

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



DURMAN ESQUIVEL S.A.

Sustitución del motor CD de una máquina extrusora tipo KMD2- 90Z, por un motor CA y generación del módulo de control para la máquina

Informe del Proyecto de Graduación para optar por el Grado de Bachiller en Ingeniería Electrónica

José Elías Badilla Robles

Cartago, Noviembre de 2002

Resumen

La empresa Durman Esquivel S.A., desde 1959 ha sido identificada como la empresa #1 en la elaboración de tubería y accesorios de PVC.

La elaboración de algunos de sus productos, se realizan bajo el proceso de extrusión. La velocidad a la que opera este proceso, esta determinada por la capacidad de operación del motor principal de la máquina extrusora. Este motor por lo general, se trata de un motor de corriente continua de gran tamaño, el cual por su característica requiere un mantenimiento constante para asegurar el buen estado de operación del proceso.

Dado que actualmente la tecnología de los controladores para motores de corriente alterna se ha desarrollado de tal manera que prácticamente han igualado a las características de los controladores para motores de CD; es que el personal de mantenimiento de Durman Esquivel, a deseado conocer la posibilidad de sustituir el motor principal de una de sus máquinas extrusoras por un motor de corriente alterna.

La ubicación de un motor que cumpla con las características deseadas y el tipo de variador que pueda controlar a ese motor de la forma correcta ha sido el fruto de este proyecto, así también la implementación de un sistema el cual es capaz de interpretar y controlar las variables que influyen en el proceso de extrusión; con lo cual se puede ahora tener desde un computador un seguimiento del proceso y un control histórico de datos.

Palabras Clave: Durman Esquivel, Extrusión, Extrusoras, Investigación, Motores, Control de motores, DTC, Visual Basic, Control Remoto.

Abstract

The company Durman Esquivel S.A., from 1959 has been identified as the #1 company in the pipe elaboration and accessories of PVC.

The elaboration of some of their products, they are produced under the extrusion process. The speed to which operates this process, is determined by the capacity of operation of the main motor of the machine extruder. This motor in general, is a motor of continuous current of great size, which requires a constant maintenance to assure the good state of operation of the process for its characteristic.

Since nowadays the technology of the controllers for motors of alternating current has been developed in such a way that practically have equaled to the characteristics of the controllers for motors of CD; for this reason it is that the personnel of maintenance of Durman Esquivel, had wanted to know the possibility to substitute the main motor of one of their extruders machines for a motor of alternating current.

To find of a motor that fulfills the desired characteristics and the controller type that it can control to that motor in the correct way has been the fruit of this project, likewise the implementation of a system which is able to interpret and to control the variables that influence in the extrusion process; so now be can have a pursuit of the process and a historical control of data from a computer.

Words Key: Durman Esquivel, Extrusion, Extruders, Investigation, Motors, Control of motors, DTC, Visual Basic, Remote Control.

DEDICATORIA

Dedico este título a la mujer que me dio la vida, mi madre. A ella que me ha guiado y enseñado lo que es el bien, quien me ha brindado siempre la confianza necesaria para actuar de la forma que considere correcta pero me ha corregido cuando no lo he hecho. Para ella está dedicado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dejado existir, por darme las capacidades que tengo y permitirme mejorar las que no poseo.

Agradezco al personal de mantenimiento de Durman Esquivel por el compañerismo brindado; a los ingenieros Julio Álvarez, Mario Chaves, José Luis Sequeira y Kendall Bustos, por su apoyo durante la elaboración de este proyecto.

A mi hermano Juan Carlos Badilla, a los señores José Arturo Muñoz, Luis Brenes, Bernardo Solano, José Cordero y a la señora Cecilia Alvarado, por haber confiado en mí y haber fungido como mis fiadores, pues sin su apoyo no hubiera podido costear mis estudios.

A mis compañeros de equipo, que con sus reclamos, me ayudaron a madurar y con su motivación a seguir adelante hasta alcanzar las metas propuestas. Con ellos aprendí que el trabajo en equipo no es importante únicamente para lograr campeonatos, sino también para reparar errores y replantear objetivos.

A todos mis profesores de la Escuela de Ingeniería en Electrónica y de las demás áreas, que con su enseñanza personal y profesional me ayudaron día a día a alcanzar este objetivo.

Además agradezco a todas aquellas personas que con su grano de arena me ayudaron y motivaron a seguir adelante.

A TODOS MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1. Descripción de la Empresa | 14 |
| 1.1.1. Antecedentes históricos de la empresa..... | 14 |
| 1.1.2. Mercadeo de ventas y distribución..... | 15 |
| 1.1.3. Diversificación | 16 |
| 1.1.4. Política de empresa..... | 16 |
| 1.1.5. Información actual de la empresa | 17 |
| 1.1.6. Descripción del departamento..... | 18 |
| 1.2. Definición del Problema y su Importancia..... | 20 |
| 1.3. Objetivos | 21 |
| 1.3.1. Objetivos generales..... | 21 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 22 |
| CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES | 23 |
| 2.1. Estudio del problema | 24 |
| 2.2. Requerimientos de la empresa | 30 |
| 2.3. Solución propuesta | 31 |
| CAPÍTULO 3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO | 32 |
| CAPÍTULO 4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN IMPLEMENTADA..... | 35 |
| 4.1. Descripción del Documento de Justificación | 36 |
| 4.2. Descripción del Sistema de Control Remoto | 40 |
| CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS | 42 |
| 5.1. Elección y Justificación del motor CA | 43 |
| 5.1.1. Necesidad de sustituir el motor de CD | 43 |
| 5.1.2. Elección del motor de CA..... | 46 |
| 5.1.2.1. Porqué un motor CA?..... | 46 |
| 5.1.2.2. Definición y justificación de las características requeridas por el motor | 48 |
| 5.1.2.3. Elección del Motor Definitivo | 51 |
| 5.1.3. Elección del Controlador para el Motor | 51 |
| 5.1.4. Rentabilidad económica de la inversión | 52 |
| 5.2. Descripción del Sistema de Control Remoto | 54 |
| 5.2.1. Explicación del Diseño | 54 |

| | | |
|--|---|-----|
| 5.2.2 | Explicación por Módulo | 55 |
| 5.2.2.1 | Módulo de Inicialización | 55 |
| 5.2.2.3. | Módulo de Control..... | 59 |
| 5.2.2.4. | Módulo de Programación | 60 |
| 5.2.2.6 | Módulo Gráfico | 64 |
| 5.2.3 | Alcances e importancia del programa | 72 |
| 5.2.4 | Limitaciones del software | 72 |
| CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | | 75 |
| 6.1. | Conclusiones | 76 |
| 6.2. | Recomendaciones | 77 |
| Bibliografía | | 78 |
| APÉNDICE A1 Documento de Justificación | | 80 |
| A1. | Máquinas Eléctricas..... | 82 |
| A1.1 | Conceptos Básicos..... | 82 |
| A1.2 | Motores Eléctricos | 83 |
| A1.3 | Flujo y sentido de giro | 84 |
| A1.4 | Pérdidas en los motores eléctricos..... | 85 |
| A1.5 | Características Nominales y Calentamiento..... | 86 |
| A2. | Motores de Corriente Continua..... | 89 |
| A2.1 | Constitución básica de un motor de corriente continua..... | 89 |
| A2.2 | Principios de Funcionamiento | 89 |
| A2.3 | Fuerza contraelectromotriz..... | 92 |
| A2.4 | Velocidad y torque del motor de CC..... | 93 |
| A2.5 | Mantenimiento de los motores DC | 96 |
| A3. | Motores de Corriente Alterna..... | 97 |
| A3.1 | Principio de funcionamiento | 97 |
| A3.2 | Factor de Potencia | 100 |
| A3.3 | Definición de los tipos de motores según las normas NEMA..... | 101 |
| A4. | Dispositivos estáticos para la regulación de motores | 104 |
| A4.1 | Controladores de velocidad para Motores DC | 105 |
| A4.1.1 | Regulación de velocidad de los motores utilizados en Durman Esquivel S.A... 106 | |
| A4.1.2 | Qué es un tiristor? | 107 |
| A4.1.3 | Reguladores EMERSON..... | 110 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| A4.2 | Controladores de velocidad para Motores de CA..... | 116 |
| A4.2.1 | Drivers para motores CA..... | 119 |
| A4.2.2 | Sistema de control DTC para motores de CA | 124 |
| A4.3 | Teoría Básica del controlador DTC | 126 |
| A4.3.1 | Lazo de Control del Torque | 126 |
| A4.3.2 | Lazo de Control de Velocidad | 129 |
| APÉNDICE A2 | Manual de Usuario del Software desarrollado | 131 |
| ANEXO B1 | Hojas de Datos del motor seleccionado..... | 155 |
| ANEXO B2 | Información Técnica del controlador ACS600..... | 159 |

