$V_m = 380 \text{ volts.}$$

$$I_a = 1.2 \text{ A. (Intensidad pico de descarga).}$$

Con estos datos procederemos a determinar los valores de los parámetros  $R_1$ ,  $C$  partiendo de las ecuaciones (0), (1).

Cálculo de  $R_1$ :

$$V_o = 400 \text{ volts.}$$

$$I_a = 1.2 \text{ A.}$$

$R_1$  lo podemos calcular satisfactoriamente de la relación:

$$R_1 = \frac{V_o}{I_a}$$

$$R_1 = 333.3 \Omega.$$

Normalizando:

$$R_1 = 330 \Omega.$$

Como tenemos  $R_1$  y  $r$  luego la resistencia total será:  $R = R_1 + r.$

$$R = 540 \Omega.$$

De la relación (0):

$$\frac{2L}{C} > r(2R_1 + r)\omega^2 L^2$$

Reemplazando valores:

$$\begin{cases} R_1 = 330 \Omega . \\ r = 210 \Omega . \\ \omega L = 75.36 \Omega . \end{cases}$$

llegamos a que:  $C < 1.06 \text{ F}$

Dada (1):  $\frac{Z_3}{Z_2} = \frac{V_o}{V_m}$

Reemplazando valores:

$$\frac{\sqrt{R_1^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}{\sqrt{(R_1+r)^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{400}{380}$$

Sustituyendo valores llegamos a la siguiente solución:  $C = 0.8 \mu\text{F}$ .

Normalizando  $C = 0.82 \mu\text{F}$ .

Luego nuestra red supresora será:

$$R = 330 \Omega$$

$$C = 0.82 \mu\text{f}$$

Además en la fuente de poder y en paralelo al tiristor se observan dos diodos de conmutación los cuales son del tipo thyrite de General Electric que actúan como dos diodos Zener para proteger los circuitos en conducción inverso. Los thyrite usados de 400 voltios y 1 amper en conducción inversa, su código es IRC 6631.

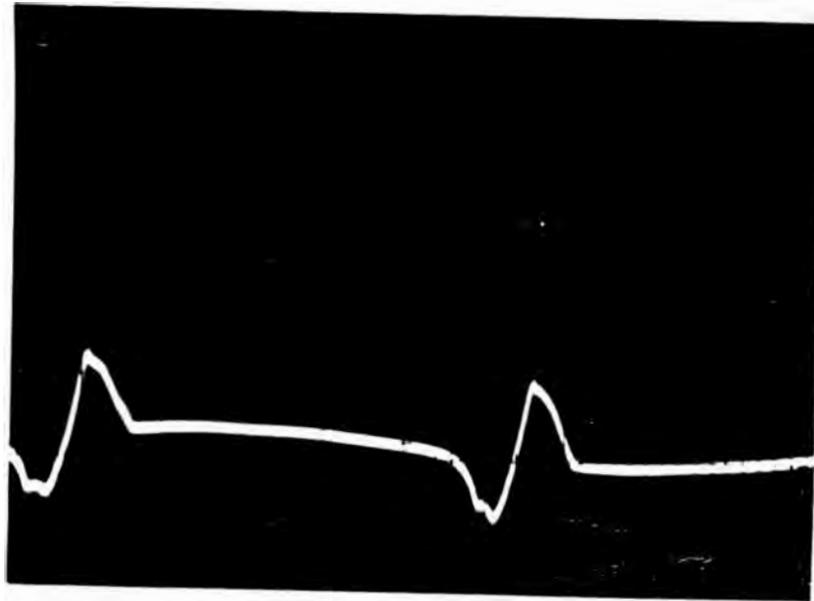
### 2.5.2a.2 Cálculo del Disipador.

El montaje de los ~~semiconductores~~ será en placas disipadoras de aluminio; en este caso tres elementos semiconductor por placa.

De acuerdo a los dos ábacos de "RCA" SOLID STATE" DATABOOK SERIES 1973 edition para una corriente de 20 ampers y una temperatura de 35°C se debe usar disipadores de 1/16 de pulgada con un área de 9 pulgadas cuadradas por elemento; por lo tanto usaremos disipadores con área de 40 pulgadas para mayor seguridad.

La protección por sobrecorriente para la unidad AC/DC será realizada mediante fusibles de acción rápida de tal forma que la interrupción de corriente, en caso de cortocircuito, se produzca en un tiempo menor que medio ciclo de la onda de alimentación.

Los fusibles del tipo AM-TRAPS son especiales para la protección de semiconductores; en nuestro caso la corriente de corte se selecciona de un valor igual al valor de corriente nominal y una tensión de  $V_o * 1.1 = 380 * 1.1 \approx 420$  voltios; de acuerdo a los ábacos el AM-TRAPS será de 450V y 30 amperios.



TIPICA SEÑAL DE REALIMENTACION DEL ESTABILIZADOR SE PRODUCE EN EL COMIENZO DEL DISPARO



TIPICA SENAL DE REALIMENTACION DEL LIMITADOR DE CORRIENTE  
0.2V/CM TOMADA EN LOS BORNES DEL DIODO 'LED'

## 2.5.2b Circuito Limitador de Corriente.

### 2.5.2b.1 Esquema Propuesto y Características.

Como todo sistema moderno de control nuestro grupo motor-generador DC debe controlarse en cuanto a corriente de armadura se refiere.

Nuestro esquema controla esta corriente de manera indirecta. Si se controla el ángulo de conducción de un tiristor que alimenta al campo del generador DC; cuya velocidad es constante e impuesta por un motor AC; la tensión de armadura también es controlada y por consiguiente la corriente la misma. Ver Fig. LC1.

Antiguamente se acostumbraba a usar una muestra de tensión de los interpolos del motor considerando que ésta es bastante proporcional a la corriente de armadura; estos esquemas aún se observan en equipos de control A.E.I y "Kinetics Control" de la década del 70; sin embargo hoy las técnicas modernas lo descartan no sólo a éste; sino con más énfasis al hoy casi obsoleto "sistema del reactor saturable".

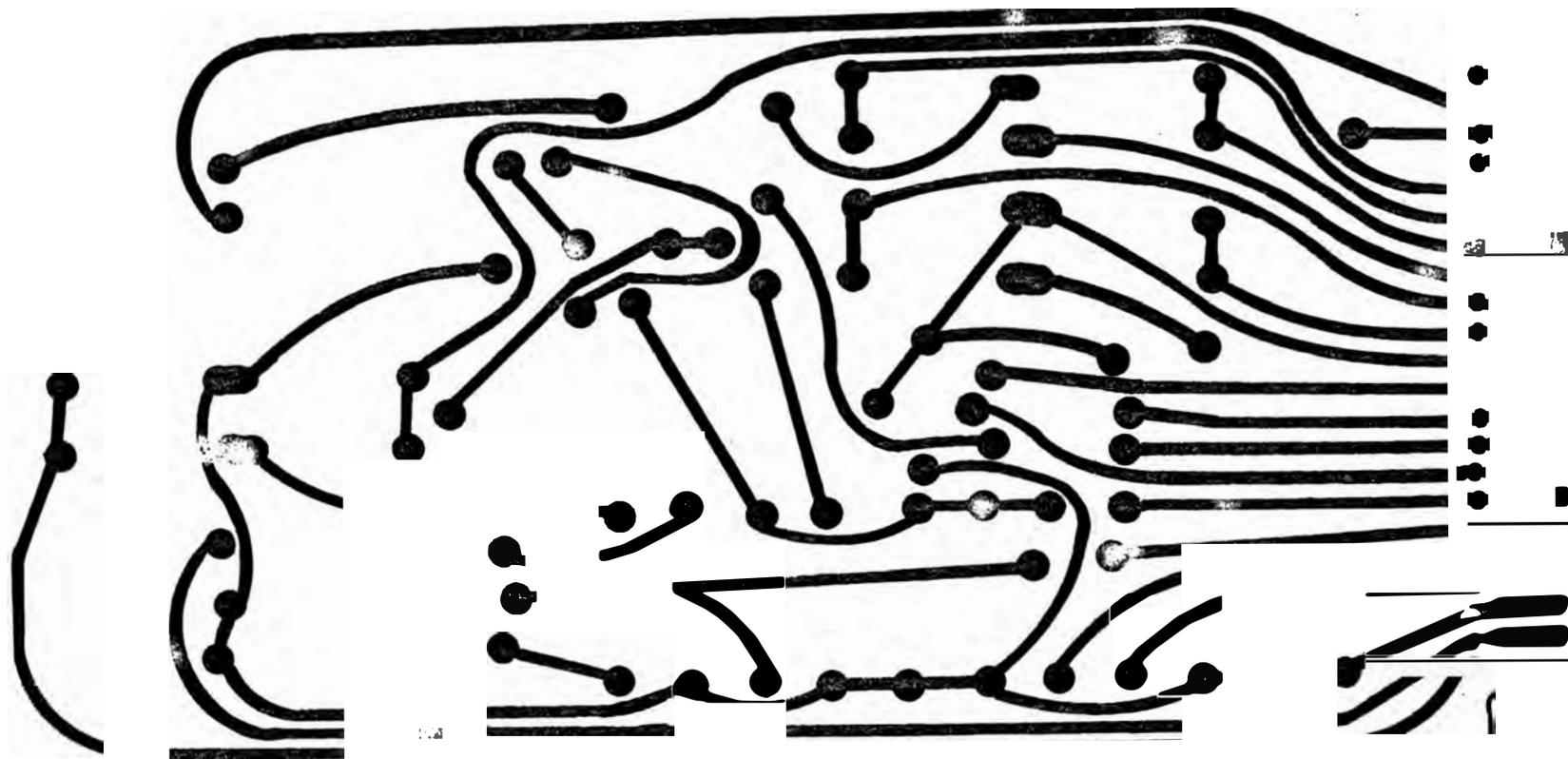
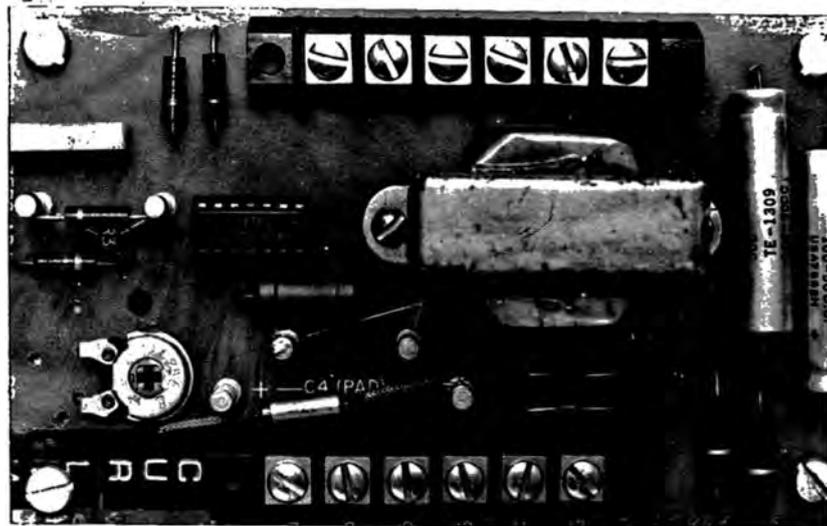
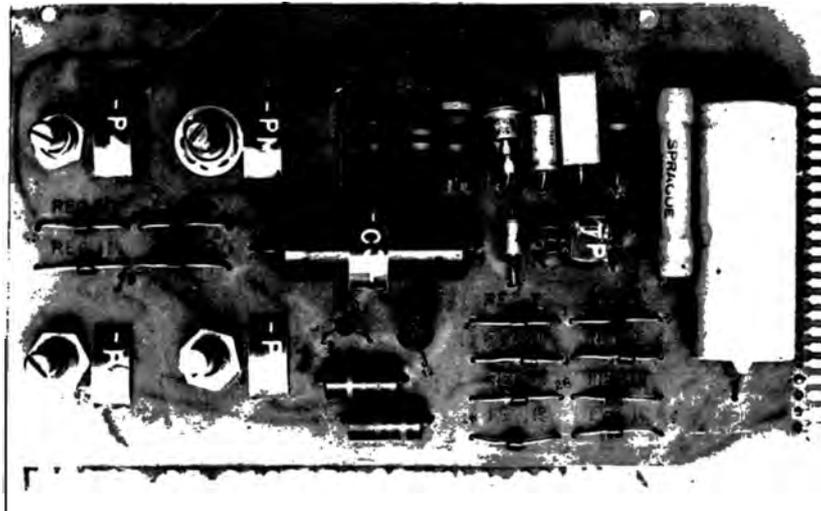


FIG D-0      TARJETA IMPRESA DEL CIRCUITO DE  
DISPARO " TRIGGER "



UNIDAD LIMITADOR DE CORRIENTE



UNIDAD DE DISPARO "TRIGGER" CON SUS AJUSTES PM, P3, P4 Y PA



En la actualidad se prefieren las técnicas de la "muestra" de los milivoltios en los cuales esa pequeñísima tensión es bastante proporcional a la corriente de armadura.

La pequeña muestra de tensión es amplificada en un sistema a circuito integrado, que tiene elevada estabilidad y bajo drift, que actúa sobre una carga formada por una resistencia y un diodo emisor de luz "LED"; el "LED" viene a ser la excitatriz a un arreglo transistorizado que funciona como "fuente de corriente" en función de la corriente de armadura.

El sistema mencionado proporciona control del límite de corriente en un rango apropiado; lo ideal es a partir del 15% ó 20% de sobrecarga y la desconexión al 35% ó 40% de sobrecorriente. Véase la Figura LC3.

En el circuito Figura LC3 los bornes c y d constituyen la fuente de alimentación para el circuito de disparo del tiristor.

$I_L = 25$  mampere constituye la corriente que saca fuera de servicio al circuito "trigger".

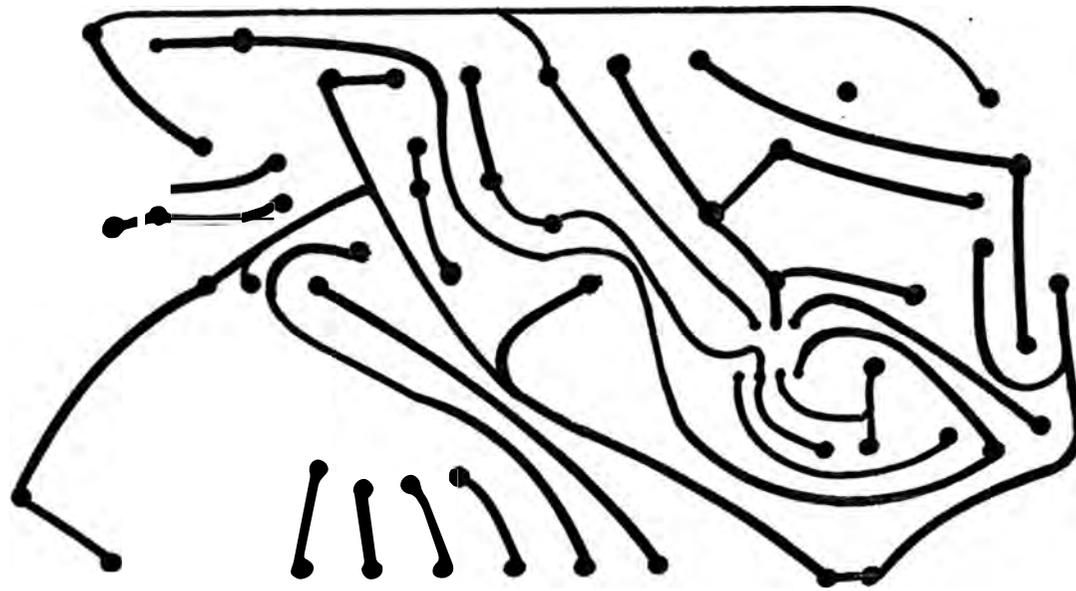


FIG L-C-2 CIRCUITO IMPRESO DEL LIMITADOR DE CORRIENTE

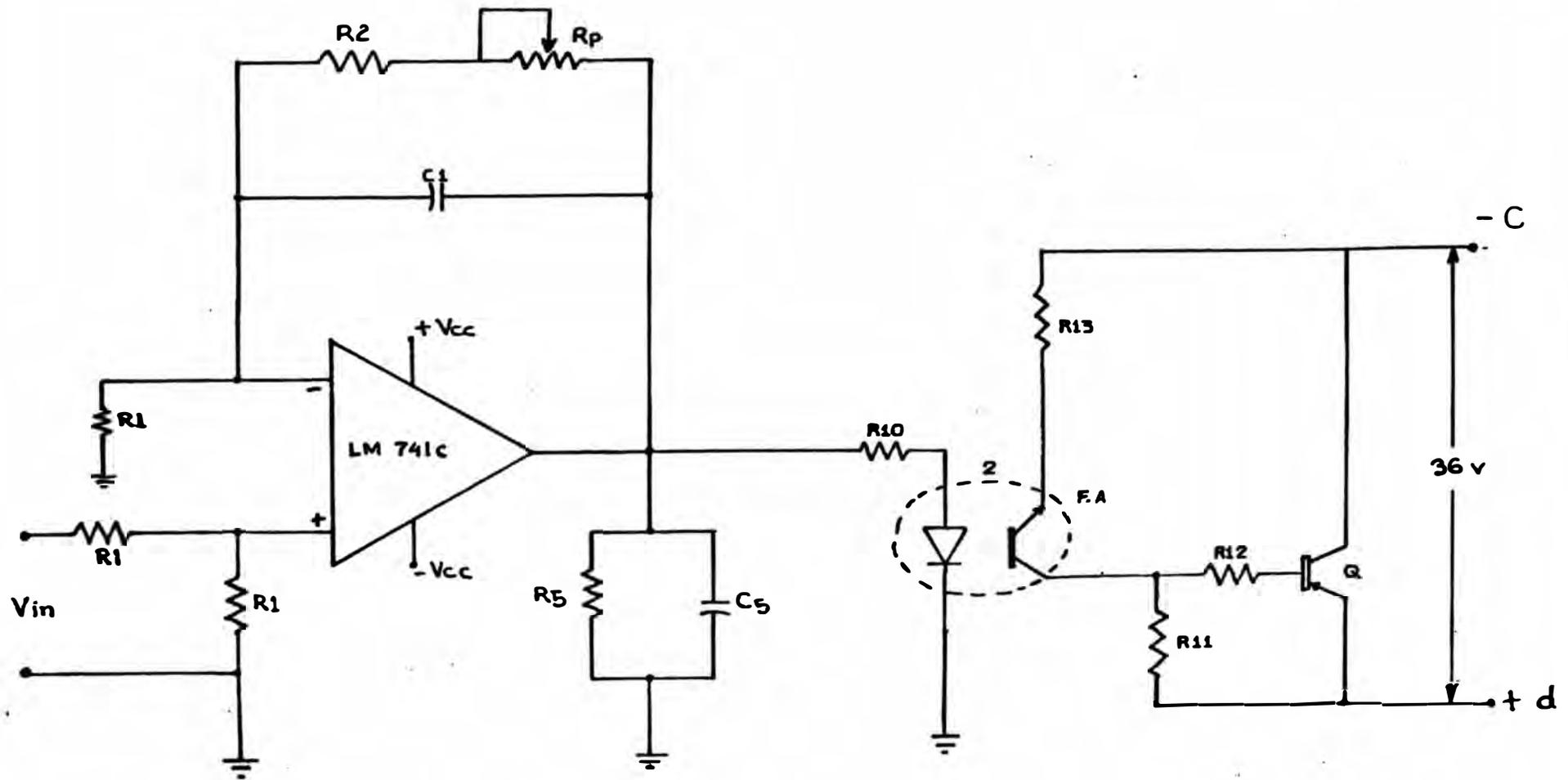


FIG. LC-3

LIMITADOR DE CORRIENTE PROPUESTO

El uso del diodo "LED" y el fototransistor es básicamente con el fin de tener a isla ento el éctrico entra la línea de ar madura y el circuito "trigger".

### 2.5.2b.2 Cálculo de la Ganancia del Amplificador.

$$R = R_2 + \alpha R \quad (1)$$

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (2)$$

$$I_5 = I_4 + I_2 \quad (3)$$

$$V_i = V_B - V_A \quad (4)$$

$$I_1 = \frac{V_O - V_A}{R} \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{V_A - V_B}{R_i} \quad (6)$$

$$I_3 = \frac{V_A}{R_1} \quad (7)$$

$$I_4 = \frac{V_E - V_B}{R_1} \quad (8)$$

$$I_5 = \frac{V_B}{R_1} \quad (9)$$

(5), (6) y (7) en (2):

Véase Fig. LC5 y LC6 .

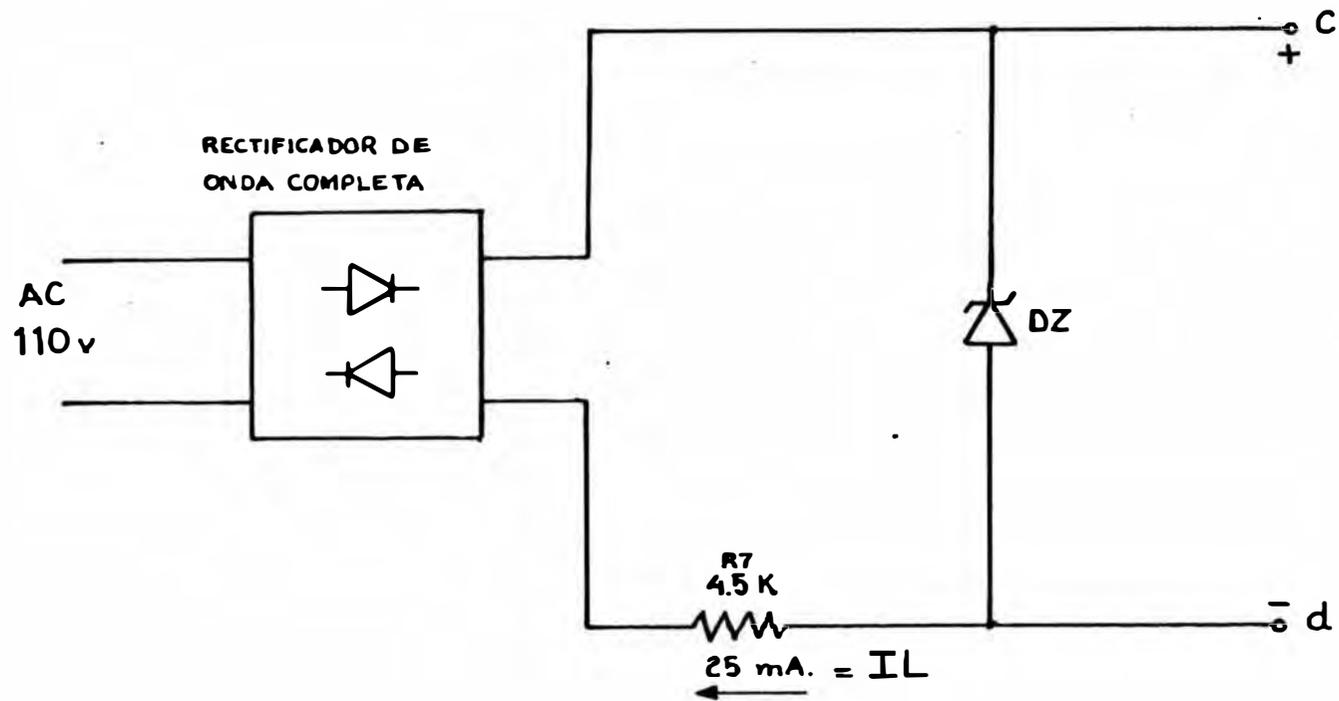


FIG. LC-4      Circuito rampa donde actúa el limitador de corriente

# CIRCUITO EQUIVALENTE DEL AMPLIFICADOR

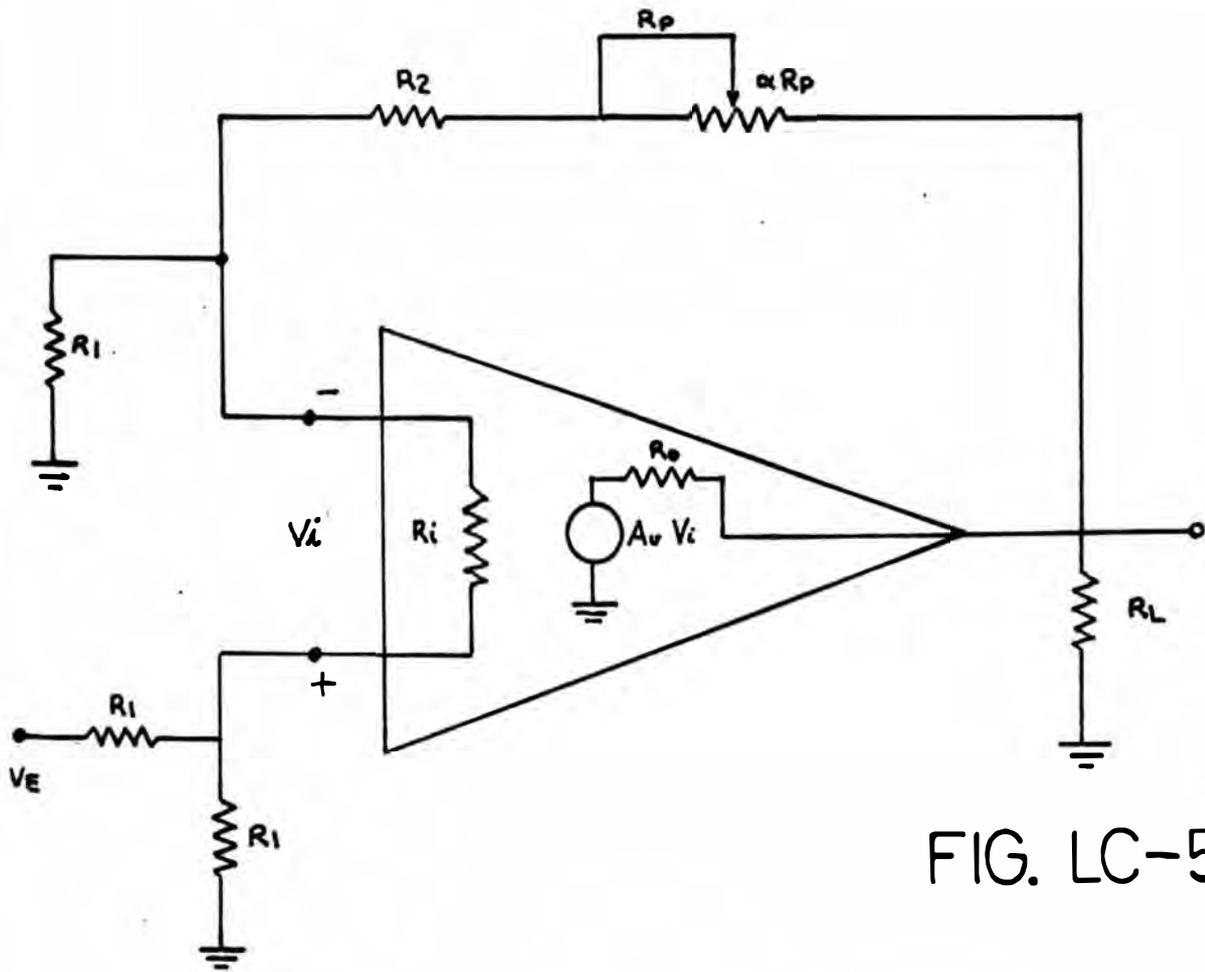


FIG. LC-5

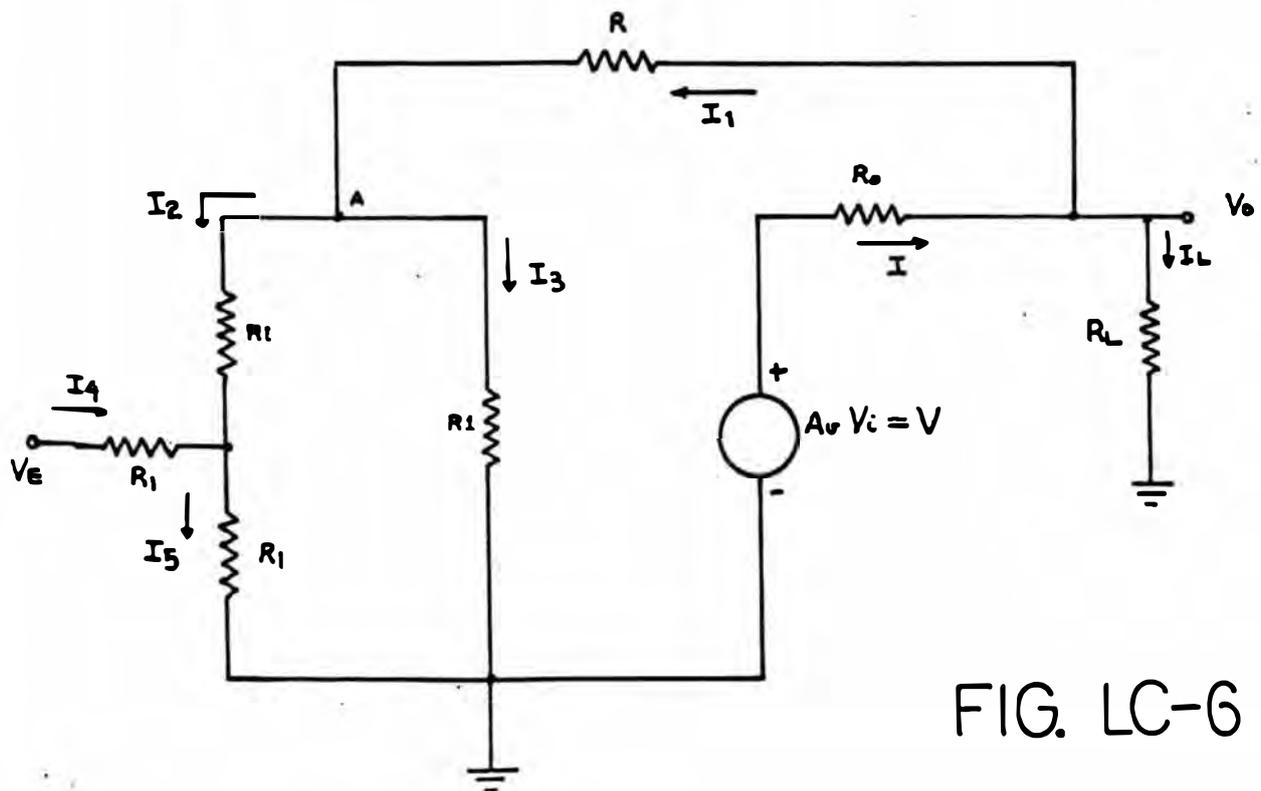


FIG. LC-6

$$\frac{V_O - V_A}{R} = \frac{V_A - V_B}{R_i} + \frac{V_A}{R_1}$$

$$\frac{V_O}{R} = V_A \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_1} \right) - \frac{V_B}{R_i}$$

$$V_B = V_A \left( \frac{R_1(R_i + R) + RR_i}{RR_1} \right) - V_O \frac{R_i}{R} \quad (10)$$

