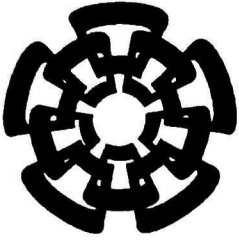


xx(178698.1)



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N.
Unidad Guadalajara

Tarjeta electrónica de bajo costo para controlar el arranque y paro de motores trifásicos CA de 440 Vac

**CINVESTAV
IPN
ADQUISICION
DE LIBROS**



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y
DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL
INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL**

**COORDINACIÓN GENERAL DE
SERVICIOS BIBLIOGRÁFICOS**

Tesis que presenta:
Román Martínez Rivera

para obtener el grado de:
Maestro en Ciencias

en la especialidad de:
Ingeniería Eléctrica

Director de Tesis
Dr. Juan Manuel Ramírez Arredondo

Guadalajara, Jalisco, Febrero de 2009.

CLASIF.: <u>TK465.618 MB7 2009</u>
ADQUIS.: <u>SS1-548</u>
FECHA: <u>09/VII/2009</u>
PROCED.: <u>Don. 2009</u>
\$ _____

ID' 159640-1001

**Tarjeta electrónica de bajo costo para
controlar el arranque y paro de motores
trifásicos CA de 440 Vac**

**Tesis de Maestría en Ciencias
Ingeniería Eléctrica**

Por:

Román Martínez Rivera

Ingeniero Industrial en Electrónica

Instituto Tecnológico de San Luis Potosí 1982-1987

Director de Tesis

Dr. Juan Manuel Ramírez Arredondo

Dedicatoria

A mi Esposa
María Magdalena
Quien es mi Motor...

A mis Hijos:
Josue Román
Luis Daniel
Maria Magdalena
Quienes son y serán mi mayor impulso siempre....

A la memoria de mi Madre

A mi Padre
Quien ha sido mi mejor ejemplo

Agradecimientos

“El carácter No lo formes eludiendo los obstáculos sino venciendo los”

Pentatlón Militarizado

“Ser padre es darlo todo por un hijo hasta la sangre gota a gota si fuera necesario ”

Ing. Román Martínez Rivera

A Dios por darme la vida y por darme la dicha de conocer a mi amada esposa y ser padre de mis 3 hermosos hijos, por los padres y hermanos que me dió, por darme la sabiduría y fortaleza de llegar hasta este momento respetando siempre cada palabra que entregue y honrando la educación que recibí, entregándome siempre al máximo en cada empresa que emprendí y cerrando todos mis ciclos, tratando de enseñar y ser ejemplo siempre.

A mi esposa Maria Magdalena por estar siempre apoyándome e impulsándome, por estos 26 años de matrimonio, por darme todo ese amor que solo ella sabe dar, por darme a mis 3 hijos, por estar siempre a mi lado y por todo ese apoyo que siempre he recibido de su parte, además gracias por esa inteligencia que a permitido que nuestro matrimonio ahora sea mas fuerte y por anteponer siempre la estabilidad familiar sacrificando de su parte muchas logros personales.

A mi hijo Josue Romàn a quien amo sin reserva, del cual veo con orgullo que es un hombre vencedor de retos y del cual ahora soy yo de quien aprendo, quien me ha dado mi primera nieta, por el y por mi hijo Daniel son por quienes comencé esta maestría para poder ser un ejemplo de

perseverancia y ahora veo con orgullo que ambos lograrán llegar mas lejos en su preparación que lo que logramos su madre y un servidor.

A mi hijo Luis Daniel a quien amo sin reserva quien me ha enseñado a madurar como padre , por su amor como hijo, por su ayuda siempre en el momento oportuno, por que se que siempre se comportará como un hombre responsable, por ser aun un joven sano y maduro del cual espero ver cristalizado el proceso de padre

A la memoria de mi hija María Magdalena, a quien aún sin tenerla la amo y siempre la llevo en mi corazón.

A la memoria de mi Madre Paula Rivera Contreras quien supo a pesar de sus limitaciones educativas llevarme por el camino correcto, por su oportuna corrección y amorosa comprensión, por haberme enseñado que todo sufrimiento en esta vida aun en la enfermedad es poco cuando se ve que los hijos crecieron siendo gente buena y de bien.

A mi Padre Rodolfo Martínez Díaz por darme la vida y que siempre ha sido amoroso y el que me proporciono siempre lo que requerí para estudiar, por ser siempre mi respaldo en cada momento que lo necesite, por ser mi ejemplo de trabajo honrado y constante.

A MABE por su apoyo, por su respaldo y a quien siempre estaré agradecido.

A mis Asesor de Tesis Dr. Juan Manuel Ramírez Arredondo quien con su conocimiento y paciencia me ha sabido llevar a buen termino en este proceso y si no fuera por su experiencia al entender que requería en la aplicación de la industria no hubiera sido posible terminar esta etapa.

Al colegio de profesores, gracias a todos y cada uno de ellos que nos dieron cátedra así como por su paciencia y conocimientos, en especial al Dr. Arturo Sánchez por ser nuestro coordinador de maestría y transmitirnos sus conocimientos, personalmente le estoy muy agradecido por que debido a la inteligencia que ha mostrado ha sido un ejemplo a seguir.

Al Ing. Carlos de La Rosa, por ser mi amigo, por ser el responsable directo y único de que yo este en este punto, por creer en mi, por apoyarme en todos los terrenos y empresas que emprendí.

Al Ing. Joaquín Rodríguez por su apoyo en este proceso así como por ser quien tiene el mejor enfoque de capacitación que he conocido.

Al Ing. Carlos Waldo por ser mi tutor dentro de MABE , por su amistad así como la de su familia , por apoyarme en este proceso, por enseñarme siempre y continuamente de una u otra forma, además de ser mi referencia para utilizar toda mi capacidad de análisis y mi nivel de inteligencia dentro de todo el grupo Mabe

A mi compañero de Maestría Antonio López por su amistad y enfoque, por todo el tiempo dedicado cuando nos toco trabajar juntos en alguna materia de la maestría, por que siempre de el aprendí algo nuevo, por su profesionalismo.

A mis compañeros de Maestría Raúl, Rene, Bernardo y Luis por su compañerismo, entrega y dedicación.

Índice general

Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Ilustraciones	viii
Resumen	x
1.- Capítulo 1	
a) Antecedentes y enunciado del problema	xii
b) Objetivos	xviii
c) Organización del trabajo	xviii
2.- Capítulo 2	
a) Bases del funcionamiento del motor ca	xxi
b) Motor de inducción	xxii
3.- Capítulo 3	
a) Opciones generadas	xxv
b) Tarjeta 1ª resultante	xxxv
c) Tarjeta 2ª mejorada	xxxvii
d) Tarjeta Final	xxxiv
4.- Capítulo 4	
a) Pruebas de campo tarjeta final	xli
Conclusiones y trabajos futuros	xliii
Referencias	xliv

Ilustraciones

Figura 1	Tipo de motor acoplado a transmisión	xiii
Figura 2	Tipo de daños ocasionados en flechas	xiv
Figura 3	Tipo de daños ocasionados en cadenas	xv
Figura 4	Tipo de daños ocasionados en catarinas	xvi
Gráfica	Tiempos de paro máquina en 1 año	xvii
Figura 5	Despiece de motor de c.a.	xxiii
Diagrama 1	Opción 1 generada	xxvi
Figura 6	Voltaje de 120 Vac trifásico de alimentación Circuito opción 1 para simulación	xxvi
Figura 7	Velocidad de salida de motor circuito opción 1 para simulación	xxvii
Figura 8	Corriente en arreglo RL circuito opción 1 para simulación	xxvii
Figura 9	Corriente de carga en fases del motor Circuito opción 1 para simulación	xxviii
Figura 10	Voltaje cd a la salida del rectificador PWM en circuito opción 1 para simulación	xxviii
Diagrama 2	Opción 2 generada	xxiv
Figura 11	Voltaje de 120 Vac trifásico de alimen- tación circuito opción 2 para simulación	xxx

Figura 12 Velocidad de salida de motor circuito Opción 2 para simulación	xxx
Figura 13 Corriente de carga en fases del motor circuito opción 2 para simulación	xxxi
Diagrama 3 Opción 3 generada	xxxii
Figura 14 Voltaje de 440 Vac trifásico de alimen- tación circuito opción 3 para simulación	xxxiii
Figura 15 Voltaje de disparo de los triacs circuito opción 3 para simulación	xxxiii
Figura 16 Voltaje en cada una de las del motor circuito opción 3 para simulación	xxxiv
Tabla de costos de componentes opción 3	xxxiv
Figura 17 Primera tarjeta resultantes	xxxv
Figura 18 Prueba en campo de primera tarjeta con motor	xxxvi
Figura 19 Segunda tarjeta con mejoras	xxxvii
Figura 20 Prueba con motor de segunda tarjeta	xxxviii
Figura 21 Tarjeta final	xxxiv
Figura 22 Diagrama PCB de tarjeta final	xl
Figura 23 Montaje de tarjeta en tablero en campo	xli
Figura 24 Medición de corriente de motor ya mon- tada la Tarjeta	xlii

Resumen

Este trabajo resuelve un problema típico de la empresa en la cual laboro actualmente, donde se tiene una instalación con más de 100 motores de 440 Vac de 1 Hp o menos, con una antigüedad de más de 20 años. Tales motores están instalados en un sistema de recolección de estufas que provienen de las siete líneas de proceso y son enviadas a través de elevadores y colectores hacia la zona de empaque. Dichos motores están acoplados a través de un motoreductor, el cual tiene acoplada una catarina con cadena para transmitir movimiento a un sistema de rodillos que son controlados por una lógica neumática. Al no contar con drivers individuales por su alto costo, se manejan inyectando 440 Vac directamente sin rampa de aceleración o desaceleración, lo que causa daños en el cuñero y cadenas de manera recurrente, con el consecuente alto índice de tiempos muertos y gastos por reparación de los daños o refacciones. El sistema de recolección de estufas tiene un estándar de 540 estufas por hora, que equivale a 9 estufas por minuto. Si se considera que el costo promedio de una estufa es de 400 dólares cada minuto perdido como costo de oportunidad, resultan \$ 3600 dólares por minuto perdido, viéndose además afectada la productividad de la empresa, y un aspecto muy importante en estos tiempos tan competidos, es el tiempo de disponibilidad del producto. Ya que Mabe es una compañía socia del grupo General Electric en su división de electrodomésticos para el mercado de Estados Unidos, toda la competencia tiene fábricas en territorio Americano y, por lo tanto, el tiempo en el que pueden entregar una estufa se dá por descontado, ya que es un tema que todos los competidores son capaces de proporcionar. Prioritario es entonces la disponibilidad de producto y bajos costos. Resolviendo el problema planteado

se contribuye a disminuir los costos de mantenimiento y del tiempo de intervención de técnicos especialistas.

Existen actualmente en el mercado una gran variedad de elementos para controlar las rampas de aceleración y desaceleración de un motor de corriente alterna, pero sus altos costos, de aproximadamente \$ 8000 pesos promedio, ocasionan un alto desembolso para la empresa, por lo que se decidió diseñar y desarrollar una tarjeta electrónica que ayude a realizar el control de la aceleración y desaceleración en una fracción de segundo, además de poder programar este tiempo y ser de bajo costo. Asimismo, con el número tan grande de motores en los que se aplica, redundan en un beneficio para la empresa, tanto en el costo de la implementación como por el ahorro en tiempos muertos y costos de intervención del mantenimiento.

Capítulo 1

Antecedentes y enunciado del problema

Mabe es una empresa dedicada a la manufactura de estufas para el mercado Americano, Canadiense, Centroamericano, Sudamericano y Nacional. Dentro de este gran grupo mexicano está Leiser localizada en el estado de San Luis Potosí cuya posición es siempre ser el barco insignia del grupo Mabe. Su producción diaria actual es de 10,500 unidades en dos turnos de trabajo de lunes a viernes. Su plantilla laboral es de 3,700 personas, sumando esfuerzos para satisfacer la demanda de los clientes internos y externos, buscando siempre hacerlo con la más alta calidad. La posición actual de Mabe dentro de los mercados de electrodomésticos es de un 70% en el mercado Nacional, y un 40% del mercado Americano.

Con el antecedente anterior, Leiser se encuentra inmersa en la constante lucha de reducir costos y ser más eficiente día con día para continuar siendo líderes en el mercado de estufas en los diferentes mercados, en los cuales los clientes son muy particulares y con gustos diferentes que dan por descontado que la calidad deberá de ser muy alta.

En el área de mantenimiento se debe enfrentar una gran diversidad de problemas, además de tener como obligación principal ser el pilar en el que se apoya el área de ensamble y el resto de la planta, para brindar la disponibilidad de equipo necesaria para satisfacer la necesidad del mercado doméstico e internacional.