Índice de Figuras

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 1.1 | Organigrama general de la corporación Durman Esquivel | 18 |
| Figura 2.1 | Fotografía de la máquina extrusora para la cual se realizó el proyecto | 24 |
| Figura 2.2 | Pila de enfriamiento, de la extrusora 11 | 25 |
| Figura 2.3 | Orugas de la máquina haladora..... | 26 |
| Figura 2.4 | Diagrama de bloques general para una máquina extrusora..... | 27 |
| Figura 4.1 | Diagrama de bloques del Sistema de Control Remoto..... | 41 |
| Figura 5.1 | Desarrollo a nivel mundial del mercado de los controladores de velocidad para dispositivos CA y DC, entre los años de 1995 al 2000. | 47 |
| Figura 5.2 | Familias del controladores ACS..... | 52 |
| Figura 5.3 | Diseño que se presenta cuando el sistema se encuentra en el proceso de inicialización..... | 56 |
| Figura 5.4 | Botones de control correspondientes al Módulo Principal | 58 |
| Figura 5.5 | Forma de los botones, con los cuales se puede incrementar o decrementar la velocidad de la máquina. | 59 |
| Figura 5.6 | Panel indicador del estado de las funciones del motor principal | 59 |
| Figura 5.7 | Muestra de tres de los cinco botones que se encuentran en la ventana de correspondiente al Módulo de Control. | 60 |
| Figura 5.8 | Pantalla principal del Modulo de Programación..... | 61 |
| Figura 5.9 | Información que se presenta para las zona de calentamiento | 62 |
| Figura 5.10 | Diseño de dos de los botones que contiene el Módulo de temperaturas | 64 |
| Figura 5.11 | Ejemplo de una curva generada por el Módulo Gráfico..... | 65 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Figura 5.12 | Diagrama de flujo del procedimiento para ubicar un bit..... | 67 |
| Figura 5.13 | Diagrama de flujo de los procedimientos para activar y desactivar un bit..... | 69 |
| Figura 5.14 | Diagrama de flujo de la función que determina si un bit esta activo..... | 71 |
| Figura A2.1 | Diseño equivalente a un motor elemental de CD | 90 |
| Figura A2.2 | Espira del motor elemental de CD..... | 90 |
| Figura A2.3 | Espira del motor elemental..... | 91 |
| Figura A4.1 | Estructura y símbolo del tiristor | 108 |
| Figura A4.2 | Representación esquemática de la estructura y símbolo del circuito eléctrico del tiristor y su modelo de dos transistores..... | 109 |
| Figura A4.3 | Circuito rectificador de onda completa. | 110 |
| Figura A4.4 | Funciones de onda positivas y opuestas de una línea de alimentación trifásica | 111 |
| Figura A4.5 | Forma de onda de salida del rectificador trifásico de onda completa para un ángulo alfa igual a cero..... | 112 |
| Figura A4.6. | Formas de la señal de salida del rectificador trifásico de la figura A4.3 para obtener un voltaje medio aproximado de 200 V..... | 113 |
| Figura A4.7 | Voltaje de salida del rectificador trifásico de onda completa para un ángulo ωt igual a 90° | 113 |
| Figura A4.8 | Forma de ondas de la corriente y el voltaje rectificado con el cual se obtiene un nivel de CD de cero voltios. | 115 |
| Figura A4.9 | Diagrama elemental de un convertidor de frecuencia | 116 |
| Figura A4.10 | Secuencia de conmutación de los interruptores semiconductores de un circuito inversor para generar una revolución en un motor CA..... | 117 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Figura A4.11 | Diagrama de bloques de un sistema de control PWM del tipo Control Escalar | 119 |
| Figura A4.12 | Diagrama de bloques de un sistema de control Flux Vector | 121 |
| Figura A4.13 | Diagrama de bloques de un sistema del tipo DTC | 123 |
| Figura A4.14 | Diagrama general básico del sistema de control DTC | 126 |
| Figura A4.15 | Diagrama de bloques del modulo del lazo de control de torque | 127 |
| Figura A4.16 | Diagrama de bloques del lazo de control de velocidad del sistema Direct Torque Control. | 129 |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tabla 5.1 | Relación de costos entre un motor de diseño NEMA tipo B vrs un motor tipo C, para diferentes tipos de construcción y potencia | 49 |
| Tabla 5.2 | Tiempos de respuesta del proceso de inicialización del sistema de control remoto. | 73 |
| Tabla A1.1 | Comparación de la temperatura admisible en grados centígrados de diferentes tipos de aislante, para diferentes tipos de motores. | 87 |

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción de la Empresa

1.1.1. Antecedentes históricos de la empresa

La historia de la empresa Durman Esquivel se remonta a 1959 cuando el señor Arthur Durman y su esposa Sylvia Esquivel, deciden importar de Holanda tubería de PVC (cloruro de polivinilo) para la construcción. Es así como nace la empresa Durman Esquivel S.A.

La idea consistía en introducir un producto que se ajustara a las necesidades de la época, donde se buscaba crear una especie de material que pudiera reemplazar el tradicional tubo galvanizado, el cual causaba problemas a la hora de la instalación; el primer uso que se le dio al tubo PVC fue para aislar los cables de las instalaciones eléctricas y no para la distribución de líquido como se tenía planeado.

Al inicio se presentaron problemas de aceptación en cuanto al tubo de PVC, esto debido a que existió resistencia al cambio por parte de la población nacional; además de la negatividad mostrada por parte de las instituciones gubernamentales en cambiar de tubo galvanizado a tubo de PVC.

Pasada la década de los sesenta el PVC fue plenamente aceptado, la empresa Durman Esquivel se dio a la tarea de crear tubos por medio de extrusión, consolidándose así su primer etapa.

Este proceso de fabricación mediante extrusión, inició sin experiencia previa e insuficientes recursos materiales y humanos. A pesar de estos problemas, gracias al esfuerzo del personal y la maquinaria extrusora con la cual se disponía, se llegó a producir tuberías de calidad para abastecer el mercado local.

En el año de 1977 la empresa decide ingresar al mercado internacional iniciando operaciones en Panamá. Luego continúa en Centroamérica a través de El Salvador, Guatemala y Nicaragua sucesivamente.

Posteriormente se incorporo tubería para baja y alta presión, abarcando tubos desde 12 mm de diámetro nominal hasta 450 mm, que es el mayor tamaño se puede extruir hoy en día.

Sin embargo el hecho más significativo de los últimos años a sido la adquisición por parte de la empresa Durman Esquivel, de la licencia de Rib Loc para toda Latinoamérica, la cual cubre la fabricación de tubos perfilados flexibles de PVC para el uso de sistemas de alcantarillado, el cual a sido un factor importante para la penetración de la empresa en mercados internacionales como el mexicano.

Debido al crecimiento presentado por la empresa y a las facilidades que la apertura de mercados que el mundo esta brindando, se decidió expandir el mercado de acción. Primeramente se instalaron subsidiarias en El Salvador, Panamá, Guatemala, Nicaragua, Honduras y México. Para luego incursionar en países como, Ecuador, Bolivia y Perú, además de las islas caribeñas

1.1.2 Mercadeo de ventas y distribución.

Entre los principales compradores nacionales del producto, sobresalen instituciones como:

- AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados)
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad)
- También son clientes importantes algunas compañías constructoras, responsables de proyectos de riego y ferretería.

Actualmente el 30% de la producción se dedica a la exportación, principalmente a América Central, México, Sudamérica y el Caribe

1.1.3. Diversificación

A partir 1984, la empresa decide diversificar sus actividades e ingresar a otras áreas productivas como lo es en el campo de la agricultura con el cultivo de mora y frambuesa para la exportación.

En 1986 inicia operaciones la empresa panel-ex, revolucionando el mercado con el producto de paneles y módulos, los cuales son utilizados para lograr la división de centros de trabajo.

Además la empresa ha incorporado diferentes productos y servicios en áreas como, venta, mantenimiento e instalación de bombas para agua y sistemas de riego, asesoría, consultaría y soluciones integrales del tratamiento de aguas residuales, y otros servicios adicionales.

Durman Esquivel, S.A. también tiene participación en el área financiera, turística, y agroindustrial como son: el Banco de San José, Hotel Fiesta, Tecnimaderas, Manga Rica, Mango Tico y Langostinos del Pacífico.

A partir de 1998, la organización inició un proceso de transformación que significó el cambio de una empresa de muchas actividades a una corporación con varias empresas; cada una con su especialidad. Esta nueva estructura se denomina Grupo Durman Esquivel.

1.1.4 Política de empresa

Todas las personas que laboran en Durman Esquivel S.A. lo hacen siguiendo los lineamientos de la siguiente política de calidad

”Todas y cada una de las personas que laboramos en DURMAN ESQUIVEL S.A. tenemos el compromiso permanente de ofrecer bienes u servicios que cumplan con los requisitos del Cliente, mantener la certificación de nuestro Sistema de Calidad y mejorarlo continuamente así como también velar por la rentabilidad de la empresa y el desarrollo del Recurso Humano”.

Gracias a esta política de calidad, es que Durman Esquivel se encuentra regida por las normas de la ASTM (American Society for Testing and Materials), UL (Underwrites Laboratories), que regula estrictamente la tubería tipo conduit para la exportación; es miembro de la NSF (National Sanitation Foundation) y actualmente ha adquirido la certificación ISO 9001 versión 2000; los lineamientos seguidos por la empresa Durman Esquivel S.A. para alcanzar esta meta fue bajo los siguientes objetivos.