(8), (6) y (9) en (3):

$$\frac{V_B}{R_1} = \frac{V_E - V_B}{R_1} + \frac{V_A - V_B}{R_i}$$

Despejando  $V_B$ :

$$V_B = V_E \frac{R_i}{2R_i + R_1} + V_A \frac{R_1}{2R_i + R_1} \quad (11)$$

Iguando (10 y (11):

$$V_A \left[ \frac{R_1(R_i + R) + RR_i}{RR_1} \right] - V_O \frac{R_i}{R} = V_E \frac{R_i}{2R_i + R_1} + V_A \frac{R_1}{2R_i + R_1}$$

$$V_A \left[ \frac{R_1(R_i + R) + RR_i}{RR_1} - \frac{R_1}{2R_i + R_1} \right] = \frac{V_E R_i}{2R_i + R_1} + V_O \frac{R_i}{R}$$

$$V_A \left[ \frac{[R_1(R_i + R) + RR_i] (2R_i + R_1) - R_1^2 R}{R_1} \right] = V_E RR_i + V_O R_i (2R_i + R_1)$$

$$V_A = V_E \left[ \frac{RR_1 R_i}{[R_1(R_i + R) + RR_i] (2R_i + R_1) - R_1^2 R} \right] + V_O \left[ \frac{R_1 R_i (2R_i + R_1)}{[R_1(R_i + R) + RR_i] (2R_i + R_1) - R_1^2 R} \right] \quad (12)$$

(12) en (11):

$$V_B = V_E \frac{R_i}{2R_i + R_1} + \left[ \left[ V_E \frac{RR_1 R_i}{[R_1(R_i + R) + RR_i](2R_i + R_1) - R_1^2 R} \right. \right. \\ \left. \left. + V_O \frac{RR_1 R_i}{[R_1(R_i + R) + RR_i](2R_i + R_1) - R_1^2 R} \right] \right] \frac{R_1}{(2R_i + R_1)}$$

$$V_B = V_E \left[ \frac{R_i}{2R_i + R_1} + \frac{RR_1^2 R_i}{[R_1(R_i + R) + RR_i](2R_i + R_1) - R_1^2 R} \right] \left( \frac{1}{2R_i + R_1} \right) \\ + V_O \left[ \frac{R_1^2 R_i}{[R_1(R_i + R) + RR_i](2R_i + R_1) - R_1^2 R} \right]$$

$$V_B = V_E \left[ 1 + \frac{RR_1^2}{[R_1(R_i + R) + RR_i](2R_i + R_1) - R_1^2 R} \right] \left( \frac{R_i}{2R_i + R_1} \right) \\ + V_O \left[ \frac{R_1^2 R_i}{[R_1(R_i + R) + RR_i](2R_i + R_1) - R_1^2 R} \right]$$

Simplificando:

$$V_B = \frac{[R_1(R_i + R) + RR_i] R_i}{[R_1(R_i + R) + RR_i](2R_i + R_1) - R_1^2 R} V_E + \frac{R_1^2 R_i}{[R_1(R_i + R) + RR_i](2R_i + R_1) - R_1^2 R} V_O \quad (13)$$

$$\text{Haciendo } [R_1(R_i + R) + RR_i](2R_i + R_1) - R_1^2 R = Z \quad (14)$$

(14) en (12):

$$V_A = V_E \frac{RR_1 R_i}{Z} + V_O \frac{R_1 R_i (2R_i + R_1)}{Z} \quad (15)$$

(14) en (13):

$$V_B = V_E \left[ \frac{R_i R_1 (R_i + R) + R R_i}{Z} \right] + V_O \frac{R_1^2 R_i}{Z} \quad (16)$$

(15) y (16) en (4):

$$V_i = V_E \left[ \frac{R_i (R_1 (R_i + R) + R R_i)}{Z} \right] + V_O \frac{R_1^2 R_i}{Z} - V_E \frac{R R_1 R_i}{Z} - V_O R_i \frac{(2R_1 + R_1)}{Z}$$

$$V_i = V_E \left[ \frac{R_1 R_1^2 + R_1 R_i R + R R_i^2 - R R_1 R_i}{Z} \right] + V_O \left[ \frac{R_1^2 R_i - 2R_1 R_i^2 - R_1^2 R_i}{Z} \right]$$

$$V_i = \frac{R_i^2 (R_1 + R)}{Z} V_E - \frac{2R_1 R_i^2}{Z} V_O$$

$$V_i = m V_E - n V_O \quad (17) \quad m = \frac{R_i^2 (R_1 + R)}{Z}$$

$$n = \frac{2R_1 R_i^2}{Z}$$

De la Figura B:

$$I = I_L + I_1$$

(18) donde

$$\begin{cases} I = \frac{V - V_O}{R_O} \\ I_L = V_O / R_L \quad (19) \\ I_1 = \frac{V_O - V_A}{R} \end{cases}$$

$$V = A_v V_i = A_v (mV_E - nV_O) \quad (19)'$$

(19) en (18):

$$\frac{V - V_O}{R_O} = \frac{V_O}{R_L} + \frac{V_O - V_A}{R} \Rightarrow \frac{V}{R_O} = V_O \left( \frac{1}{R_O} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R} \right) - \frac{V_A}{R}$$

$$V = V_o \frac{[R_L(R_o+R)+RR_o]}{RR_L} - V_A \frac{R_o}{R} \quad (20)$$

(15) y (19)' en (20):

$$A_v(mV_E - nV_o) = V_o \left[ \frac{R_L(R_o+R)+RR_o}{RR_L} \right] - \frac{R_o}{R} \left[ V_E \frac{RR_1R_i}{Z} + V_o \frac{R_1R_i(2R_i+R_1)}{Z} \right]$$

$$V_E \left[ mA_v + \frac{R_o}{R} \frac{RR_1R_i}{Z} \right] = V_o \left[ \frac{R_L(R_o+R)+RR_o}{RR_L} + nA_v - \frac{R_o}{R} \left( \frac{R_1R_i(2R_i+R_1)}{Z} \right) \right]$$

$$V_E \left[ \frac{mZA_v + R_o R_1 R_i}{Z} \right] = V_o \left[ \frac{[R_L(R_o+R)+RR_o]Z + nRR_L ZA_v - R_o R_1 R_i (2R_i+R_1)R_L}{RR_L Z} \right]$$

$$V_E \left[ \frac{mZA_v + R_o R_1 R_i}{Z} \right] = V_o \left[ \frac{[R_L(R_o+R)+RR_o]Z + nRR_L ZA_v - R_o R_1 R_i (2R_i+R_1)R_L}{R_L R Z} \right]$$

Luego:

$$\frac{V_o}{V_E} = \frac{RR_L (mZA_v + R_o R_1 R_i)}{Z [R_L(R_o+R)+RR_o] + nRR_L ZA_v - R_o R_1 R_i (2R_i+R_1)R_L}$$

Haciendo:  $m = R_i^2 (R_1+R)/Z$

$$n = 2R_i^2 R_1/Z$$

$$Z = [R_1/R_i + R + RR_i] (2R_i+R_1) - R_1^2 R$$

$$R = R_2 + \alpha R_p$$

Sabiendo que los valores típicos del LM741 para  $R_i$ ,  $R_o$  t  $A_v$  típico son:

$$R_i = 2$$

$$R_o = 75 \Omega$$

$$A_v \text{ típico} = 200,000$$

- escogiendo:

$$R_1 = 10^3 \Omega.$$

$$R_2 = 5.1 \times 10^3 \Omega.$$

$$R_p = 100 \text{ K}\Omega.$$

como  $0 \leq \alpha \leq 1$  para todo potenciómetro:

$$R_{\text{máximo}} = 5.1 \text{ K}\Omega.$$

$$R_{\text{máximo}} = 105.1 \text{ K}\Omega.$$

Resolviendo para los datos mencionados:

$$z = (48.8326 + 860\alpha) * 10^{15}$$

$$m = \frac{(24.4 + 400\alpha) * 10^{15}}{(48.8326 + 860\alpha) * 10^{15}}$$

$$n = \frac{8 * 10^{15}}{(48.8326 + 860\alpha) * 10^{15}}$$

Si  $\alpha = 0$

$$z = 48.8326 * 10^{15}$$

$$n = 0.1638.$$

entonces:  $V_o/V_E$  será:

$$\frac{V_o}{V_E} = 3.049$$

ahora  $s'_{\alpha} = 1$

$$Z = 908.8326 * 10^{15}$$

$$m = \frac{400.24}{908.8326} = 0.442$$

$$n = \frac{8}{908.8326} = 0.00882$$

$$\frac{V_o}{V_E} = 130$$

$$\therefore 130 \leq \frac{V_o}{V_E} \leq 3$$

### 2.5.2b.3 Análisis del Circuito Transistorizado del Limitador de Corriente.

Características del Transistor  
2N6223.

$$\beta_{Tip.} = 100$$

$$f_{m\acute{a}x.} = 150 \text{ MHz.}$$

$$V_{CEO} = 150 \text{ V.}$$

$$V_{CBO} = 160 \text{ V.}$$

$$I_{Cm\acute{a}x.} = 600 \text{ mA.}$$

$$V_{CEsat} = -0.3 \text{ V.}$$

Las condiciones a cumplir para sobrecorriente del 40% son:

$$V_{CEQ1} = 36 \text{ V.}$$

$$I_L = 25 \text{ mA.}$$

$$I_L = I_{E1} + I_1 \dots (1)$$

$$I_C = I_{B1} + I_1 \dots (2)$$

$$I_{E1} = (B+1) I_{B1} \dots (3)$$

(3) en (1):

$$25 \text{ mA.} = (B+1)I_{B1} + I_1 = (101)I_{B1} + I_1$$

$$25 \text{ mA.} = 101 I_{B1} + I_1 \dots (4)$$

$$I_C = I_{B1} + I_1 \text{ — } I_{B1} = I_C - I_1 \dots (5)$$

(5) en (4):

$$25 \text{ mA.} = 101 (I_C - I_1) + I_1.$$

$$25 \text{ mA.} = 101 I_C - 101 I_1 + I_1.$$

$$25 \text{ mA.} = 101 I_C - 100 I_1.$$

$$I_1 = \frac{101 I_C - 25 \text{ mA.}}{100} \quad (6)$$

De las curvas características del fotoais-  
lador CNY22.

Para  $V_{CE} = 5$  Volt. tomando  $I_C = 9.75$  mA.  
(7)

Se tiene  $I_F = 13.5$  mA.

(7) en (6):

$$I_1 = \frac{101 \times 9.75 \text{ mA.} - 25 \text{ mA.}}{100} = 9.5975.$$

$$I_1 = 9.5975 \text{ mA.} \quad (8)$$

(8) en (1):

$$I_{E1} = 25 \text{ mA.} - I_1 = 25 \text{ mA.} - 9.5975 \text{ mA.} = 15.4025$$

$$I_{E1} = 15.4025 \text{ mA.} \quad (9)$$

(7) y (8) en (2):

$$I_{B1} = I_C - I_1 = 9.75 \text{ mA} - 9.5975 \text{ mA.} = 0.1525 \text{ mA.}$$

$$I_{B1} = 0.1525 \text{ mA.} \quad (10)$$

del circuito se debe cumplir que:

$$36V = 2.2 \text{ K}\Omega \cdot (I_C) + 5V + I_1 \times 1K.$$

$$36V = 2.2 \times 9.75 + 5V + 9.5975 \times 1 =$$

$$36V = 21.45V + 5V + 9.5975 = 36V.$$

También de las curvas del "CNY22" se tiene  
que:

Con  $I_C = 9.75 \text{ mA}$ . y  $V_{CE} = 5V$ . se tiene en el diodo  $I_F = 13.5 \text{ mA}$ . y  $V_F = 1.23 \text{ V}$ .

Luego del circuito se tiene:

$$V_O = 27 \times 13.5 \text{ mA} + 1.2355 \text{ V}.$$

$$V_O = 0.3645 \text{ V} + 1.2355 \text{ V} = 1.6 \text{ V}.$$

$$\boxed{V_O = 1.6 \text{ V.}} //.$$

De lo anterior se deduce que si el voltaje  $V_O$  es 1.6 voltios es necesario tener a la entrada del amplificador una tensión de  $1.6/130 = 1.23$  mili voltios; en máxima ganancia para anular el disparo del tiristor y por consiguiente la tensión de armadura del generador.

#### 2.5.2b.4 Fuentes de Tensión + VCC y -VCC para el Limitador de Corriente.

La forma propuesta es básicamente un fuente de poder con limitador de corriente; observe que si se excede el índice de corriente programada, toda la tensión caerá en la resistencia R2 dejando fuera de servicio al diodo Zener.

La fuente está programada para entregar 30 miliamperes antes de presentarse su

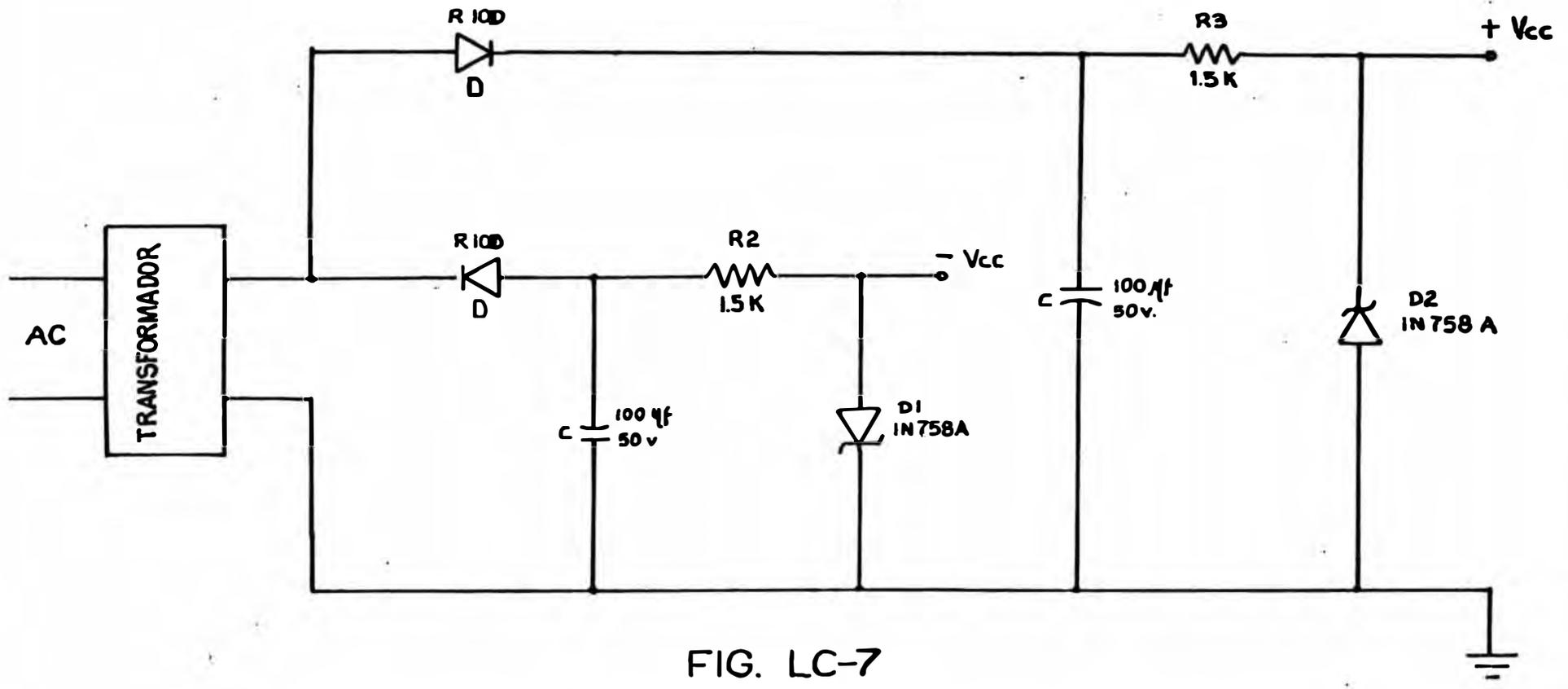


FIG. LC-7

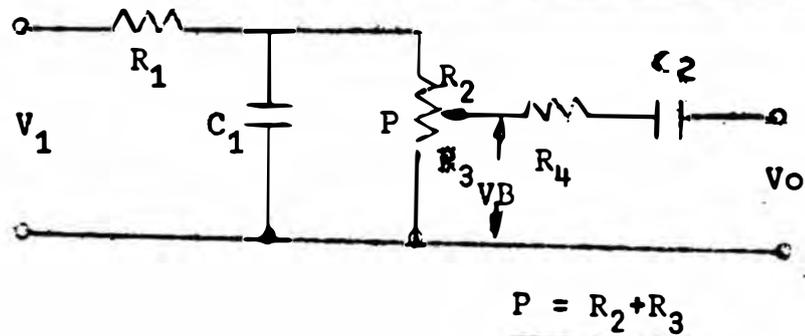
Fuente de tensión del circuito limitador de corriente

condición de corriente limitante.

El diodo Zener permite que se tenga una tensión bastante continua con el fin de tener sincronismo con todo el sistema; es decir el paso por tensión cero nos dá un sincronismo con la red y con el conjunto de control.

### 2.5.2c.1 Unidad Estabilizadora.

#### 2.5.2c.1 Circuito Estabilizador Propuesto



Cuando se usan reguladores de alta ganancia para obtener una regulación de elevada calidad a la salida, es necesario instalar un circuito estabilizador de realimentación para eliminar las oscilaciones del sistema.

Si la salida del SCR fuera constante la señal  $V_B$  no tiene fluctuaciones, el condensador  $C_2$  bloquea esta señal continua y no existe Voltaje  $V_O$ . No obstante, si la tensión en el SCR varía momentáneamente, la señal pasa a través de  $C_2$  y de allí al mezclador del circuito trigger como una señal de realimentación negativa para reducir o contrarrestar el cambio en la salida del SCR.

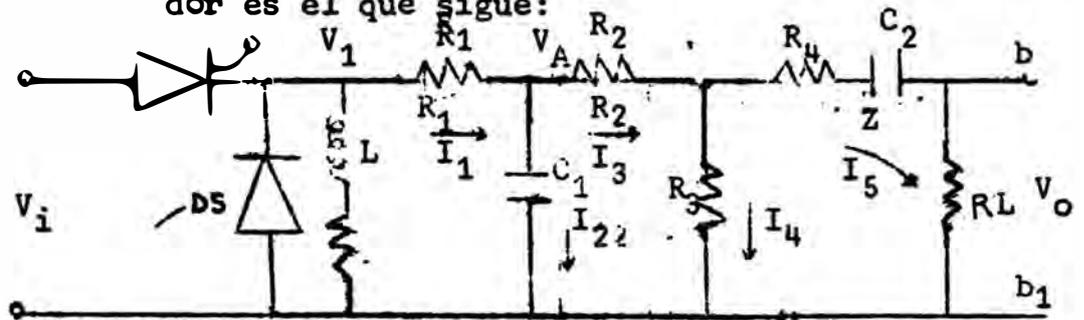
Como la estabilidad del sistema es afectada por los parámetros del generador y el motor, es necesario hacer ajustes en el circuito estabilizador para cada implementación particular.

### 2.5.2c.2 Estudio del Sistema Estabilizador

#### STAB.

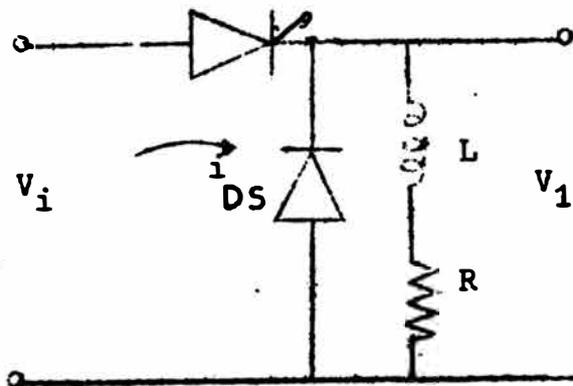
El circuito de campo del Generador -

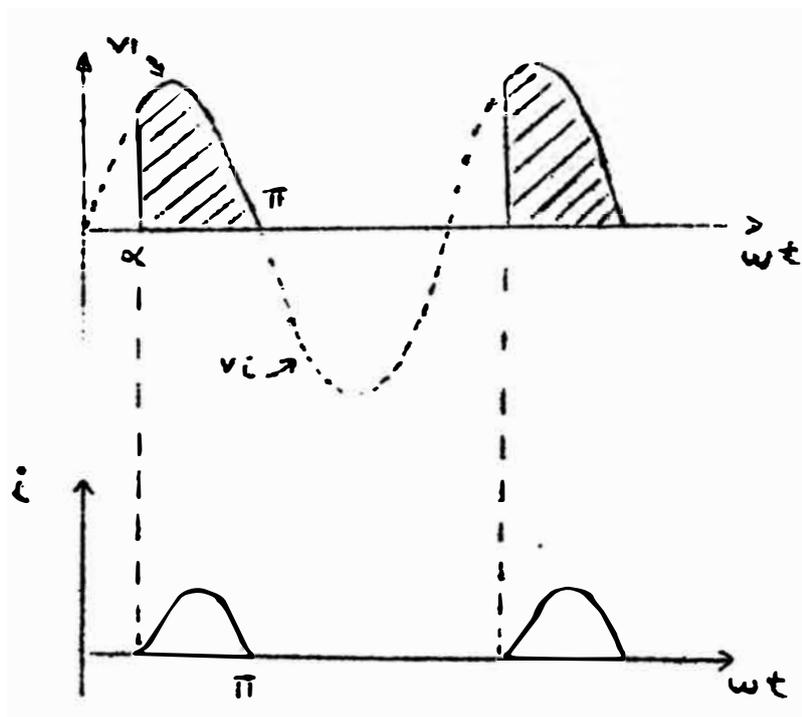
es el que sigue:



La Sección a a' y bb' constituyen el circuito estabilizador STAB.

#### Análisis del Tramo $V_i-V_1$ ó Circuito del Campo del Generador sin considerar la Red ESTABILIZADORA.





Ecuaciones para L : corriente i.

$$V_1 = \frac{L di}{dt} + Ri$$

$$i = i_T + i_p : (\infty)$$

$i_p$  = Resp. en régimen permanente.

$i_T$  = Resp. Transitoria.

$$\bar{i}_p = \frac{V_1}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \angle -\phi . \text{ Si } V_1 = V \text{sen}(\omega t)$$

$$\text{Luego: } i_p = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \text{Sen}(\omega t - \phi) \quad (1)$$

$$\phi = \text{Tg}^{-1} \frac{\omega L}{R}$$

Para respuesta transitoria:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = 0 \Rightarrow \int \frac{di}{i} = - \frac{R}{L} \int dt$$

$$\text{donde } i_T = K e^{-\frac{R}{L}t} \quad (2)$$

(1) y (2) en ( $\alpha$ ):

$$i = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \text{Sen}(\omega t - \theta) + K e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$i = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \text{Sen}(\omega t - \theta) + K e^{-\frac{R}{\omega L}(\omega t)} \quad (3)$$

$$i(\omega t = \alpha) = 0 \quad (3)$$

$$i(\omega t = \pi) = 0 \quad (4)$$

aplicando (4):

$$0 = \frac{V_1}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \text{Sen } \theta + K e^{-\frac{R}{\omega L}\pi}$$

$$K = - \frac{V}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \text{Sen } \theta e^{\frac{R}{\omega L}\pi}$$

(5) en (3):

$$i = \frac{V_1}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \text{Sen}(\omega t - \theta) - \text{Sen } \theta e^{-\frac{R}{L}(t - \frac{\pi}{\omega})} \quad (6)$$

Para hallar  $\alpha$  aplicamos la condición (3) en (6).

$$\text{Adem\u00e1s: } V_1 = iZ, \quad Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \angle \phi \quad (7)$$

(7) en (6):

$$V_1 = V \angle \phi \left[ \text{Sen}(\omega t - \phi) - \text{Sen } \phi e^{-\frac{R}{L}(t - \frac{\pi}{\omega})} \right]$$

$$V_1 = V \angle \phi \left[ \text{Sen}(\omega t - \phi) - \text{Sen}(\phi) e^{-\frac{R}{\omega L}(\omega t - \pi)} \right]$$

C\u00e1lculo de  $\frac{V_0}{V_1}$

Del circuito :

$$I_1 = \frac{V_1 - V_A}{R_1}$$

$$I_2 = V_A \text{ SC}_1$$

$$I_3 = \frac{V_A - V_B}{R_2}$$

$$I_4 = \frac{V_B}{R_3}$$

$$I_5 = \frac{V_B - V_0}{Z} = \frac{V_0}{R_L}$$

(8)

$$\left. \begin{aligned}
 I_1 &= I_2 + I_3 \\
 I_3 &= I_4 + I_5 \\
 R_2 + R_3 &= 10,000 \\
 R_2 &= X \\
 R_3 &= 10,000 - X \\
 Z &= R_4 + \frac{1}{SC_2}
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

de (8) y (9):

$$\frac{V_1 - V_A}{R_1} = V_A SC_1 + \frac{V_A - V_B}{R_2}$$

$$\frac{V_1}{R_1} = V_A \left( \frac{1}{R_1} + SC_1 + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{V_B}{R_2} \quad (10)$$

de (8) y (9):

$$\frac{V_A - V_B}{R_2} = \frac{V_B}{R_3} + \frac{V_O}{R_1}$$

$$\frac{V_A}{R_2} = V_B \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) + \frac{V_O}{R_1} \quad (11)$$

de (8): 
$$\frac{V_B - V_O}{Z} = \frac{V_O}{R_L}$$

$$\boxed{V_B = V_O \left( \frac{Z}{R_L} + 1 \right)} \quad (12)$$

(12) en (10):

$$\frac{V_1}{R_1} = \frac{V_A (R_1 + R_2 + R_1 R_2 S C_1) - R_1 V_O \left(\frac{Z}{R_L} + 1\right)}{R_1 R_2}$$

$$V_A = \frac{V_1 R_2 + V_O R_1 \left(\frac{Z}{R_L} + 1\right)}{R_1 + R_2 + R_1 R_2 S C_1} \quad (13)$$

(12) y (13) en (11):

$$\frac{1}{R_2} \left[ \frac{V_1 R_2 + V_O R_1 \left(\frac{Z}{R_L} + 1\right)}{R_1 + R_2 + R_1 R_2 S C_1} \right] = V_O \left(\frac{Z}{R_L} + 1\right) \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) + \frac{V_O}{R_L}$$

$$V_1 \left( \frac{1}{R_1 + R_2 + R_1 R_2 S C_1} \right) = V_O \left[ \left(\frac{Z}{R_L} + 1\right) \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{R_L} - \frac{R_1 \left(\frac{Z}{R_L} + 1\right)}{R_2 (R_1 + R_2 + R_1 R_2 S C_1)} \right]$$

$$\frac{V_1}{R_1 + R_2 + R_1 R_2 S C_1} = V_O \left[ \frac{(Z + R_L)(R_2 + R_3) + R_2 R_3}{R_1 R_2 R_3} - \frac{R_1 (Z + R_L)}{R_L R_2 (R_1 + R_2 + R_1 R_2 S C_1)} \right]$$

Simplificando:

$$\frac{V_O}{V_1} (S) = \frac{R_2 R_3 R_L}{\left[ (Z + R_L)(R_2 + R_3) + R_2 R_3 \right] (R_1 + R_2 + R_1 R_2 S C_1) - R_1 R_3 (Z + R_L)}$$

(14)

Los valores de todos estos elementos se han conocido en forma empírica debido a la imposibilidad de conocer exactamente los detalles del campo del ge

nerador. Se escogió finalmente los siguientes valores. lo cual nos dió resultados satisfactorios

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 2500 \ \Omega \\
 R_{22} &= X. \ \Omega \\
 R_3 &= 10,000-X. \ \Omega \\
 R_4 &= 4,500 \ \Omega \\
 C_1 &= 150 \times 10^6 \text{ F.} \\
 C_2 &= 50 \times 10^6 \text{ F.}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

de (15) y (9):

$$\begin{aligned}
 Z &= R_4 + \frac{1}{sC_2} = R_4 - \frac{j}{\omega C_2}, \quad s = j\omega \\
 Z &= 4500 - j \frac{10^6}{50\omega} \\
 Z &= 10^3 \left( 4.5 - j \frac{20}{\omega} \right)
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

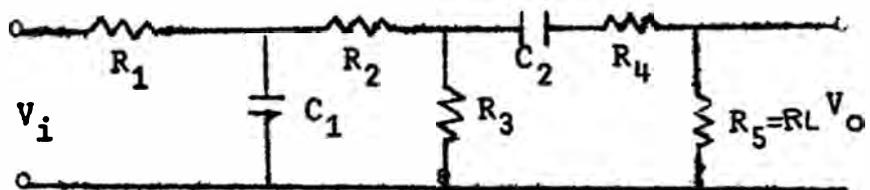
Si (16) y (15) en (14), tendremos:

$$\frac{V_o}{V_1} = \frac{R_L (10,000-X)X}{\left[ \left( 10^3 \left( 4.5 - j \frac{20}{\omega} \right) + R_L \right) \left( 10,000 + X(10,000-X) \right) \right] (2500 + X + j0.375\omega X)}$$

$$\frac{V_o}{V_1} = \frac{R_L (10,000-X)X}{2500(10,000-X) \left[ 10^3 \left( 4.5 - j \frac{20}{\omega} \right) + R_L \right]}$$

Un valor de  $X$  obtenido en forma empírica es de  $X=2K\Omega$  aunque este valor está sujeto a la potencia de la máquina y por lo tanto deberá calibrarse en forma independiente para cada máquina.