La Unidad de Negocio de Ensamble encuadrada dentro de Leiser maneja aproximadamente 180 motores de corriente alterna de 1 HP y $\frac{3}{4}$ HP, los cuales se encargan de transportar las unidades producidas en las 7 diferentes líneas de procesos. Dichos elementos en su mayoría están acoplados a sistemas mecánicos de lógica neumática, o en cuyo control no se cuenta con rampas de aceleración y desaceleración, Fig. 1.



Fig. 1 Motor de 1 HP

Esto ha ocasionado que en el transcurso del tiempo se presenten los siguientes problemas: daños en las transmisiones, daños en los cuñeros, en las cadenas, en los motores mismos, y todo ello conlleva a la generación de tiempos muertos, y por lo tanto, pérdidas tanto en producción como económicas. En referencia a esto, se puede decir que por cada minuto que permanece parado un equipo dentro del sistema de desalojo de unidades, llamado recolector de estufas de gas o eléctricas, se dejan de empacar un aproximado de 9 unidades a un costo promedio de oportunidad de \$ 400 USD por unidad, lo que daría \$ 3,600 USD por minuto. Qué decir de la apreciación de los clientes en este tiempo en el cual la pelea es en el terreno del tiempo de respuesta más corto, dando por descontada la calidad y excelente funcionalidad de todos los equipos.

Esto también ocasiona una gran cantidad de interacciones del personal de mantenimiento, estresando las intervenciones y abriendo posibilidades para la generación de accidentes, así como la insatisfacción que genera el no estar cumpliendo con los objetivos de la planta.

En la Fig. 2 se ilustra el tipo de daño en el cuñero que ocasiona el no tener el control sobre rampas de aceleración o desaceleración.

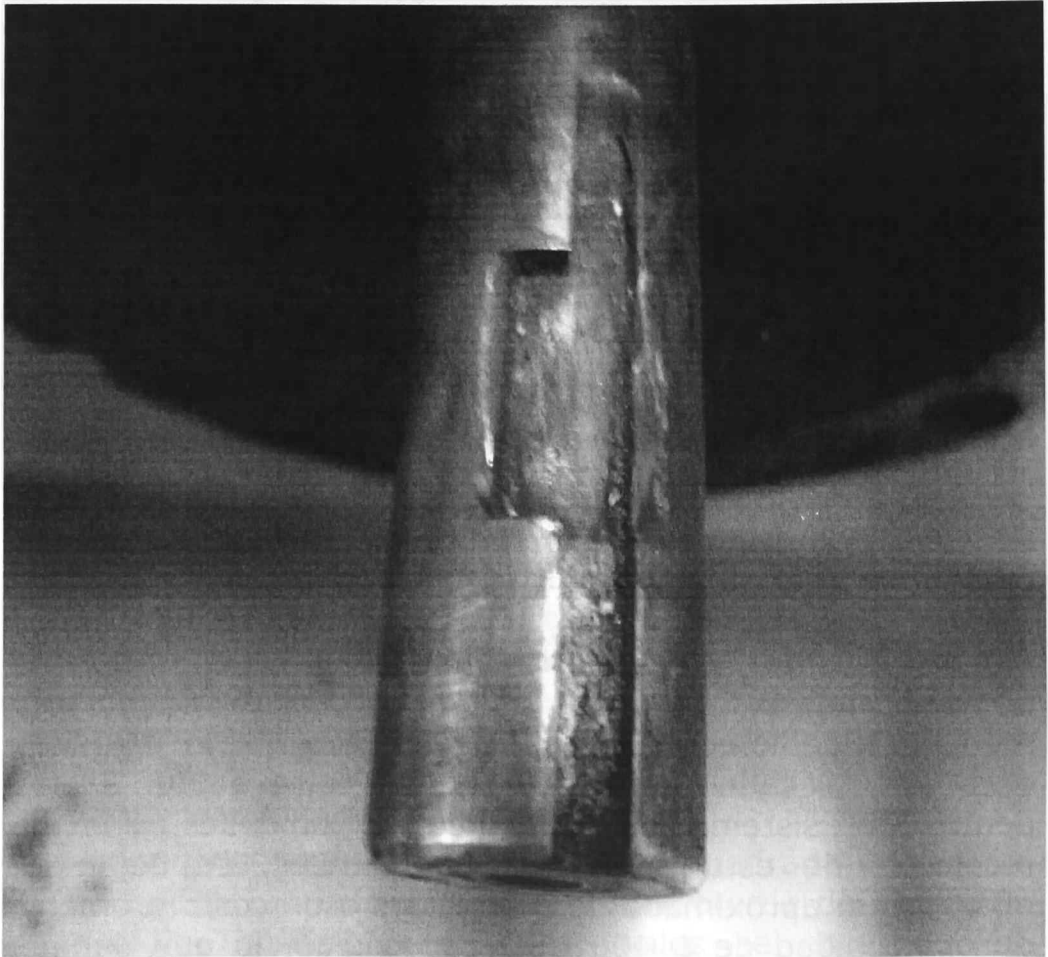


Fig. 2 Daño en el cuñero

En la Fig. 3 se presenta el tipo de daño en la cadena que se emplea para acoplar el reductor al rodillo motriz que transmite el movimiento a su vez por cadenas a rodillos acoplados en un sistema neumático, es de un paso 40 y soporta esfuerzos de alto impacto y aun así le repercute en daño el constante arranque y paro del motor, y esto lo podemos achacar a no tener control sobre rampas de aceleración o desaceleración. Esto anualmente ocasiona comprar refacciones por varios centenares de metros de cadena así como una gran cantidad de tiempos paro maquina.



Fig. 3 Daño en la cadena

Asimismo, en la Fig. 4 se muestra el tipo de daño en los reductores y se observa como se quedan desgastados los dientes de los engranes de los reductores, el cambio de los mismos es demasiado tardado y costoso por lo que en la mayoría de los casos son enviados a reparar con un proveedor externo que a su vez es mas costoso, esto es ocasionado por no tener el control sobre rampas de aceleración o desaceleración también.

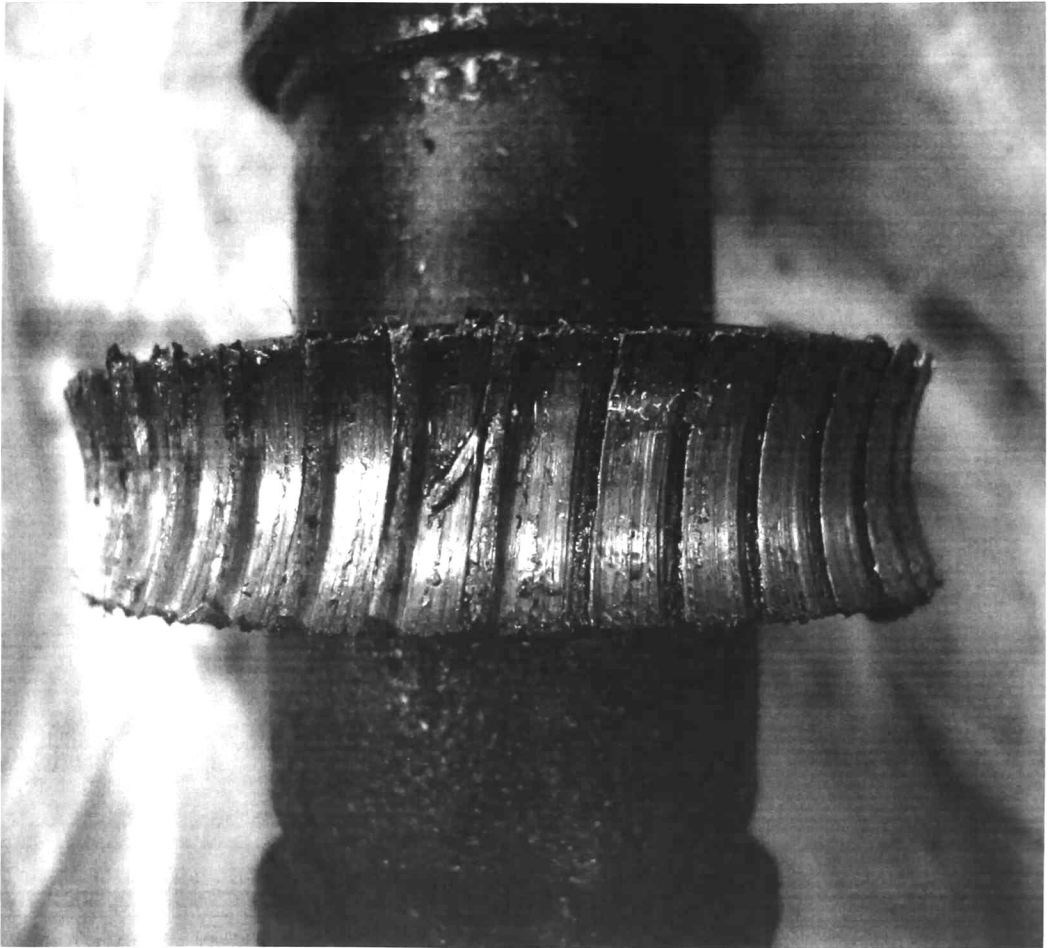


Fig. 4 Daño en los reductores

En la Fig. 5 se despliega la gráfica de tiempos muertos ocasionados por estas fallas de los equipos que ocasiona el no tener el control sobre rampas de aceleración o desaceleración.

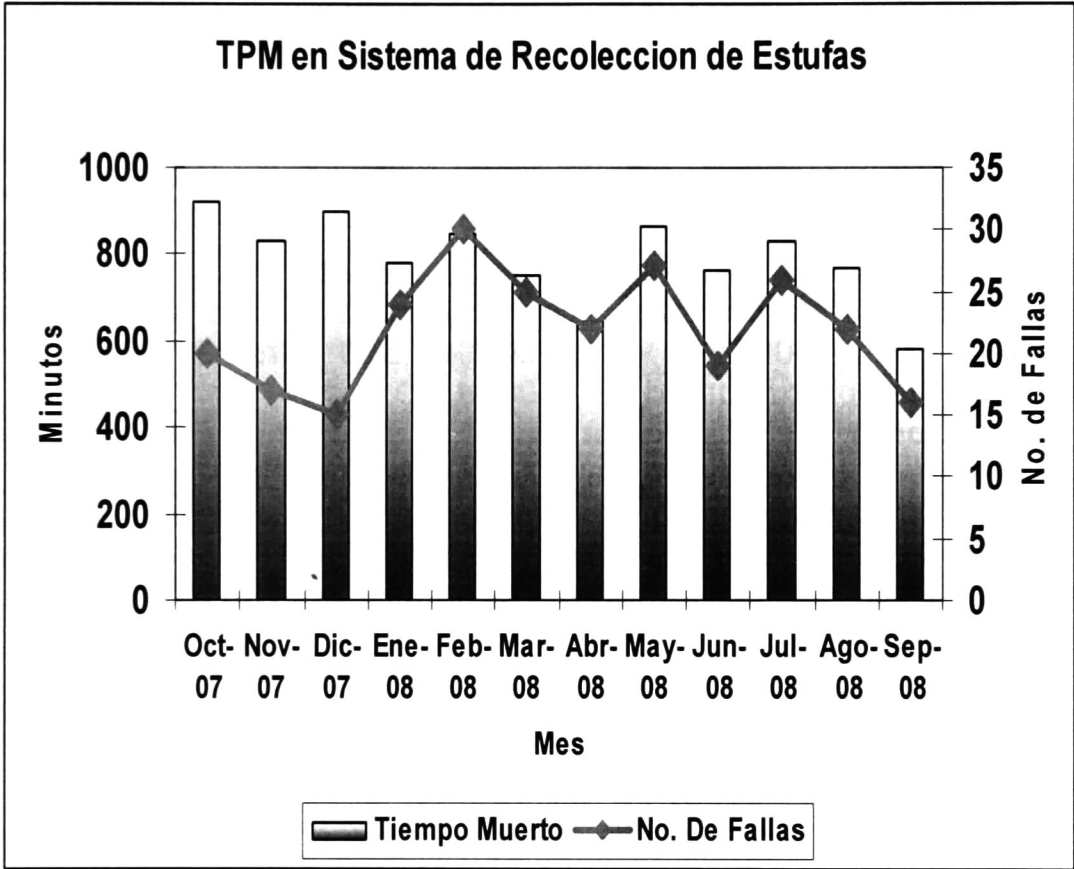


Fig. 5 Gráfica de tiempos muertos

Por lo que podemos ver en esta recopilación de información de 1 año a la fecha, es indispensable resolver este problema a la brevedad al más bajo costo para ayudar a cumplir de mejor manera los objetivos del área de mantenimiento y ensamble, así como de los de Leiser y del mismo grupo Mabe.

a) Objetivos

A continuación se enumeran las metas que se desea cumplir con el desarrollo de la tarjeta, y cuáles serían los números que es posible alcanzar en un futuro cercano, después de la implementación, y que por lógica están a su vez alineados con las metas de la planta y grupo.