❖ *Orientación al Cliente:* "Un compromiso con los clientes y el mercado. Ellos son quienes hacen que nuestro negocio exista".

❖ *Enfoque hacia la Empresa:* "Tener una operación rentable, trabajando en la racionalización de los gastos y los precios de venta del producto".

1. *Dirección hacia el Recurso Humano:* "Invertir hacia el Recurso Humano, ya que este representa nuestra mayor fortaleza".

1.1.5 Información actual de la empresa

El actual gerente de la empresa es el señor George Durman y la ubicación de la planta de producción de Durman Esquivel S.A. Costa Rica, es en San Gabriel de Calle Blancos, San José, en total la empresa cuenta con 650 empleados quienes trabajan para cumplir el compromiso permanente de ofrecer bienes y servicios que cumplan con los requisitos de los clientes.

En la figura 1.1 se muestra un diagrama que representa el organigrama general de la corporación Durman Esquivel, donde muestra las diferentes dependencias, gerencias y distribución organizativa para poder cumplir con las necesidades de todos sus clientes nacionales e internacionales.

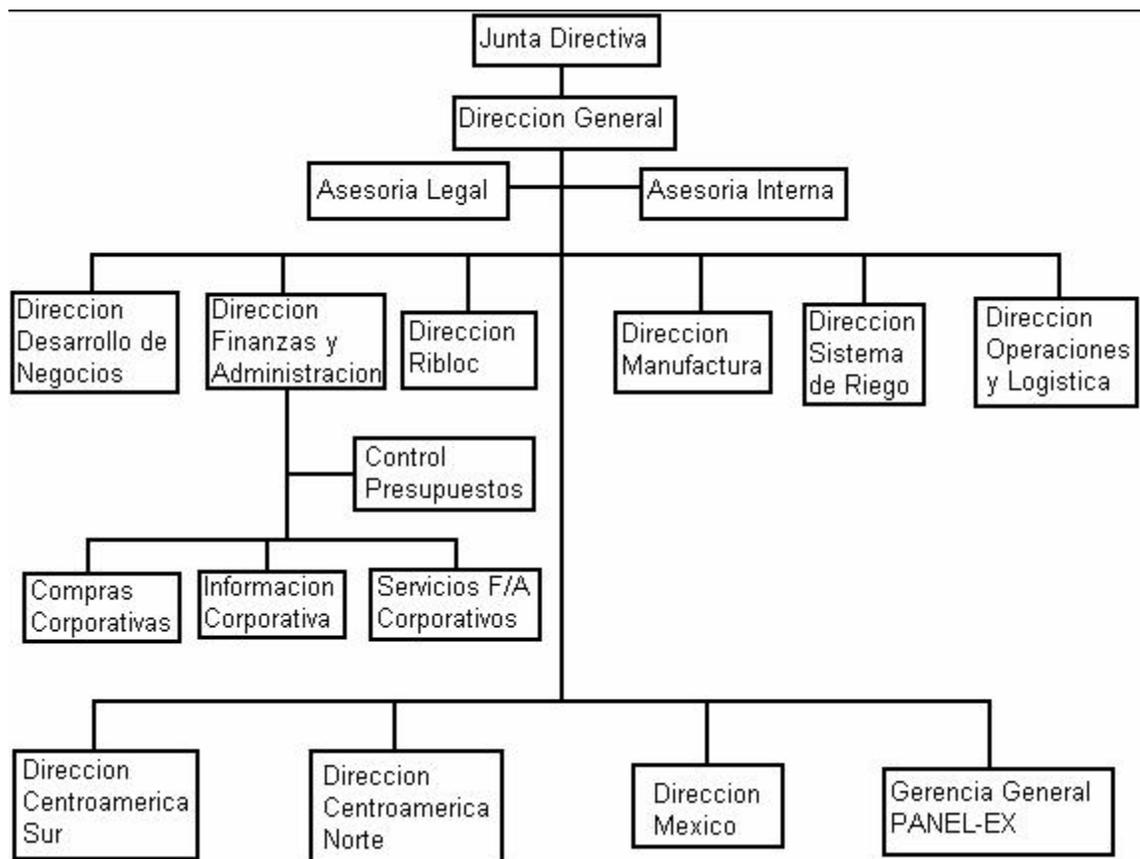


Figura 1.1 Organigrama general de la corporación Durman Esquivel

1.1.6 Descripción del departamento

Al ser Durman Esquivel una empresa de gran prestigio y gran capacidad de producción debe contar a su vez con una gran distribución organizacional tanto de dependencias, direcciones, gerencias y departamentos. Uno de esos departamentos es el Departamento de Mantenimiento, que es el departamento en cuál se realizó el proyecto de graduación.

El jefe general del departamento es el señor Julio Álvarez, el departamento en general se encarga del mantenimiento, supervisión y prevención de fallas, tanto para los equipos eléctricos, mecánicos e incluso la planta física.

Por las funciones que realiza, el departamento de mantenimiento se divide en diferentes dependencias como por ejemplo: mantenimiento eléctrico, mecánica industrial, mantenimiento preventivo e incluso bodega de suministros y mantenimiento de edificios. La dependencia en la cual se realiza el proyecto de graduación es la encargada del mantenimiento eléctrico donde Mario Chaves Duarte es el supervisor encargado.

Debido a la diversidad de actividades que realiza el departamento, la cantidad de personas vinculadas a él son un total de sesenta y cinco, las cuales tienen diferentes especialidades para cubrir cada una de las necesidades que se presenten. Pues existen ingenieros y técnicos eléctricos, especialistas de mecánica industrial, ingenieros de mantenimiento industrial y otros especialistas.

1.2 Definición del Problema y su Importancia

En resumen, fueron dos los problemas a resolver para la empresa Durman Esquivel S.A., el primero es el de investigar y encontrar en el mercado nacional o internacional un motor de corriente alterna que pueda sustituir al motor principal de corriente directa para una de las máquinas extrusoras, con esto la compañía pretende reducir gastos en los que respecta al mantenimiento de los motores CD y al costo de mano de obra que ello conlleva así como generar el documento en el cual se justifique y respalde la elección dada.

Como segundo problema a resolver, se planteó la elaboración de un programa computacional que fuese capaz de interpretar y mantener en forma constante un control de las variables que se presentan en el proceso de extrusión así como la posibilidad de alterar en forma remota a dichas variables, cuando se dé la necesidad del caso.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos generales

Investigar y encontrar en el mercado nacional o internacional un motor de corriente alterna y su controlador de velocidad, que sean capaces de sustituir a un motor de corriente directa en una máquina extrusora tipo KMD2-90Z de las utilizadas por la empresa Durman Esquivel.

Generar un programa computacional en el lenguaje de Programación Visual BASIC, capaz de comunicar una PC con el PLC de la máquina extrusora KMD2-90 Z vía puerto serial, para mantener un chequeo y control de las variables que influyen en el proceso de extrusión.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Analizar, investigar y conocer el funcionamiento preciso de una máquina extrusora tipo KMD2-90Z.
2. Investigar e interpretar cada una de las partes de la máquina extrusora que están directamente relacionadas con el motor principal de la máquina.
3. Determinar todas las características físicas y eléctricas que posee el motor principal de corriente directa de la máquina extrusora tipo KMD2-90Z.
4. Encontrar en el mercado nacional o internacional un motor de corriente alterna que sea capaz de sustituir al motor de corriente directa y que vaya a funcionar de igual manera en el proceso de extrusión.
5. Ubicar el mercado nacional o internacional un variador de frecuencia que sea capaz de controlar el motor de corriente alterna y se generen las condiciones de velocidad y torque deseadas.
6. Generar un documento que justifique con parámetros técnicos, económicos y tecnológicos las ventajas que presenta la sustitución de un motor de corriente directa por uno de corriente alterna.
7. Implementar en lenguaje de programación Visual Basic, un módulo de programa permita almacenar los eventos que influyen en el proceso de extrusión.
8. Implementar en lenguaje de programación Visual Basic, un módulo de programa que permita en cualquier momento que el usuario lo desee, variar en forma remota los parámetros que influyen en el desarrollo normal del proceso de extrusión.
9. Implementar en el lenguaje computacional un módulo capaz de interpretar los datos almacenados y presentarlos en forma gráfica.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 Estudio del problema

La empresa Durman Esquivel utiliza diferentes procesos para la elaboración de sus productos, ya sea con el proceso de inyección, de extrusión o por el Proceso Rib-Loc. Uno de los procesos productivos para la elaboración de tubos PVC (Cloruro de Polivinilo) es el proceso de extrusión, el cual se detallará a continuación.

Para hacer la mezcla para tuberías se utilizan aditivos comprados en el extranjero, el compuesto utilizado se obtiene mezclando los aditivos en el mezclador que se calienta previamente hasta alcanzar los 90 grados centígrados. La mezcla lograda se empaca en bolsones para transportarla hasta la extrusora o se almacena en los silos.