### 2.5.2c.3 Consideraciones de la función de Transferencia



La función de transferencia para nuestro circuito de estabilización considerando a  $R_1$  y  $C_1$  como un filtro y  $R_2$  con  $R_3$  un divisor que no carga a  $R_1$   $C_1$  será:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_3 R C_2}{(R_1 C_1 s + 1)(C_2 (R_4 R_5) s + 1)} \quad S$$

recordando que:  $R_2 + R_3 = 10 K\Omega$  (potenciómetro)

$$R_1 = 2.5K$$

$$R_4 = 4.5K$$

$$C_1 = 150 \mu F$$

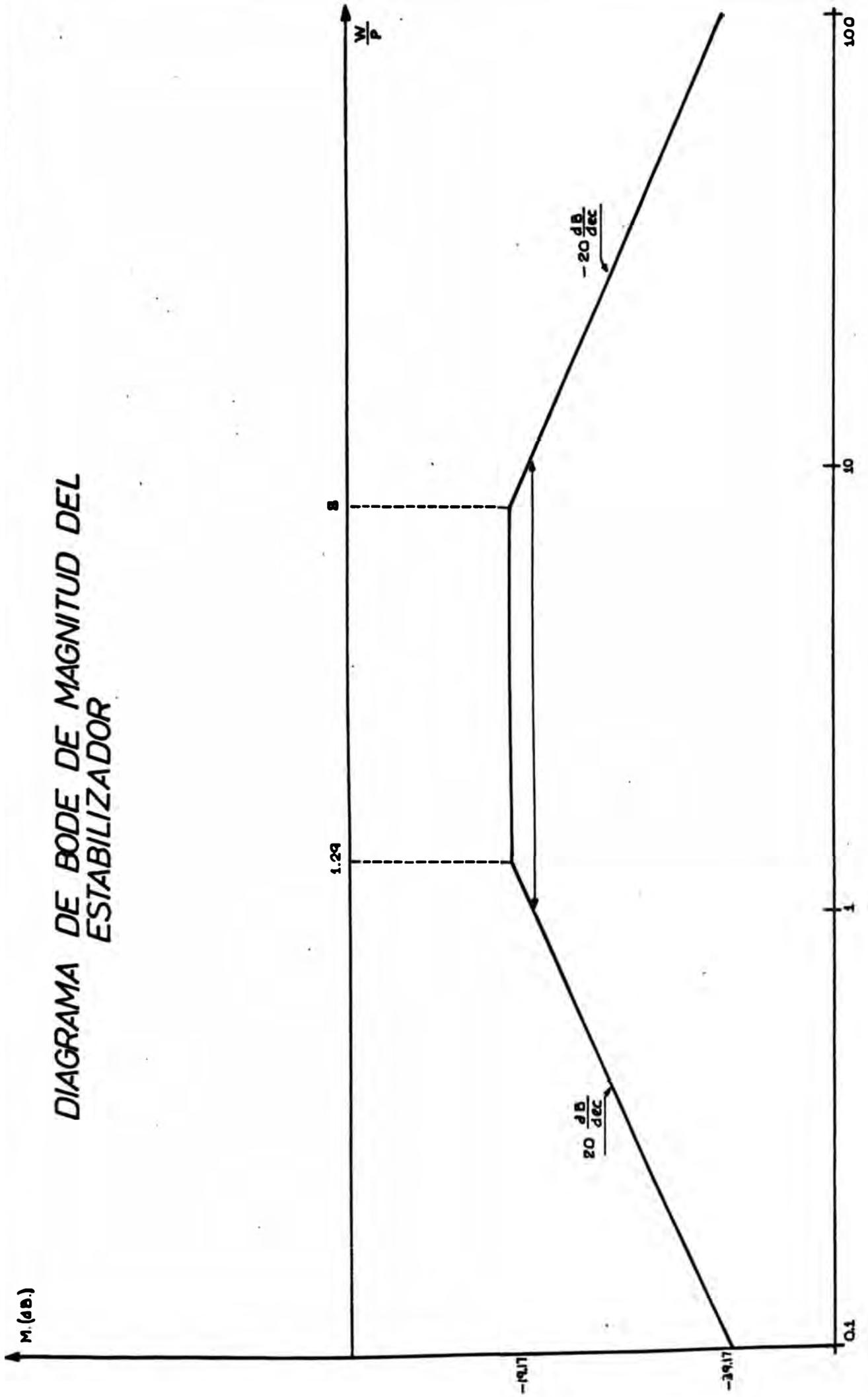
$$C_2 = 50 \mu F$$

y que un respuesta satisfactoria se encontró para el caso de  $R_3 = 2K$ .

$$\frac{V_o}{V_i} = 0.11 \frac{S}{(0.1255s+1)(0.7755s+1)}$$

Del diagrama de bode Fig. STAB se observa que el circuito tiene predilección en la década de 1 a 10; es decir para una frecuencia comprendida entre  $f$  y  $10f$  el circuito responde con la misma ganancia. Luego fuera de dicha década el circuito atenuará fuertemente variaciones de muy baja y muy alta frecuencia.

# DIAGRAMA DE BODE DE MAGNITUD DEL ESTABILIZADOR



## 2.5.2d.Unidad de Disparo.

### 2.5.2d.1-Condicion<sub>e</sub>s para el Circuito de Disparo.

-El mínimo ángulo de disparo debe ser  $30^\circ$  por tratarse de cargas inductivas.

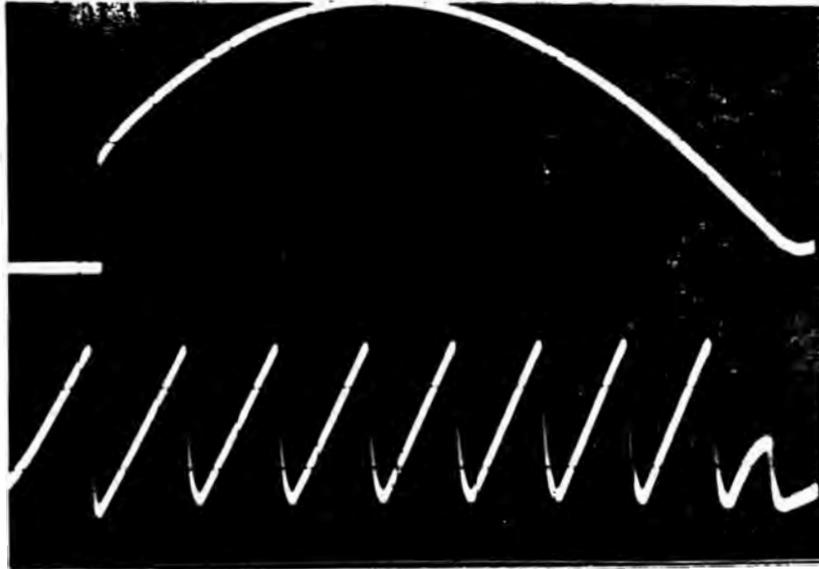
-El tiristor C30D exige en su juntura gate-cátodo para un disparo seguro: 10 voltios voltaje pico para disparo por pulsos.

125 miliamperes de corriente pico para disparo por pulsos.

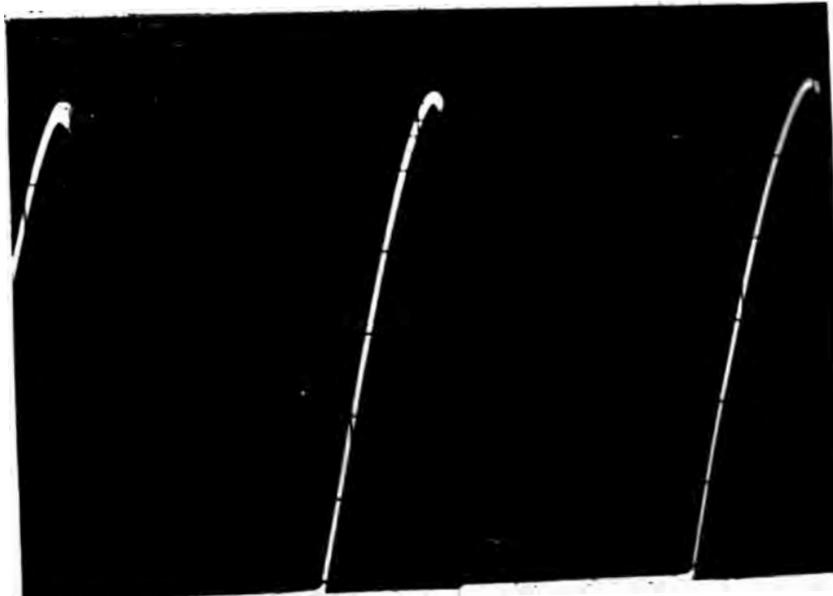
5 watts de potencia máxima en la juntura gate-cátodo.

-El circuito de disparo deberá aislar la baja tensión de la alta tensión ; es decir los pulsos se deben transmitir mediante transformador de pulsos.

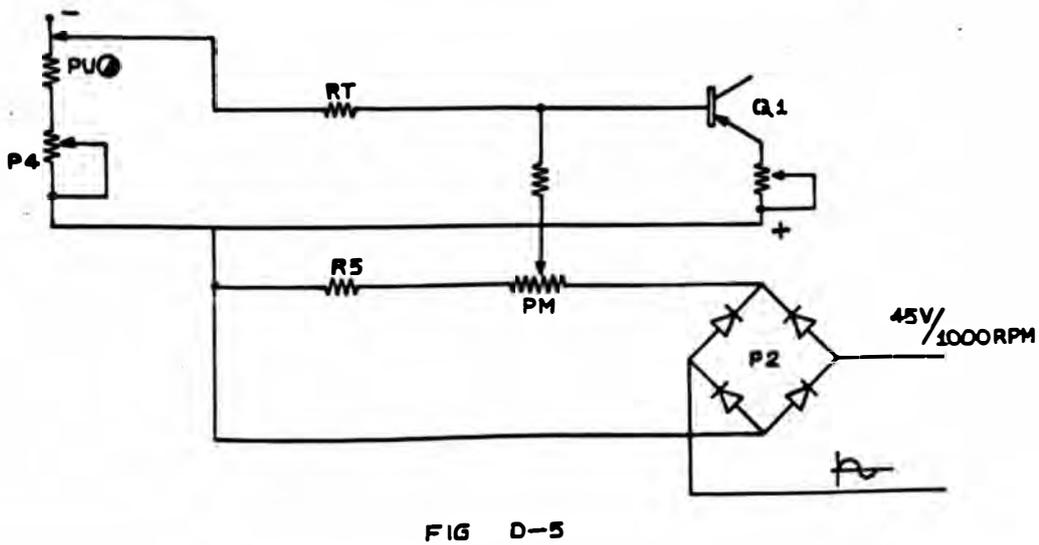
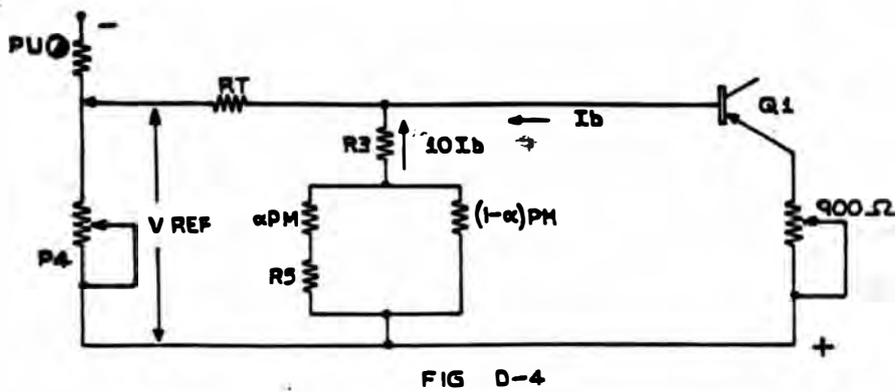
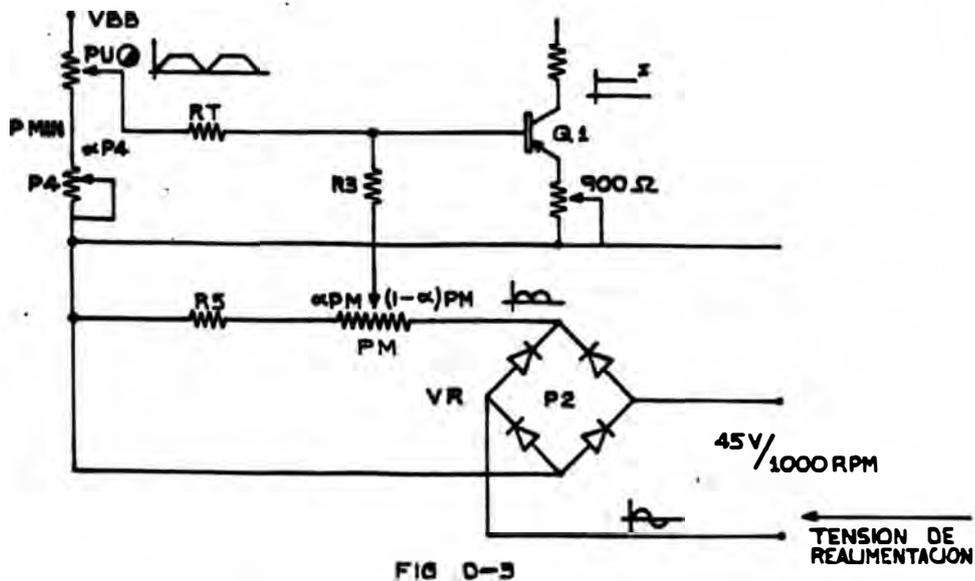
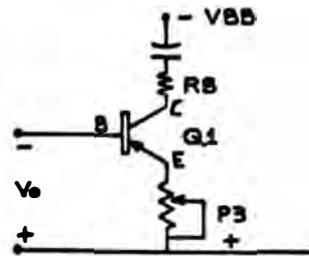
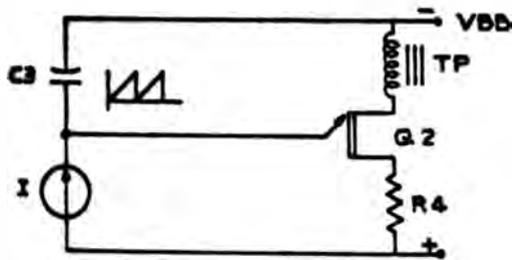
-La figura D1 nos muestra el esquema propuesto en el cual el transformador de pulsos TP presenta en el secundario una "resistencia" equivalente de  $10V/125mA$   $\approx 80\Omega$ .

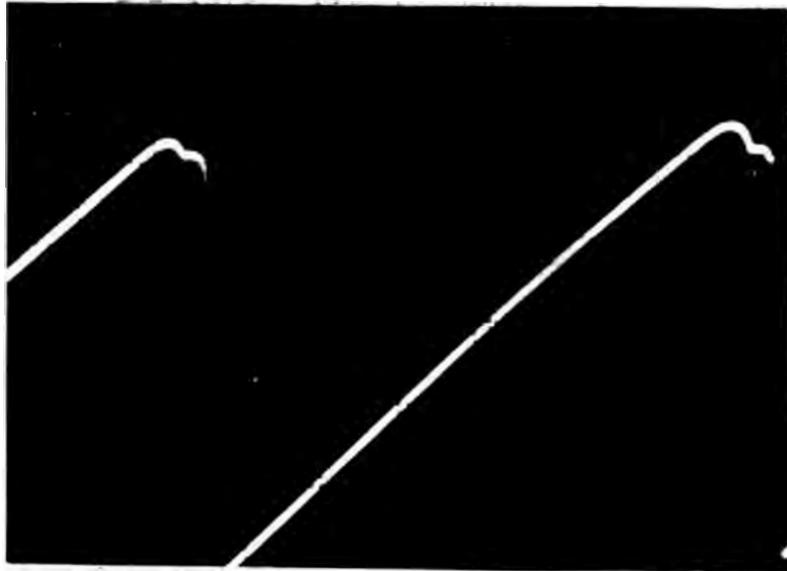


ONDA DE TENSION EN EL CAMPO DEL GENERADOR F1 F2  $268\sqrt{2}$   
VOLTIOS PICO, OBSERVE EL TREN DE PULSOS DE DISPARO DE  
9.5 VOLT Y GATILLADO A  $31^\circ$

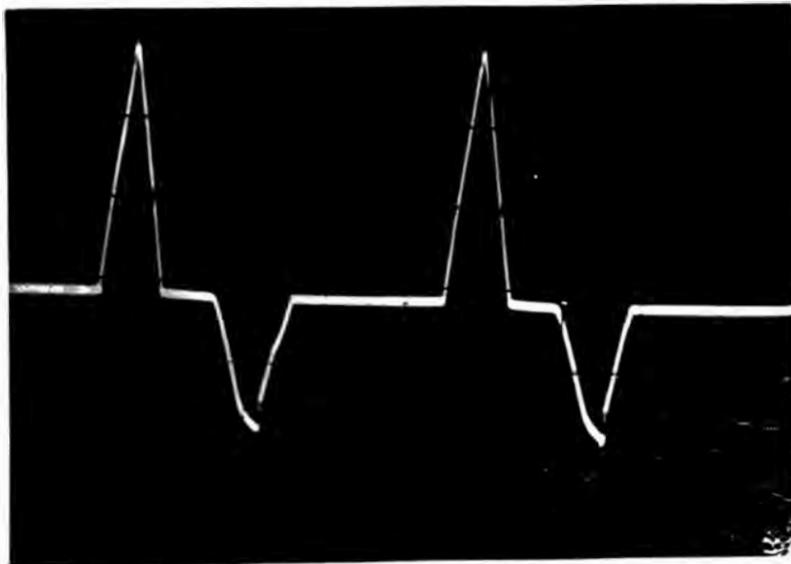


ONDA DE TENSION EN EL AMPLIFICADOR DE POTENCIA DISPARADO  
A  $100^\circ$   $268\sqrt{2}$  VOLT-60 HZ





ONDA DE CARGA EN EL CONDENSADOR C3 5V/CM, 60HZ.  
PULSO UNICO PARA DISPARO DE 160°



FORMA DE ONDA DE TENSION EN LA RESISTENCIA R4, OBSERVE  
EL PULSO UNICO Y DISPARO A 100°

Se recomienda usar transformador con relación 1:1 con el fin de no exceder nos en el valor de corriente de emisor del UJT que muestra la figura D1.

Para dicho voltaje y corriente recomendamos el uso del transformador PE 2231.

### Circuito de Disparo - Características.

El circuito de disparo más apropiado para controlar un tiristor es por medio de un UJT comandado por una fuente de corriente; tal como lo muestra la figura D1.

De acuerdo a las exigencias del tiristor escogemos el UJT 2N1671B cuyas características son:

$V_E = 10$  voltios,  $V_{BB} = 36$  V.  $I_{Emáximo} = 150$  miliamper.

Además la resistencia equivalente en el primario del transformador será  $R_T = 10V/125m.a. = 80\Omega$ . Entonces por regla de diseño  $R_4$  debe tener un valor de  $5 R_T = 400\Omega$ ; escogiendo  $R_4 = 6 \times R_T = 480\Omega$  y normalizando tendremos  $R_4 = 470\Omega$ .

Nuestro circuito es para carga inductiva, luego el disparo no deberá encender al tiristor antes de  $30^\circ$ , por lo tanto si recordamos que la frecuencia es 120 Hz a  $30^\circ$  le corresponde un  $t_{\text{mínimo}} = 1.38 \text{ m.s.}$

Asumiendo una capacidad  $C_3 = 0.25 \mu\text{f.}$

$$V_{C3} = \frac{I t}{C}$$

Luego:

$$I_{\text{máximo}} = \frac{V_{C3} C_3}{t_{\text{mínimo}}} = 1.9 \text{ miliamper.}$$

Se acostumbra a la "velocidad cero" del motor alimentar el campo del generador con una tensión mínima. Ensayando en una máquina se encontró prácticamente que el Voltaje es de 45 voltios eficaces; luego:

$$45 = \sqrt{\int_0^{\pi} V_m^2 \text{Sen}^2(\omega t) d\omega t}$$

para este caso  $\theta = 150^\circ$  y  $\therefore t_{\text{máximo}} = \frac{\theta T}{180^\circ}$

Luego  $t_{\text{máximo}} = 6.94 \text{ milisegundos.}$

$$I_{\text{mínimo}} = \frac{V_{C3} C_3}{t_{\text{máximo}}} \approx 0.378 \text{ m.A.}$$

### 2.5.2d.2 Circuito de Mezcla y Amplificación.

La figura D2 muestra un típico

circuito de amplificación y mezcla donde el colector se comporta como una fuente de corriente controlada por la señal que se impone en la base de  $Q_1$ .

La resistencia  $R_8$  básicamente actúa como una protección para el transistor  $Q_1$  ya que cuando  $P_3=0$  y el voltaje  $V_{C3}=0$  el voltaje de  $V_{ce}$  será de 36 voltios; luego un valor apropiado de caída de tensión en  $R_8$  será de 2 a 8 voltios; consideraré 4 voltios a la corriente de 1.9 miliamper.

$$\frac{4 \text{ V}}{1.9 \text{ m.amper}} = 2.1 \text{ K}\Omega \text{ luego } R_8 = 2.2 \text{ K} (\text{normalizado})$$

$P_3$  es un potenciómetro que en cierto modo significa una realimentación negativa para el sistema; una regla práctica de diseño es considerada entre valores de 0.5 k a 2k ó bien  $\beta/10 R_b$  donde  $R_b$  es la resistencia de base del transistor  $Q_1$ .

Escogiendo  $P_3=1 \text{ k}\Omega$ ; durante los ensayos realizados se obtuvo una respuesta satisfactoria con  $P_3=900 \Omega$ .

Luego ya estamos en condiciones de hallar los voltajes máximos y mínimos  $V_o$ .

$$V_o \text{ max} = 0.2 + 0.9 \text{ K} \times 1.9 = 2.0 \text{ voltios.}$$

$$V_o \text{ mín} = 0.2 + 0.9K \times 0.378 = 0.540 \text{ voltios.}$$

Con los datos ya calculados podemos escoger nuestro transistor  $Q_1$ ; el cual será 2N6223 cuyas características son:

Ganancia de corriente típica = 100  $\beta$

Máximo voltaje colector emisor = 150 V

ó  $V_{cemáx.}$

Máxima potencia de disipación = 310 mW.

1K $\Omega$  ó  $h_{ie}$ .

### 2.5.2d.3 Circuito de Referencia y Realimentación.

La figura D3 nos muestra el circuito de realimentación negativa de velocidad. Los motores que existen en la planta, la cual se debe controlar en velocidad, poseen un tacogenerador acoplado en su eje, el cual nos proporciona un voltaje proporcional a la velocidad; en este caso 45 voltios /1000 RPM y una potencia de 20 watts como máximo.

El circuito de realimentación en ningún momento debe sobrecargar al tacogenerador; es más, se le debe hacer trabajar a una mínima potencia por ejemplo 1 watt; luego si estamos a máxima velocidad  $V_{Taco-generador} = 90$  voltios y la impedancia de carga será  $10K = R_5 + P_M$ .

Si consideramos que la caída de tensión en  $R_1$  es despreciable, que el circuito de realimentación negativa no carga al mezclador amplificador y además que estamos a velocidad cero tendremos el circuito equivalente Fig. D4; en el cual:

$$10 I_b (R_3 + ((1-\alpha)P_M) // (\alpha P_M + R_5)) = 2.0 \text{ V.}$$

para la condición de máxima corriente.

$$\text{Luego } I_b = \frac{1.9}{100} \text{ miliamper.}$$

$$\therefore R_3 + ((1-\alpha)P_M) // (\alpha P_M + R_5) = 16.21 \text{ K.}$$

Durante los ensayos realizados en la prueba de estos circuitos se eligió que  $R_5 = P_M$  es decir  $R_5 = 5.1\text{K}$  y  $P_M = 5\text{K}$  además  $\alpha$  para un buen funcionamiento fue  $\alpha = 0.6$ .

$$\therefore 16.2\text{K} = 1.6\text{K} + R_3$$

$$R_3 = 15.21\text{K } \Omega$$

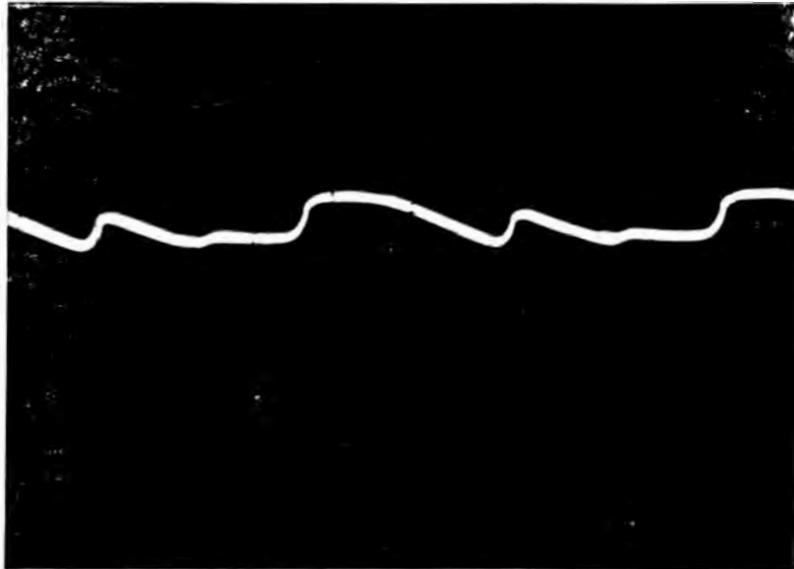
$$R_3 = 15\text{K } \Omega$$

$$R_5 = 5.1\text{K } \Omega$$

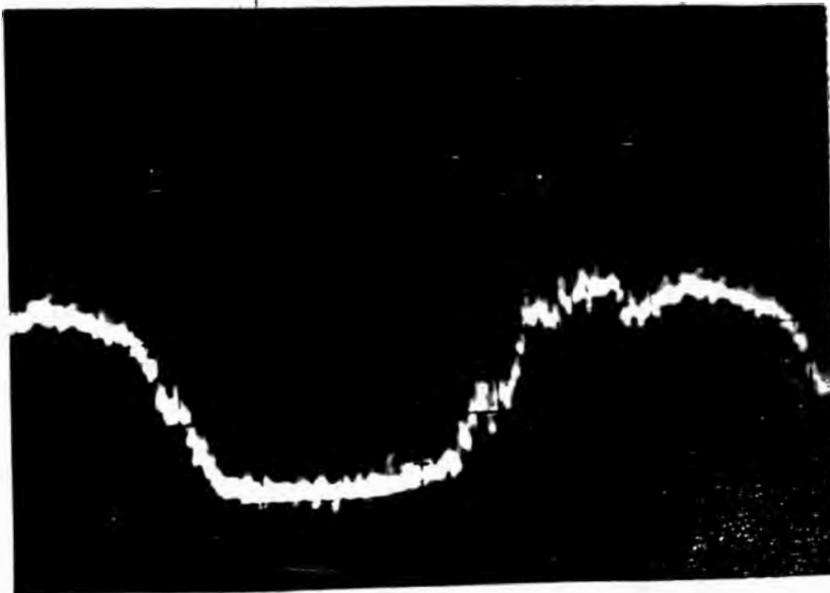
$$P_M = 5\text{K } \Omega$$

$$\alpha = 0.6$$

El circuito cumple que si  $\alpha = 0$  ó  $\alpha = 1$  la potencia del tacogenerador es siempre del orden de 1 watt; con lo cual aseguramos que no trabaja sobrecargado.