1.- Reducción de Tiempos Paro Máquina: hasta en un 63% esto representa disminuir en 500 minutos promedio mensual

2.- Costos de oportunidad.-Actualmente en este colector circulan 9 estufas por minuto y cada estufa cuesta en promedio \$ 400 USD, entonces los 500 minutos tienen un costo de oportunidad de \$ 1800 kUSD

3.- Costo de Refacciones.- En el último año se han comprado un promedio de \$ 30.000 USD por piezas dañadas o por incrementar la frecuencia en el cambio de piezas mecánicas y eléctricas en el sistema de recolección de estufas, esto se podría disminuir en un 63% que representaría un ahorro de \$ 18,900 USD.

4.- Aunque no es un objetivo del problema se mejoraría en un 63% la **disponibilidad** de producto para ser enviado al mercado, lo que se denomina *rate*.

5.- La tarjeta deberá de ser de bajo costo. Su construcción deberá **ser menor a \$ 990 pesos**

6.- En caso de daño se podrá contar con un bypass en la tarjeta sin afectación al proceso o la TPM

7.- Las dimensiones de la tarjeta serán **tales que puedan ser instaladas** dentro de los tableros y o desconectores de cada motor.

8.- Deberá de **permitir una rampa de aceleración menor a 0.5 segundos o menor**

9.- Deberá de **permitir una rampa de desaceleración menor a 0.5 segundos o menor**

b) Organización del trabajo

A continuación se describe cómo se organizó el trabajo del desarrollo de la tarjeta de bajo costo.

1ª Etapa.- Realización de junta con mi asesor de tesis el donde se estableció el tema de tesis, los objetivos, y el gantt de actividades a seguir. Dentro del tema de tesis se buscó atender un problema que fuera complejo de solucionar dentro de Leiser, y que por lo tanto, este trabajo ayudará a solucionar al más bajo costo y de la mejor manera la problemática. Los objetivos se determinaron en base a los datos estadísticos que se han monitoreado durante el último año, y que debido a una experiencia personal, en lo que se denomina piso o campo de aplicación, se puede cuantificar el beneficio de la solución. El gantt de actividades se fijó entre el Cinvestav y un servidor, buscando siempre proporcionar un tiempo justo y necesario para que cada etapa o pendiente generado.

2ª Etapa.- Realización de opciones o circuitos prototipos y su evaluación en el simulador. Definición de la mejor opción en costo y que cumpla con los objetivos requeridos. En esta etapa la generación de opciones fue el punto de partida para encontrar la mejor configuración, al menor costo para así cumplir los objetivos que se plantearon, las cuales fueron evaluadas en un simulador.

3ª etapa.- Trasladar la opción ganadora al PCB y realizar pruebas de campo. De ser necesario, realizar ajustes al circuito. Posteriormente, la fabricación de circuitos fue importante ya que se evaluaron con comportamiento real en campo, que proporcionaron datos importantes para corregir algunos puntos a mejorar, de los cuales es posible mencionar el tiempo de rampa de aceleración, el tamaño del PCB, etc.

4ª Etapa.- Pruebas finales de campo y liberación de tarjeta. Dejarla trabajar con carga un tiempo razonable y estresada, o sea con sistemas saturados en el recolector de estufas. Lo que permitió ver el comportamiento en un ambiente real y con las dificultades propias del proceso diario (calor de 35°C, polvo, variación en la alimentación de voltaje, etc.). Estas pruebas se realizaron en vacío, esto es, con un motor acoplado pero sin carga. La segunda parte se efectuaron con carga, esto es, con arranques y paros constantes hasta de 5 veces por minuto.

5ª Etapa.- Documentación del proyecto.

Capítulo 2

Elementos del motor de ca

Para propósitos prácticos industriales, existen dos tipos básicos de motores de corriente alterna (CA), los motores síncronos y los motores de inducción. El primero básicamente un alternador trifásico que funciona de manera inversa, los imanes del campo están montados sobre un rotor o si poseen un rotor devanado, éste se excita con corriente continua. Las bobinas de la armadura están divididas en tres partes y se alimentan con corriente alterna trifásica. La variación de las 3 ondas de corriente en la armadura provoca una reacción magnética variable con los polos de los imanes del campo, y esto hace que este último gire a una velocidad constante, y que es determinada por la frecuencia de la onda de corriente.

Esta velocidad constante de un motor síncrono es aprovechada de manera ventajosa en ciertos aparatos. Sin embargo, mencionaremos como una desventaja de este motor, el hecho de que no se puede utilizar en aplicaciones en las que la carga mecánica sobre el motor llega a ser muy grande, ya que si el motor reduce su velocidad cuando está bajo carga puede quedar fuera de fase con la frecuencia de la corriente y llegar a detenerse. Los motores síncronos pueden funcionar con una fuente de potencia monofásica mediante la inclusión de los elementos de circuitos adecuados para conseguir un campo magnético rotatorio.

Por otro lado, el motor de inducción de jaula de ardilla es el más simple de todos los tipos de motores eléctricos que se usa con alimentación trifásica. La armadura de este motor consiste en tres bobinas fijas y es similar a la del motor síncrono. El elemento rotatorio consiste en un núcleo en el que se incluyen una serie de conductores de gran capacidad colocados en círculo alrededor del árbol y

paralelos a él. Cuando no tienen núcleo, los conductores del rotor se parecen en su forma a las jaulas cilíndricas que se usaban para las ardillas.

Los motores de baterías en serie con conmutadores que funcionan tanto con corriente continua como con corriente alterna, se denominan motores universales. Estos se fabrican en tamaños pequeños y se utilizan mayormente en aparatos domésticos.

2.1 Motores de inducción

El motor asíncrono fue creado en su forma más simple por Galileo Ferraris y Nikola Tesla en 1885-86. Dos años después se construyó una maquina con el rotor en forma de jaula de ardilla; el motor de bobinado se desarrolló a principios del siglo XX [1-4].

La diferencia del rotor asíncrono con el resto de los motores eléctricos radica en el hecho de que existe corriente inducida a uno de sus devanados (normalmente al rotor). La corriente que circula por el devanado del rotor se debe a la fuerza electromotriz inducida en él por el campo giratorio; por esta razón, a este tipo de motores se les designa también como motores de inducción.

La designación de motores asíncronos se debe a que la velocidad de giro del motor no es la de sincronismo, determinada por la frecuencia de la red. Actualmente se puede decir que el 80% de los motores eléctricos utilizados en la industria son de este tipo, trabajando prácticamente siempre a una velocidad constante.

Las ventajas que presenta la utilización de estos motores es:

- a) Construcción simple
- b) Mínimo volumen
- c) Bajo costo
- d) Poco mantenimiento

Existen dos tipos básicos de motores asíncronos:

- a) Motores de jaula de ardilla.- el devanado del rotor está constituido por barras de cobre o aluminio, cuyos extremos están puestos en cortocircuito por dos anillos, que se unen por medio de soldadura o fundición.
- b) Motor de rotor bobinado.- el devanado del rotor de estos motores está constituido por un motor de rotor bobinado a igualdad de potencia y clase de protección, este es más costoso, menos robusto y exige mayor mantenimiento que uno de jaula de ardilla, aunque posee dos ventajas: 1.- Las características del circuito del rotor pueden ser modificados en cada instante desde el exterior; 2.- la tensión e intensidad del rotor son directamente accesibles a la medida o al control electrónico.
- A continuación se muestra la Fig. 6 ó despiece de un motor de corriente alterna

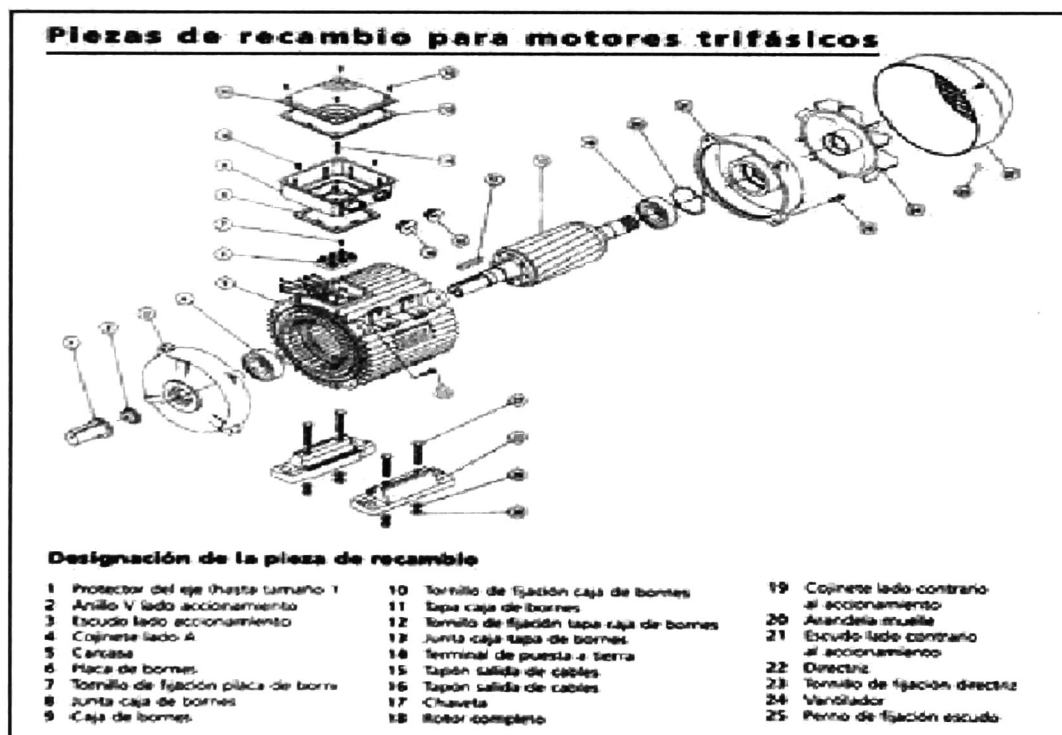


Fig. 6 Elementos de un motor de inducción del tipo jaula de ardilla

Cuando se alimenta el estator de un motor asíncrono con un sistema trifásico de tensiones de frecuencia f_1 , se origina en el entrehierro un campo giratorio de amplitud $60 f_1$

Constante cuya velocidad es $\eta_1 = \frac{60 f_1}{p}$, donde p

es el número de pares de polos del motor. Esta velocidad recibe el nombre de velocidad de sincronismo.

En los conductores del rotor, el campo giratorio inducirá unas fuerzas electromagnéticas, que al estar el devanado en cortocircuito darán lugar a unas corrientes. Estas en presencia de un campo magnético, determinan que sobre los conductores actúen unas fuerzas, las cuales producen un par, que de acuerdo a la ley de Lenz, hace que el rotor tienda a seguir el campo del estator. La velocidad de giro del rotor (η_1) no podrá igualar a la velocidad del rotor y no se induce ninguna fuerza electromagnética. Se denomina Deslizamiento (s), a la velocidad relativa del campo giratorio respecto al rotor, expresado en tanto por uno de la velocidad del campo

$$s = \frac{\eta_1 - \eta}{\eta_1}$$

Capítulo 3

Opciones generadas

La estrategia seguida para desarrollar la tarjeta tiene como premisas la satisfacción de los requerimientos y ser de bajo costo. Esto es, que cumpla con las necesidades de proteger al cuñero de la flecha de la transmisión, al cuñero de la flecha del motor, la cadena, candados de la cadena o al cuñero de la flecha del rodillo motriz del esfuerzo, cuando se aplica la plena carga o en intervalos de escasos 2 segundos para acelerar y parar, ya que el estándar de trabajo es de 9 estufas por minuto y en un sistema acumulable de unidades a lo largo de más de 500 mts que consta el sistema de transportación de estufas, desde las líneas de producción hasta donde se empaican en cajas las estufas para ser enviadas al cliente final

En el primer acercamiento se generaron tres esquemas de circuito que a continuación se describen [5-6].