Figura 2.1 Fotografía de la máquina extrusora para la cual se realizó el proyecto

El proceso de extrusión se inicia cuando la mezcla es transportada hasta las tolvas de la máquina extrusora por medio de bombas de vacío. Las resinas caen luego en el dosificador o tornillo sin fin, el cuál las mueve hasta los dos tornillos que se encuentran colocados en el cilindro que esta cubierto por bandas de calentamiento.

Entonces al estar girando los tornillos y el material tener dichas temperaturas, se inicia el proceso de plastificación o licuefacción de la mezcla.

Los gases se extraen con una bomba de vacío y llega a comprimirse hasta el restrictor que es el adaptador para el cabezal. En el cabezal se encuentra el pin y el dado. El material al salir del cabezal pasa por el calibrador, el determina el diámetro exterior del tubo.

Una vez que el material es plastificado es necesario calibrarlo, ya sea por el proceso de vacío o por el proceso de empaque.

En la calibración por vacío el material aún caliente pasa por la primera pila de enfriamiento donde es succionado por una bomba de vacío hacia las paredes del calibrador lográndose de esta forma el diámetro exterior.

La calibración por empaque consiste en lo siguiente: cuando el material sale del cabezal pasa por el calibrador, entra en la pila de enfriamiento, en esta el material es abierto por un cuchillo y dentro es colocada una cadena que se sujeta a una varilla la cual es roscada al pin del cabezal. En el otro extremo la cadena tiene un empaque que es colocado dentro del tubo. Se le inyecta aire a presión y al inflarse las paredes del tubo rozan las paredes del calibrador, fijándose el diámetro externo.



Figura 2.2 Pila de enfriamiento, de la extrusora 11

Después de moldeado pasa a las pilas de enfriamiento donde es halado por una máquina de orugas que regula el espesor de la pared del tubo mediante el aumento y disminución de la velocidad. La velocidad de las orugas de la haladora es directamente proporcional a la velocidad del extrusor (que en términos generales es el motor principal).



Figura 2.3 Orugas de la máquina haladora

En este proceso cada tubo pasa por una impresora que rotula la leyenda que lleva cada tubo. Después de impreso, continua por una canoa, en donde contacta un micro-swict que envía la señal a una sierra que corta según el largo definido. Este proceso es similar para todos los tipos de tubos que se producen en extrusión.

Luego de cortado, el tubo es sometido a la operación de campaneado, por medio de esta operación se hace la forma de campana de acople en uno de los extremos del tubo. Terminada esta operación, los tubos se estiban en góndolas para luego ser transportados en montacargas hasta la bodega de producto terminado.

En cuanto al control de calidad, toda tubería debe cumplir con varias normas de la ASTM (Sociedad Norteamericanas para Pruebas de Materiales) ya que así lo establece la legislación de los materiales de construcción.

En este proceso de extrusión, la velocidad de operación del extrusor es generada por un motor CD que tiene las siguientes características:

Marca: General Electric

Modelo: 5CD18VA087B002

Serie : VP - 8 - 201 - NR

Potencia: 44 KW / 60HP

Velocidad : 2500 RPM

Voltaje de Armadura: 500VDC

Corriente de armadura 98.5 A

El torque del motor es transmitido directamente a la caja reductora, en la cual múltiples piñones y fases de engranaje reducen la velocidad y multiplican el torque, esta caja reductora esta conectada a la caja de distribución que posee al otro extremo dos ejes con una rosca sin fin, uno de los ejes gira en sentido de las manecillas del reloj mientras que el otro lo hace en sentido contrario.

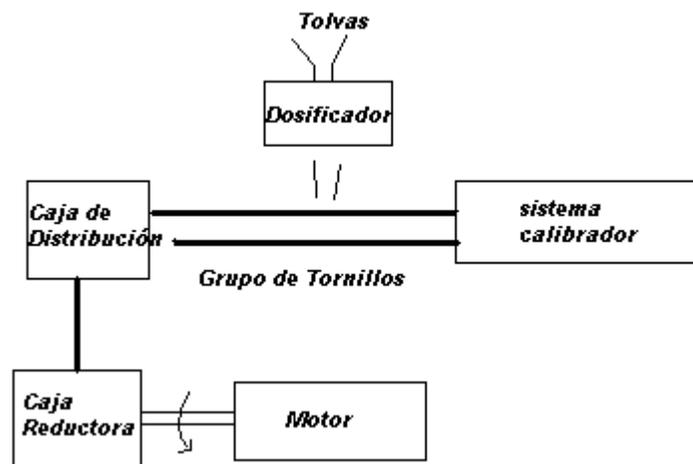


Figura 2.4 Diagrama de bloques general para una máquina extrusora.

La figura 2.4 es en forma simple, una representación en diagramas de bloques, del funcionamiento de la máquina extrusora.

Para el buen funcionamiento del sistema, el motor principal se está chequeando cada semana para verificar por ejemplo que las escobillas de cada motor están aún en buen estado. Los cambios de carbones del motor se realizan cuando sean necesarios, pues no es posible determinar con certeza el tiempo de vida que tienen, pues este depende de diferentes factores.

Además del problema anterior se presenta el agravante que la conversión de la corriente alterna a corriente directa para el funcionamiento correcto del motor disminuye el factor de potencia el cual debe ser corregido para cumplir con las normas industriales que obliga la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

Una forma de evitar estos y otros inconvenientes es mediante la sustitución del motor principal por un motor que opere con corriente alterna.

Control del Proceso de Extrusión

Para la operación de la máquina extrusora se utiliza una pantalla touch screen Easy View MT300, desde donde se puede poner la máquina en funcionamiento, al igual que se puede monitorear el valor actual de ciertas variables que influyen en el proceso de extrusión.

Las variables que son controladas o chequeadas desde la pantalla son la velocidad de extrusión o velocidad del motor principal y su consumo, velocidad del motor dosificador, corriente del motor, la velocidad de los husillos, la temperatura en las 19 diferentes zonas de calentamiento que son resistencias alimentadas con un voltaje alterno de 230 voltios y además e el touch screen se puede apreciar la velocidad del motor dosificador. A su vez desde esta misma pantalla se puede controlar o alterar los valores establecidos de las variables mencionadas.

Para realizar los cambios en un dispositivo específico se debe de elegir alguna de las opciones presentes en el menú de la pantalla, para que aparezca otro menú de opciones desde el cual se puede realizar los cambios. Existe una página de vista general desde la cual se puede tener acceso a otras páginas como lo son la página de control o puesta en marcha de la máquina, la página de monitoreo de temperaturas, la página de vista ampliada de datos y la página de los horímetros. Para realizar cambios en los valores de los dispositivos, se debe hacer referencia a la página de control donde mediante botones de aumento o disminución se ajustan las velocidades o temperaturas requeridas

El principal problema que presenta este sistema es que no tiene un modo de control en el tiempo, pues los datos no son almacenados y por tanto no es posible realizar un chequeo de las fluctuaciones que se presenten, lo que imposibilita ver la efectividad del sistema de proceso en cuanto a linealidad o control se refiere. En cuanto al control, éste se realiza mediante un sistema de on/off pues, por ejemplo el control de temperaturas se obtiene mediante un encendido de las resistencias de la zona de calentamiento cuando su temperatura disminuye a un mínimo y éstas resistencias se apagan cuando llegan un máximo.

2.2 Requerimientos de la empresa

El problema de contar con un motor de este tipo para la empresa es el constante chequeo que se debe hacer al mismo y a sus componentes, con tal de garantizar el funcionamiento de todo el proceso de extrusión, además del costo que genera hacer el cambio o reparación de las secciones que se dañan con mayor frecuencia; donde los principales causantes de defectos son los colectores y las escobillas, pues en los conmutadores se rozan continuamente las escobillas y el roce produce el desgaste de ambas partes, depositándose partículas de carbón de las escobillas en las ranuras de los colectores, llegando incluso a poner las delgas en cortocircuito. Por lo anterior, es que se debe periódicamente realizar una limpieza del colector y prestar una atención permanente al centrado de las escobillas.

Debe considerarse también que no se trata de un único motor el que presenta este problema sino que es uno por cada máquina extrusora.

En cuanto al sistema de monitoreo se mencionó que no es posible conocer que tan efectivo es, pues para hacerlo se debería indicar a alguien que tome los valores de las fluctuaciones y los momentos en que ocurren, todo esto en forma manual.

La empresa planteó que fuesen dos los objetivos generales del proyecto que debe realizar el estudiante.

El primero fue que se encontrara un motor de corriente alterna que fuese capaz de sustituir al motor principal de corriente directa que posee la máquina extrusora, a sus vez se ubicara el controlador de velocidad para dicho motor y generar un informe en el cual se justifique la elección realizada desde todos los puntos de vista posible, para que funcione como referencia o estudio de inversión para la adquisición de dichos aparatos.

Además de lo anterior se solicitó la generación de un sistema remoto el cual verificara y manipulara las variables que influyen en el proceso de extrusión, para la misma máquina extrusora y para los dispositivos con los que actualmente cuenta. Entre los parámetros a considerar estaban: monitoreo y manipulación de la velocidad del motor principal o velocidad de extrusión, chequeo constante de la corriente del motor, chequeo y control de la temperatura en las diferentes secciones del cañón de plastificación y la generación de una base de datos de los principales factores para mantener un control estadístico del proceso de operación.