SEÑAL ERROR - RIPPLE 0.075 V/CM , 60HZ , AMPLITUD 2VDC



SEÑAL DE REALIMENTACION DEL TACO GENERADOR A MAXIMA VELOCIDAD (1750 RPM) 7.8 VAC-60HZ

En este momento conviene conocer los valores u órdenes de magnitud de los potenciómetros  $P_4$  y  $P_{U0}$ . tenemos como referencia que la máxima corriente de base es 1.9/B miliamperes; luego podemos asociar a  $P_{U0}$  y  $P_4$  una corriente del orden de 5 y 8 miliampers con el fin de que la referencia se comporte como una fuente de voltaje independiente de la carga.

Si  $P_{U0}$  y  $P_4$  absorben 6 miliampers:

$$P_{U0} + P_4 = \frac{36 \text{ V}}{6 \text{ mampers}} = 6 \text{ K}$$

$P_4$  es un potenciómetro que sólo nos sirva para dar una referencia; luego éste debe ser en promedio el 20% ó 25% de  $P_{U0}$ ; por lo tanto:

$$P_{U0} = 5\text{K} \quad P_4 = 1\text{K}$$

La figura D5 nos muestra que la referencia es máxima; luego la realimentación también será máxima; en este caso la velocidad de la máquina impulsora será de 1750 RPM.

La figura D6 es el circuito equivalente cuando se trabaja el motor a máxima velocidad; luego:

$$60\text{V} - 16.6 * I_{TC} = 2.0$$

$$I_{TC} = \frac{62}{16.6} = 3.79 \text{ miliamper.}$$

$$36V = 2.0 + 3.79 R_T$$

$$R_T = \frac{34}{3.79} = 8.94 \text{ K}\Omega.$$

La figura D4 nos muestra el circuito para la condición de "velocidad" "cero" conocemos el orden de magnitud  $R_T$  luego podemos hallar el valor de la tensión  $V_{REF}$  para esta consideración.

$$V_{REF} = 0.54 + \left( \frac{0.54}{16K} + \frac{0.378}{B} \right) R_T$$

$$V_{REF} = 0.54 + \left( \frac{0.54}{16K} \times 8.9K + \frac{0.378}{100} \text{ miliamper} \times 8.9 K \right).$$

$$V_{REF} = 0.873 \text{ voltios.}$$

Se ha considerado que el circuito de referencia no es cargado por el circuito de mezcla y realimentación; luego:

$$36V = (5K + \alpha P_4) I$$

$$I \times K = 0.873 \text{ volt.}$$

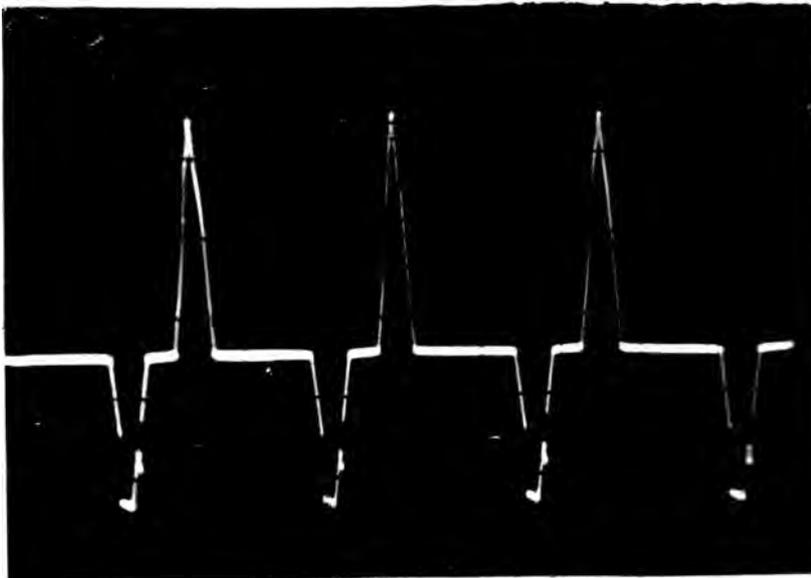
$$36 - 0.873 = 5K I \quad I = 7.0 \text{ miliampers}$$

$$\alpha P_4 = 124.7 \Omega.$$

De este resultado se afirma que el potenciómetro  $P_4$  debe calibrarse entre  $100\Omega$  y  $200\Omega$ .



SEÑAL DE REFERENCIA EN LOS BORNES DEL DIODO ZENER DZ  
36 VOLT, 60 HZ



SEÑAL DE REFERENCIA CON DISPARO UNICO A 30°  
REFERENCIA 36 VOLT 60 HZ  
PULSO 10 VOLT 60 HZ

#### 2.5.2d.4 Circuito Generador de Rampa.

La figura D7 nos muestra un sistema de alimentación por medio de diodo zener y una resistencia de limitación. Las razones por las que se escoge este sistema son:

La tensión alterna se rectifica en un puente formado por los diodos  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$ ; posteriormente se limita en la resistencia  $R_7$ . El diodo zener al comienzo de cada semiciclo limita la tensión al valor  $V_{BB}$  de la cual se extrae el voltaje de referencia mediante los potenciómetros  $P_4$  y  $P_u$ . Si estamos en la condición de "velocidad cero", la tensión de referencia es mínima y por lo tanto la carga del condensador es lenta; luego la tensión  $V_E$  se alcanzará por ejemplo a un ángulo  $\theta$  tal como lo muestra la figura D8, siguiendo la trayectoria AF.

Si aumentamos la referencia mediante  $P_u$ , el mínimo ángulo de disparo será  $30^\circ$  tal como se ha calculado para dicha unidad.

El diodo zener sirve para limitar y regular los picos de tensión. Al término de cada semiciclo el emisor adquiere un

voltaje cero. Luego el condensador  $C_3$  estará descargado al empezar cada semiperíodo.

Si la tensión que aplicamos al rectificador es la de red entonces tendremos sincronismo entre la red, la carga y los pulsos.

R7 es una resistencia que tiene por objeto sacar fuera de servicio al diodo zener en caso de falla del circuito de disparo, por ejemplo un deterioro de los transistores; lo cual elevará la corriente y caída de tensión en R7.

Sabemos que nuestro circuito de disparo y mezcla absorbe un promedio de 7 miliamperes. Luego podemos escoger un diodo zener que trabaje en el rango de 12 a 14 miliamper y 36 voltios, por lo tanto nuestro diodo zener será el IN6631, cuyas características son:

$$V_{\text{ruptura}} = 35 \text{ volt.}$$

$$I_{\text{zener máximo}} = 30 \text{ miliampers.}$$

$$\text{Potencia máxima} = 1 \text{ watt.}$$

Luego la caída de tensión en R7 será de 20 miliamper x R7; si escogemos una tensión comercial V de 110 voltios, entonces: 20 miliamper x R7 = 90 volt.

R7 = 4.5K
-----------

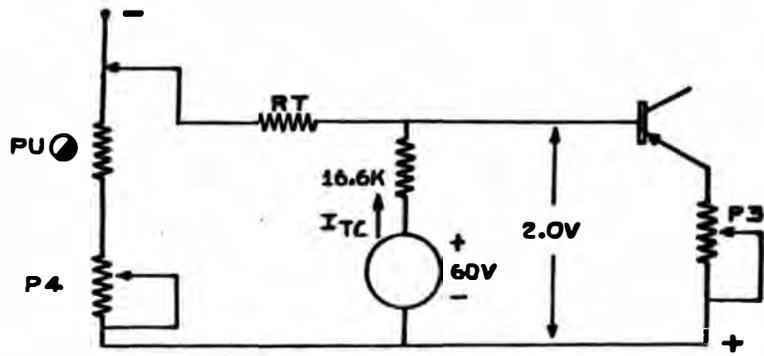


FIG. D-6

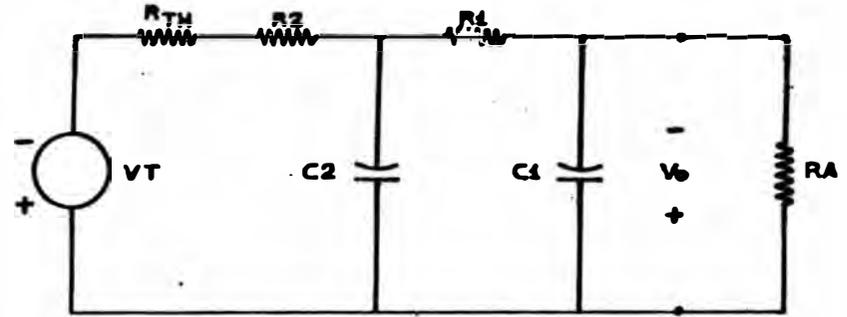


FIG. D-9

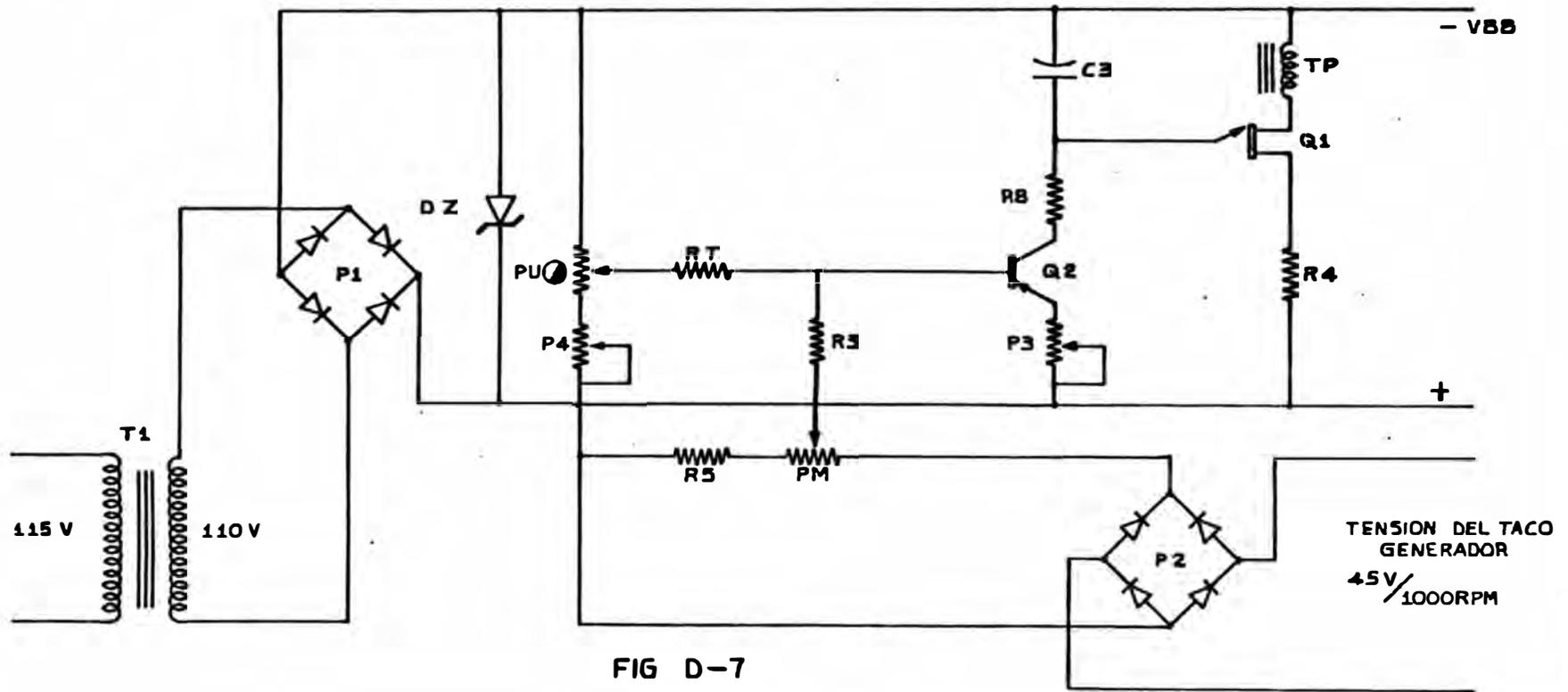


FIG D-7

### 2.5.2d.5 Sistema de Aceleración y Retardación Controlada.

La figura D9 muestra un circuito que es equivalente al de la figura D7 para la condición de "velocidad cero". Para dicha condición  $R_{TH}$  toma un valor aproximadamente de  $100\Omega$ ,  $R_A=14K$  y  $R_T=8.94K$ . Donde  $R_A$  es la impedancia equivalente del circuito de mezcla y amplificación con el circuito de realimentación negativa.

Nuestro esquema de control propuesto exige un control de aceleración controlada; con tal fin se propone el esquema RC de la figura D9. Se aclara que  $R_T=R_1+R_2$  con el fin de mantener constante la atenuación para el estado estacionario.

Mediante datos de esquema de control, ya en funcionamiento, el control de aceleración debe ser del orden de 3 segundos el cual deberá efectuarse básicamente en  $R_{TH}$ ,  $R_2$  y  $C_2$ . Por consiguiente  $R_1$  es sólo un atenuador de la variación de tensión en  $C_2$ ,  $C_1$  y  $R_1$  básicamente constituyen un "transmisor" de alta velocidad de las variaciones de  $C_2$ .

Como aclaramos en párrafo anterior

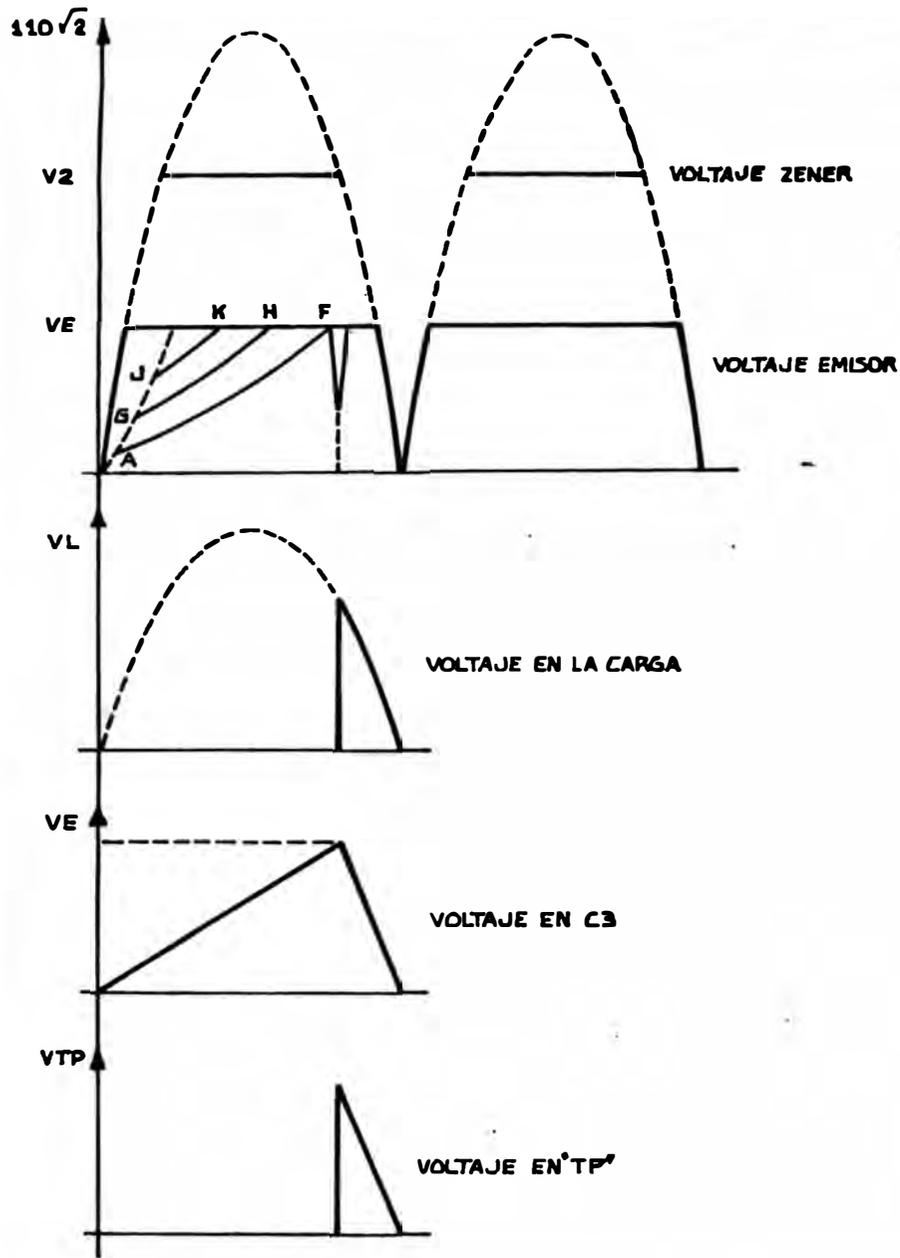


FIG. D-8

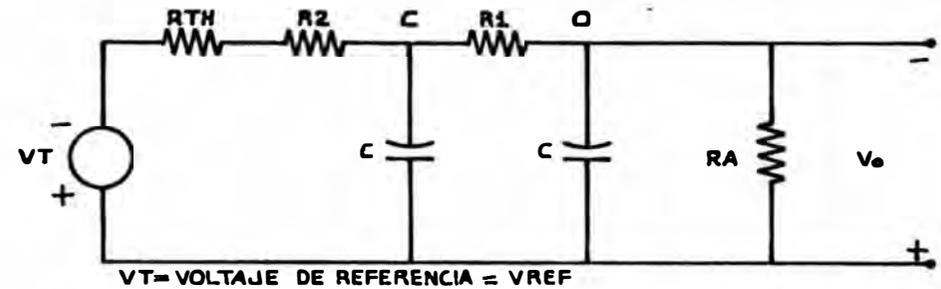
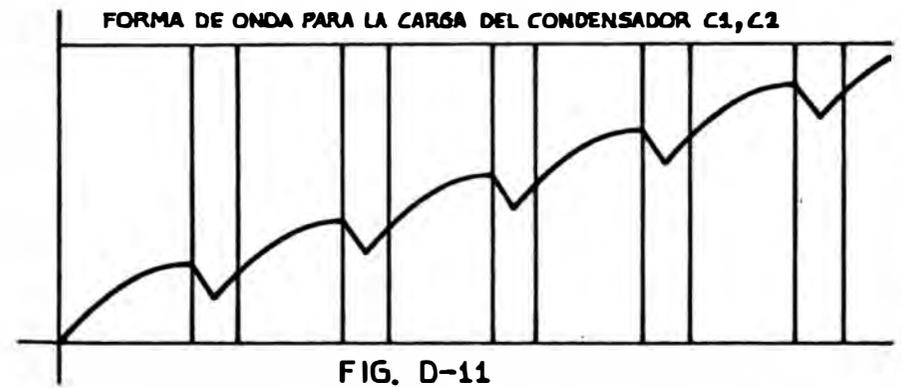
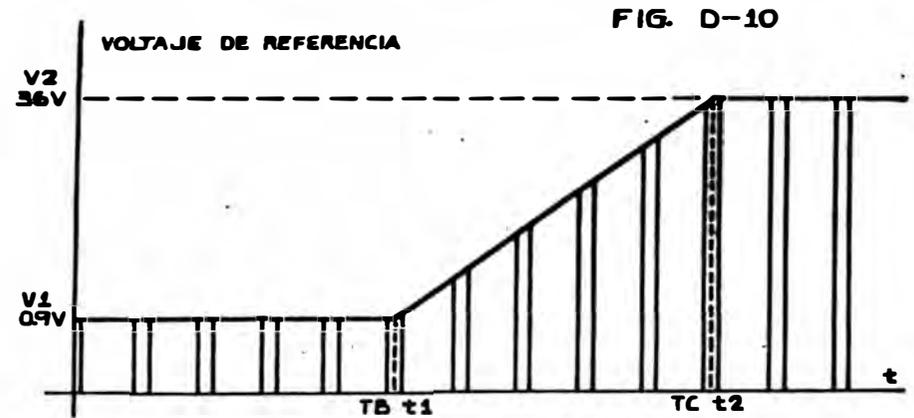


FIG. D-12

$R_1$  es un atenuador y  $R_2$  en cierto modo actúa como un freno de "cargas". para  $C_1$  podemos escoger  $R_1 = 3R_2$ ;  $R_1 = 6.8K$  y  $R_2 = 2.2K$ .

Si queremos que  $C_2$  sea el "control" de aceleración y  $C_1$  el transmisor se debe cumplir que  $C_2$  sea mucho mayor que  $C_1$ , por ejemplo  $C_2 = 200 C_1$ .

### Análisis de la Red de Aceleración Controlada

Estudio a la "velocidad cero".

En el momento en que se encienda el grupo Ward-Leonard, primero deberá alcanzarse la "velocidad cero". El análisis para este caso será entre 0 y  $t_B$ , ver Figura D10.

En la figura D8 se puede apreciar que el voltaje de referencia no es estrictamente una tensión continua; luego podemos decir que existe un tiempo de conducción  $n_e$  ta que en este caso es de 6.81 mseg. Luego la tensión  $V_o$  se alcanzará de la forma que se ilustra en la Figura D11.

La Figura D12 es el circuito equivalente de aceleración gradual para la condición de "velocidad cero", luego:

$$\frac{V_C - V_T}{R} = -C_2 \frac{dV_C}{dt} - C_1 \frac{dV_O}{dt} - \frac{V_O}{R_A}$$

donde  $R=R_2+R_{TH}$  y  $V_C=K_1 V_O$

$$y \frac{dV_O}{dt} + \frac{V_O}{\tau_1} = \frac{V_T}{\tau_A} \quad \tau_1 = \frac{RAR(K_1C_2+C_1)}{R+K_1RA}$$

$$\tau_A = R(K_1C_2+C_1)$$

$$\text{luego } V_O(t) = \frac{V_T}{\tau_A} \tau_1 (1 - e^{-t/\tau_1})$$

Sabemos que en el estado estacionario de la máquina  $V_O = 0.54$  voltios y  $V_T \approx 0.9$  voltios; además  $K_1$  en las condiciones de estado estacionario es  $K_1 = \frac{R_1+R_A}{R_A} \approx 1.5$ ; luego podemos considerar para el estado estable de la máquina  $K=1.5$ . Entonces:

$$0.54 = 0.9 \frac{\tau_1}{\tau_A} (1 - e^{-t/\tau_1})$$

recordando que se recomienda una aceleración controlada durante 2 segundos:

$$0.54 = 0.9 \frac{RA}{R+RAK_1} \left[ 1 - e^{-3 \left( \frac{R+RAK_1}{RAR(K_1C_2+C_1)} \right) t} \right]$$

de aquí si  $C_2 = 200 C_1$ .

$C_1 = 1.68 \mu f$  luego  $C_1 = 2.2 \mu f$  normalizado.

y  $C_2 = 440 \mu f$   $C_2 = 470 \mu f$  normalizado.

Análisis de la Red cuando se pasa violentamente de la condición "Velocidad Cero" a Máxima Velocidad.

En funcionamiento normal la máxima razón de crecimiento de la referencia que puede originarse es la de 36 volt/Seg. O sea le damos 1 seg. como máximo al operador para imponer la máxima referencia. Se aclara que esto en sí es un error de operación; por lo cual analizaremos nuestra red para comprobar su comportamiento de aceleración gradual.

Para analizar este caso hallaremos  $V_o(t)$  en función de  $V_T$  y  $V_i(t)$  valiéndonos del teorema de superposición y de ciertas aproximaciones. En todo momento se debe cumplir la siguiente relación:

$$V_o(t) = V_{oT}(t) + V_{oi}(t)$$

$V_{oT}(t)$  voltaje debido a  $V_T$ .

$V_{oi}(t)$  voltaje debido a  $V_i(t)$ .

Primeramente hallaremos  $V_{oT}(t)$  para  $T_B \leq t \leq T_C$

Para este caso:  $V_T = 35.1(t - T_B) + 0.9$  (función rampa).

De la Fig. D12:

$$\frac{V_C - V_T}{R} = -C_2 \frac{dV_C}{dt} - \frac{V_{oT}}{R A} - C_1 \frac{dV_{oT}}{dt}$$

Sabemos que  $V_C = K_1 V_O$

$$K_1 = 1.5.$$

Simplificando la ecuación:

$$\frac{d V_{OT}}{dt} + \frac{V_{OT}}{\tau_1} = \frac{V_T}{\tau_A} \quad \text{donde: } \tau_1 = \frac{R_A R (K_1 C_2 + C_1)}{R + R_A K_1}$$

$$\tau_A = R (K_1 C_2 + C_1)$$

Condición Inicial:

$$V_{OT}(T_B) = 0.54$$

Resolviendo la ecuación diferencial y considerando la condición inicial se obtiene el siguiente resultado:

$$V_{OT}(t) = \frac{1}{\tau_A} 35.1 (t - T_B - \tau_1) + .9 +$$

$$+ .54 - \frac{1}{\tau_A} (.9 - 35.1 \tau_1) e^{-(t - T_B) / \tau_1}$$

Para calcular  $V_{OT}(T_C)$  tendremos en cuenta que para este instante debido a la variación de  $R_{TH}$ :

$$\tau_1 = 0.94 \text{ seg.}$$

$$\tau_A = 1.55584 \text{ seg.}$$

$$T_C - T_B = 1 \text{ seg.}$$

$$V_{OT}(T_C) = 8.7 \text{ voltios.}$$

A continuación analizaremos  $V_{OT}(t)$

para el intervalo  $t \geq T_C$ . De la Fig. D12 llegamos a una ecuación diferencial idéntica a la del caso anterior.

$$\frac{d V_{OT}}{dt} + \frac{V_{OT}}{\tau_1} = \frac{V_T}{\tau_A}, \text{ donde } K_1, \tau_1 \text{ y } \tau_A \text{ han sido definidas anteriormente y } V_T = 36 \text{ voltios.}$$

Resolviendo esta ecuación y aplicando la condición  $V_{OT}(T_C) = 8.7$  llegamos a la siguiente solución:

$$V_{OT}(t) = 21.9 - 12.2 e^{-\frac{(t-T_C)}{\tau_1}}$$

Cálculo de  $V_{oi}(t)$  para  $T_B \leq t \leq T_C$ .

Para hallar  $V_{oi}(t)$  haremos una aproximación a la forma de onda, ya que la solución real es muy complicada en la Figura (D13) se indica la forma de onda a partir de la cual deduciremos  $V_{oi}(t)$ . Teniendo en cuenta los requerimientos de la máquina, diremos que ésta partirá con velocidad cero y deberá acelerar gradualmente para estabilizarse en aproximadamente 4 seg. Como vemos la Fig. (D13), hay tiempos de funcionamiento (7ms) y tiempos de "frenado" (1ms); luego, durante los tiempos de funcionamiento el condensador  $C_1$  se estará cargando (durante 7 ms) y descargando durante "el fre-

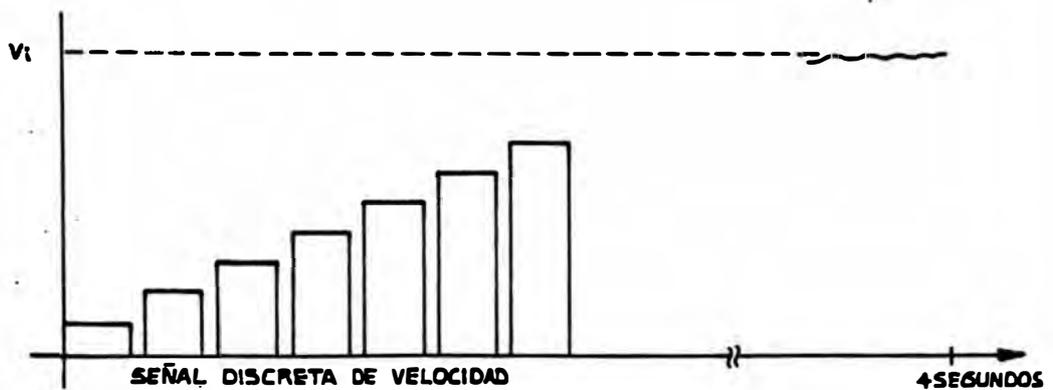
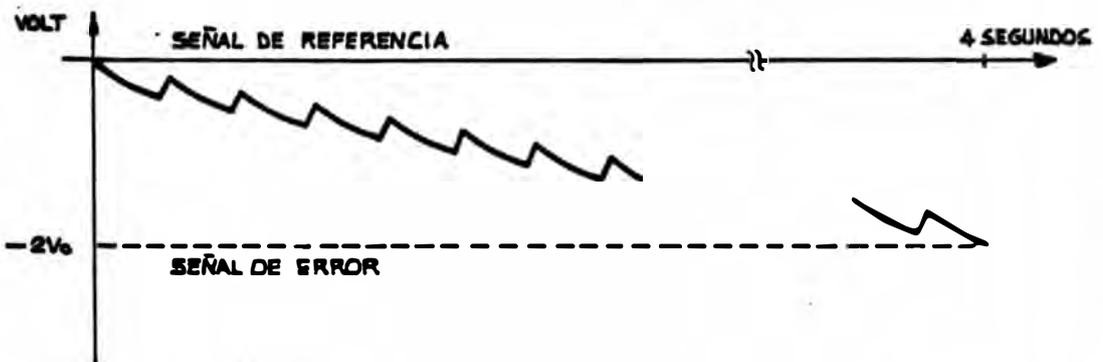
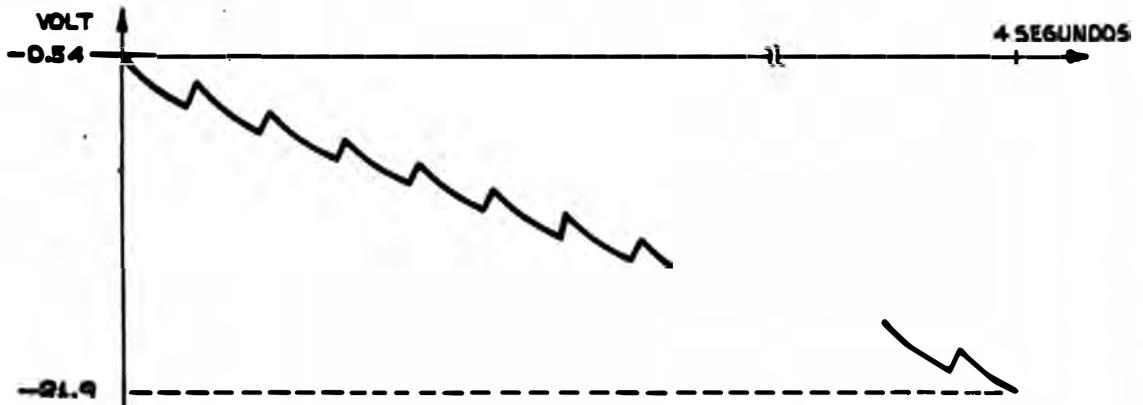
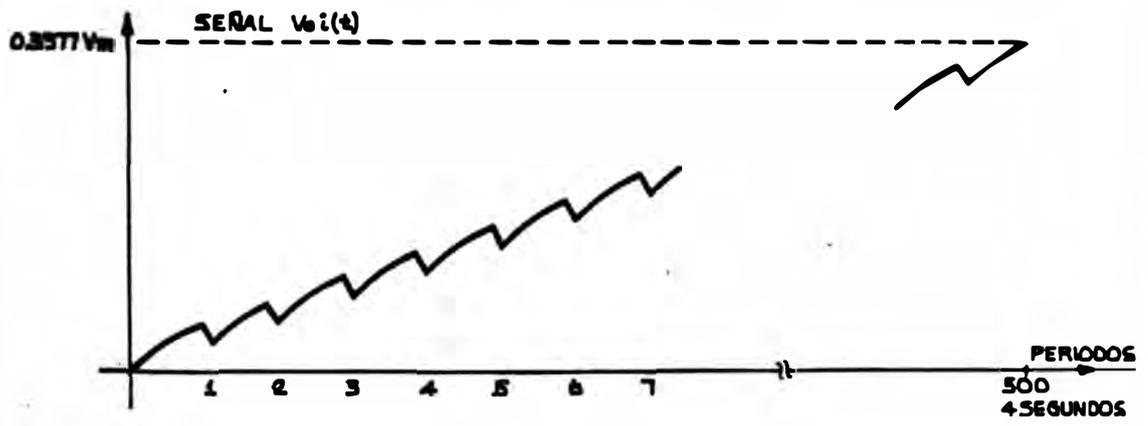


FIG. D-13

nado" (1 ms) tal como se observa en la fig. (D13).