3.1.- Primer circuito

Consta de un esquema trifásico con dos esquemas PWM, para la rectificación e inversión. La Fig. 7 ilustra el esquema de circuito que se uso para realizar la simulación en PSIM y señales obtenidas mediante simulación. Donde vemos que la cantidad de elementos utilizados en este primer circuito nos genero que el costo fuera alto \$ 2,650.00 pesos si se realizara esta tarjeta y no fuera el de menor costo además de que el tamaño de la misma resultaría mas grande y mas difícil de colocar dentro del campo de aplicación en la empresa

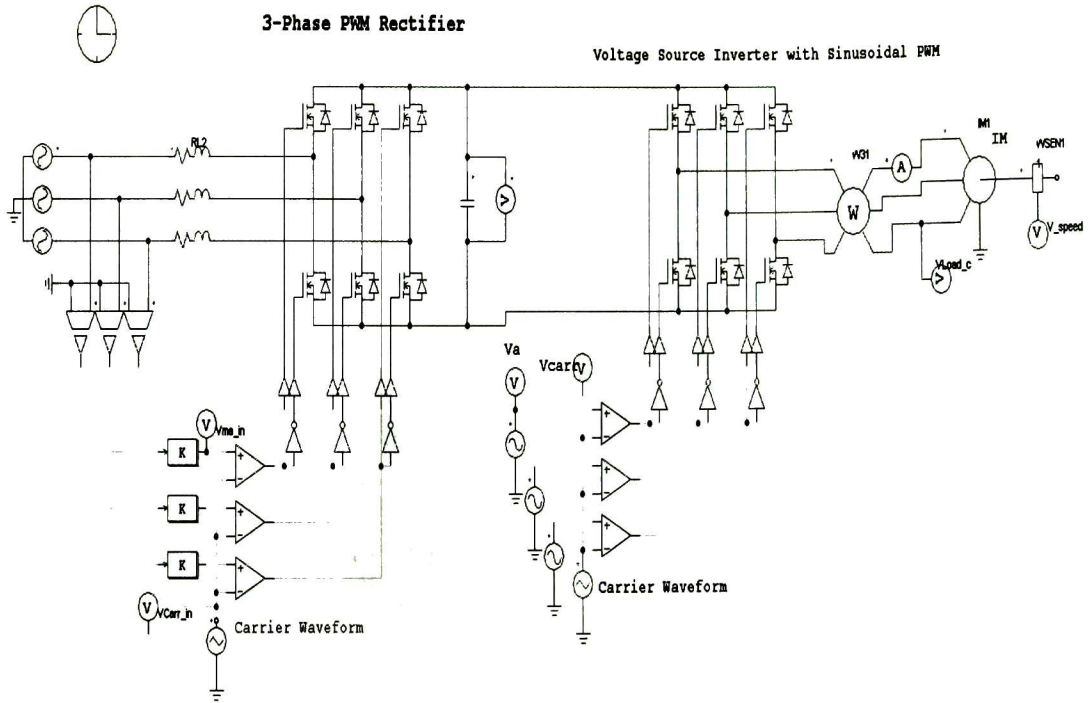


Fig. 7 Esquema de control número 1

Las mediciones en la simulación resultan como se observa en la Fig. 8-9.

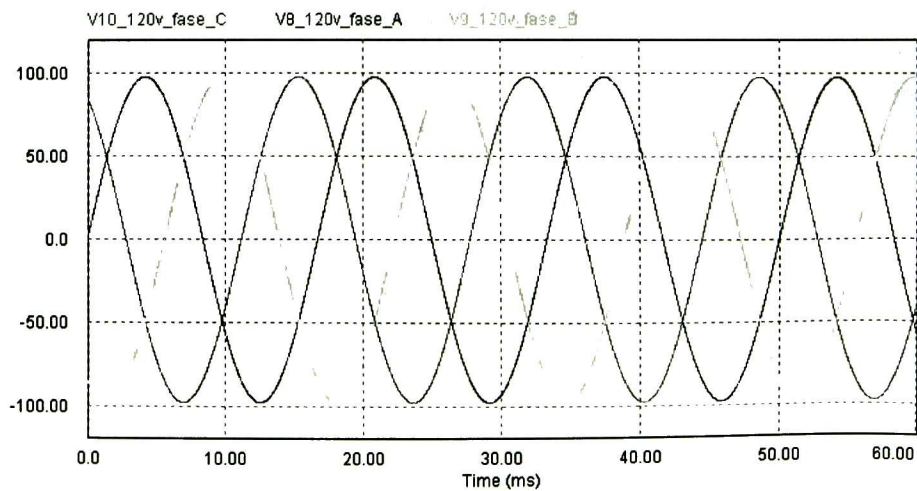


Fig. 8 Voltajes de alimentación

En la Fig. 9 se muestra el voltaje trifásico de 120 volt ac inyectado al circuito para realizar la simulación.

II

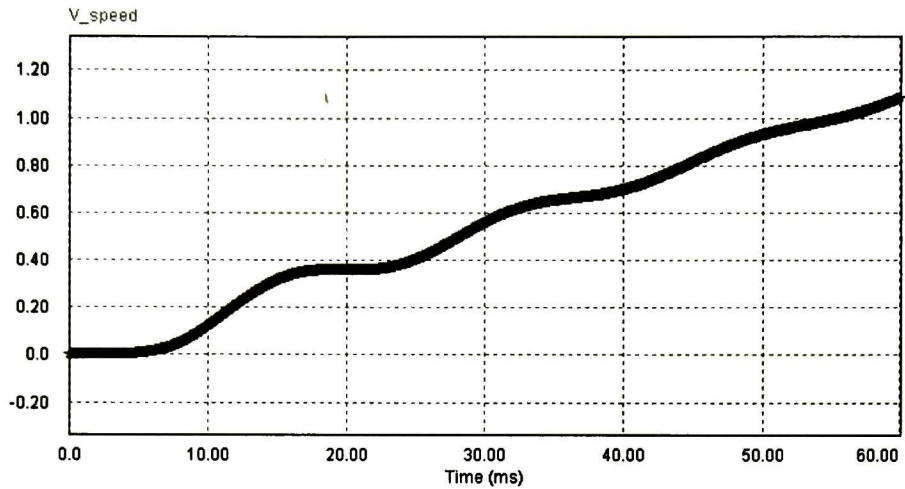


Fig. 9 Curva de velocidad

En esta se nota la respuesta de velocidad de salida en la que se cumple con el requerimiento de realizar la rampa en menos de 0.2 s.

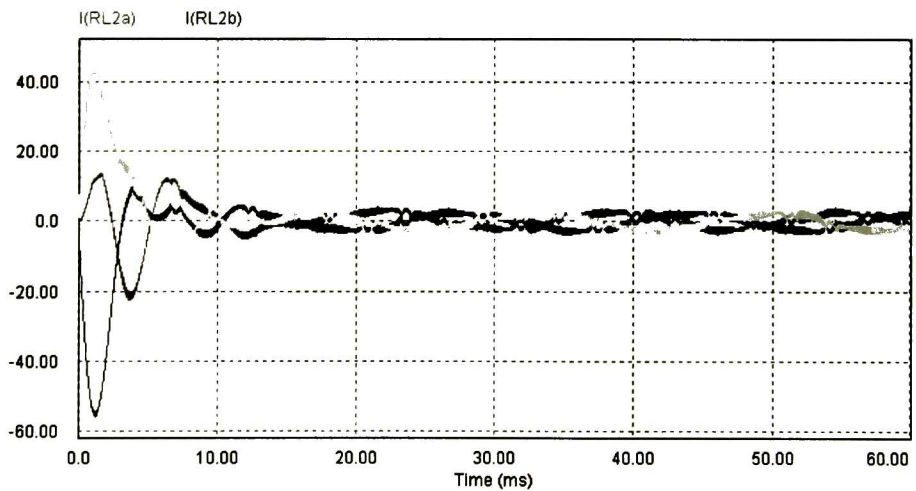


Fig. 10 Corrientes de arranque

En la Fig.10 se observa la corriente en el arreglo RL que esta en la entrada del circuito.

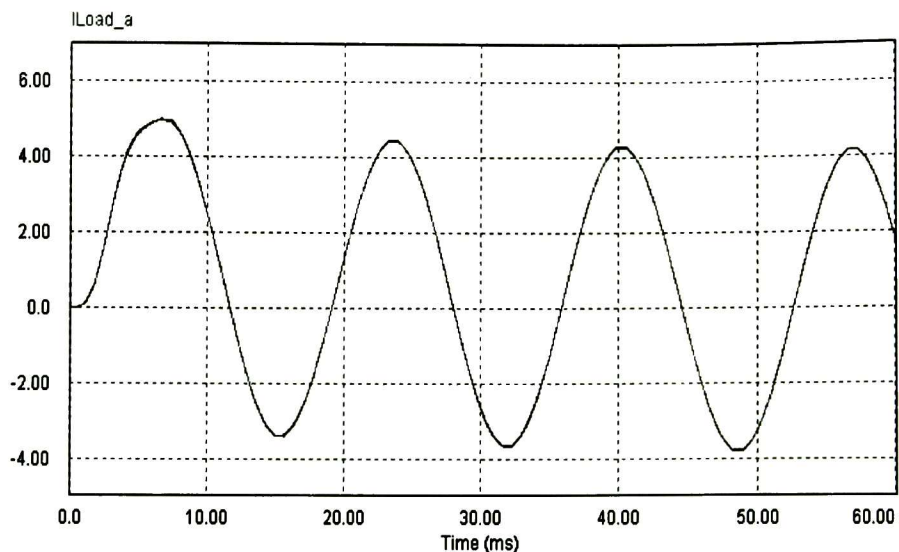


Fig. 11 Acercamiento de la corriente de carga

Asimismo, la corriente de carga de la fase_a del motor se exhibe en la Fig. 11.

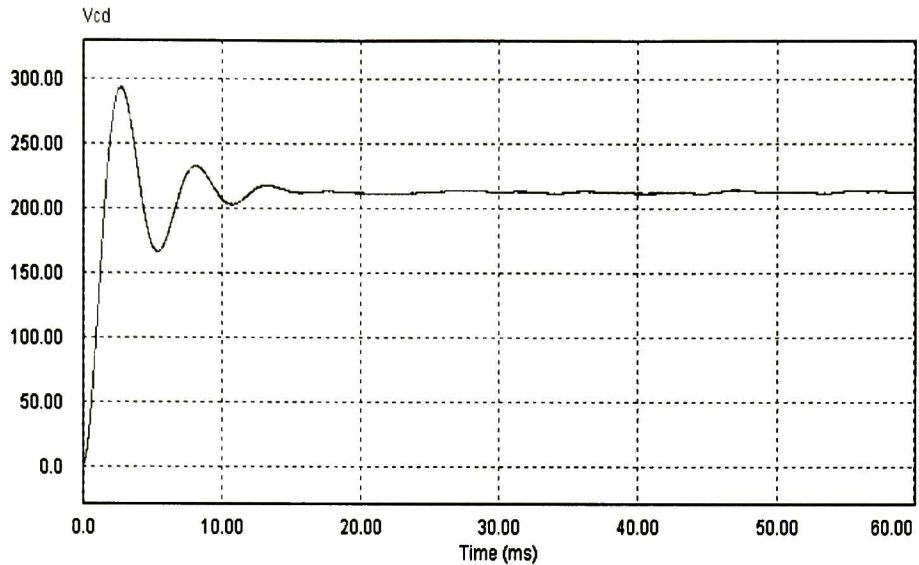


Fig. 12 Voltaje de cd

La Fig. 12 presenta el comportamiento del voltaje de cd a la salida del PWM rectificador.

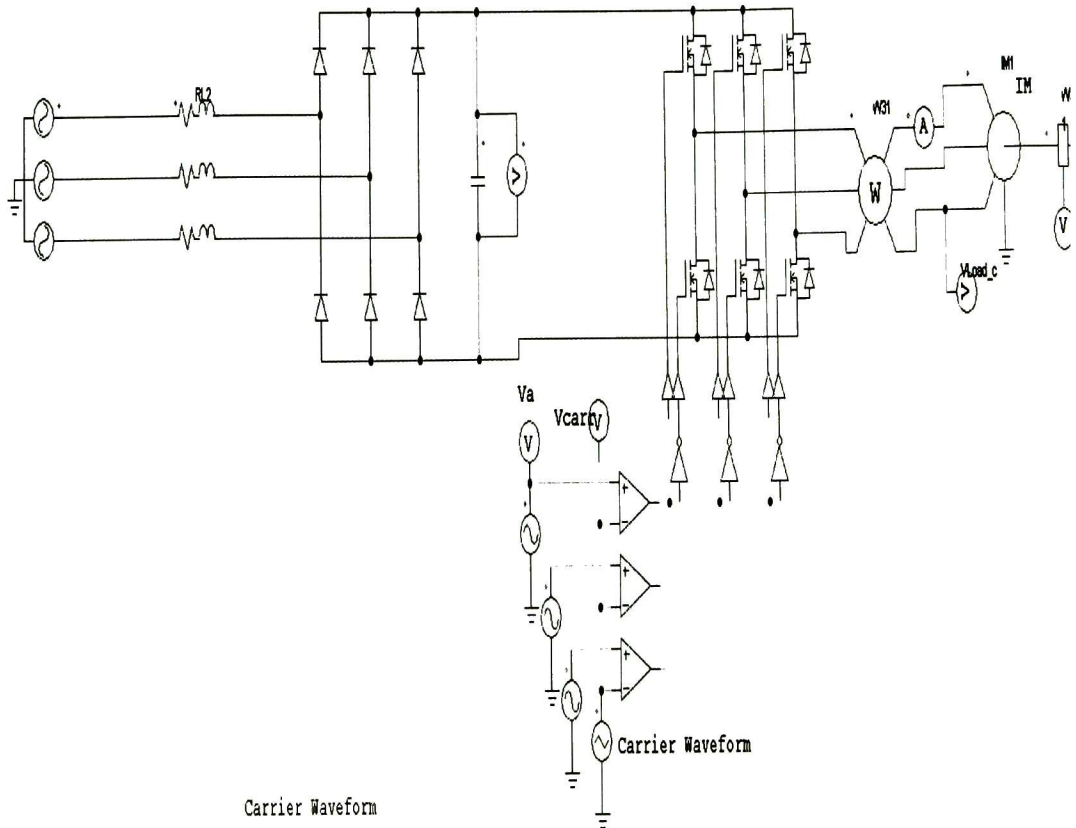
3.2.- Segundo circuito

Consta de un esquema trifásico de rectificación por un puente de diodos y un esquema de inversión basado en PWM. Esto lo que resulta, en comparación con el primer circuito, es una cantidad menor de elementos a utilizar y, por lo tanto, un menor costo \$ de 1,325.00 pesos. Sin embargo, no se cumple con el requerimiento de que sea menor a \$ 1,000.00 pesos el circuito resultante. La Fig. 13 ilustra el esquema de circuito y señales obtenidas mediante simulación.