2.3 Solución propuesta

Para cumplir con los requerimientos de la empresa, se generó una investigación previa de las características que posee el actual motor de corriente continua para así poder ubicar en el mercado nacional o internacional un motor de corriente alterna que sea capaz de realizar las mismas actividades que el actual motor, dicha investigación contribuye para la elaboración de un documento técnico (que se encuentra como Apéndice A1 al final del documento) , el cual servirá como base para que el personal del departamento de mantenimiento comprenda las características de ambos tipos de motores y que el personal financiero considere la viabilidad de la adquisición de los aparatos recomendados.

Para poder realizar el control remoto de las variables presentes en el proceso de extrusión se elaboró un software diseñado en el lenguaje de programación Microsoft Visual Basic, el cuál se comunica con el PLC de la máquina extrusora a través del protocolo de comunicación RS 485, utilizando las funciones DDE (Data Dynamic Exchange) con que cuentan ambos paquetes, el software utilizado para generar el programa de Control Remoto, es un producto distribuido y producido por la compañía Microsoft Corp.

CAPÍTULO 3
PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para poder tener el conocimiento necesario de una máquina extrusora y su proceso, se debió investigar en los manuales correspondientes a las otras máquinas extrusoras, pues el manual de la extrusora tipo KMD2-90Z, no brindaba toda la información deseada en cuanto a lo que es el funcionamiento de una máquina de ese tipo. Pero toda esta información no fue suficiente para iniciar el proyecto, por lo tanto fue necesario realizar entrevistas con los encargados de la manipulación y del mantenimiento de las extrusoras con el fin de conocer como es que toda la línea de extrusión se encuentra interconectada.

Las características físicas y eléctricas del motor principal se obtuvieron del catalogo de motores que posee el departamento de mantenimiento, el cual es un cuaderno en el que se realizaron anotaciones de las características, modelo y valores nominales del motor que fueron medidas con anterioridad.

La elección del motor de CA se trató de realizar enviando a diferentes proveedores, vía email las características del tipo de motor deseado, de los cuales solo se obtuvo respuesta de dos, pero no fue la respuesta esperada. Dado que por parte directa de los productores y distribuidores de motores no se pudo obtener los parámetros y presupuesto del motor deseado, se procedió a indagar a través de la internet cual es el tipo de motor que cumple con las características que se habían definido. Obteniéndose como resultado la elección de un motor marca Baldor modelo ZDM4115T.

Para definir las características del variador de velocidad, se debe elegir primero las características nominales del motor de CA, en un inicio se consideró la utilización de un variador PWM flux vector, pero en una entrevista con personeros de una empresa distribuidora de dispositivos de control, expusieron un nuevo tipo de variador denominado DTC (Direct Torque Control), el cual ha sido seleccionado para que realice el control de velocidad y torque del motor elegido.

Para realizar el documento de justificación solicitado por los personeros de la empresa Durman Esquivel S.A., se ha seguido una serie muy variada de métodos de investigación, desde entrevistas con especialistas en algún tema (ingenieros de mantenimiento industrial, técnicos de mantenimiento eléctrico, proveedores de mecanismos de control industrial y personal de proveeduría), investigación bibliográfica en libros, manuales y folletos, sin dejar de lado los conocimientos que se han adquirido durante el transcurso de la carrera de Ingeniería en Electrónica. La recopilación de toda la información se encuentra en el “Documento de Justificación” el cual puede leerse en el Apéndice A1, este documento se encuentra dividido en 4 secciones las cuales serán explicadas más adelante.

Para poder realizar el Sistema de Control Remoto, previamente fue recopilada la información del programa de control con que cuenta el PLC, se interpretaron algunas de las señales de control y el propósito de las variables que posee, además se realizó una prueba de comunicación con un PLC y un pequeño programa de Visual Basic utilizando la modalidad del intercambio dinámico de datos con que cuentan estos módulos. Además con el fin de desarrollar más habilidades de programación y conocer los alcances de las herramientas que posee Visual Basic, se realizó una serie de programas de pruebas antes de iniciar con la programación del Sistema de Control.

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN IMPLEMENTADA

4.1 Descripción del Documento de Justificación

Como ya ha sido mencionado el documento obtenido de la investigación elaborada, además de servir como manual de referencia para los técnicos de empresa, es la base para realizar la elección y justificación del motor de corriente alterna (la elección realizada y su justificación se encuentra en el capítulo 5 de este informe y el documento de la investigación en el apéndice A1) . Dicho documento se encuentra dividido en cuatro secciones que contienen información de las características generales de motores eléctricos de corriente alterna y de corriente directa, así como las características de los controladores para estos motores.

Las secciones con que cuenta el documento son las siguientes:

Máquinas Eléctricas

Conceptos Básicos: contempla una definición de lo que se conoce como máquinas eléctricas y una descripción de ellas.

Motores Eléctricos: contempla entre otras cosas la clasificación de los motores según su fuente de alimentación.

Flujo y sentido de giro: describe el principio de funcionamiento de las máquinas rotativas según las leyes de Faraday y Lenz.

Perdidas en los motores eléctricos: determina la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada (rendimiento) debido a los diferentes tipos de pérdidas

Características Nominales y Calentamiento: explica los problemas que se pueden presentar en un motor si sus devanados llegan a sobrecalentarse, la razón por la cual esto puede ocurrir, la definición y características de los diferentes tipos de aislante según las normas internacionales NEMA, así también el tipo de construcción de la carcasa del motor para su ventilación considerando los siguientes modelos:

Open Drip - Proof (ODP): Abierto a prueba de goteo.

Totally enclosed not ventiled (TENV): Totalmente cerrado, sin ventilación

Totally enclosed fan colled (TEFC). Totalmente cerrado, enfriado por abanico.

Totally enclosed blower cooled (TEBC): Totalmente cerrado, enfriado por sistema externo.

Para los modelos especificados arriba se menciona cuales son las características que cada uno de ellos presenta.

Motores de Corriente Continua

Constitución básica de un motor de corriente continua: contiene una descripción de las partes del motor, su constitución y características.

Principios de Funcionamiento: muestra de una forma sencilla como es que funciona un motor elemental de corriente continua, basándose también en lo expuesto en la sección de máquinas rotativas.

Fuerza contraelectromotriz: definición y naturaleza de la fuerza electromotriz

Velocidad y torque del motor de CC: en esta sección, a partir de la ley del trabajo mecánico definida por Isaac Newton se expone la fórmula matemática que describe la relación que existe entre el voltaje, la corriente, el torque y la velocidad en un motor de corriente directa.

Mantenimiento de los motores CD: se hace mención de las distintas causas de desperfecto que pueden presentar los motores de CD sobre todo en los que respecta al colector y a las escobillas así como una forma en que se solucionan estos problemas.

Motores de Corriente Alterna

Principios de funcionamiento: muestra de una forma sencilla como es que funciona un motor de corriente alterna, basándose también en lo expuesto en la sección de máquinas rotativas.

Factor de potencia: es una explicación de este importante factor, su relación energética con el motor de corriente alterna y con el coste económico resultante de un bajo factor.

Definición de los tipos de motores según las normas NEMA: características de las clases de motor según las normas internacionales NEMA con el fin de justificar posteriormente cual es el tipo de motor que se debe utilizar.

Dispositivos estáticos para la regulación de motores

Motores DC: da una descripción de los tres procedimientos más empleados para la regulación de la velocidad de los motores CD (modificando el flujo interno; ajustando las resistencias del circuito inducido y/o variando la tensión en los bornes del inducido)

Regulación de velocidad de los motores utilizados en Durman Esquivel: describe el principio de funcionamiento de los rectificadores trifásicos de onda completa y la función que desempeñan los tiristores. Enfocando en la explicación que suministran los controladores SPECTRUN de EMERSON o BETA II de BOSTON GEAR.

Qué es un tiristor?: describe el funcionamiento y características de los SCR's y el papel fundamental que juegan en la rectificación controlada. Esto con el fin de que el lector pueda comprender como es que las características de construcción del tiristor hacen que éste presente el comportamiento tan particular.

Reguladores Emerson : se da una explicación matemática de cómo se obtiene por este regulador un valor de CD (nivel medio) determinado. Con esta explicación el lector puede comprender cómo es que se definen los diferentes niveles de voltaje y además puede entender que representan las formas de onda a la salida del regulador.

Controladores de Velocidad para motores CA: se da una explicación de cual es la teoría básica de control para todos los dispositivos reguladores de velocidad, partiendo del principio de la modulación por ancho de pulso y el proceso de switcheo en un circuito inversor.

Drivers para motores CA: se muestran las diferencias existentes entre tres tipos de variadores de frecuencia más eficientes en el mercado como lo son los variadores Control Escalar PWM, los controladores PWM Flux Vector y los controladores Direct Torque Control.

Sistema de Control DTC para motores de CA: esta sección corresponde a una explicación del sistema de control directo de torque. Explica las diferencias entre éste y el control flux vector, además en esta sección se puede encontrar una explicación básica de su proceso en lo que respecta a los lazos de control de velocidad y de torque.