Luego durante un ciclo completo, la carga neta del condensador será la diferencia de carga y descarga durante los 8 mseg.

El análisis lo iniciaremos considerando  $V_{o_i}(t)$  una función discreta de un cierto número de niveles de tensión tal que la altura que alcance en cada período sea igual a:

$$V_i = \frac{V_M T}{125K} \quad \text{donde:}$$

$V_M$  máxima amplitud de la señal de realimentación.

$K$  el número de segundos que requiere la máquina para alcanzar su velocidad nominal.

$T$  número de períodos considerado. ..

Cálculo para  $T=1$ .

$$V_i = \frac{V_M}{125K}$$

$$V_{o_i}(t) = V_{ss} (1 - e^{-t/\tau}) \quad \text{donde:}$$

$$\frac{(R_1 + R_2) R_A}{R_B (R_1 + R_2 + R_A)} = 0.3277$$

$$V_{ss} = \frac{V_i}{R_B (R_1 + R_2 + R_A)} (R_1 + R_2) R_A$$

$$\tau = \frac{R_A R (C_1 + K_2 C_2)}{R + K_2 R_A} = 0.987 \text{ seg.}$$

Si no se incrementa la tensión podemos decir que el sistema alcanzará su valor estacionario en  $4\tau$  ó  $5\tau$  analizando durante los primeros 7 milisegundos:

$$V_{o_i}(t) = 18.5271 \times 10^{-6} \frac{V_m}{K}$$

A partir de este instante el condensador empieza a descargarse durante un ms. de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_{o_i}(t) = 18.5271 \times 10^{-6} \frac{V_m}{K} e^{-t/\tau}$$

Para  $t = 1 \text{ ms}$ :

$$V_{o_i}(t) = 18.50833 \times 10^{-6} \frac{V_m}{K}$$

Luego durante 1 ms la pérdida de voltaje será del orden de 0.128%.

Cálculo de  $V_{o_i}(t)$  para  $T=2$ .

$$\text{Para este caso } V_i = \frac{2 V_m}{125K}$$

$$y \quad V_{o_i}(t) = V_{ss} (1 - e^{-(t-T_1/\tau)}) + V_i e^{-(t-T_1/\tau)}$$

$$\text{donde: } V_{ss} = 2.3277 \frac{V_m}{125K}$$

$$V_i = 18.5271 \times 10^{-6} \frac{V_m}{125K}$$

Para  $t-T = 7$  ms:

$$V_{O_i}(t) = 37.20 \times 10^6 \frac{V_m}{K}$$

Como la descarga es bien pequeña para simplificar las operaciones la podemos despreciar.

Cálculo de  $V_{O_i}(t)$  para  $T=3$ .

$$V_{SS} = .9831 \frac{V_m}{125K} \times 10^{-6}$$

$$V_i = 37.20 \times 10^{-6} \frac{V_m}{K}$$

$t=T = 7$  ms:

$$V_{O_i}(t) = 92.518 \times 10^{-6} \frac{V_m}{K}$$

Calculando  $V_{O_i}(t)$  para 12 períodos más

Hasta ahora tenemos calculados 3 valores de  $V_{O_i}(t)$ , que son:

$$V_{O_i}(t) \left( \frac{V_m}{K} \times 10^{-6} \right)$$

1er. Período	=	18.5271
2º	"	= 37.2
3er.	"	= 92.518
4º	"	= 165.97
5º	"	= 254.4533
6º	"	= 363.8169

7º	Período	=	490.933
8º	"	=	635.6789
9º	"	=	797.92855
10º	"	=	977.558
11º	"	=	1174.4447
12º	"	=	1388.46664
13º	"	=	1619.5
14º	"	=	1867.4314
15º	"	=	2132.13516

Como vemos la razón de incremento también experimenta un incremento durante los siguientes ciclos. Como este incremento de razón varía entre 10, 15 y 20, podemos hallar el valor medio de éste incremento considerando un análisis para 4 segundos ó 500 periodos, diremos que la razón es:

Para el término 150  $10+150 \times 10$  y  
 para el término 350  $10+350 \times 10$

Considerando la más baja razón de crecimiento entre 30% y el 70% del tiempo analizado.

La razón será:

$$F \approx \sqrt{1500} \times \sqrt{3500} = 2290 \approx 2500$$

tomo 2500 = F para tomar un condición extrema. Luego el término 500 será:

$$V_{O_i}(t) = 500 \times 2500 \times 10^{-6} \frac{V_m}{K}$$

$$V_{O_i}(t) = 1.25 \frac{V_m}{K}$$

Para el término 500 podemos decir que el sistema es estable; luego:

$$V_O(t) = 21.9 - 1.25 \frac{V_m}{K}$$

$$V_O(t) = 2 \text{ volt.}$$

$$54 \leq V_m \leq 108$$

$$\text{luego } K = \frac{1.25 V_m}{19.9} \quad K \in (3.4, 6.8 \text{ seg.})$$

luego si tomamos  $K=4$  seg. podemos asegurar que tenemos 4 segundos de control de aceleración gradual

### 2.5.3 Esquema de control completo de una Unidad Ward-Leonard.

La Figura #1 nos muestra un arreglo Ward-Leonard de 75 HP; en el cuál se observa un motor trifásico AC de 100 HP protegido por un disyuntor y un dispositivo para sobrecarga "OL" y el contactor "P" sirve para alimentar el motor AC.

Una vez que se presiona el pulsador START se energiza el contactor y el motor AC arranca dando así la rotación al generador DC. La unidad de poder AC/DC también se energiza y alimenta al campo constante del motor, al campo de bias o auxiliar del generador y al contactor DB que conecta en paralelo el freno dinámico DBR con la armadura del motor de corriente continua (DC) que es la unidad impulsora para los rodillos laminadores ó calandria.

En el esquema también se aprecia que la unidad de referencia queda energizado en el mismo momento que el grupo motor AC y generador DC; sin embargo ésta sólo es aplicada cuando se enciende el motor impulsor.

DIAGRAMA COMPLETO DEL CONTROL DE VELOCIDAD

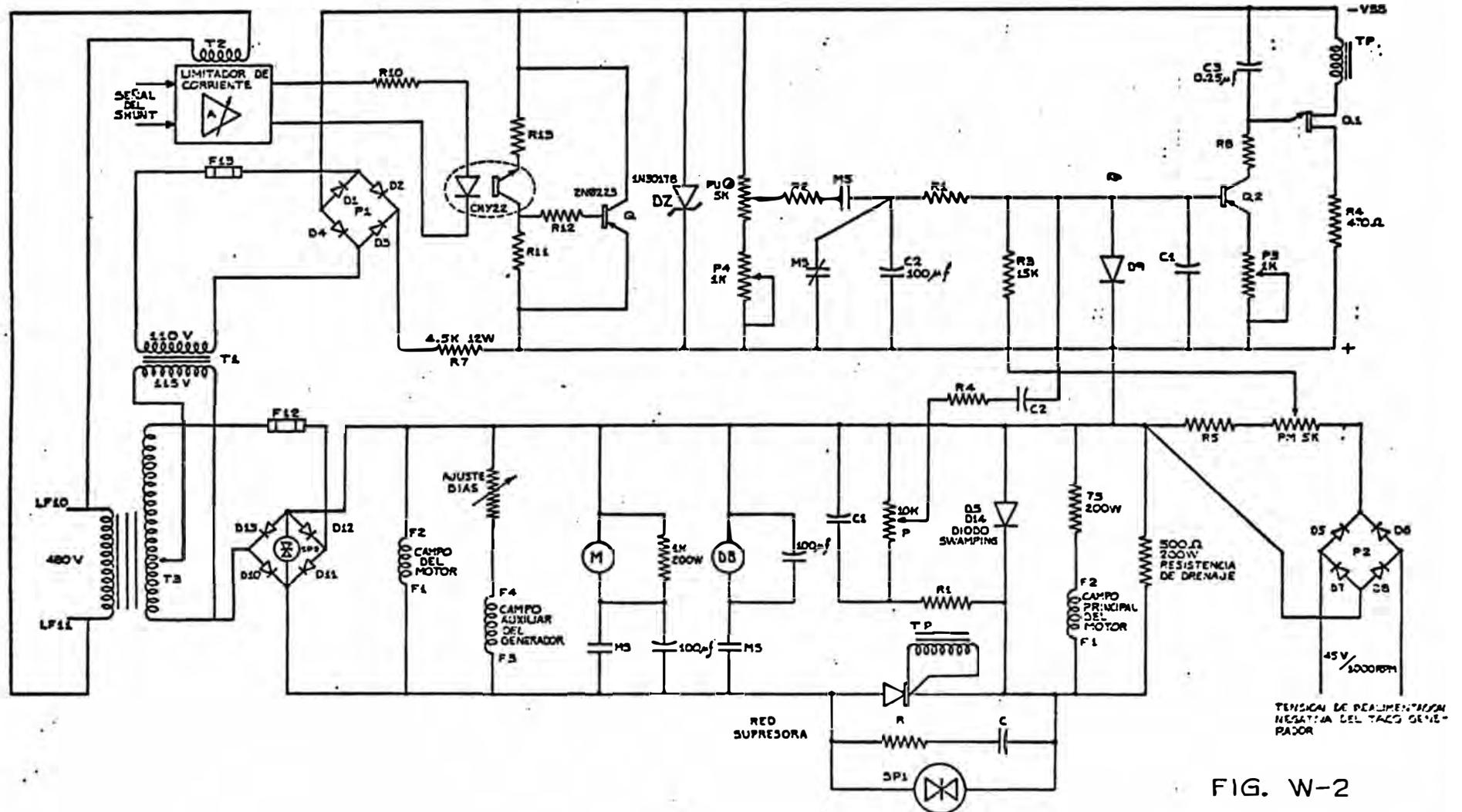
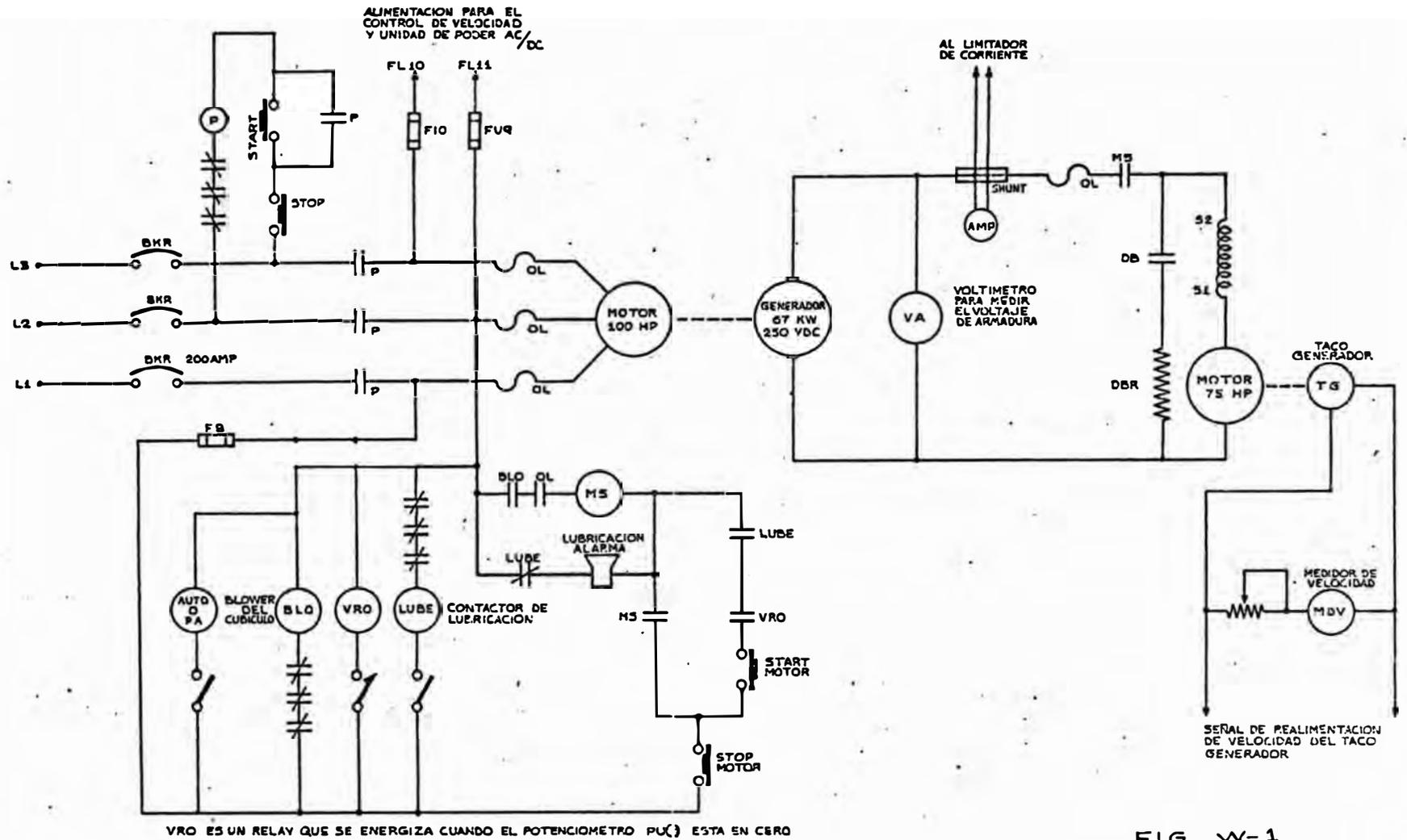


FIG. W-2



*GRUPO WARD LEONARD USADO EN EL PRIMER LAMINADOR*

Para iniciar la marcha del motor DC se deberá llevar el control de referencia  $P_{U0}$  a su valor mínimo para que pueda energizarse el relay y se pueda tener la condición de arranque mediante el pulsador START N. Una vez que se presiona el pulsador START M se activa el contactor MS el que a su vez activa el circuito de control de disparo, al contactor M que conecta las armaduras del generador y motor DC; obsérvese que MS desactiva al contactor DB que desconecta el freno dinámico DBR de la armadura del motor.

Una vez arrancado el grupo Ward Leonard , éste adquiere su condición de "velocidad cero" ya que el circuito de disparo (Fig. w 2 ) mediante  $P_4$  da una referencia mínima para vencer la inercia del motor y rodillos en vacío.

Cuando se desea acelerar el motor DC para que éste adquiriera una determinada velocidad, se incrementa la referencia mediante el potenciómetro  $P_{U0}$  que hace que el disparo del tiristor se haga en un ángulo cada vez menor de acuerdo a la señal error impuesta. Al aumentar la corriente de campo por efecto del disparo del tiristor la intensidad de campo del generador aumenta y de igual forma la tensión de armadura del generador; y así el motor irá acelerando hasta alcanzar la velocidad que se requiere.

Durante el tiempo de aceleración la referencia sufre un efecto de "freno" en el circuito de aceleración gradual para que la señal de error no crezca rápidamente y por ende la velocidad del motor. El tiempo de "frenado" demora de 4 seg. a 5 seg. que es el tiempo requerido para alcanzar su estado estable.

Hasta la condición anterior el motor DC está trabajando en vacío; pero cuando recibe carga por efecto del manto al laminarse en la calandria; la tensión de armadura baja por efecto del incremento de la corriente de armadura y como consecuencia de este efecto la velocidad del motor DC decrecerá. Al decrecer la velocidad la señal de error aumenta debido a que la realimentación es menor. Si el error es mayor el transistor  $Q_2$  cargará más rápidamente al condensador  $C_3$  produciendo el disparo del tiristor a menor ángulo; luego la intensidad de campo del generador aumenta y el motor empieza a subir la velocidad hasta que el error alcanza su valor estable para la velocidad im puesta al grupo.

En caso de desacelerar la máquina DC, es decir cuando hacemos menor la referencia en forma bastante rápida el circuito de aceleración gradual impide que esta variación se transmita y por consiguiente la velocidad del motor DC. El efecto

de variación rápida del error originaría una fuerte razón de decrecimiento en el campo originando en los arrollamientos una gran fuerza electromotriz  $L di/dt$  que en nuestro caso la absorbemos con el diodo DS. El circuito de aceleración gradual retarda las variaciones bruscas hasta 5 seg.; luego el error alcanzará su estado estable después de este efecto y así también la velocidad del motor.

Una de las protecciones más ventajosas que posee nuestro esquema es el limitador de corriente de armadura, el cuál opera de la siguiente manera: Si por efecto de carga la corriente de armadura en el generador y el motor crecen al 35% ó 40% sobre la corriente nominal; esta corriente produce una tensión pequeña, pero suficiente, en el "shunt" que luego de ser amplificada excita a un foto-aislador que se encarga de anular la referencia y la tensión de alimentación del circuito de disparo. Este efecto anula los pulsos de disparo del tiristor y éste la intensidad en el campo del generador; finalmente la corriente y la tensión de armadura se reducen a cero. Se aclara que el efecto del limitador de corriente se presenta al 15% ó 20% de sobrecarga, indudablemente que previamente se debe haber calibrado correctamente.

Cuando se presenten estados de disturbio en la señal error y luego en el campo del generador ;

el circuito estabilizador transmitirá los disturbios como una forma de realimentación negativa para contrarrestar dicho disturbio y por consiguiente el disturbio producido en la velocidad del motor DC.

Cuando por alguna razón se desea apagar el motor DC, se presiona el pulsador STOP<sub>M</sub> que a su vez originará que los contactores MS y M se desactiven; en este instante el contactor DB se energiza y conecta el freno dinámico DBR con la armadura del motor con el fin de frenar rápidamente el motor.

Cuando se desea arrancar nuevamente el motor es necesario llevar el potenciómetro P<sub>u</sub> a su valor de mínima referencia; el que asegura que el motor arranque en su condición de velocidad cero; aclaro que es imposible arrancar fuera de esta condición ya que sólo en esta posición de P<sub>u</sub> el relay está energizado.

Para una mejor aclaración de los controles P<sub>4</sub>, P<sub>3</sub> y P<sub>u</sub> sugiero leer el apéndice # 3.

## 2.6 SINCRONIZACION DE LAS DISTINTAS UNIDADES WARD-LEONARD.

Antiguamente se pensaba que bastaba usar una referencia maestra desde una misma barra de distribución para controlar la velocidad de dos o más grupos. Con dicha referencia se podía ajustar las unidades individualmente ó todas a la vez (véase Fig. 1.2.b.3). Esto parece correcto desde todo punto de vista. Pero el inconveniente resulta en que dicha referencia no debe ser ajena al sistema de control. Lo más correcto en nuestros días es tomar la referencia desde el motor impulsor del transportador principal mediante un tacogenerador acoplado a su eje. Un diagrama de control es el que se expone en la figura 2.6 donde un tacogenerador dá una referencia maestra a través de un bloque REF/A. para otras dos unidades; aunque pueden ser teóricamente muchas; en forma más clara se puede apreciar en la figura 2.6.1 la forma circuital para la referencia maestra que alimenta las unidades "esclavas".

Nuestro circuito original cuya referencia se obtenía mediante un potenciómetro  $P_u$  (Fig.2.6.1.a) puede ser aprovechado en cuanto a su unidad de control se refiere; por ejemplo para el modo automático usamos una pequeña referencia de  $P_3$  para tener condición de "velocidad cero", además el mismo sistema de aceleración es posible de ser aprovechado. Observe que si PA son los contactos de un relay (Fig. 2.6.1.b) PA que al energizarlo desconecta la referencia normal y aplica la referencia