3-Phase Rectifier

Voltage Source Inverter with Sinusoidal PWM



Carrier Waveform

Fig. 13 Esquema del circuito 2 con propósitos de simulación

Algunas de las mediciones en la simulación se despliegan en las Figs. 14-16.

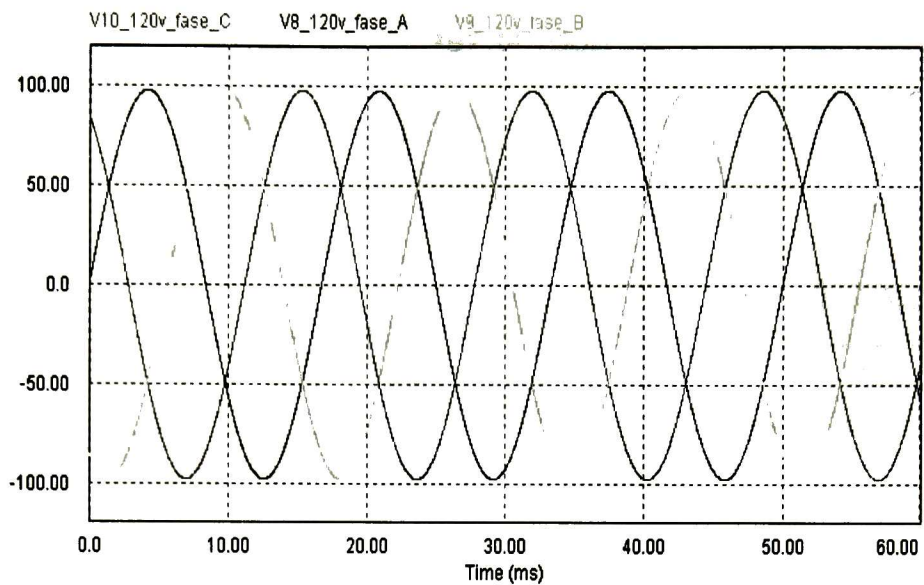


Fig. 14 Voltaje de alimentación trifásico.

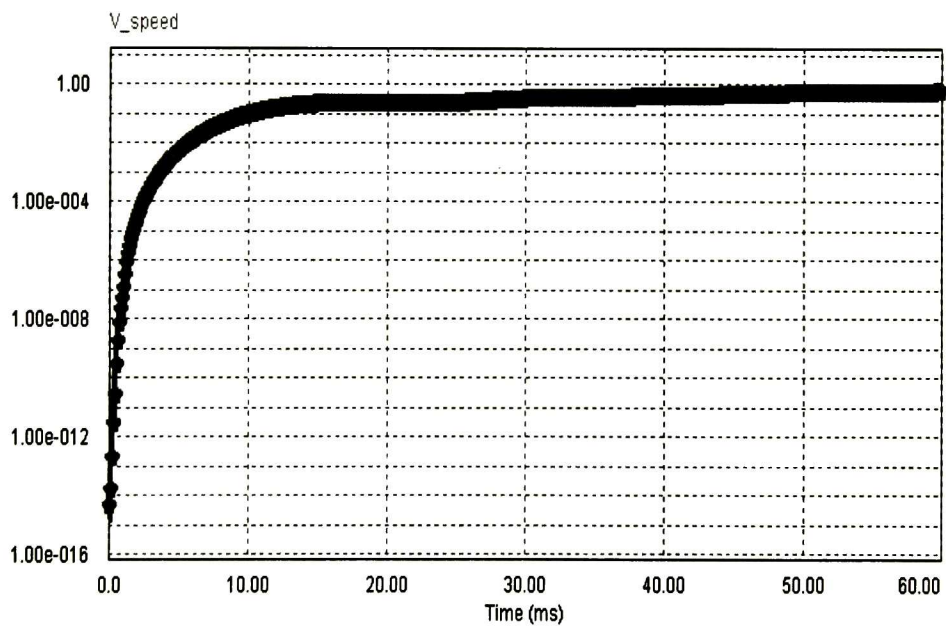


Fig. 15 Respuesta de la velocidad del motor

En la Fig. 15 se nota la respuesta de velocidad de salida, en la cual se cumple con el requerimiento de realizar la rampa en menos de 0.2 s.

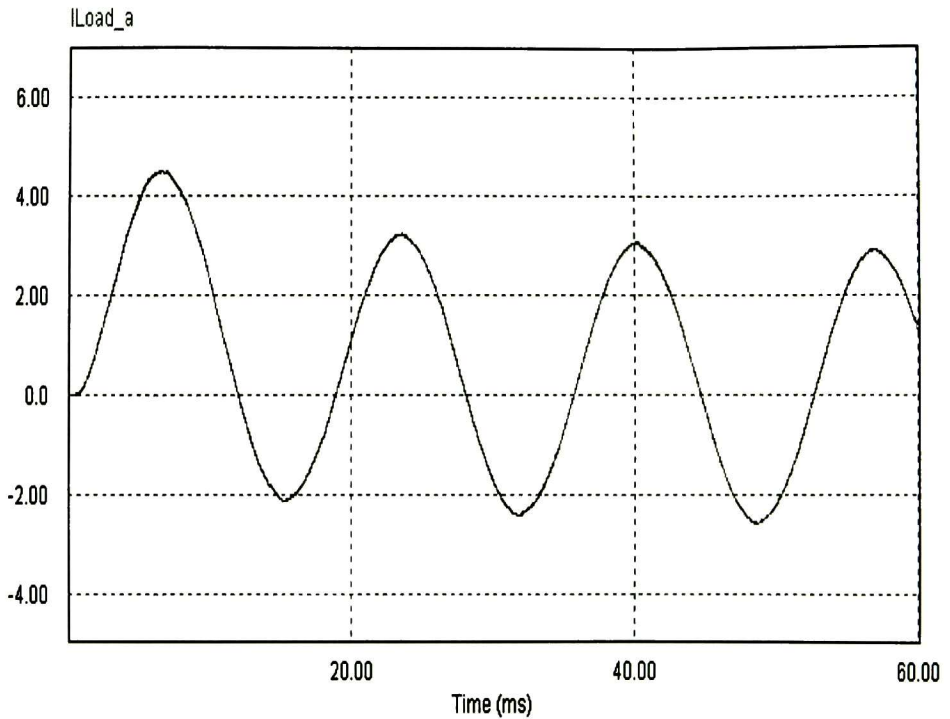


Fig. 16 corriente de carga de la fase_a del motor.

3.3.- Tercer circuito

Este es un esquema basado en 3 Triacs y capacitores, Fig. 17, siendo el que resulta de menor costo, \$ 651.00 pesos, y con ello cumple con el requerimiento del menor costo. Además, satisface los objetivos que se impusieron al comienzo del proyecto.

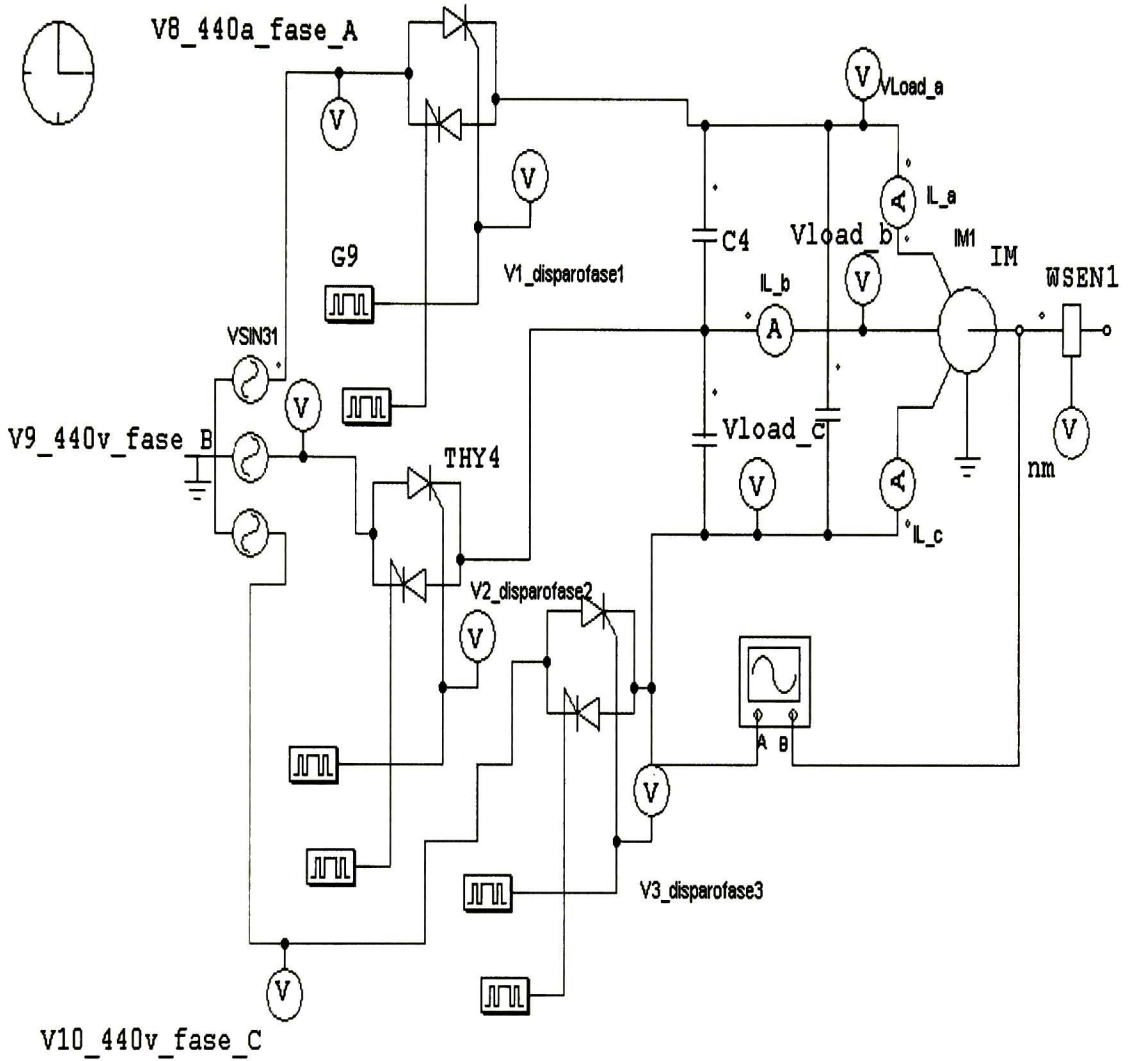


Fig. 17 Diagrama esquemático Circuito 3

Algunos de los resultados de simulación son como se ilustra en las Figs. 18-20.