4.2 Descripción del Sistema de Control Remoto

La base para la realización del sistema de control fue la solución a los requerimientos del departamento de mantenimiento de Durman Esquivel. Pero se tomó como guía para la realización del aspecto gráfico de los módulos, las diferentes pantallas de visualización con que cuentan los sistemas de control de las diferentes máquinas extrusoras.

El programa en general se desarrolló lo más estructurado posible, generando un módulo diferente para una función diferente. Con suficientes comentarios en el código fuente para que pueda ser entendido con facilidad por alguna otra persona que tenga los conocimientos suficientes de programación, como para que sea capaz de cambiar o mejorar alguno de los procedimientos.

A grandes rasgos el programa cuenta con un módulo de inicialización, el cual se encarga de poner en un valor inicial las variables más importantes del mismo, a la vez este módulo se encarga de realizar una verificación del sistema con el fin de determinar si el éste “se encuentra en línea” o sea si existe conexión entre el PLC y la PC.

También posee un módulo de control interno, el cual se encarga del almacenamiento y verificación de las señales provenientes del PLC, ya sean señales de proceso o señales de control. Posee además un módulo de control externo; el cual es el encargado de leer todas las variantes que introduce el usuario, este módulo presenta únicamente las variables que el usuario pueda alterar y tiene además un sistema de seguridad para aquellas variables del proceso que solo pueden ser alteradas por el personal capacitado.

En el programa de control, existen diferentes pantallas de despliegue de información, cada una para una función específica, con esto se asegura un mayor orden en lo que respecta a la programación estructurada.

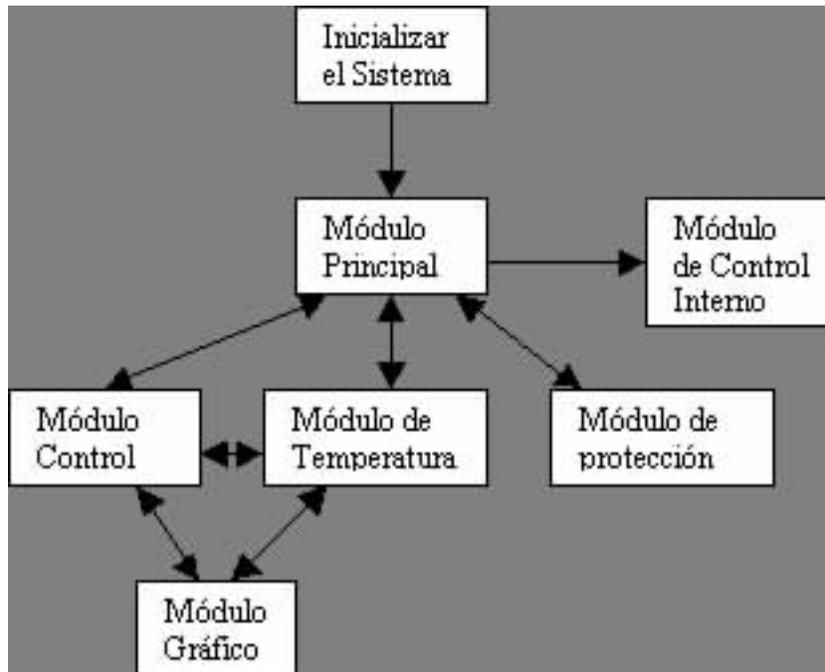


Figura 4.1 Diagrama de bloques del Sistema de Control Remoto.

El diagrama anterior corresponde a la lógica seguida en lo que respecta a la interacción entre módulos. Se puede apreciar que el programa en sí, depende del sistema de inicialización, si existe alguna falla en este, el sistema no se ejecutará.

La interacción entre módulos es bidireccional, con excepción del módulo de control interno, el cuál responde a las ordenes que se le dé a través del módulo principal, este módulo toma decisiones que pueden influir en las decisiones de uno u otro módulo, pero no los afecta directamente.

Este diagrama de bloques fue la base de la cual se partió para desarrollar el Sistema de Control Remoto.

CAPÍTULO 5
ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Elección y Justificación del motor CA

La siguiente información es el fruto del documento de investigación generado durante el desarrollo del proyecto de graduación y el cuál se encuentra colocado como apéndice 1 al final de este informe.

5.1.1 Necesidad de sustituir el motor de CD

La principal y razón fundamental por la cual se debe sustituir el motor principal de la extrusora Ex 11 o cualquiera de las demás, es el hecho relacionado al mantenimiento, ya sea preventivo, predictivo o correctivo que conlleva dicho motor.

El mantenimiento preventivo consiste en la inspección, limpieza y ajuste del motor en intervalos regulares. Los intervalos de la inspección regular dependen de las condiciones de operación de la maquinaria, los altos costos por mantenimiento correctivo o reparación de averías solo se logrará disminuir con un buen mantenimiento preventivo. La experiencia y el control de los resultados de la inspección y la acción de mantenimiento, son la mejor guía para predecir posibles averías.

El manual “Supplemental Manual KMD 114-26 “ para la extrusora Ex 01, hace referencia al siguiente mantenimiento preventivo únicamente para el caso del motor principal.

“Inspeccione las escobillas por la unión de los portadores de escobillas, para verificar un posible uso excesivo, irregular o daños. Al extremo de las escobillas hay un indicador de uso. Cuando el marcador del indicador alcanza la cima de la caja del porta escobillas, deben reemplazarse las escobillas.

La presión del escobillas está correctamente estabilizada de fábrica y debe mantener el valor correcto a lo largo de la vida de las escobillas por medio de un sistema de presión constante. Las escobillas y los poseedores de escobillas deben estar limpios para que las escobillas estén libres de entrar en los porta escobillas.

Reemplace las escobillas con equipo original. Cambie las escobillas únicamente al grado recomendado por el fabricante.

Debe instalarse el motor y generador donde puedan estar listos para una rápida acción de inspección y mantenimiento.

Los sujetadores deben ser inspeccionados regularmente y mantenerse firmes.

Mantenimiento del equipo, problemas y posibles solución

Motor: Suciedad acumulada de grasa y aceite. Limpie como sea requerido con los solventes apropiados.

Escobillas: Longitud mínima, daños, uso excesivo o irregular o movimiento libre. Pula o reemplace las escobillas que lo requieran.

Sujetadores de Escobillas: Insuficiente tensión o resorte roto. Ajuste la tensión o reemplace le resorte.

Conmutador: superficie irregular, sucia, áspera o excéntrica. Limpie, pula o remueva y pula.

Cojinetes: Sobrecalentados o ruidosos. Relubrique o reemplace si es necesario.

Filtro de aire: Suciedad aceite u otros, aceite acumulado. Reemplace el filtro”

Todas estas consideraciones son tomadas en cuenta por el departamento de mantenimiento cuando realizan semanalmente las labores de “Mantenimiento preventivo” del motor y de la máquina extrusora en general.

Para poder realizar el mantenimiento preventivo y correctivo del motor principal de alguna de las máquinas extrusoras, actualmente se está requiriendo un tiempo mínimo de 1.5 horas a la semana (el gasto que se incurre con esta revisión no es solo en el costo de horas hombre sino también en pérdidas de producción al estar la máquina parada, para realizar las labores de forma segura).

Los motores CD a diferencia de los motores CA poseen partes que se desgastan con el tiempo, la cantidad y el tiempo de desgaste depende en mucho del trabajo que realicen y el tiempo de operación.

Los carbones o escobillas del motor de corriente directa son la principal y más común pieza de reemplazo y mantenimiento de estos motores. La mayor parte del mantenimiento preventivo que se realiza al motor esta centrado en el cuidado y verificación de los carbones, considerando que se encuentren correctamente alineados para un mejor contacto con el colector, así cómo, que la tensión de los porta escobillas sea la requerida, además de que su superficie este lo suficientemente pulida para evitar chisporroteo, sin olvidar el medir la cantidad de desgaste que han sufrido los carbones para determinar su posible sustitución. Actualmente en la práctica de mantenimiento preventivo se está haciendo en promedio una sustitución de carbones cada tres meses y medio, con el fin de evitar que el desgaste de carbones llegue a su límite y se presenten posibles daños mayores.

Además de lo anterior una vez al año se realiza una limpieza total del motor, en la cual, la atención se centra en la limpieza y revisión del rotor y el colector. En este mantenimiento anual, se debe chequear el desgaste de los conmutadores, realizar una limpieza de carbón u otro material que se pueda encontrar entre las ranuras de los colectores para prevenir posibles cortocircuitos, además, se pule la superficie de los colectores que hace contacto con las escobillas y se alinean los portaescobillas. Para realizar esta labor el departamento de mantenimiento, solicita un tiempo de paro para la máquina de 24 horas.

5.1.2 Elección del motor de CA

5.1.2.1 Porqué un motor CA?

Como se expone en las secciones del documento de Investigación (que se encuentra en el apéndice A1), en los motores CD los principales causantes de defectos son los colectores y las escobillas. La única forma de evitar este inconveniente es con la utilización de motores que no los posean y para ello los motores a utilizar deberían ser los que operan con corriente alterna, donde la única fuente de alimentación externa es a través del estator. Los motores de corriente alterna son utilizados en gran medida en los hogares porque son de construcción más simple, lo que los hace más baratos, además que el sistema de alimentación suministrado por las empresas distribuidoras de energía eléctrica (como la CNFL) es corriente alterna. Actualmente se están empleando cada vez más en la industria (ver figura 5.1), debido a su bajo costo y además que por la forma en que están contruidos precisan de un menor mantenimiento y con esto llegan a tener una vida útil más larga.