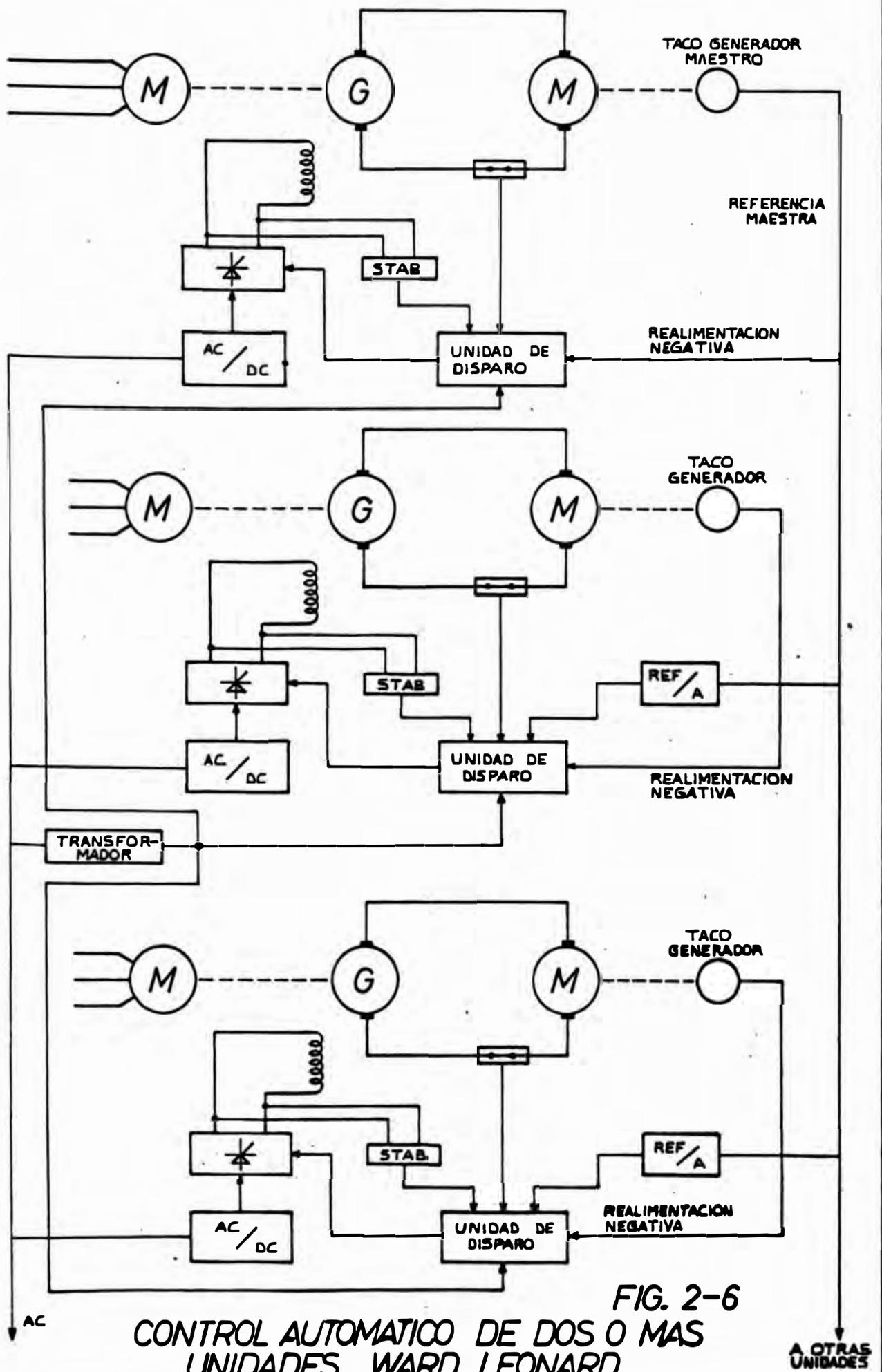


FIG. 2-6  
 CONTROL AUTOMATICO DE DOS O MAS  
 UNIDADES WARD LEONARD

A OTRAS UNIDADES

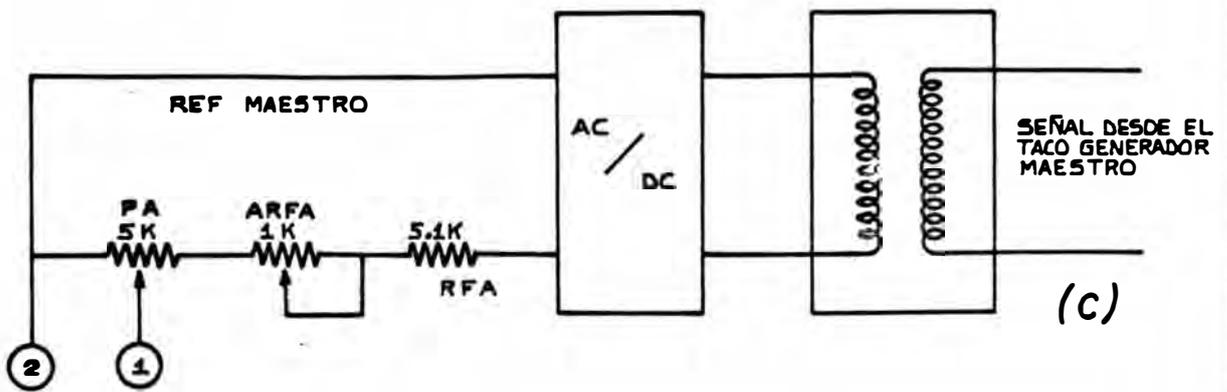
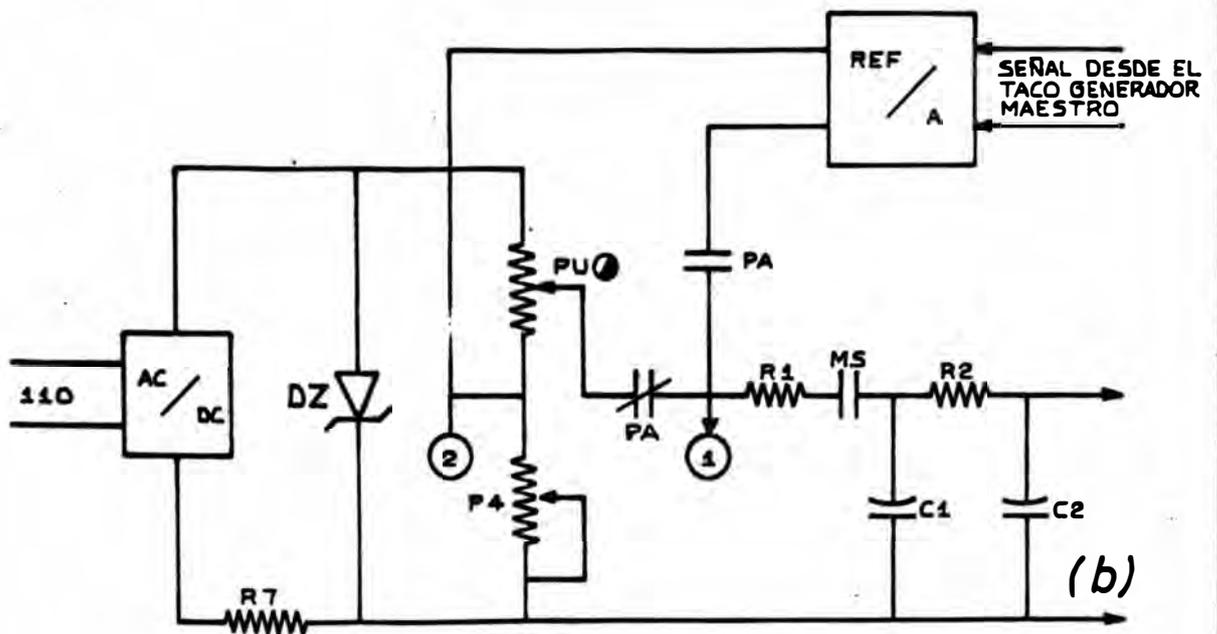
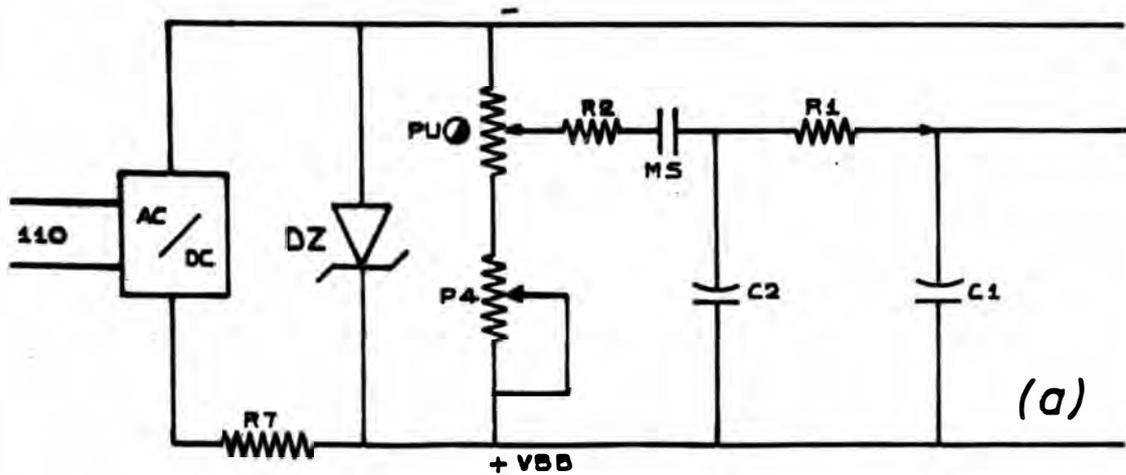
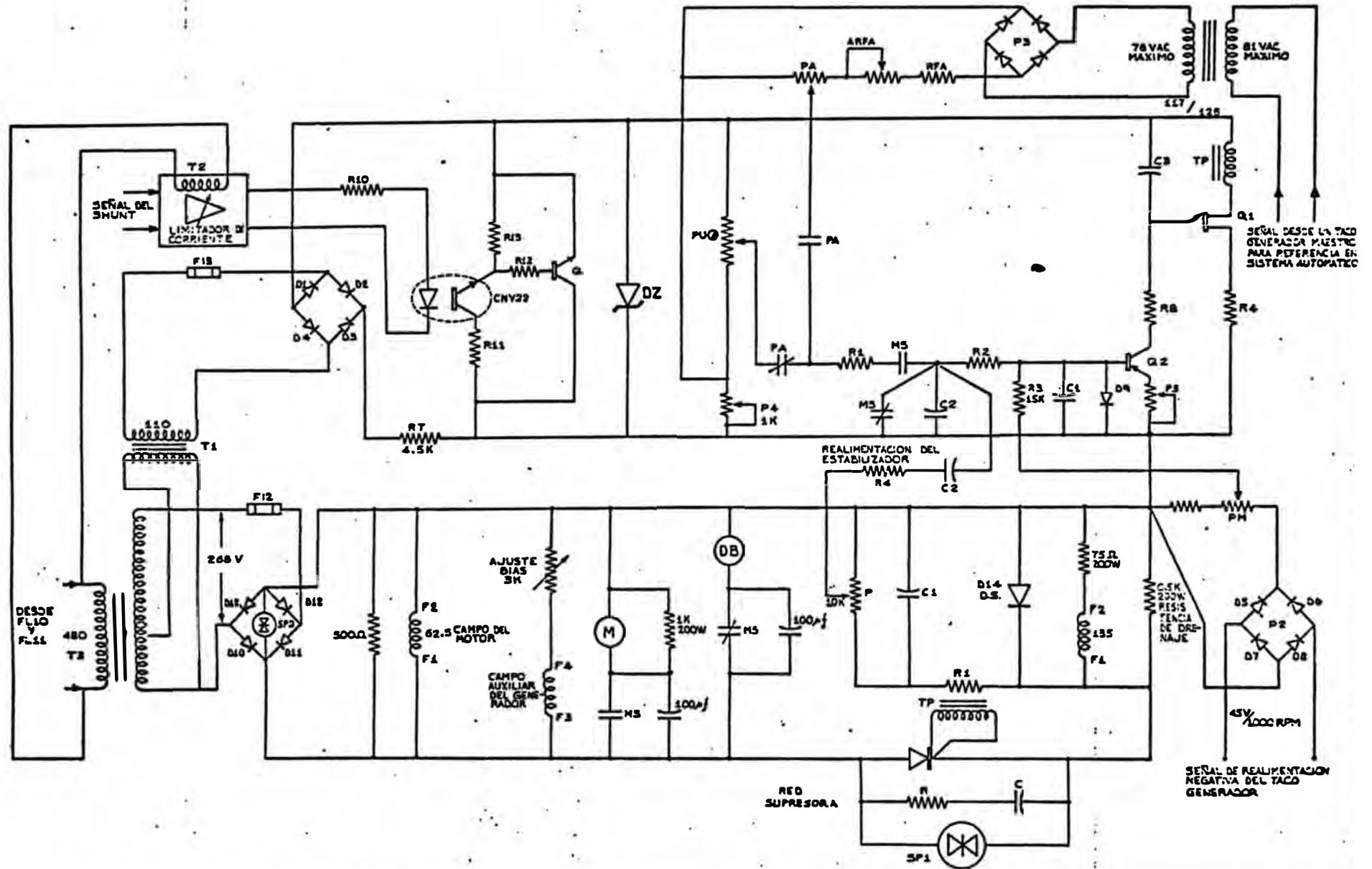


FIG 2-6-1

# ESQUEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA LOS MODOS AUTOMATICO Y UNICO



maestra a través de REF/A; entonces de esta manera sencilla podemos controlar todas las unidades desde un control maestro ó piloto.

Considerando que el taco generador es de  $45V/1000$  RPM y la máxima velocidad del motor es 1750 RPM; entonces la máxima tensión del taco generador será de 75V; ; luego si usamos un transformador comercial de 125/117volts, para aislar eléctricamente una unidad de otra, y rectificamos en un puente de onda completa AC/DC tendremos 104 volt. pico. Para usar esta tensión como referencia es necesario atenuarla mediante RFA y poseer un ajuste fino de referencia.

La referencia de modo único tenía una impedancia de 5 K (Fig. 2.6.1.c); luego para no variar las condiciones nuestra referencia maestra debe tener el mismo orden de impedancia. Luego nuestro atenuador deberá ser de 10K, el potenciómetro PA 5 K y el ajuste fino de  $1K\Omega$ , de tal forma que en el potenciómetro R maestro tengamos una tensión de 34 voltios como máximo.

La Figura 2.6.2 ilustra un esquema completo donde se aprecia la referencia normal de  $P_{U0}$  y la maestra o automática. Cuando el potenciómetro maestro está al máximo la velocidad de esta unidad será igual a la de la unidad maestra; y si variamos su valor tendremos una velocidad proporcional a la de la maestra para todo el rango de velocidad de trabajo.

## 2.7 AUTOMATIZACION Y CONTROL DE LA VELOCIDAD DE LA PRENSA Y SU CONVEYOR DE ALIMENTACION.

### 2.7.1 Exigencias del Control.

1. Mantener un lazo entre el conveyor del lustrador y el de alimentación a la prensa.

2. Bajo todo el rango de control sincronizar la velocidad de la prensa (corte) con el conveyor de alimentación.

3. Los sistemas deberán interbloquearse para las posición acelerar y desacelerar.

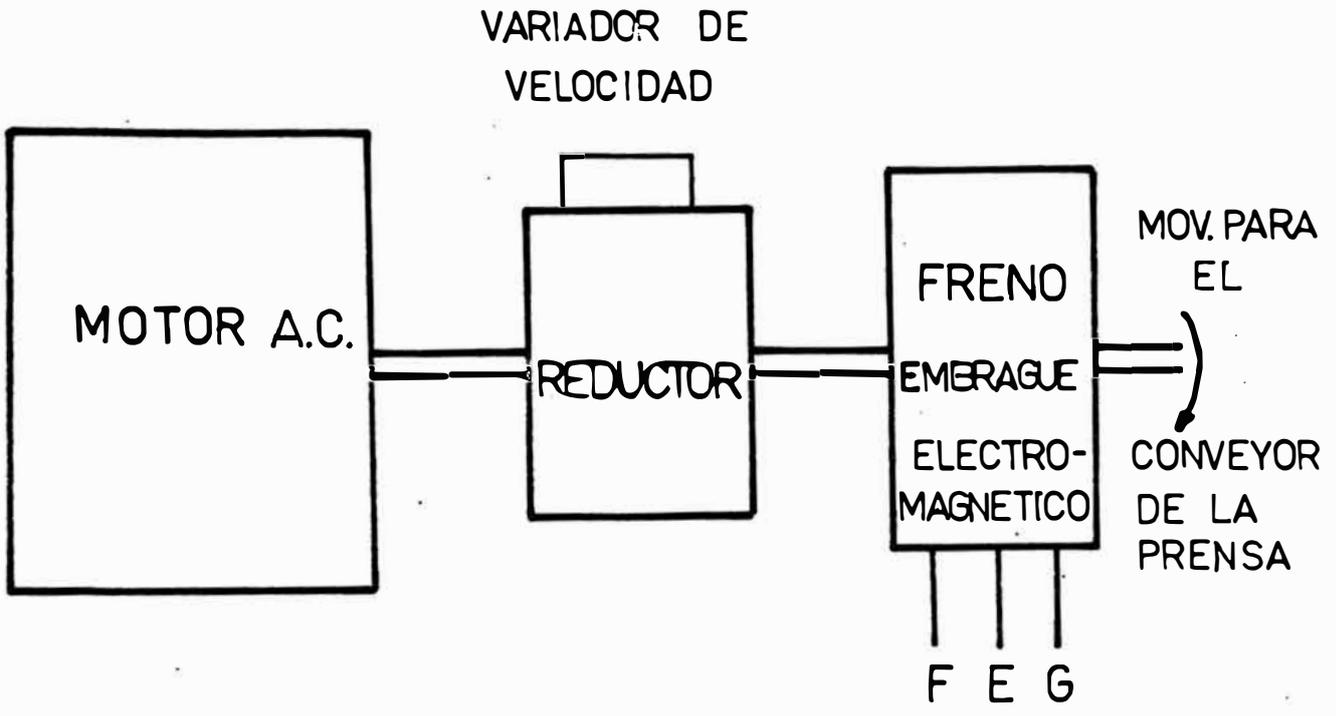
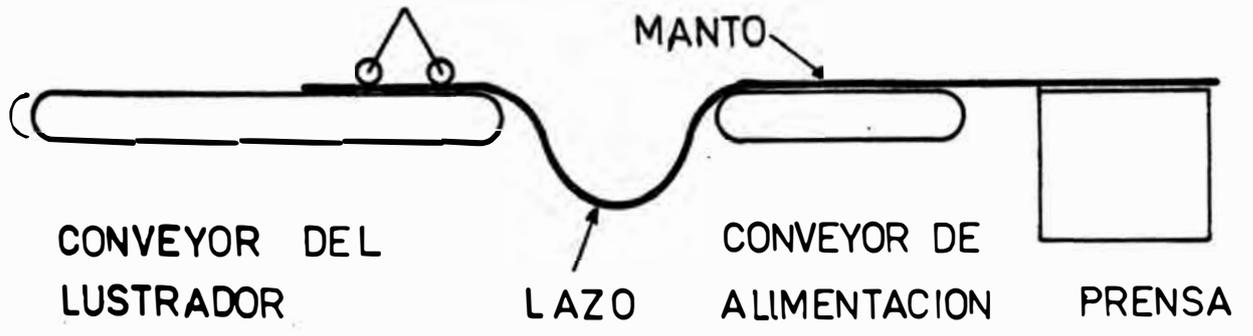
### 2.7.2 Diagrama de Bloques del Conjunto.

#### Funcionamiento del Diagrama de Bloques.

En condiciones de trabajo el transportador de alimentación para cuando la prensa está cortando y se mueve cuando la prensa eleva la matriz de corte para el siguiente golpe.

La velocidad del transportador de alimentación que es accionado por un motor AC, es regulable mediante un motor variador en el reductor de velocidad.

Mientras la fotocelda no detecte una va -





Cuando se presiona el push bottom RAPIDO el motor variador gira en un sentido y aumenta la velocidad a la salida del reductor.

Si presionamos el push bottom LENTO el motor variador gira en sentido inverso a "RAPIDO" y decrece la velocidad a la salida del reductor.

Se entiende que las variaciones se producen siempre que se tenga uno u otro push bottom presionados.

Se nota que se corre peligro si presionamos ambos "push bottom" a la vez; (el motor dispone de un switch térmico de protección ).

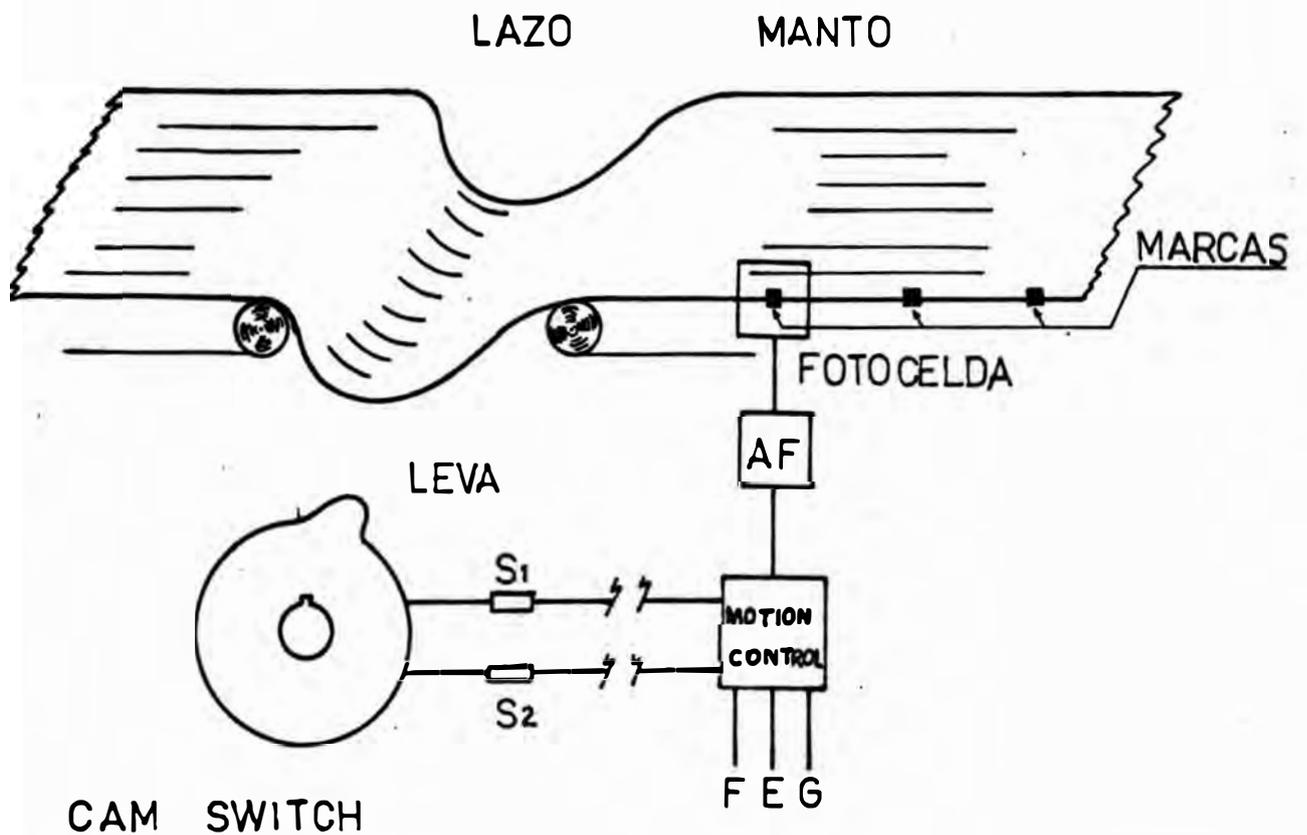
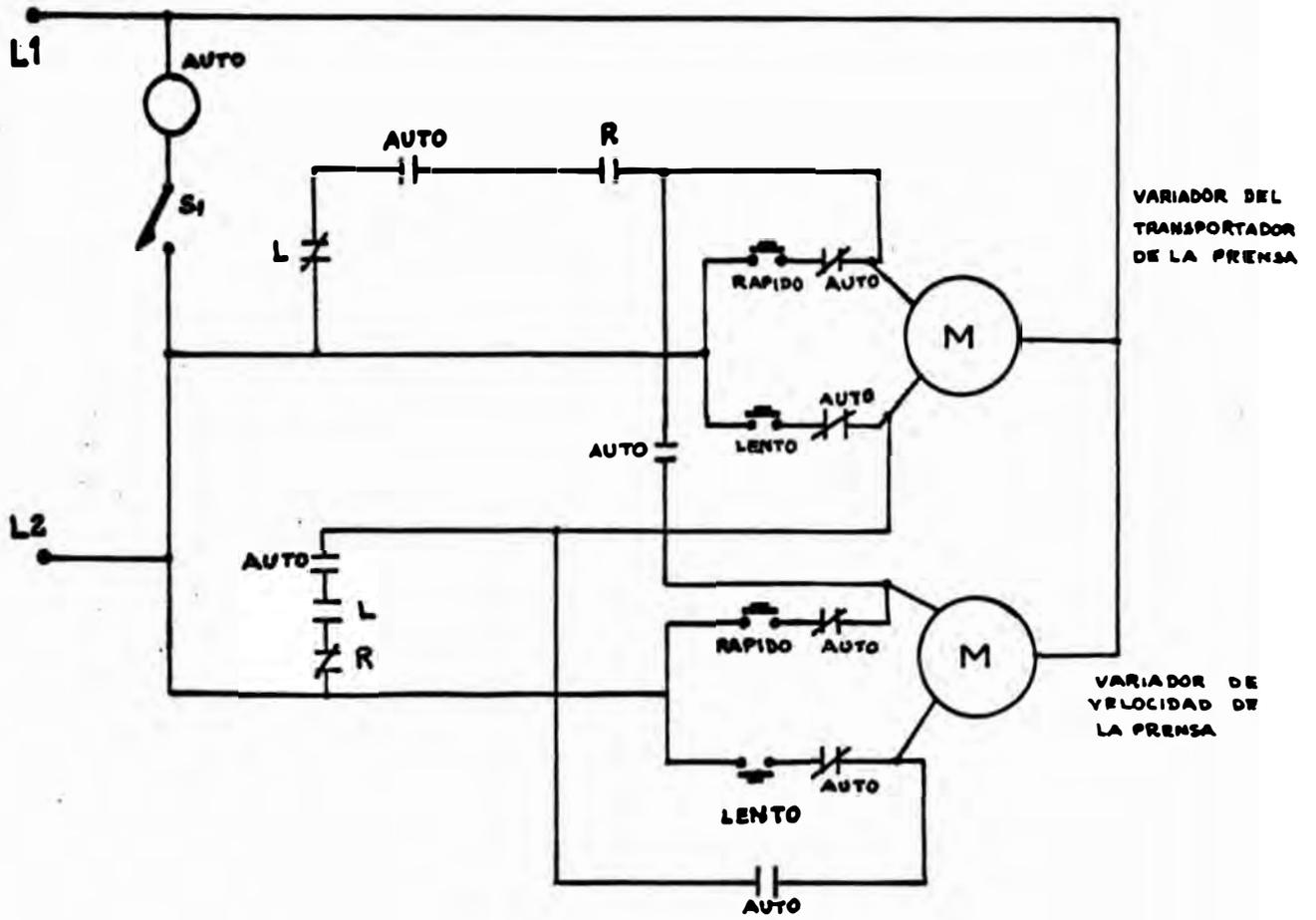
#### 2.7.4 Control Automático de los Variadores de Velocidad de la Prensa y el Transportador.

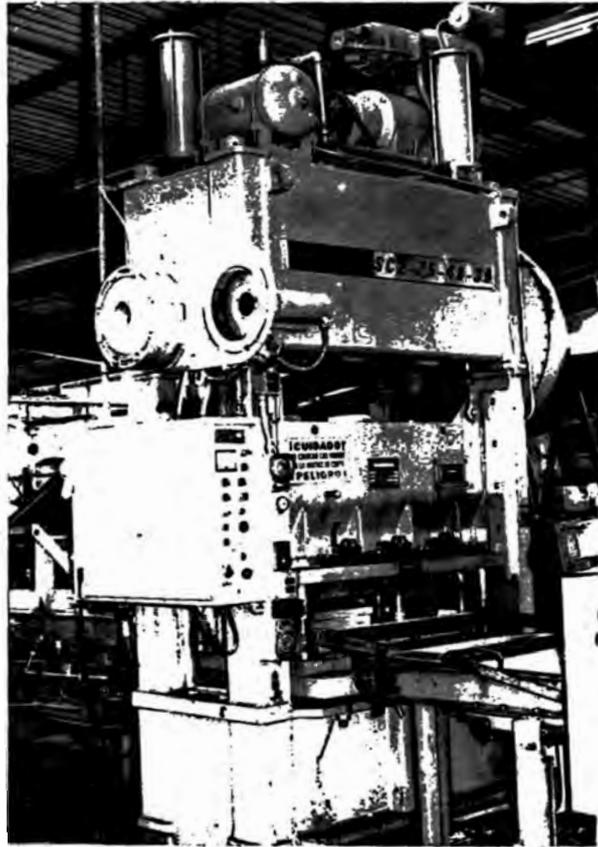
##### Funcionamiento.

La llave  $S_1$  permite seleccionar si el trabajo se realiza en forma automática o manual.

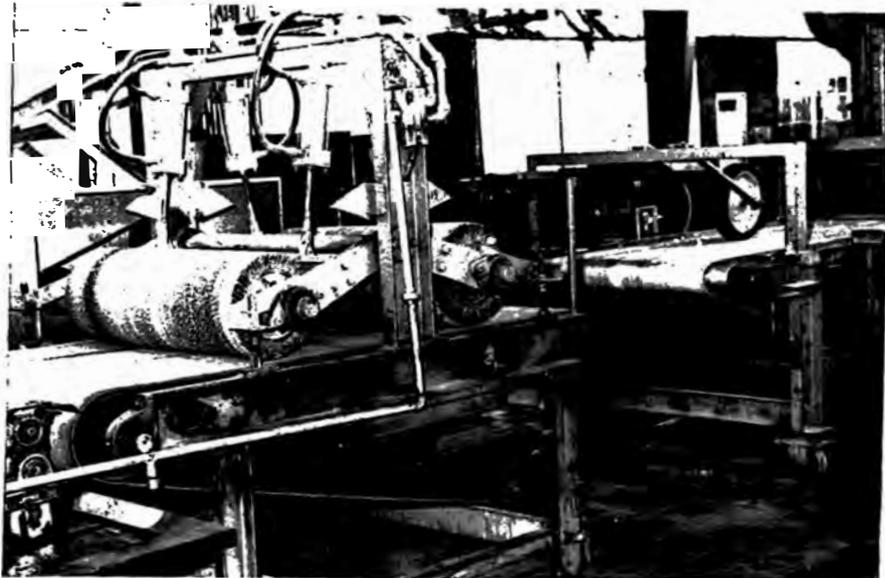
En funcionamiento automático si se energiza un contactor R los variadores aumentan la velocidad de salida del reductor debido a que se energiza la posición RAPIDO.

Como medida de seguridad un contactor R bloquea la posición LENTO cuando se opera la posición RAPIDO, se aclara que la posición RAPIDO se ener-





**PRENSA DE CORTE DE BALDOSAS**



**TRANSPORTADOR DEL LUSTRADOR Y DE ALIMENTACION DE LA PRENSA**

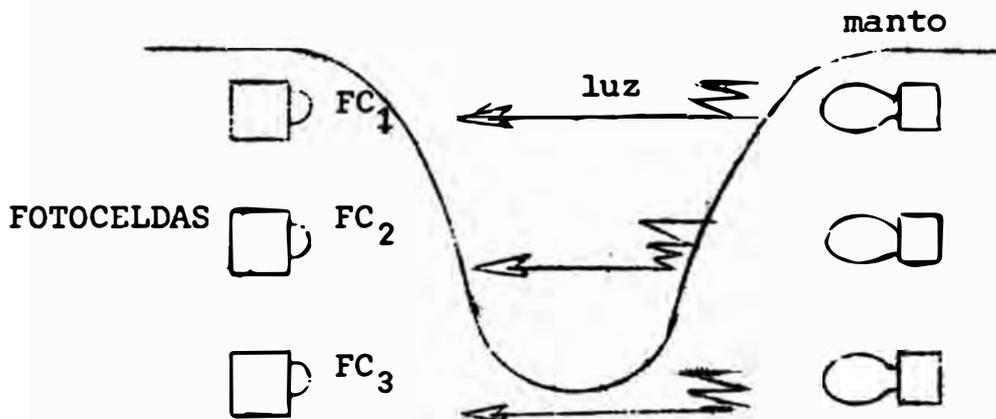
giza sólo cuando está energizado el contactor R.

Los variadores decrecerán la velocidad a los reductores cuando se energize un contactor L que a la vez bloqueará la posición RAPIDO.

### 2.7.5 Control de Lazo mediante los Contactores L y R

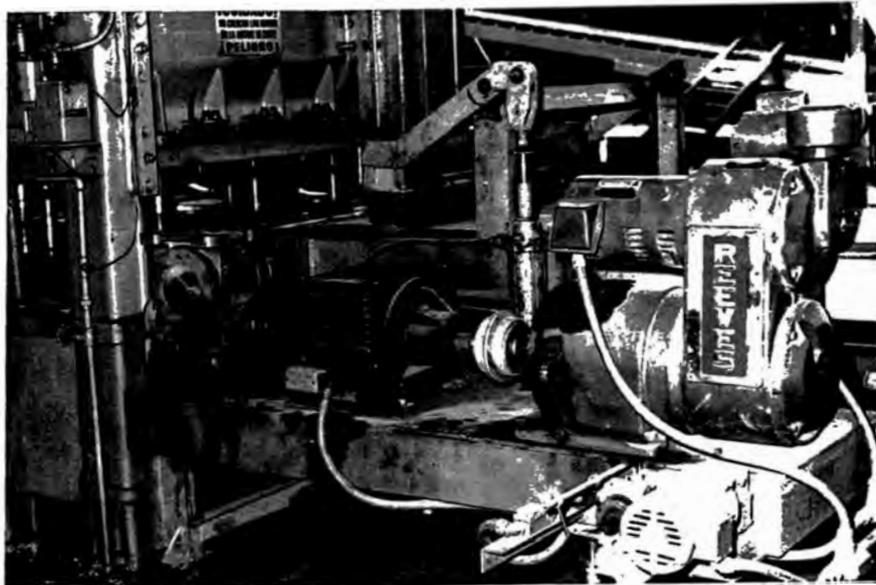
Se desea mantener un lazo entre los dos transportadores para evitar tracción en el manto.

El control se realizará mediante un sistema de fotocelda como el que sigue:



La fotocelda  $FC_1$  al interrumpirse la luz deberá condicionar el funcionamiento de las fotoceldas  $FC_2$  y  $FC_3$ , o sea es condición que esté actuada la fotocelda  $FC_1$  para que actúen las fotoceldas  $FC_2$  y  $FC_3$ .