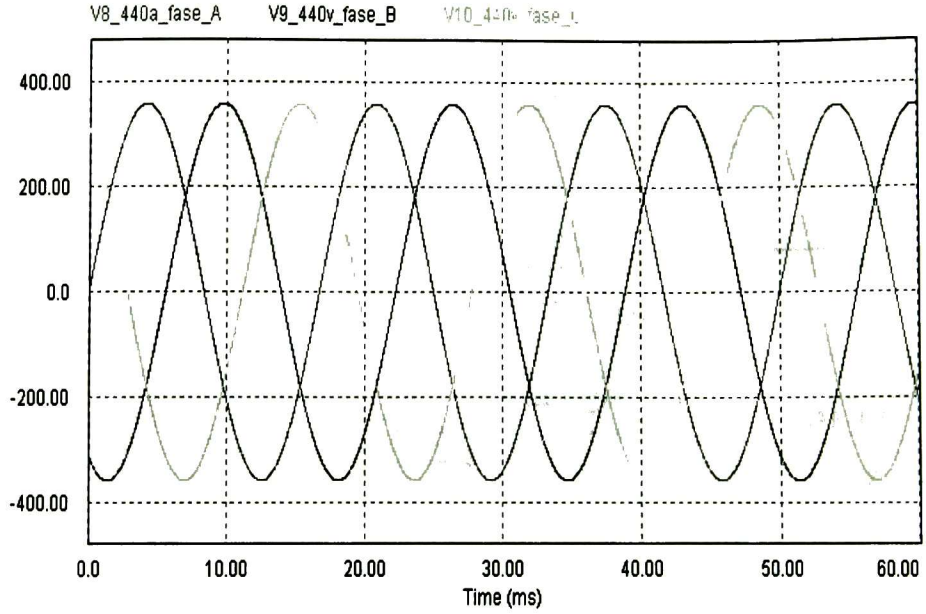


Fig. 18 Voltaje de alimentación

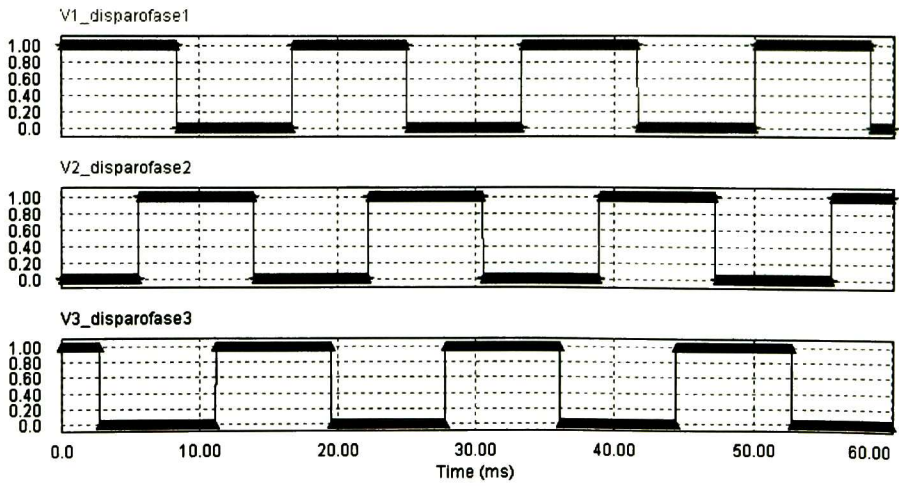


Fig. 19 Señal de disparo de los triacs

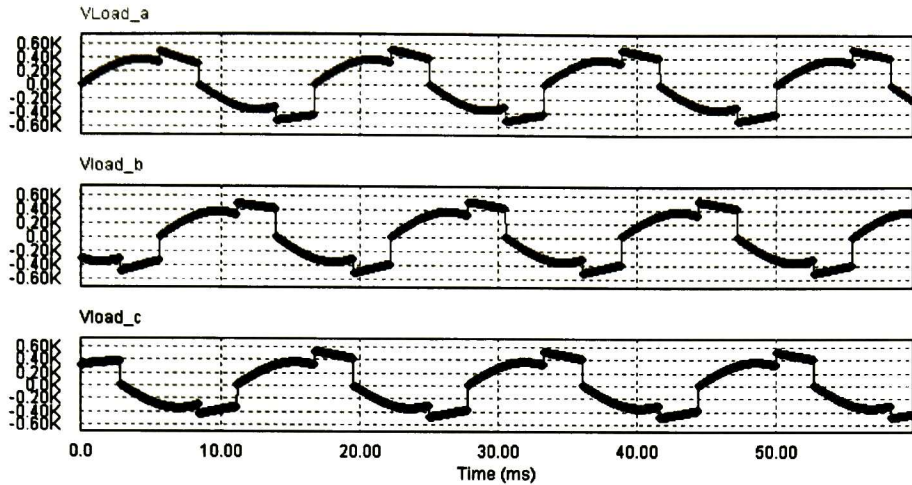


Fig. 20 Voltaje en cada una de las fases del motor

En la Tabla están los costos de elementos empleados y son costos unitarios de volumen bajo.

N	Descripción	P.U.	Total
1	Transformador de 440V/30V	250.00	250.00
3	Resistencias de potencia de 100Ω a 25 W	8.70	26.10
1	Regulador de voltaje 7805	5.00	5.00
2	Capacitor filtro de 100μF a 25V	2.50	5.00
3	Contactores de 250V	20.00	60.00
1	Transistor TIP122	8.00	8.00
1	Amplificador operacional LM324	6.00	6.00
1	Microcontrolador HC08-QT4 – MC908Q4CP	40.00	40.00
3	Opto-acopladores MOC3020	8.70	26.10
3	TRIACS de 800V	25.00	75.00
1	Tarjeta de circuito impreso PCB	50.00	50.00
3	Resistencia 100 ohms ¼ de watt	2.00	6.00
3	Resistencia 180 ohms ¼ de watt	2.00	6.00
1	Resistencia 1 Kohms ¼ de watt	2.00	2.00
3	Capacitor 2E4751	3.50	10.50
3	Par de clemas	3.00	9.00
1	Interruptor 1P 1T	10.00	10.00

3.4 Tarjeta resultante

A partir de la tercera opción, se fabricó la primera tarjeta para pruebas de campo. Es decir la más barata y que cumple con el resto de los objetivos planteados. Solamente se le agregó un potenciómetro para regular el ángulo de disparo de los triacs para efectos de pruebas, siendo la que se muestra en la Fig. 21.

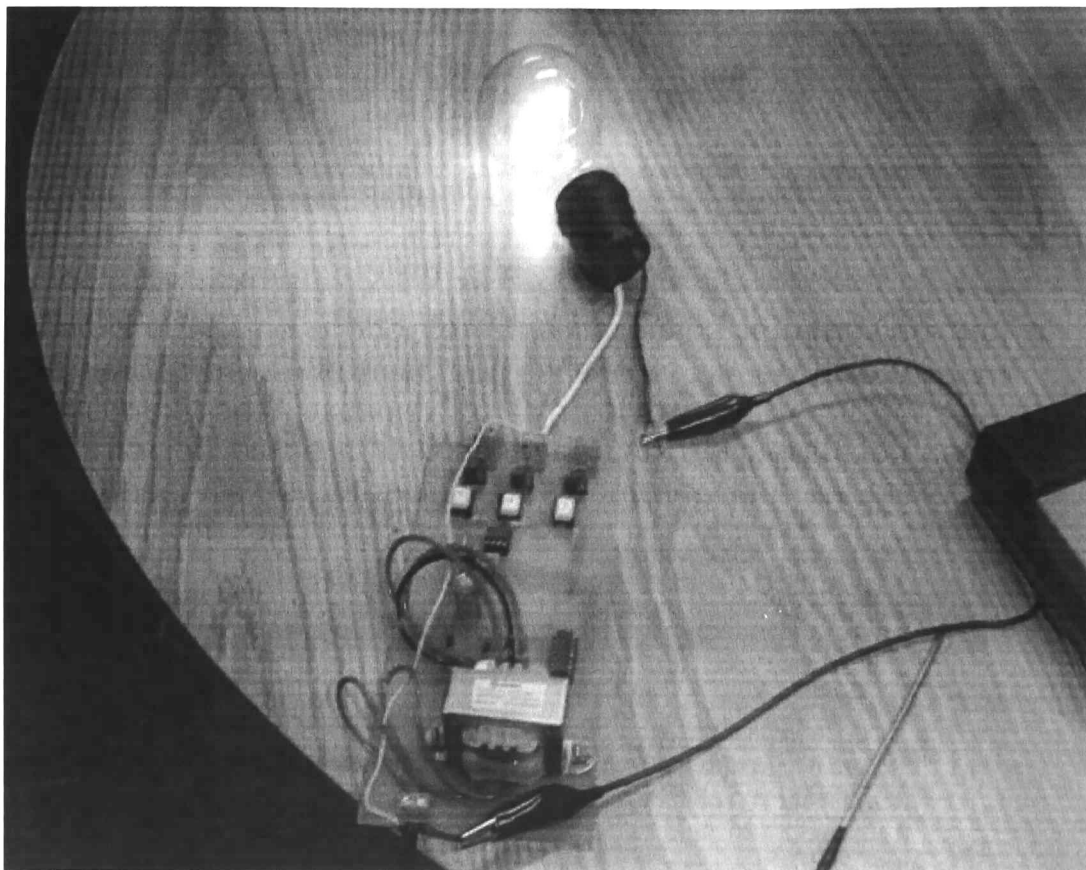


Fig. 21 Pruebas preliminares de tarjeta

Primeramente se probó con una carga de iluminación de 100 watts, para verificar que la secuencia de disparos y las conexiones fuesen las correctas. El voltaje de alimentación es de 440 V ac, y se varió el potenciómetro para observar la variación en la intensidad en el foco

colocado como carga, siendo satisfactorio el primer prototipo.

3.4.1 Prueba con motor de primera tarjeta

Además, se realizaron pruebas de campo con un motor de 1 Hp como carga, Fig. 22. Se detectó un tirón o brinco no controlado que puede continuar dañando en menor escala los elementos ya señalados con anterioridad.

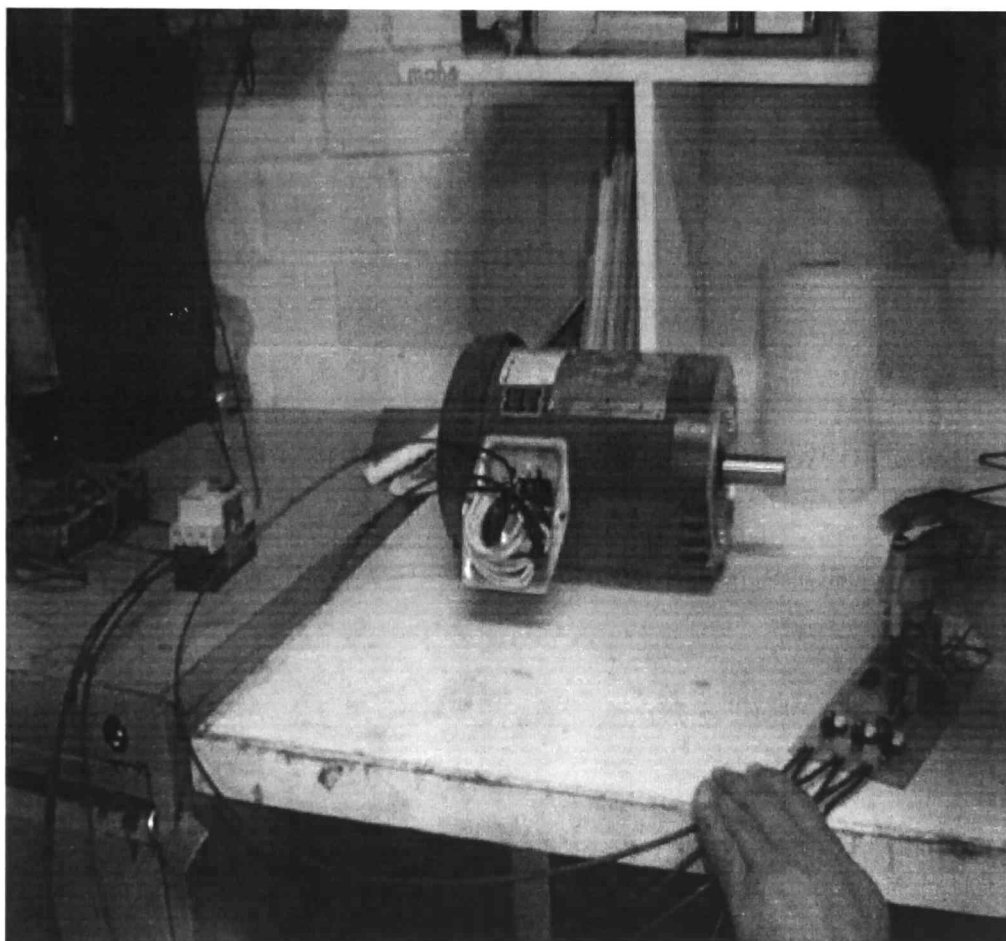


Fig. 22 Pruebas preliminares con motor trifásico

3.4.2 Mejoras a Tarjeta prototipo

Como resultante de las propuestas de mejora u oportunidades que se le observaron a la primera tarjeta, se agregó un interruptor para habilitar la rampa o no para efectos de pruebas. Asimismo, se le agregaron tres relevadores con el fin de soportar los picos de la carga, ya que el motor puede arrancar y parar hasta en 8 veces cada minuto. Se adicionó un micro controlador para programar la rampa, la tarjeta resultante es la que se muestra en la Fig. 23.