Para ejemplificar numéricamente las anteriores consideraciones, el costo de un motor de corriente directa de 60 HP y con una velocidad nominal de 1750 r.p.m. es de \$10358 y un motor de corriente alterna con las mismas características tiene un valor de \$4373 (considérese el ejemplo como motores tipo B, TEFC), o sea costo del motor CD es del 236.86% de lo que vale el motor AC⁰. En cuanto a la vida útil del motor se ha determinado en forma estadística que por ejemplo un motor CD operando al 80% de su capacidad, 24 horas diarias, tendría un tiempo de vida de 12 años, a diferencia de un motor de corriente alterna que se considera su tiempo de vida útil como eterno (si no se presenta alguna situación fuera de lo común.

⁰fuelle catalogo “BALDOR industrial motor”

Anteriormente cuando se requería de un funcionamiento a velocidad variable no eran considerados los motores CA pues los mecanismos necesarios variar la velocidad de estos motores, eran mucho más complejos que los requeridos para variar la velocidad en un motor CD.

El diagrama de la figura 5.1 se muestra el desenvolvimiento de los controladores de velocidad variable en el mercado mundial. Como se puede ver el mercado mundial para dispositivos de control para máquinas de corriente alterna a venido aumentando y la utilización de los controladores para motores de corriente alterna se esta desarrollando cada vez más.

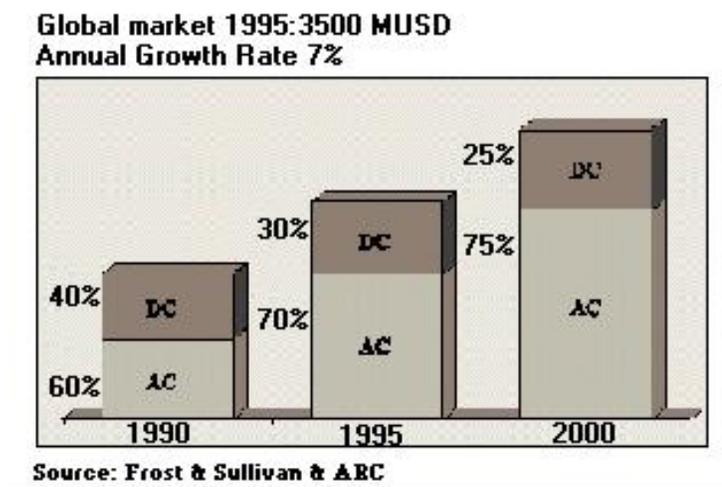


Figura 5.1 Desarrollo a nivel mundial del mercado de los controladores de velocidad para dispositivos CA y DC, entre los años de 1995 al 2000.

De la figura se puede apreciar que entre 1990 y 1995 el crecimiento del mercado para controladores para maquinas CA fue de prácticamente un 10 % anual, mientras tanto la adquisición de dispositivos que utilizan motores de corriente directa esta disminuyendo y por tanto el tamaño del mercado de los controladores para este tipo de aparato ha permanecido aproximadamente constante. Este estancamiento en los controladores DC es debido al desarrollo en la tecnología que se está alcanzando para los controles CA.

Como es expuesto en la sección 4 del documento de Justificación, los controladores CA presentan muchos beneficios sobre otros tipos de procesos de control. Pero la razón principal del cambio que se ha venido dando es debido a que el motor DC tiene como mecanismo conmutador, un sistema de escobillas que necesitan un mantenimiento regular y la conmutación entre ellos complican la estructura del motor y el consumo de energía, situación que no se presenta en los motores de corriente alterna.

5.1.2.2 Definición y justificación de las características requeridas por el motor

Para que la inversión de adquirir un motor de corriente alterna sea económicamente rentable el motor por adquirir debe cumplir eficientemente con las funciones que actualmente realiza el motor de CD; por lo que la potencia necesaria de este motor debe ser cercana a los 60 HP pues necesitará la misma fuerza de trabajo, dado que será alimentado con una tensión de línea de 460 V, debe soportar una corriente a plena carga de 58A y la velocidad nominal del motor debe ser cercana a los 1800 r.p.m.

De la información obtenida de la investigación realizada, se concluye que:

El diseño NEMA del motor debe ser tipo B, este tipo de diseño de motor es conocido como “de propósito general”, su comportamiento será muy eficiente para el trabajo requerido pues aquí (en la planta Durman Esquivel S.A.) el arranque de las extrusoras se realiza generalmente sin carga y lo que se conoce como el hilado de la tubería, se realiza a media potencia. Por estas características es que se recomienda utilizar este tipo de motor.

No se recomienda usar un motor clase A, porque su característica arranque (elevada tensión de arranque) no es necesaria y es más recomendable en aquellos sistemas que presenten sobrecargas ocasionales, además son diseñados para potencias pequeñas (menores a 10 HP) o superiores a 200 HP.

Tampoco se recomienda utilizar un motor tipo NEMA C porque debido a las características mencionadas en la sección de “Motores de Corriente Alterna” presentan un diseño especial, por consiguiente eleva su precio y además que las ventajas que presenta no son tan necesarias en este caso. En la tabla 6.1 que se presenta a continuación se muestra la relación económica entre el costo de los motores tipo B y los tipo C.

Tabla 5.1 Relación de costos entre un motor de diseño NEMA tipo B vrs un motor tipo C, para diferentes tipos de construcción y potencia

| Diseño NEMA | Potencia (HP) | Velocidad (r.p.m.) | Eficiencia (%) | Construcción de carcasa | Costo (\$) | Diferencia porcentual |
|-------------|---------------|--------------------|----------------|-------------------------|------------|-----------------------|
| B | 2 | 1.725 | 84 | ODP | 252 | 32 |
| C | 2 | 1.725 | 84 | ODP | 333 | |
| B | 30 | 1.765 | 92,4 | TEFC | 1.934 | 29 |
| C | 30 | 1.770 | 93,6 | TEFC | 2.503 | |
| B | 60 | 1.780 | 93,6 | TEFC | 4.830 | 37 |
| C | 60 | 1.780 | 94,1 | TEFC | 6.648 | |

0

Por último el motor tipo D no fue recomendado pues el torque de arranque elevado no es requerido, este motor sería más útil si se utilizara para alguna prensa hidráulica y las características generales que se desean del motor es que tenga un torque normal y baja corriente de arranque, características que se cumple en motor tipo B. (Cualquier duda hacer referencia a la sección “ Motores de Corriente Alterna; Definición de tipos de motores según normas NEMA)

La clase de aislamiento térmico del bobinado del motor puede ser del tipo B, F o H, pues cualquiera cumple con los requisitos necesarios.

⁰ Referencia Catalogo N° 391 de GRAINGER para 2000-2001

En cuanto al sistema de construcción de la carcaza, es necesaria que esta posea un diseño con ventilación por lo cual no se debe utilizar un motor TENV, entonces solo queda elegir entre un motor con ventilación del tipo ODP, TEBC o TEFC.

El diseño de la carcaza no puede ser del tipo ODP pues se llenaría internamente de la impurezas del ambiente en que se labora aquí, no podría utilizarse un motor con ventilación TEFC porque cuando se disminuya la velocidad del motor se reducirá la cantidad de ventilación que se esta agregando al motor. Por todo lo anterior es requerido un motor de construcción tipo TEBC con el fin de asegurar una ventilación interna constante del motor y con ello un enfriamiento constante. (Cualquier duda acerca de las características de estos tipos de construcción, ver en el documento del apéndice A1 la sección “Máquinas rotativas; Características Nominales y Calentamiento”)

Conclusión

En conclusión el motor requerido debe poseer las siguientes características:

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Potencia: | cercana a 60 HP |
| Corriente nominal: | 58 A |
| Velocidad: | 1800 r.p.m. |
| Diseño NEMA tipo: | B |
| Aislamiento : | tipo F |
| Construcción de la carcaza: | TEBC |

5.1.2.3 Elección del Motor Definitivo

Las características anteriormente mencionadas son satisfechas por el motor tipo ZDM4115T, producido y distribuido por la compañía BALDOR, fabricante de motores, drivers y generadores eléctricos..

Las características de este motor son: potencia de 50 HP o sea 37.5 KW, alimentación trifásica de 230 o 460 voltios; frecuencia nominal de operación de 60 Hz; velocidad nominal de 1775 r.p.m.; diseño NEMA tipo B y aislamiento tipo H, su carcasa es totalmente cerrada y ventilada a través de un sistema externo.

Además de lo anterior la razón por la que se eligió este motor, fue porque está diseñado para ser utilizado en aplicaciones que requieren velocidad de operación variable, además puede suministrar un torque máximo hasta velocidad base cero y potencia constante a máxima velocidad. Estas características satisfacen las necesidades requeridas.