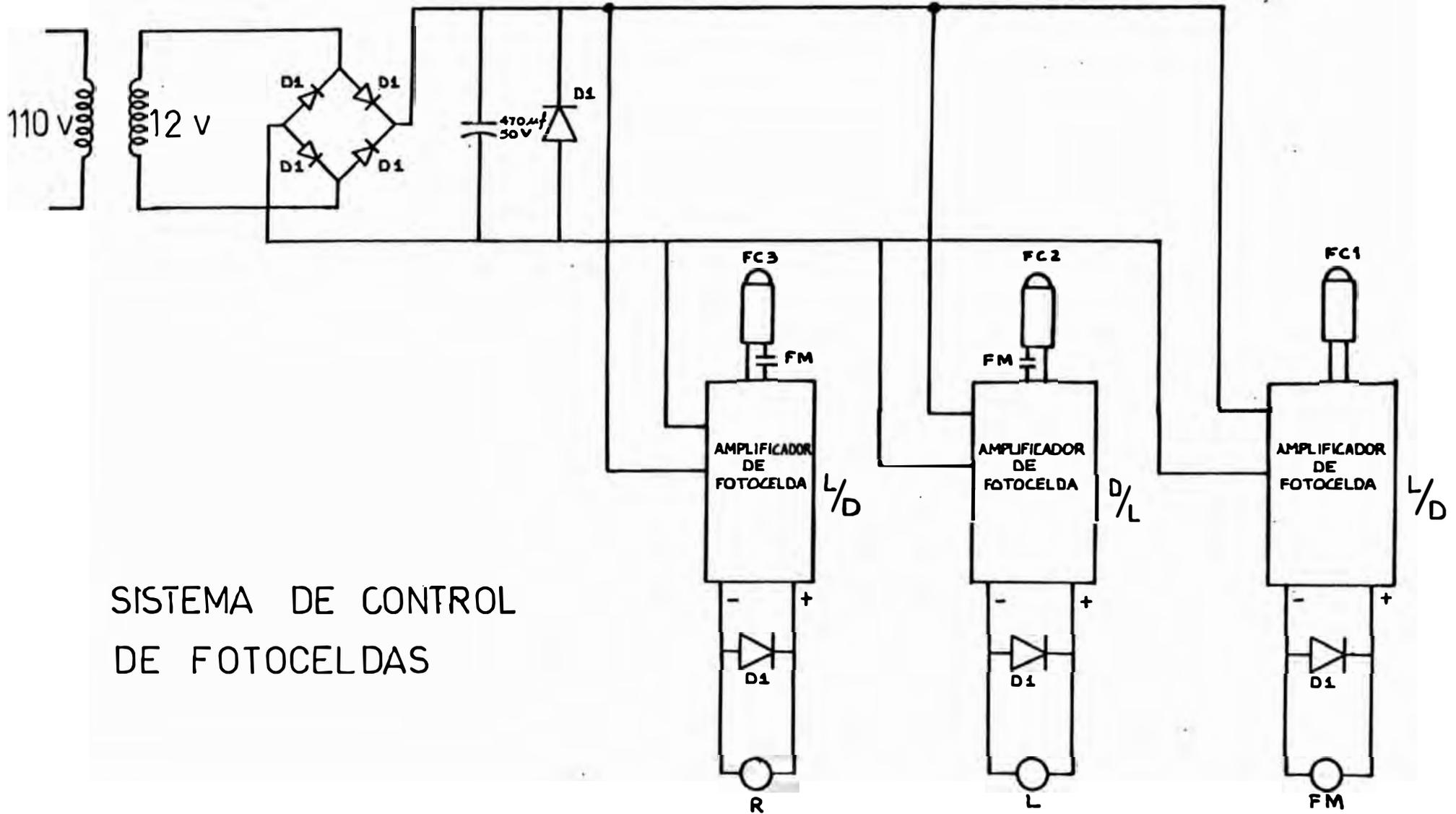
$FC_2$  es la fotocelda que deberá indicar des aceleración, es decir actuará cuando la luz in-



**SISTEMA IMPULSOR DEL TRANSPORTADOR QUE ALIMENTA LA PRENSA (NEGR0) SISTEMA DE EMBRAGUE Y FRENO ELECTROMAGNETICO (REVES) MOTOR REDUCTOR DE VELOCIDAD Y MOTOREDUCTOR**

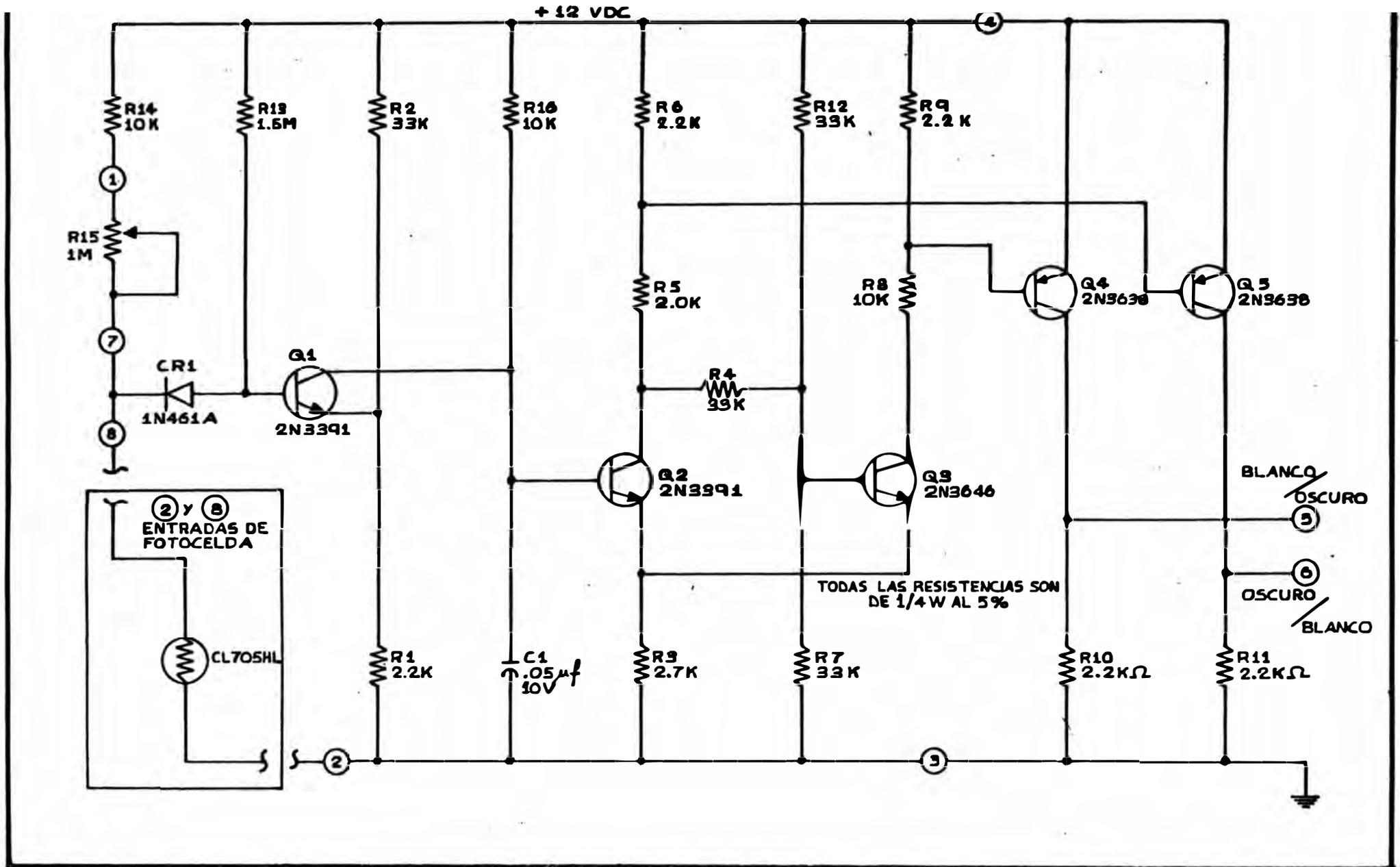


**SISTEMA MOTION CONTROL PARA EL EMBRAGUE Y FRENO**



SISTEMA DE CONTROL  
 DE FOTOCELDAS

# AMPLIFICADOR DE FOTOCELDA



cida en ella.

$F_{C3}$  permite acelerar las máquinas y trabajará sólo en ausencia de luz.

Notar que en ausencia de manto  $F_{C2}$  está actuada pero  $F_{C1}$  bloquea su señal; por lo tanto  $F_{C1}$  es un medio de protección.

## CONCLUSIONES

### 1. Acerca del limitador de sobrepicos de corriente.

- Fuerte ahorro en el consumo de energía; como referencia al mes de funcionamiento del limitador el consumo fue el 60% del consumo anterior.
- Menor desgaste de máquina y equipo eléctrico.

### 2. Acerca del sistema automático del mezclador.

- Fluidez "continua" en la salida de material preparado. Preparación y mezcla uniforme de la masa procesada.
- Formulación constante para todos los ciclos de mezcla conseguido gracias al control de pesado de material.
- Menor posibilidad de caída de velocidad por impacto de carga.
- Desplazamiento de dos operadores para otras funciones en el proceso productivo.
- Aumento en un promedio de 15% a 20% en los metros producidos al instalar el sistema automático.
- El sistema automático es compatible con el sistema manual; es decir el control manual es posible al anular el sistema automático.
- Procesamiento durante un tiempo fijo de la masa.
- Eliminación del estado de amontonamiento de material mezclado antes del molino.

mezclado antes del molino.

### 3. Acerca de la automatización del molino.

- Coloración superficial  $\rightarrow$  moteo más constante debido al tiempo de batido.

Mayor fluidez de paso de material a la primera unidad de laminación.

### 4. Acerca del control de velocidad.

- La máxima variación obtenida en la velocidad es 18 RPM de 1750 RPM ó velocidad normal; es decir una variación del 0.1%.

- Sincronización de la velocidad de las unidades de laminación y transportadores.

- Fuerte reducción de estiramiento y amontonamiento del manto.

Efecto de "campo limitante" como consecuencia del sistema de aceleración y desaceleración gradual.

Mayor productividad en la línea como consecuencia del preciso control de velocidad de los rodillos laminadores.

- Constante relación torque/velocidad para una misma corriente de armadura y velocidad variable.

- Rango de velocidad de trabajo de 200-1.

- Control de crecimiento excesivo de la corriente de cam

po frente a caídas de velocidad por impacto de carga como consecuencia del efecto de "aceleración gradual".

- Control de velocidad individual ó único y total ó automático.
- Reducción en un 20% de la cantidad de asbesto usado en la formulación de la materia prima; esto es consecuencia de la eliminación de tracción del manto durante el proceso de laminación.
- La aplicación del sistema de control de disparo de la unidad de tiristor no depende de la potencia que maneja ya que está capacitado para una corriente 8 veces superior a la de trabajo, en nuestro caso.
- Una vez que se tiene estabilizada la velocidad requerida se puede sacar fuera de servicio el condensador C2 para obtener una mejor respuesta en lo que a sensibilidad y rapidez se refiere.
- Gran efecto de protección debido al limitador de corriente de armadura, mediante reducción de la corriente de campo y voltaje de armadura.
- El motor impulsor sólo podrá arrancarse si se tiene la condición de "velocidad cero"; lo cual protege a los semiconductores y al motor de fuertes razones de crecimiento de corriente de armadura.

5. Acerca de la sincronización de la Prensa y su transportador.

- Control de la catenaria en la entrada del transportador que alimenta la prensa.
- Ausencia de tracción y estiramiento en la zona del lazo o catenaria.
- Menor número de baldosas descartados por incorrecciones en el espesor del laminado.
- Posibilidad de aumentar o disminuir la velocidad en toda la línea, sin perder el sincronismo de velocidad.
- Cuando se varía la velocidad del transportador y la prensa en automático estos conservan un sincronismo bastante bueno, se observa que el deslizamiento es de 1/100 pulgada; esto es comparando en una baldosa a la velocidad mínima con otra a la máxima velocidad.

## A P E N D I C E I

### LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA USADOS EN LA INDUSTRIA DE LAMINACION.

Los grandes motores DC que se usan en los modernos grupos de control pueden fácilmente adecuarse a los requerimientos de operación precisa en los trenes de laminación a pesar de los severos ciclos de carga que frecuentemente ocurren en este tipo de servicio. Este tipo de trabajo exige una detallada examinación al diseño eléctrico y mecánico de los motores impulsores para asegurar un adecuado comportamiento y evitar en lo posible averías repentinas.

Entre las razones para la extendida adopción de motores DC para los impulsores de los trenes de laminación son la facilidad con que la velocidad, torque y dirección pueden ser controlados, además de alta sobrecarga de torque que puede exigirse a las máquinas.

Con campo de excitación constante la velocidad es controlada por variación del voltaje de armadura; ya sea mediante excitación desde un generador, la más apropiada, ó mediante conversor estático. Bajo estas condiciones los HP son proporcionales al voltaje de armadura; y el torque máximo es disponible desde la marcha lenta hasta la velocidad normal que corresponde al máximo voltaje de armadura.

Un segundo modo de control resulta del mantenimiento aproximadamente constante del voltaje de armadura y la va

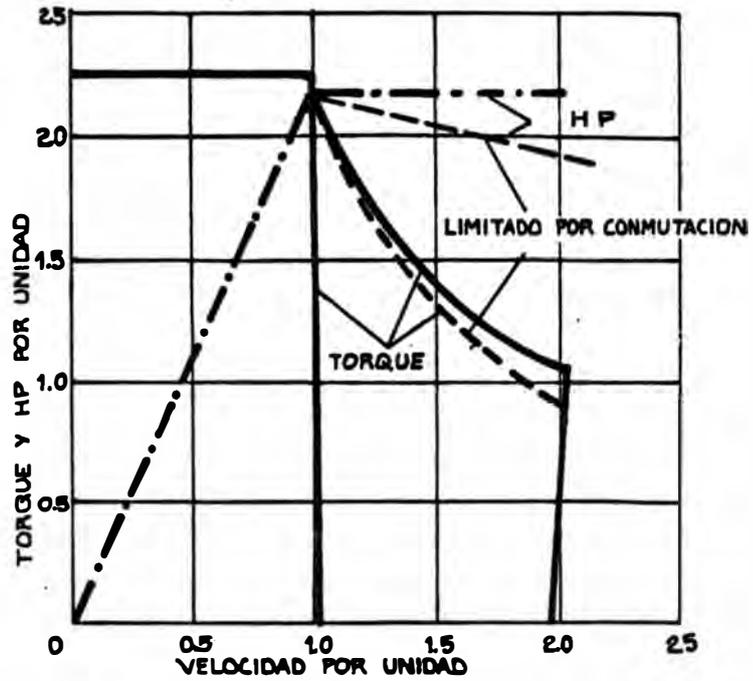


FIG. A-1 SOBRECARGA CARACTERISTICA PARA UN MOTOR DC (GRANDE) USADO EN LAMINACION

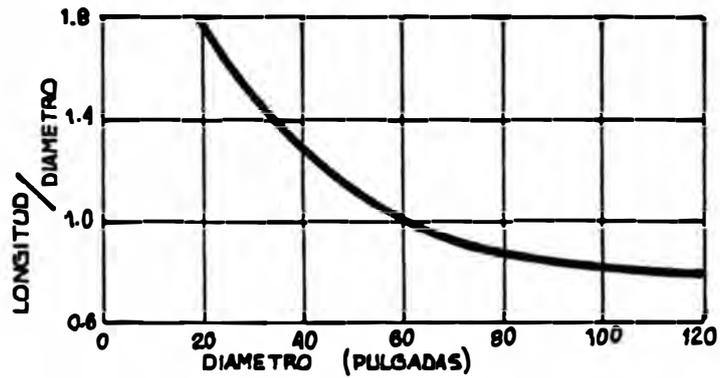


FIG A-2 LIMITES PRACTICOS PARA LA RAZON LONGITUD/DIAMETRO DE ARMADURA PARA UN MOTOR DC

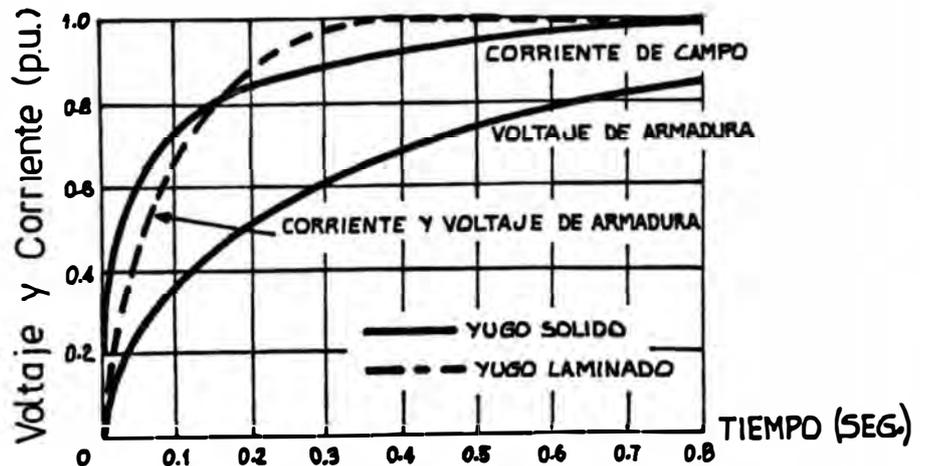


FIG A-3 RAZON DE CRECIMIENTO DE CORRIENTE DE CAMPO Y VOLTAJE DE ARMADURA

riación de la intensidad del campo principal. De esta forma se obtiene un constante número de HP en todo el rango de velocidad, Aunque el torque disponible decrece con el aumento de velocidad.

Los modernos esquemas de control permiten que muchas ventajas puedan ser tomadas de ambos métodos de control de velocidad. La figura A1 presenta un trabajo típico de carga de un motor DC de gran potencia usado en tren de laminación bajo condiciones de plano campo con variación del voltaje de armadura y variación del campo con voltaje pleno de armadura.

Dependiendo del rango de velocidad y servicio la sobrecarga de HP permisible puede llegar a ser reducido por debilitamiento de campo debido a limitaciones de conmutación. Este caso se ilustra mediante la línea a trazos en la figura A1.

Para proteger al motor y las partes mecánicas de la calandria; un adecuado control de los picos de torque es fácilmente obtenido mediante circuitos de limitación; los cuales actuarán sobre la fuente de poder del motor. Otro tipo de arreglo del motor no ofrece tal flexibilidad y facilidad de control en servicio que requieren más de 100HP.

#### CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

La máquina DC tiene dos limitaciones de diseño; que provienen del proceso de conmutación. La primera es el máximo voltaje entre delgas adyacentes que puede permitirse

bajo condiciones de máxima demanda. Debido al pequeño deslizamiento de la superficie de los segmentos de mica entre barras, este voltaje está limitado a bajos valores para así minimizar la posibilidad de arco entre delgas. La segunda limitación es el voltaje de reactancia de las bobinas en el momento de la conmutación. La experiencia nos recuerda que en máquinas de igual diseño, un bajo voltaje de reactancia es un factor de ventaja bajo condiciones de pico de carga.

Cuando se tiene una reducción del diámetro de armadura se produce un incremento en voltios/delga; a la vez que el voltaje de reactancia aumenta con la longitud del núcleo. Estos incrementos pueden limitar la reducción del diámetro de la armadura. Con el incremento de la longitud aparecen serias limitaciones mecánicas tales como la dificultad de ventilar un campo y una armadura demasiado grande. La figura A2 nos da límites prácticos aproximados para la razón longitud de armadura y diámetro de la misma.

En los modernos sistemas de control se admite que los grandes motores cambien desde la velocidad base en una dirección a la velocidad base en la dirección opuesta en menos de un segundo. Las grandes razones de aceleración y desaceleración pueden ser obtenidas si la inercia de las partes rotativas es tan pequeña como sea posible. Como la inercia del rodillo y la carga son considerablemente menores que la del impulsor, la armadura del motor puede ser diseñada con la más baja inercia posible; compatible con

los requerimientos de impacto del sistema y con un comportamiento seguro de la máquina. Para mínima inercia, el diámetro de la armadura puede ser tan pequeño como sea posible ya que la inercia varía aproximadamente con la cuarta potencia del diámetro y directamente con la longitud del yugo.

### YUGO.

Un gran cambio en el diseño, requerido por los métodos de control modernos es los yugos laminados en vez de los yugos sólidos de acero cuando se requieren cambios bruscos del flujo/polo principal o corriente de armadura. La figura A3 ilustra el retardo en el flujo/polo principal debido a las corrientes parásitas y otros circuitos acoplados para yugos sólidos y laminados. La figura A3 ilustra un incremento de 0.2 seg. en la constante de tiempo en el yugo sólido respecto al yugo laminado bajo las mismas condiciones de carga. Esto es más o menos inaceptable en ciertos tipos de accionadores reversibles donde se demanda un flujo principal por polo inverso en un tiempo de 0.5 seg. Grandes cambios de la corriente de armadura son necesarios en los nuevos sistemas de control y para asegurar esto y que el flujo de campo principal permanezca en fase con la corriente de armadura (una condición esencial para una adecuada conmutación) es necesario que todo circuito magnético sea laminado. La figura A4 ilustra el crecimiento de la corriente de armadura y flujo de interpole en yugos sólidos y laminados bajo condiciones de elevada razón de crecimiento de corriente de armadura.

## ARROLLAMIENTOS DE CAMPO AUXILIAR.

El interpolo y los arrollamientos de compensación son excitados como una función directa de la corriente de armadura. En las máquinas no compensadas la fuerza del campo conmutador es usualmente insuficiente para elevados picos de carga debido a la saturación del circuito magnético del interpolo. Cuando se suministran devanados compensadores para prevenir los efectos de la reacción de armadura, la sobrecarga a la cual la saturación se hace presente se incrementa fuertemente.

En los motores de velocidad variable la intensidad correcta de campo del interpolo para conmutación óptima depende de la velocidad, debido al incremento de las corrientes parásitas en el cobre de la armadura a elevadas frecuencias y a la correspondiente reducción en el flujo, particularmente cuando la armadura tiene conductores relativamente profundos. La reactancia efectiva de las bobinas de armadura, bajo estado de conmutación cambia con la frecuencia; así como también requiere un pequeño flujo conmutante a muy altas velocidades.

La figura A5 nos muestra un ejemplo de la prueba "banda oscura" en un motor de velocidad variable. Las curvas indican los límites del ancho de banda de la intensidad de campo del interpolo externo. De las dos "bandas oscuras" se puede ver que a 750 RPM el flujo medio de interpolo requerido es 3% mayor que a 300 RPM. Es evidente que la intensidad de campo del interpolo directamente proporcional a la carga no será suficiente en el rango completo hasta la velocidad

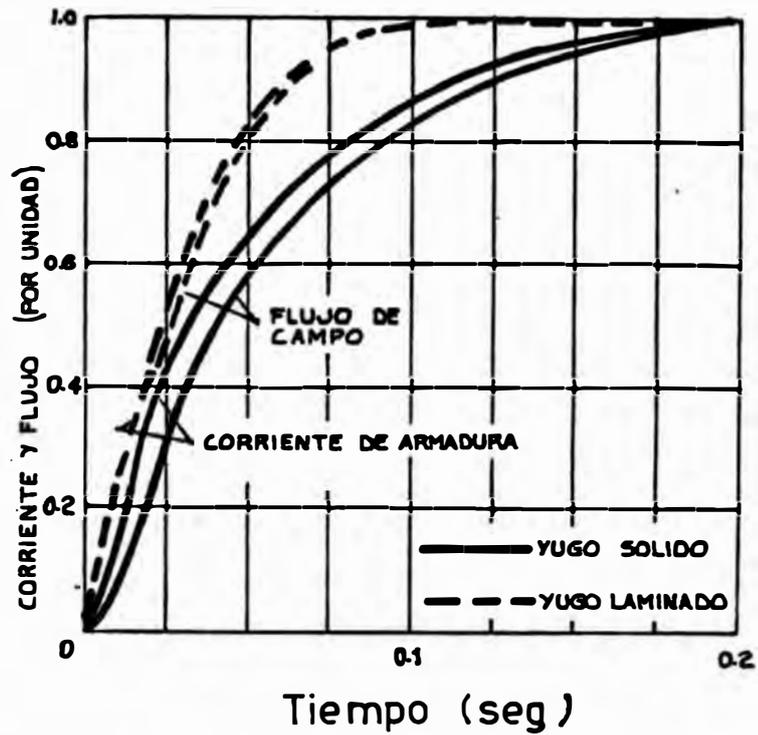


FIG-A-4 RAZON DE CRECIMIENTO DE CORRIENTE DE ARMADURA EN DOS MOTORES CON EL MISMO TIPO DE CARGA

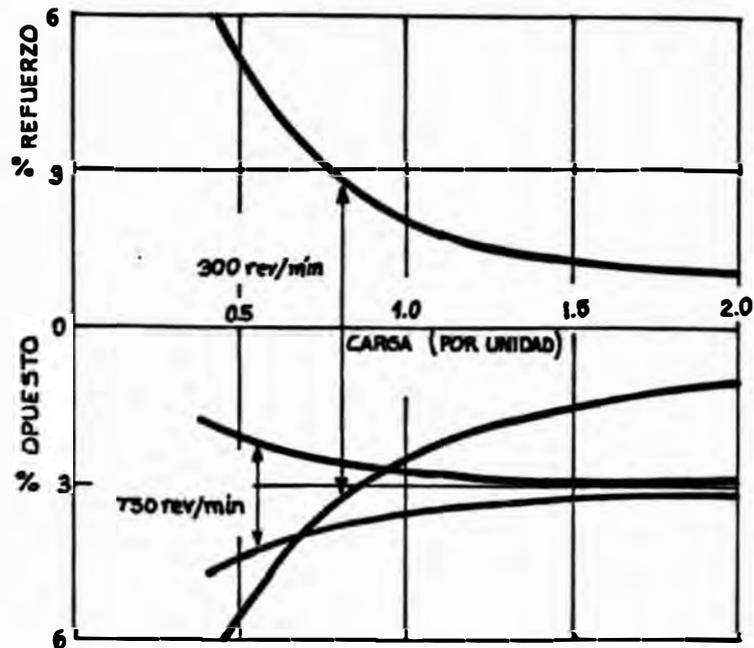


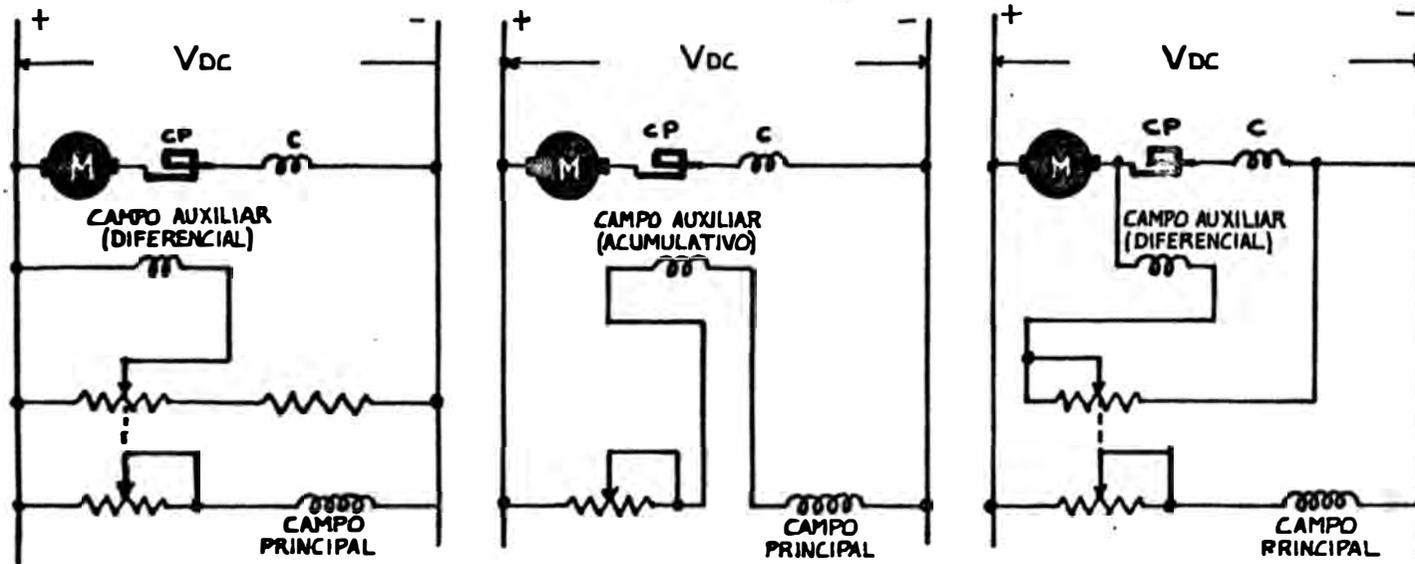
FIG-A-5 EFECTO DE VARIACION DE VELOCIDAD POR CONMUTACION. PRUEBAS BANDA NEGRA A 300 RPM Y 750 RPM

plena. En muchos casos la compensación necesaria se hace mediante un valor constante de amper-vueltas, diferencial para todo tipo de cargas. Otra alternativa es que los interpolos se ajusten para una conmutación óptima a plena marcha y un arreglo auxiliar de bobinas para ayudar las bobinas del interpolo principal en bajas velocidades.

La figura A6 muestra tres métodos aplicativos de ajustes, para velocidades diferentes por medio de un arrollamiento interpolo auxiliar. El primero, figura A61, tiene acoplado mecánicamente reóstatos para reducir el campo diferencial del interpolo auxiliar cuando el campo principal es forzado, y viceversa. La figura A62 muestra el arrollamiento del interpolo auxiliar conectado en forma acumulativa y en serie con el campo principal, su función es corregir al campo principal durante la conmutación. Estos dos métodos operan satisfactoriamente en máquinas donde la conmutación no es crítica y donde el flujo de interpolo no depende de la carga. En el tercer método figura A63, el flujo de interpolo es función de la carga y a la vez del flujo principal.

#### USO DEL MOTOR DC EN RODILLOS CALIENTES EN TAN DEM.

Los rodillos calientes de acero dan una superficie al laminado bastante pulida y una buena exactitud del espesor del manto, pero esto generalmente puede ser obtenido cuando se controla la tensión del manto entre laminadores, además de un adecuado control de la aceleración y retardación. Los dos requerimientos más importantes para los motores DC en



A-6-1

A-6-2

A-6-3

CP = ARROLLAMIENTO INTERPOLO

C = ARROLLAMIENTO DE COMPENSACION

METODOS PARA AJUSTAR LA INTENSIDAD DE CAMPO

FIG - A-6

este servicio baja inercia y una lineal y ajustable relación velocidad/torque.

Para obtener linealidad de la velocidad con el torque puede ser necesario usar bandas de soporte no magnético y soportes para los terminales de arrollamientos de armadura, corrección de la intensidad de campo mediante arrollamientos auxiliares cuando se tiene velocidad variable. La pendiente de la línea velocidad/torque puede ser ajustada para dar una pequeña variación de la velocidad de carga ó una gran variación de velocidad con carga mediante ajustes en el campo auxiliar o en el polo principal.