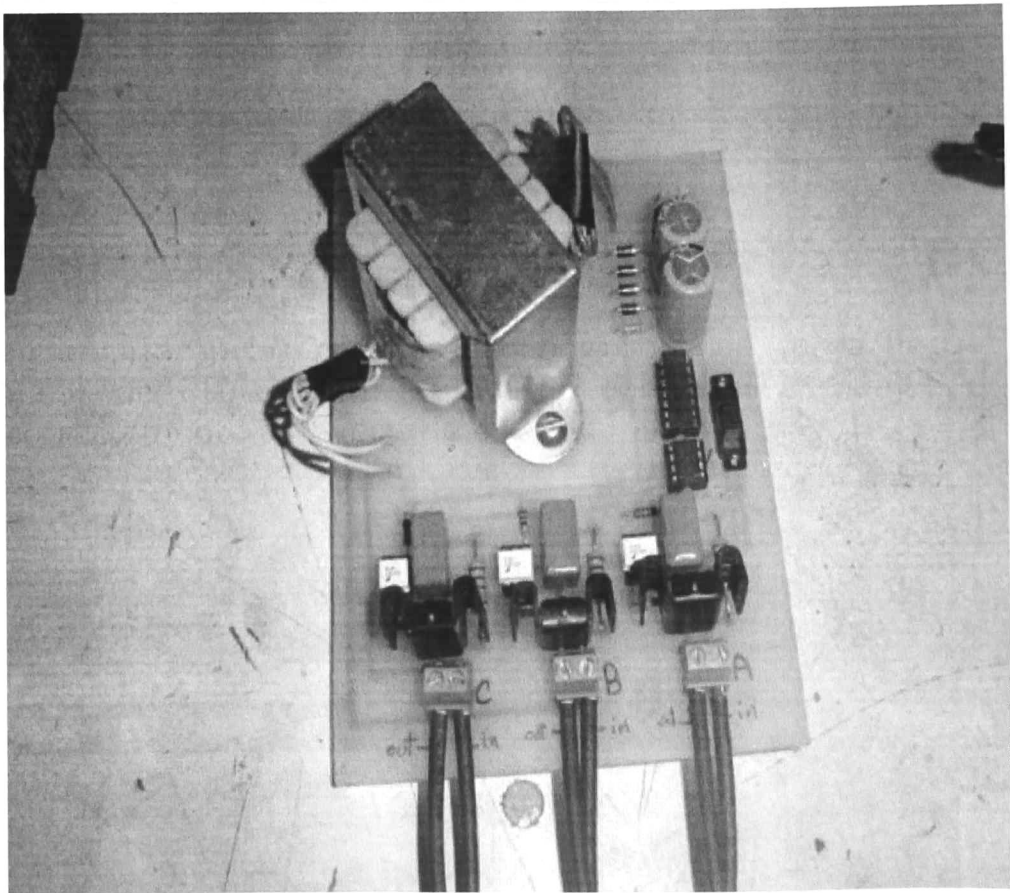


Fig. 23 Segunda tarjeta de pruebas

Se realizaron las pruebas de liberacion con carga de un foco de 100 watts y fase por fase trabajando correctamente al inyectarle 440 Vac.

3.4.3 Prueba de segunda tarjeta con motor

Realizaron pruebas de campo con un motor de 1 Hp como carga, Fig. 24.

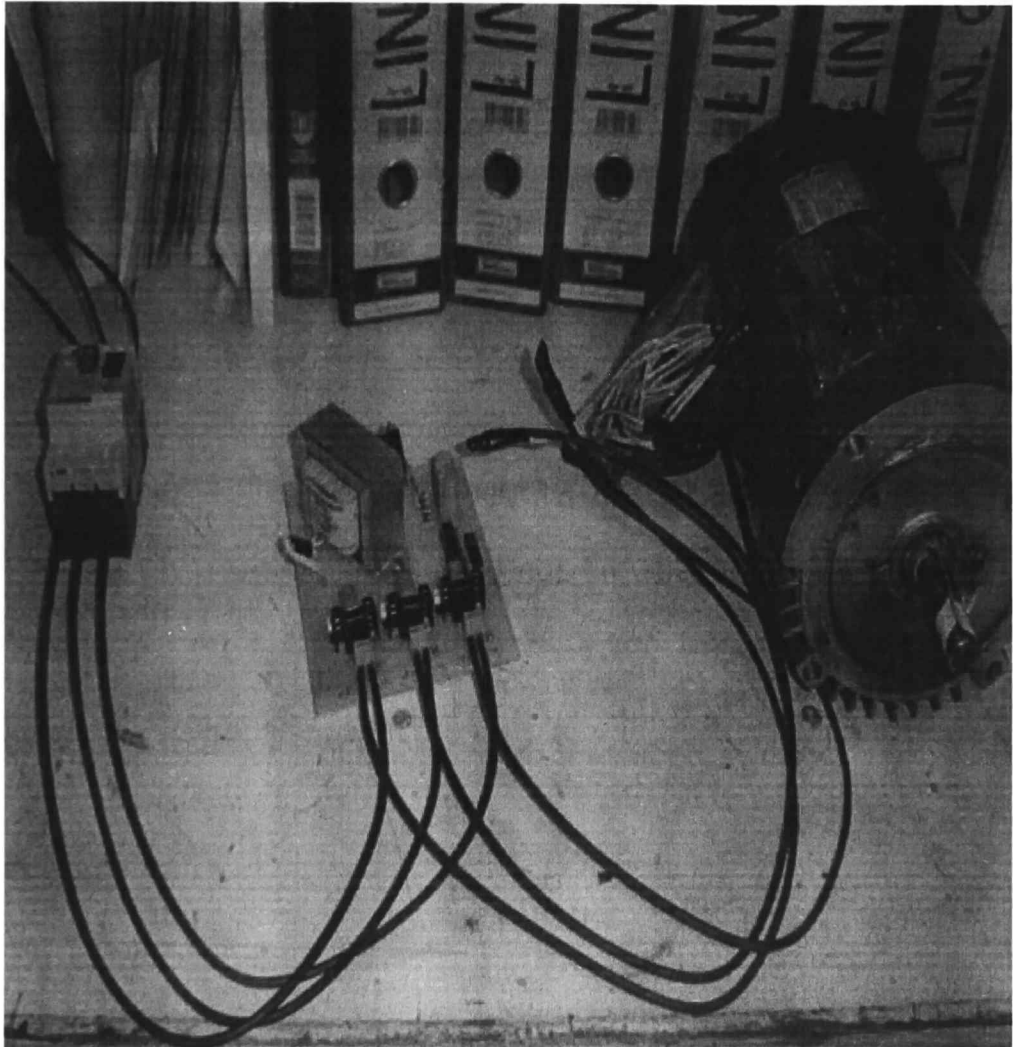


Fig. 24 Pruebas de la segunda tarjeta con motor

De estas pruebas se observó que la corriente de pico aun tiene problemas, pudiendo dañar los relevadores. Asimismo, la rampa no es totalmente apropiada.

3.5 Tarjeta final

Como resultado de las observaciones a la segunda tarjeta, se agregó un grupo de 3 resistencias de carga para disipar los picos de corriente, Fig. 25.

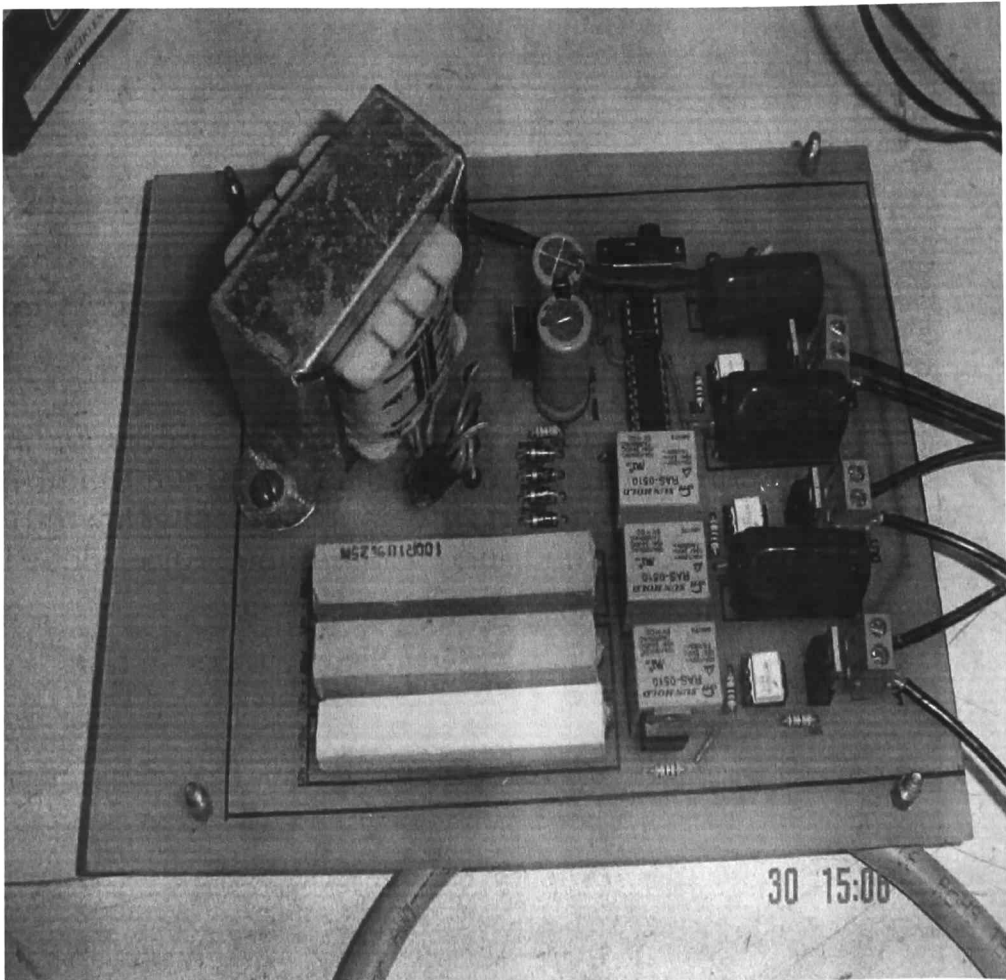


Fig. 25 Tercera tarjeta

Al igual que las pruebas de liberación de esta tarjeta, primeramente se realizaron pruebas con una luminaria de 100 watts fase por fase y trabajo correctamente. También se observó que mejoró enormemente la rampa, sin la

generación de un tirón final. Además, también se midió y se corroboró que trabaja en menos de 0.2 s., con lo que también cumple tal objetivo, Fig. 26.

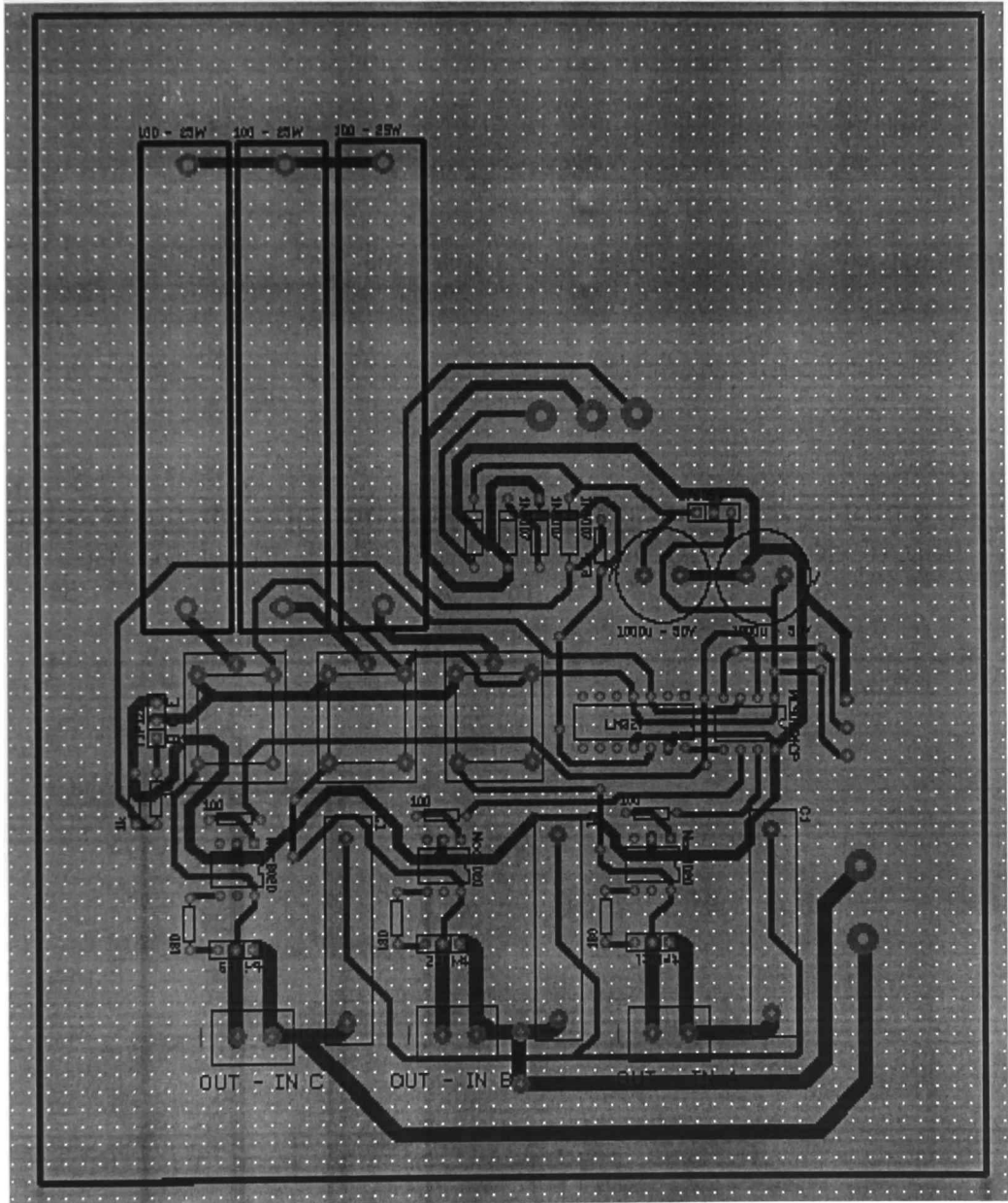


Fig. 26 Diagrama del PCB

Capítulo 4

Pruebas de campo de tarjeta final

Se realizaron pruebas de campo con un motor de 1 Hp como carga al igual que la segunda tarjeta, lo cual es mostrado en la Fig. 27.