#### CONCLUSION.

Las operaciones de laminación exigen muy severas demandas en el comportamiento transitorio de las máquinas de corriente continua. Desde que muchos de los efectos de estas operaciones transitorias son difíciles de predecir teóricamente. El diseñador deberá poseer una considerable experiencia mecánica y eléctrica. Debido a los criterios de inercia frente a la reducción de velocidad por impacto, la linealidad de torque con la velocidad, etc.

## A P E N D I C E 2.

### FALLAS TÍPICAS EN EL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD.

1. El grupo motor-generador está prendido, el contactor MS cerrado y la transmisión no funciona.

Posibles causas.- Motor trabado; luego el amperímetro de la armadura estará en el límite.

- No hay señal de referencia.

2. No hay señal de referencia.

Posibles causas.- Potenciómetro en cero.

- Potenciómetros abiertos, ó circuito de referencia del automático abierto.

- Relé del automático defectuoso.

- Fusible de la tarjeta "TRIGGER" abierto; si esto ocurre es posible que hayan diodos defectuosos (cambie de tarjeta).

- Diodo zener en corto (elimine un instante el limitador de corriente) si persiste la falla cambie la tarjeta "trigger". Si hay señal de referencia cambie el limitador de corriente.

3. Transmisión con exceso de corriente.

Posible causa .- Rodillos laminadores trabados. El voltaje es bajo, pero la corriente es

115%-140% de lo normal. El voltaje de referencia será bajo, bajo voltaje de armadura y alto amperaje de armadura.

4. La transmisión oscila.

Posibles causas.- Sistema sobrecargado, la corriente llega al máximo.

- Exceso de sensibilidad.

- Circuito estabilizador abierto.

5. La transmisión se acelera (no puede detenerse).

Posibles causas.- SCR en cortocircuito.

~~- Circuito de control TRIGGER defectuoso.~~  
SO.

- Potenciómetro defectuoso.

6. La transmisión alcanza su velocidad límite con el 10% a 20% de la señal de referencia.

Posibles causas.- No hay señal de realimentación; posible conductor abierto. tacómetro de - defectuoso por mal acoplamiento.

Diodos defectuosos; cambie la tarjeta "trigger".

7. La transmisión se frena cuando está cargada.

Posibles causas.- Sobrecarga; luego la corriente está en el límite.

Sensibilidad muy baja; corrija el a-

juste del potenciómetro P3.

- Exceso de sensibilidad en el limitador de corriente.

8. La transmisión no puede ponerse en automático.

Posibles causas.- Relé auto defectuoso.

- No hay señal de referencia para el modo automático.

9. No se puede acelerar la transmisión.

Posible causa .- No hay señal de referencia.

10. La transmisión no alcanza la velocidad máxima.

Posible causa .- Ajustes del control incorrecto; corrija en el potenciómetro PM.

11. La transmisión se apaga durante el funcionamiento.

Posibles causas.- Limitador de corriente incorrectamente ajustado.

Pérdida de señal de referencia.

- Fusibles quemados.

12.-La transmisión luego de ser apagada no se puede arrancar.

Posibles causas.- Diodo o fusible quemado. Las fallas por diodo ocurren durante el arranque y parada del motor, o sea en el instante de los fenómenos transitorios.

- Contactos cubiertos de polvo.

## A P E N D I C E 3

### CONTROLES Y AJUSTES DEL SISTEMA AUTOMATICO DE VELOCIDAD.

#### VELOCIDAD MAXIMA.-

Este ajuste deberá realizarse en el potenciómetro PM de tal manera que se alcance la máxima velocidad cuando  $P_{40}$  tiene el valor máximo de referencia. Además el voltaje de armadura del motor deberá ser indicado en la placa del mismo.

#### VELOCIDAD CERO.

La calibración para esta condición se realiza cuando  $P_{40}$  tiene el mínimo de referencia. Luego con  $P_4$  en cero, se empieza a incrementar  $\llcorner P_4$  hasta que la transmisión del motor se empiece a mover; luego se regresa hasta que el motor esté en el "límite de parado", o sea que ya se haya vencido la inercia.

#### SENSIBILIDAD.

La sensibilidad viene a ser la capacidad del sistema de control a disturbios en la velocidad del motor. Su ajuste es crítico ya que debe hacerse de tal forma que la velocidad sea estable, de preferencia cuando el motor está cargado. El control de sensibilidad se realiza mediante el potenciómetro P3.

### LIMITADOR DE CORRIENTE.

Una vez que el motor está cargado se procederá a llevar el limitador de corriente hacia su máxima sensibilidad estos se manifestará en un "retardo" de velocidad de la máquina. El exceso de sensibilidad puede llevar al motor a su condición de "velocidad cero". Luego que se hizo presente el fenómeno de retardo se procederá a disminuir la sensibilidad hasta algo menor después de desaparecer dicho fenómeno.

### ESTABILIZADOR STAB.

El circuito básicamente actúa sobre el sistema de control de velocidad como un elemento "transmisor" de las variaciones en la tensión del campo principal del generador y en forma indirecta de la tensión de armadura y velocidad del motor. Su calibración deberá ser realizada cuando la máquina está en funcionamiento y una medida de correcta estabilidad es cuando la tensión de armadura permanece inalterable.

## A P E N D I C E

### DISPOSITIVOS USADOS EN EL CONTROL DE FLUJO DE AIRE COMPRIMIDO

Hoy en día difícilmente se puede encontrar un campo técnico e industrial en que no se aplique el uso de la energía por aire comprimido.

El aire comprimido tiene una gran potencia y ofrece múltiples ventajas, especialmente en la mecanización y automatización de las operaciones de trabajo.

En los circuitos neumáticos se usan en forma obligada válvulas solenoides, en nuestro caso de accionamiento eléctrico. Filtros de aire, reguladores de presión y silenciadores.

A continuación se ofrece características de estos elementos donde con mayor precisión el lector podrá tener una clara idea de dichos dispositivos.

# Válvulas de control de dirección Series VB: 1/4" y 1/2", con accionamiento eléctrico

VB 25- (1/4", 5 pasos)  
VB 45- (1/2", 5 pasos)

### Datos técnicos

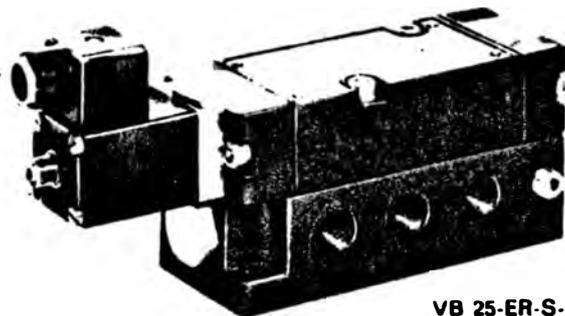
Presión máxima de trabajo:	10 kg/cm <sup>2</sup> (142 lb/pulg <sup>2</sup> )
Temperatura ambiente máxima:	55°C (131°F)
Temperatura máxima del fluido:	70°C (158°F)
Sección de paso:	VB 25 28 mm <sup>2</sup> (0.0434 pulg <sup>2</sup> )
	VB 45 113 mm <sup>2</sup> (0.175 pulg <sup>2</sup> )
Presión mínima de salida:	3.5 kg/cm <sup>2</sup> (50 lb/pulg <sup>2</sup> )
Energía de accionamiento de la bobina:	21 VA
Energía de mantenimiento de la bobina:	12 VA 8 W
La entrada de aire debe conectarse siempre al paso de aire no. 1	
Peso: con 1 solenoide:	
VB 25	1.2 kg (2.65 lb)
VB 45	1.6 kg (3.57 lb)
con 2 solenoides:	
VB 25	1.5 kg (3.31 lb)
VB 45	1.9 kg (4.19 lb)

### Tipo de accionamiento

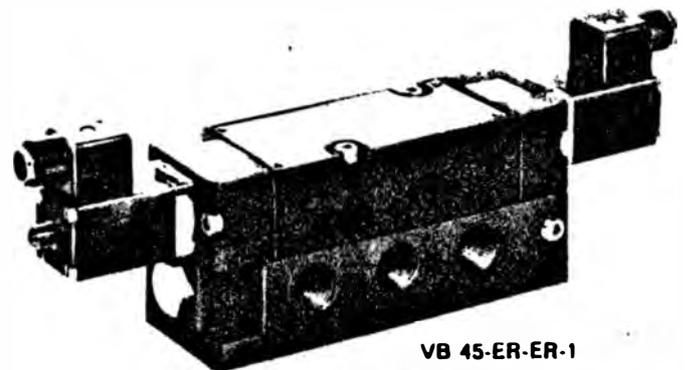
ER = Accionamiento con señal eléctrica  
ERC = Accionamiento con señal eléctrica y con autoposicionamiento central  
ERD = Accionamiento con señal eléctrica con prioridad  
X e Y = Variantes con deslizadores X e Y

### Tipo de retroceso

A = Señal de aire  
AC = Señal de aire con autoposicionamiento central  
AD = Señal de aire con prioridad  
ER = Señal eléctrica  
ERC = Señal eléctrica con autoposicionamiento central  
R = Aire interno  
S = Muelle



VB 25-ER-S-1



VB 45-ER-ER-1

Accionamiento	Retroceso	Características	Designación	
Señal eléctrica	Señal de aire		VB 25-ER-A-1 y -2 VB 45-ER-A-1 y -2	
		Autoposicionamiento central	VB 25-ERC-AC-1 y -2 VB 45-ERC-AC-1 y -2	
		Autoposicionamiento central X = pasos de aire en conexión con la atmosfera en la posición central	VB 25X-ERC-AC-1 y -2 VB 45X-ERC-AC-1 y -2	
		Autoposicionamiento central Y = pasos de aire con presión en la posición central	VB 25Y-ERC-AC-1 y -2 VB 45Y-ERC-AC-1 y -2	
	Señal de aire con prioridad		VB 25-ER-AD-1 y -2 VB 45-ER-AD-1 y -2	
	Señal eléctrica			VB 25-ER-ER-1 y -2 VB 45-ER-ER-1 y -2
		Autoposicionamiento central		VB 25-ERC-ERC-1 y -2 VB 45-ERC-ERC-1 y -2
		Autoposicionamiento central X = pasos de aire en conexión con la atmosfera en la posición central		VB 25X-ERC-ERC-1 y -2 VB 45X-ERC-ERC-1 y -2
		Autoposicionamiento central Y = pasos de aire con presión en la posición central		VB 25Y-ERC-ERC-1 y -2 VB 45Y-ERC-ERC-1 y -2
	Muelle		VB 25-ER-S-1 y -2 VB 45-ER-S-1 y -2	
Señal eléctrica con prioridad	Señal de aire (presión mínima 3.5 kg/cm <sup>2</sup> , 50 lb/pulg <sup>2</sup> )		VB 25-ERD-A-1 y -2 VB 45-ERD-A-1 y -2	
	Señal eléctrica		VB 25-ERD-ER-1 y -2 VB 45-ERD-ER-1 y -2	
	Aire interno		VB 25-ERD-R-1 y -2 VB 45-ERD-R-1 y -2	

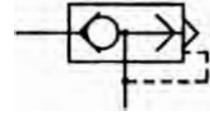
## Válvulas auxiliares

**Serie VB: 3/8", 1/2" y 3/4"**

VB 33-Q1-Q2R-5 (3/8")

VB 43-Q1-Q2R-5 (1/2")

VB 63-Q1-Q2R-5 (3/4")



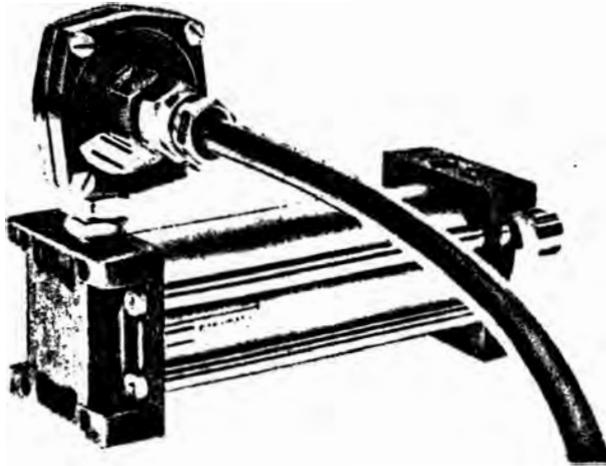
## Válvula de escape rápido

La válvula de escape rápido está diseñada para incrementar la velocidad del pistón dando salida al aire de escape directamente a la atmosfera.

La válvula debe montarse en la conexión de aire del cilindro y debe de llevar acoplado un silenciador si es necesario reducir el ruido del escape.

El diafragma es muy sensible y acusa pequeñas variaciones de la presión.

La válvula de escape rápido puede emplearse también como válvula de enlace.



VB 33-Q1-Q2R-5

## Silenciadores

### Datos técnicos

Presión máxima de trabajo: 10 kg/cm<sup>2</sup> (142 lb/pulg<sup>2</sup>)

Temperatura máxima de trabajo: 150°C (302°F)

### Silenciadores 1/8"–1/2"

1/8" Silenciador no. 9090 0507

1/4" Silenciador no. 9090 0508

3/8" Silenciador no. 9090 0509

1/2" Silenciador no. 9090 0510

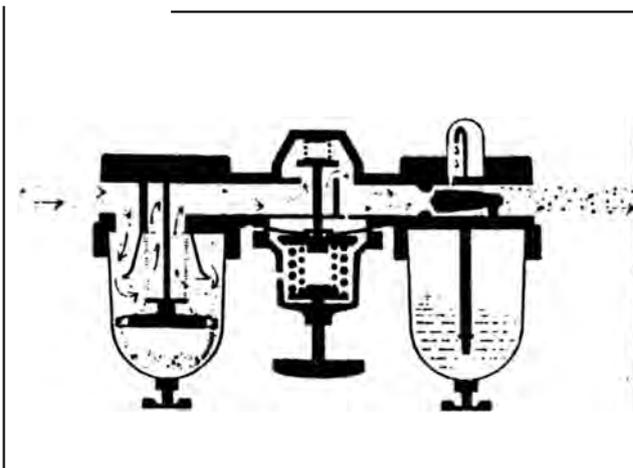


# Accesorios para redes de aire

## Unidades de preparación de aire FIL, REG, DIM

El filtro Atlas Copco tipo FIL elimina las partículas de contaminación y toda condensación que se forme en el aire comprimido. El regulador de presión Atlas Copco tipo REG realiza el ajuste para conseguir unas presiones adecuadas de funcionamiento.

El lubricador automático de niebla de aceite Atlas Copco tipo DIM asegura una lubricación adecuada — incluso si fluctúa el caudal de aire — reduciendo al mínimo los costos de mantenimiento de las máquinas neumáticas.



El filtro de aire tipo FIL, el regulador de presión tipo REG y el lubricador tipo DIM, se fabrican integrados en una unidad que recibe el nombre de FRD.

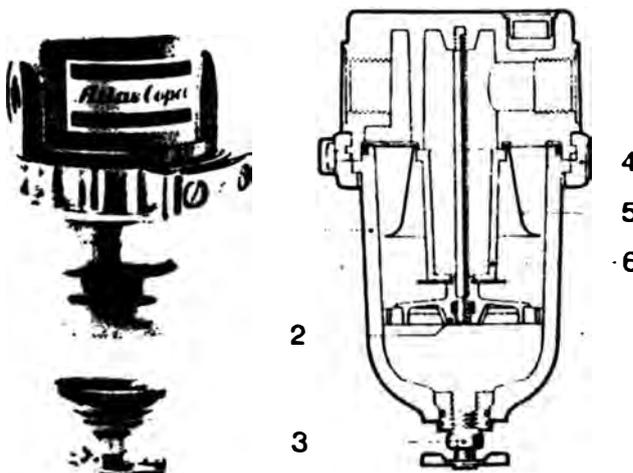
- Adecuado para toda clase de herramientas neumáticas
- El suministro de aceite se ajusta siempre al caudal real de aire
- Se puede volver a llenar con presión
- Descenso despreciable de la presión
- Depósito y mirilla de observación de policarbonato transparente a prueba de golpes

Unidad para preparación de aire tipo FRD

FRD 08 juego completo compuesto por FIL 08C, REG 08 y DIM 08C

FRD 15C juego completo compuesto por FIL 15C, REG 15C y DIM 15C

FRD 25C juego completo compuesto por FIL 25C, REG 25C y DIM 25C

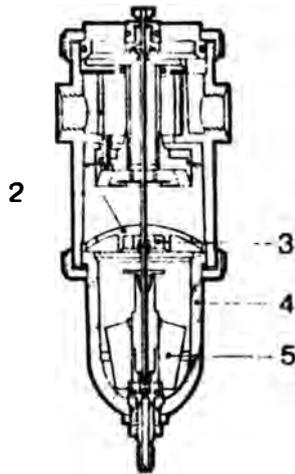


### Filtros para aire comprimido

Los filtros para aire comprimido tipo FIL eliminan las partículas sólidas y la condensación del aire comprimido. Un diseño sencillo y eficaz garantiza un servicio eficiente año tras año.

El depósito transparente se retira fácilmente mediante un cierre de bayoneta para realizar la limpieza y mantenimiento. Una protección por barboteo evita que las partículas grandes se acumulen en el filtro.

1. Depósito. 2. Disco de separación. 3. Grifo de purga.
4. Anillo de sujeción con enganche de bayoneta. 5. Protección por barboteo. 6. Elemento de filtro.

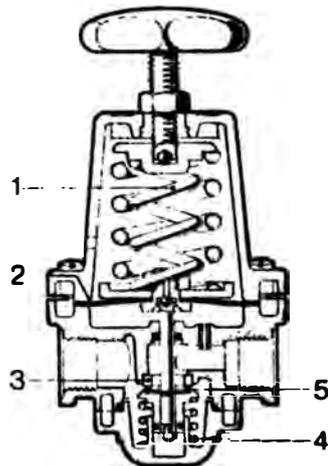


### Purga automática

La unidad de purga automática tipo WAT 15 de Atlas Copco, se compone de un filtro de aire combinado con una purga automática. Cuando se alcanza un determinado volumen de condensado, el recipiente se descarga automáticamente a presión, mediante un racor existente en el fondo del aparato. El agua puede salir por una manguera a un lugar adecuado.

La purga automática es un método eficaz y económico de eliminar el agua de las redes de aire o de los sistemas neumáticos que van incorporados en máquinas especiales, en comparación con el filtrado normal que utiliza una purga manual.

1. Filtro de aire. 2. Disco separador. 3. Iman. 4. Depósito. 5. Flotador.

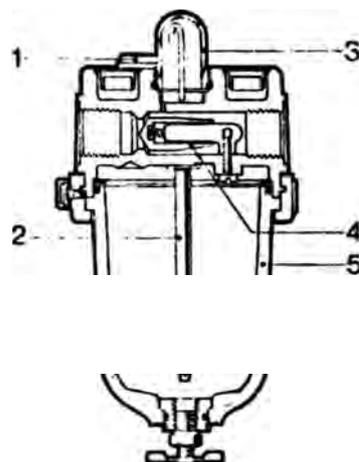


### Reguladores de presión

El diseño de los reguladores REG permite un control preciso de una presión secundaria constante durante las oscilaciones de la presión primaria y la variación del caudal de aire.

Un diafragma abre la válvula de control y la regula contra la carga del muelle de ajuste cuando la presión secundaria decreciente acciona la base del diafragma. Estos reguladores se pueden instalar en cualquier posición.

1. Muelle de ajuste. 2. Diafragma. 3. Válvula. 4. Muelle de válvula. 5. Anillo de cierre.



### Lubricadores automáticos de niebla de aceite

Los lubricadores automáticos de niebla de aceite tipo DIM garantizan un suministro continuo de aceite en proporción directa siempre con el caudal de aire.

Una válvula con resorte produce un efecto del tipo Venturi, que al variar automáticamente en proporción directa al caudal de aire, estrangula la zona de paso del aceite.

El depósito de aceite y la mirilla de observación son de policarbonato a prueba de golpes. El policarbonato es un material sintético resistente a los aceites minerales, a la parafina y a la turpentina. Puede echarse el aceite mientras el aparato está funcionando.

1. Tapón de llenado de aceite. 2. Tubo de aceite con válvula unidireccional de bola. 3. Mirilla de observación. 4. Válvula cónica con resorte. 5. Depósito de aceite.

## Datos técnicos

### Filtros de aire comprimido, tipo FIL

Tipo	Presión máxima de trabajo a 70°C (160°F)		Caudales máximos de aire libre aproximados		Capacidad del depósito		Peso		Conexiones* BSP
	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /min.	pies <sup>3</sup> /min.	cm <sup>3</sup>	pulg <sup>3</sup>	kg	lb	
FIL 08C	16	230	0.55	19	14	0.9	0.3	0.7	1/4"
FIL 15C, FIL 15D**	16	230	1.9	67	98	6.0	0.7	1.5	1/2"
FIL 25C, FIL 25D**	16	230	5.0	177	250	15.3	1.5	3.3	1"

\* Casquillos para conexiones BSP de 1/4", 3/8" y 1/2", se suministran mediante pedido.  
 \*\* Se suministran con depósito metálico.

### Unidad con purga automática, tipo WAT 15

Tipo	Presión máxima de trabajo a 50°C (122°F)		Caudal máximo de aire libre		Capacidad del depósito		Peso		Conexiones BSP
	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /min.	pies <sup>3</sup> /min.	cm <sup>3</sup>	pulg <sup>3</sup>	kg	lb	
WAT 15	10	140	1.9	67	35	2.1	1.2	2.6	1/2"

### Reguladores de presión, tipo REG

Tipo	Presión máxima de trabajo		Temperatura de funcionamiento	Caudales máximos de aire libre aproximados		Peso		Conexiones BSP
	Primaria hasta kg/cm <sup>2</sup>	Secundaria lb/pulg <sup>2</sup>		m <sup>3</sup> /min.	pies <sup>3</sup> /min.	kg	lb	
REG 08, REG 08M <sup>2</sup> )	10	140	Ajustable entre -20°C y +80°C (-4°F y 176°F)	0.5	18	0.5	1.1	1/4"
REG 08S <sup>1</sup> ), REG 08SM <sup>2</sup> )	10	140		0.5	18	0.4	0.9	1/4"
REG 15C, REG 15CM <sup>2</sup> )	16	235	0.5 - 15 kg/cm <sup>2</sup> (7 - 210 lb/pulg <sup>2</sup> )	1.9	67	1.0	2.2	1/2"
REG 25C, REG 25CM <sup>2</sup> )	16	235		5.0	177	2.0	4.4	1"

<sup>1</sup>) Adecuado para montaje en panel <sup>2</sup>) M=Incluido manómetro.

### Lubricadores de niebla de aceite, tipo DIM

Tipo	Presión máxima de trabajo a 70°C (160°F)		Caudal de aire libre				Capacidad del depósito de aceite		Peso		Conexiones* BSP
	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	max. m <sup>3</sup> /min.	min. m <sup>3</sup> /min.	max. pies <sup>3</sup> /min.	min. pies <sup>3</sup> /min.	cm <sup>3</sup>	pulg <sup>3</sup>	kg	lb	
DIM 08	10**	140	0.3	10.5	0.06	2.1	40	2.4	0.21	0.45	1/4"
DIM 08C	16	230	0.55	19	0.03	1.1	35	2.1	0.3	0.7	1/4"
DIM 15C, DIM 15D <sup>1</sup> )	16	230	1.9	67	0.08	2.8	220	13.4	0.7	1.5	1/2"
DIM 25C, DIM 25D <sup>1</sup> )	16	230	5.0	177	0.1	3.5	465	28.4	1.2	2.6	1"

\* Casquillos para conexiones BSP de 1/4", 3/8" y 1/2", se suministran mediante pedido.  
 \*\* A un máximo de 40°C (105°F).  
<sup>1</sup>) Suministrado con depósito metálico y con un tipo especial de mirilla de cristal.

## A P E N D I C E 5

### LISTADO DE COMPONENTES.

#### - UNIDAD DE PODER AC/DC Y AMPLIFICADOR DE POTENCIA.

D10 = D11	A40M.
D12 = D13	A41M.
‡ Diodo (DS)	A40M.
1 SCR	C30D.
1 Fusible(F12)	AM-TRAPS 30 Amper/450 V.

#### - RED SUPRESORA.

Diodo Supresor(SP1)	IRC6631
Diodo Supresor(SP2)	IRC6631
C = 0.82 $\mu$ F.	600 Volt.
R = 330 $\Omega$ .	5W.

#### - CIRCUITO ESTABILIZADOR.

C <sub>1</sub> = 150 $\mu$ F.	150 Volt.
C <sub>2</sub> = 50 $\mu$ F.	50 Volt.
R <sub>1</sub> = 2500 $\Omega$ .	10 W.
R <sub>4</sub> = 4500 $\Omega$ .	10W.
p(Potenci6metro)	= 10,000 $\Omega$ . 2W.

#### - CIRCUITO LIMITADOR DE CORRIENTE.

D	= R10
D <sub>1</sub> =D <sub>2</sub>	IN758A

Q 2N6223.  
 A.OP LM741C  
 F.A. CNY22  
 C = 2.7  $\mu$ F. 35 Volt.  
 C<sub>1</sub> = 0.1  $\mu$ F. 35 Volt.  
 C<sub>5</sub> = 100  $\mu$ F. 50 Volt.  
 R<sub>1</sub> = 1000 $\Omega$ .  $\frac{1}{4}$  W. 5%.  
 R<sub>2</sub> = 5100 $\Omega$ . 1 W. 5%.  
 R<sub>3</sub> = 1500 $\Omega$ .  $\frac{1}{4}$  W. 5%.  
 R<sub>5</sub> = 10000 $\Omega$ .  $\frac{1}{4}$  W. 5%.  
 R<sub>10</sub> = 27 $\Omega$ .  $\frac{1}{4}$  W. 5%.  
 R<sub>11</sub> = 1000 $\Omega$ .  $\frac{1}{4}$  W. 5%.  
 R<sub>12</sub> = 470 $\Omega$ .  $\frac{1}{4}$  W. 5%.  
 R<sub>13</sub> = 2200 $\Omega$ .  $\frac{1}{4}$  W. 5%.  
 Rp(Potenci6metro) = 100,000 $\Omega$ .  
 $\frac{1}{4}$  W. 5%.

- UNIDAD DE DISPARO.

P<sub>1</sub>=P<sub>2</sub>(Todos los Diodos) 1N1696

Cualquier otro diodo no especificado ser6 1N1696

Q<sub>1</sub> 2N6223  
 Q<sub>2</sub> 2N1671B  
 D<sub>Z</sub> 1N3027B  
 C<sub>1</sub> = 2.2  $\mu$ F. 50 Volt.  
 C<sub>2</sub> = 470  $\mu$ F. 150 Volt.  
 C<sub>3</sub> = 0.25  $\mu$ F. 50 Volt.

$R_1 = 6800\Omega.$       2W.    5%  
 $R_2 = 2200\Omega.$       2W.    5%  
 $R_3 = 15000\Omega.$       2W.    5%  
 $R_4 = 470\Omega.$         2W.    5%  
 $R_5 = 5100\Omega.$       2W.    5%  
 $R_7 = 4500\Omega.$       10W.   5%  
 $R_8 = 2200\Omega.$       2W.    5%  
 $R_{FA} = 5100\Omega.$     2W.    5%

(Potenci6metro)ARFA = 1000 $\Omega.$       2W.  
                           "      PA    = 5000 $\Omega.$       2W.  
                           "      PM    = 5000 $\Omega.$       2W.  
                           "      P<sub>u0</sub> = 5000 $\Omega.$       2W.  
                           "      P<sub>3</sub>    = 1000 $\Omega.$       2W.  
                           "      P<sub>4</sub>    = 1000    .      2W.  
                           F13 AM. TRAPS    5 Amp.    200 Volt.  
                           TP    PE 2231.

- OTROS.

F10      30 Amp.    268 Volt.  
 FU9      30 Amp.    600 Volt.  
 T<sub>1</sub>      110 Volt/110 Volt.    50W.  
 T<sub>2</sub>      480 Volt/12 Volt.    50W.  
 T<sub>3</sub>      480 Volt/268 Volt.    1KVA.

- GRUPO WARD-LEONARD.

BLO    480 volt/5Amper    KHK  
 DBR    6  $\Omega$     50 Amper  
 LUBE   440 volt / 60 HZ / size 00/3HP  
 M      600 volt/300 Amper Y10ZA2  
 DB     480 volt / 50 Amper J76 G/D - G.E  
 OL     Relay t6rmico (338-371 Amper) / 40°C A100-L5  
 P      440 volt / 60HZ / 360 Amper CR106F000/ADA  
 PA = MS 480 volt / 5 Amper KHK

## B I B L I O G R A F I A

1. GEORGE M. CHUTE y  
ROBERT D. CHUTE "Electrónica Industrial"  
Edit. Hispano-Europea.
2. ASSOCIATED ELECTRICAL  
INDUSTRIES LIMITED Volúmen 3/:Parte 4 -  
Agosto 1963.
3. MUNDO ELECTRONICO Número 51 - Mayo 1976.
4. A.M. PLASKET 'Closed-Loop Regulating System  
-The Modular Approach (Associated  
Electrical Industries Limited)  
Mayo 1977.
5. ASSOCIATED ELECTRICAL  
INDUSTRIES LIMITED. 'Electrical Engineering in the  
Metal Industries' - Enero 1967.
6. ATLAS COPCO "Componentes Neumáticos"  
Febrero 1976.
7. PHILIPS "Semiconductor and Integrated  
Circuits" Parte 4b  
Diciembre. 1974.
8. RCA "Thyristors, Rectifiers and  
Diacs".  
Solid State Databook Series(1973).