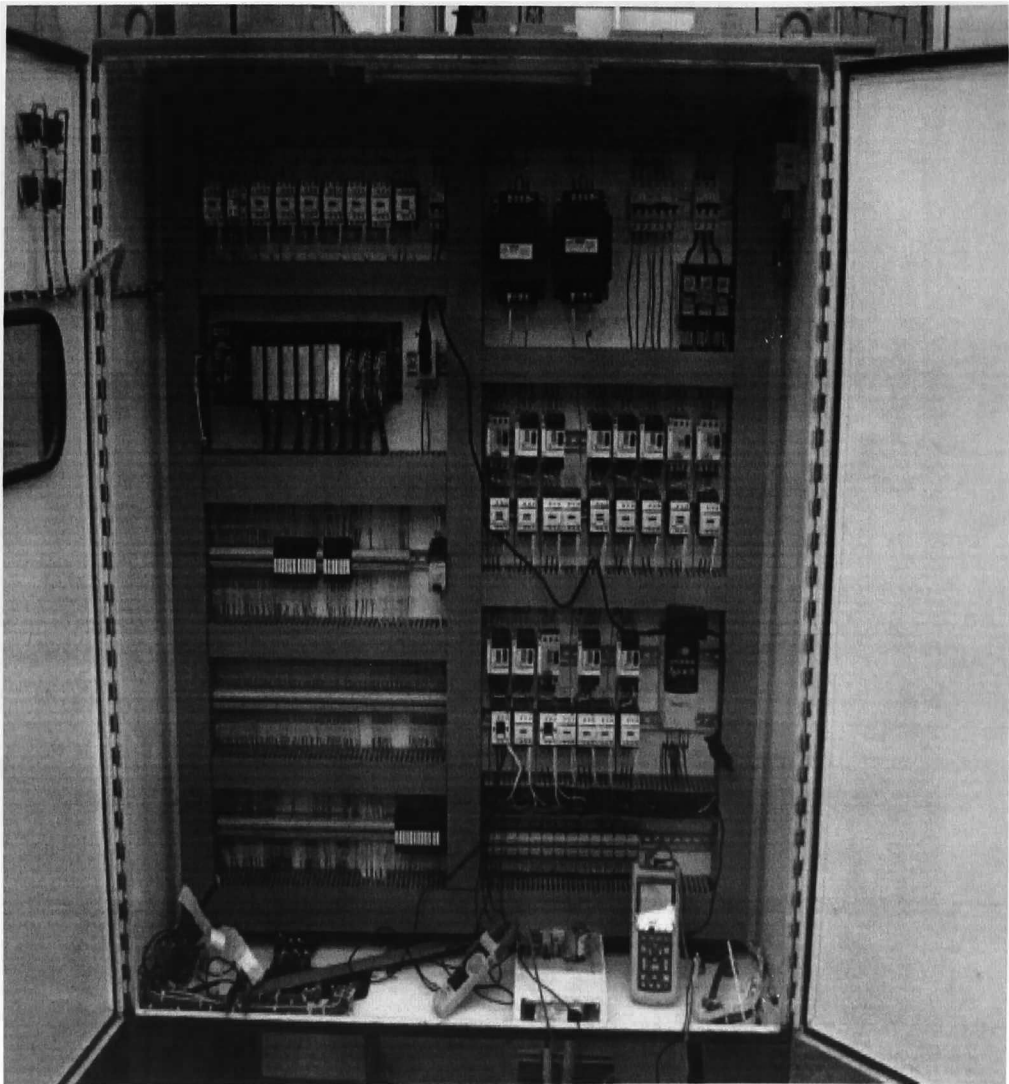


Fig. 27 Arreglo para pruebas de campo

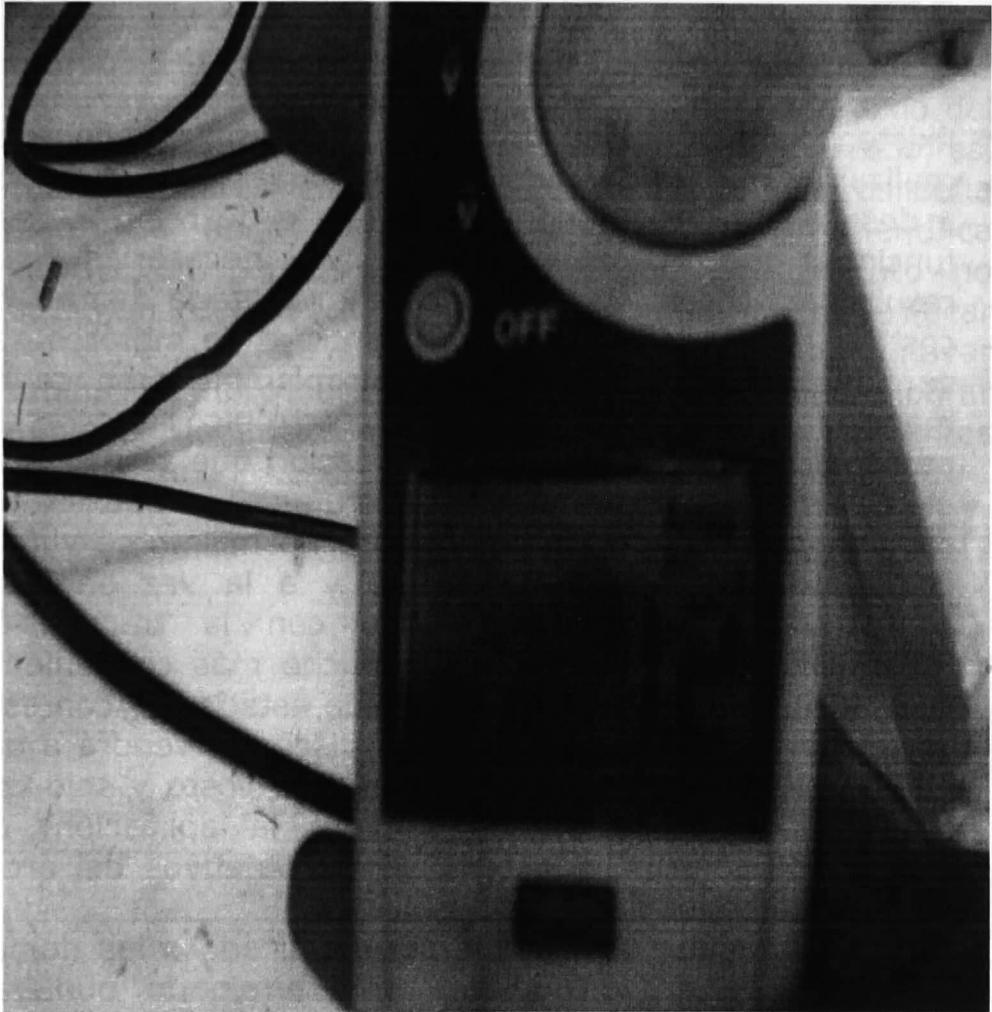


Fig. 28 Medición de Corriente

En la figura 28 se mide la corriente de cada fase del motor en campo. La corriente de placa es de 1,7 amp, Como conclusión de estas pruebas se confirma que satisface con los objetivos buscados.

Conclusiones y trabajos futuros

Existen en el mercado drivers o elementos que pueden realizar el trabajo de controlar las rampas de aceleración y desaceleración de un motor, además de realizar otras funciones que no son en algunos casos necesarias y que resultan en costos elevados. Así que resultaría demasiado costoso adquirirlos para la gran cantidad de motores que se tienen instalados en MABE. Asimismo, como se ha mencionado, estos dispositivos electrónicos no están personalizados para el tipo de aplicación que se busca en el sistema de recolección de estufas, ya que no se requiere algo tan sofisticado que por lo mismo se vuelva complicado en su mantenimiento y a la vez oneroso, comparado con el motor junto con la transmisión mecánica. De lo contrario sería mucho más conveniente colocar motores redundantes en cada estación, y con esto solucionar el problema. La tarjeta diseñada vendrá a dar por terminado este problema a un bajo costo y solo con las funciones básicas que requiere la aplicación, de manera de contribuir al logro de los objetivos del área, Leiser, y del mismo grupo MABE.

Se considera que esto puede ser exportado a las demás compañías del grupo, que aún sin determinarlo, pudieran aplicar esta tarjeta para controlar los motores que tuvieran en sus aplicaciones con una reducción de costos importantes, que vendrán de alguna forma a contribuir en los ahorros que el grupo busca para ser competitivos dentro del mercado, ya que ahora se abre la posibilidad de hacerlo a un menor costo de mantenimiento, reduciendo los tiempos de paro máquina que de alguna manera repercutirían en incrementos de mayor productividad, lo que se busca de manera continua y siempre sin dejar a un lado la eficiencia de los equipos. Esto es una parte de la fórmula del OEE, útil para medir el

desempeño de un proceso o equipo, y que siempre se transforma en áreas de oportunidad para realizar la mejora continua, que es una etapa que nunca debe terminar. El día que una empresa deje de hacerlo deberá de estar consciente de que puede perder el liderazgo del que goza actualmente o competitividad en el mercado, así como la innovación que debe ser un factor que realice la diferencia en conjunto con la investigación científica interna en las compañías, que por el momento no designan recursos para esto y que deberían de enfocar parte de su meta a desarrollar estrategias para innovar productos y procesos para así ser más eficientes y lograr mayores ganancias y poder competir en los diferentes mercados.

Referencias

- [1] Paul C. Krause, Analysis of electric machinery. McGraw-Hill Book Company, 1987.
- [2] M. Kostenko, L. Piotrovski, Máquinas eléctricas. Vol. 1 y 2. Ed. Montaner y Simón S.A., 1979.
- [3] Chee-Mun Ong, Dynamic simulation of electric machinery using Matlab/Simulink. Prentice Hall, 1998.
- [4] A. S. Langsdorf, Teoría de las máquinas de corriente alterna. McGraw-Hill, 1967
- [5] M. Liwschitz, C. C. Whipple, Máquinas de corriente alterna. Ed. CECSA, 1981.
- [6] H. Rashid Muhammad, "Electrónica de Potencia, Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones", Tercera edición. Editorial: Prentice Hall, México, 2004.
- [7] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, "Power Electronics, converters applications and control", Tercera edición. Editorial: Wiley, 2003.



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL I.P.N.
UNIDAD GUADALAJARA**

El Jurado designado por la Unidad Guadalajara del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional aprobó la tesis

Tarjeta electrónica de bajo costo para controlar el arranque y
paro de motores trifásicos CA de 440 Vac

del (la) C.

Román MARTÍNEZ RIVERA

el día 06 de Febrero de 2009.



Dr. Juan Manuel Ramírez Arredondo
Investigador CINVESTAV 3C
CINVESTAV Unidad Guadalajara



Dr. Alexander Georgievich Loukianov
Investigador CINVESTAV 3C
CINVESTAV Unidad Guadalajara



Dr. Arturo del Sagrado Corazón
Sánchez Carmona
Investigador CINVESTAV 3B
CINVESTAV Unidad Guadalajara



CINVESTAV
BIBLIOTECA CENTRAL



SSIT000008949