Para más información de este motor refiérase al anexo B1 de este documento o diríjase a la página web www.baldor.com.

5.1.3 Elección del Controlador para el Motor

En el documento de investigación existe una sección dedicada a los controladores o variadores de frecuencia para motores CA (sección 4). En esta sección se hace referencia a los diferentes tipos de controladores existentes en el mercado. Con la información que se incluye en esta sección, se concluye que el mejor variador de frecuencia para controlar el motor tanto en torque como en velocidad, es el controlador ABB del tipo DTC (Direct Torque Control).

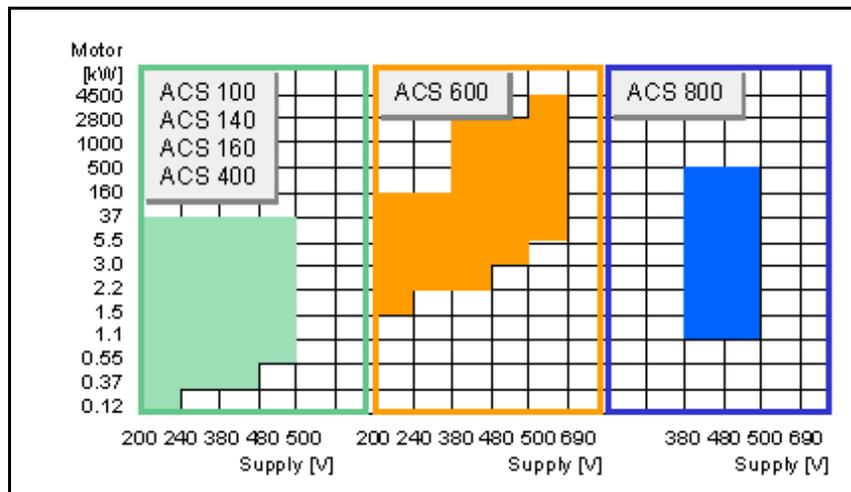


Figura 5.2 Familias del controladores ACS

De la figura mostrada en la página anterior se concluye que el tipo de controlador para el motor ZMD4115T es el ACS 600, debido a que éste puede controlar motores con potencias de 50 HP y un voltaje de alimentación de 460 voltios.

Este variador tiene la característica de poder controlar el torque del motor a muy bajas velocidades, con el inconveniente de que pierde eficacia a frecuencias de operación superiores a los 90 Hz, pero el motor elegido a una frecuencia de 82 Hz alcanzaría una velocidad de 2426 r.p.m., que es más que suficiente para las necesidades del proceso.

5.1.4 Rentabilidad económica de la inversión

Inversión inicial

| | |
|---------------------------|----------------|
| Costo del motor | \$5264 |
| Costo del controlador | \$20000 |
| Total de inversión | \$25264 |

Ahorro en gastos por mantenimiento

Ahorro en tiempo de mantenimiento semanal del motor = 1.5 horas

Ahorro en tiempo del mantenimiento anual del colector = 24 horas

Ahorro anual por tiempo de mantenimiento = 102 horas

Ahorro en el pago de horas hombre por concepto de mantenimiento ¢122400

Ahorro anual de repuestos (escobillas y varios) = \$ 450

Al no requerir el motor de CA del mantenimiento que se tiene con el motor CD, se podría anualmente producir 27030 kilogramos de material de más (dado que actualmente se procesan 265 Kilogramos de material por hora)

Actualmente el costo de producir un kilogramo de material es de 300 colones y la rentabilidad que se obtiene es del 30%, por tanto de la inversión se obtendría un ingreso por producción de ¢2432700.

| | |
|------------------------------------|------------------|
| Ahorro en pago horas hombre | \$ 330.81 |
| Ahorro de repuestos | \$450 |
| Ingreso por concepto de producción | \$6574.86 |
| Total de ingresos | \$7355.67 |

Tiempo de recuperación de la inversión

$$\frac{\text{salidas}}{\text{entradas}} = \frac{25000}{7355.67} = 3.4 \text{ años}$$

Este tiempo de recuperación es el equivalente a tres años y cinco meses.

5.2 Descripción del Sistema de Control Remoto

En el programa de control, existen diferentes pantallas de despliegue de información, cada una tiene una función específica y están catalogadas como módulos distintos, con esto se asegura un mayor orden en lo que respecta a la programación estructurada.

En el apéndice A2 se encuentra en “Manual de Usuario” del programa de control, en este manual se puede apreciar en forma reducida, la apariencia de cada una de las paginas gráficas del programa, la lectura de este apartado del informe, puede ser complementada con la lectura del manual de usuario. Este manual detalla la secuencia de pasos a seguir para ejecutar algunas de las funciones así como los problemas que se puedan presentar

5.2.1 Explicación del Diseño

El programa de Control Remoto se compone de 8 módulos: un módulo de Inicialización, un módulo Principal, un módulo de Temperaturas, un módulo de Control de velocidad del proceso, un módulo Gráfico para generar la gráfica de resultados, un módulo de Alarmas, un módulo Programación y un Módulo Manipulador de Datos.

Para realizar el control y chequeo de datos el sistema, mantiene una comunicación constante con el PLC para conocer el valor de ciertas variables y el estado de los algunos de los bits. En términos generales el programa se encuentra muestreando un total de 69 variables y 86 bits.

De las variables muestreadas, sobre 44 de ellas se tiene un control permanente y automático de cambios que se presenten, estas variables corresponden a los valores de velocidad del motor principal, del motor dosificador y de los husillos, además de la corriente del motor principal, la temperatura de plastificación, presión de los tornillos y los valores de la temperatura de proceso y la

programada para cada una de las 19 zonas de calentamiento.

De las variables que se tiene control, 24 se encuentran seleccionadas en modo de Notificación, estas variables son atendidas únicamente cuando ocurra un cambio en el valor del dato contenido en dicha variable.

Las variables de notificación son el valor máximo permisible de corriente en cada una de las zonas de calentamiento, el valor programado como de precaución y paro para la corriente del motor, así también para la presión de los tornillos y el valor mínimo de temperatura de plastificación para permitir que el sistema arranque.

De los 89 bits de los que se tiene control, 52 corresponden a la totalidad de las posibles causas de activación de alarma, sobre estos bits no existe manipulación alguna y el sistema lo único que hace es interpretar cuando alguno de ellos se encuentra activado para informar al usuario. Para encender o apagar las zonas de calentamiento se requiere activar uno de 19 bits que indican cual zona debe estar encendida y cual no, por lo que sobre estos si existe manipulación. Los bits restantes (18), también son bits manipulables, que corresponden a las señales de incremento y decremento de velocidad del motor principal, del motor dosificador y del motor de la haladora, además de las señales de incremento y decremento simultáneo de estos motores, también entre estos bits están las señales de encendido y apagado de los diferentes motores y de la bomba de vacío, así como la señal para el restablecimiento de las alarmas.

5.2.2 Explicación por Módulo

5.2.2.1 Módulo de Inicialización

Este módulo es el encargado de inicializar todos los parámetros del programa, invoca a diferentes procedimientos en los demás módulos para inicializar las variables que cada uno necesita, así también hace un muestreo del estado de la máquina para determinar cual es el estado (encendido o apagado) de la misma.

Antes de realizar todo esto, el módulo de inicialización ejecuta el programa DSDData-DirectSoft32, el cual es un programa de marca registrada, elaborado por la compañía Host Engineering Inc. Con este programa es posible acceder a la información que contiene el PLC.

El avance del proceso de inicialización se representa en forma de una barra que se va desplazando a medida que cada una de las variables de los diferentes módulos son accedidas, con esto el usuario puede darse cuenta que porcentaje del proceso de inicialización se ha llevado a cabo.



Figura 5.3 Diseño que se presenta cuando el sistema se encuentra en el proceso de inicialización

Existen dos problemas que se pueden presentar durante el proceso de inicialización. El primero es que el programa Data Server no se inicialice en el tiempo previsto y no se pueda realizar la primera lectura de información y el segundo problema que se puede presentar es que no exista respuesta en la lectura de datos cuando el Data Server si esta funcionando, esto ocurre debido a que el cable de comunicación no esta debidamente conectado. Para ampliar información refiérase a la sección respectiva del manual de usuario.

5.2.2.2 Módulo Principal

Esta es la ventana que aparece después de que el sistema se ha inicializado, en esta ventana así como en las demás, se muestra en la derecha los datos correspondientes a la velocidad del motor principal, de los husillos (tornillos) y del motor dosificador, además de la corriente en el motor principal, la presión en los husillos y la temperatura de plastificación en el proceso. Desde esta ventana se puede conocer el estado de encendido o de apagado del motor principal y del motor dosificador pues existen una figura para cada motor que se encuentra animada únicamente cuando el motor respectivo se encuentra encendido.

Cuando existe un cambio en alguno de los datos anteriores, se invoca un procedimiento que actualiza esa información en los demás módulos del programa, así se evita tener dos o más “objetos” direccionados a una misma posición de memoria, este método hace el sistema más rápido en comparación a que si el enlace de cada dato se hiciera directamente desde cada módulo.

Este módulo es el que contiene el procedimiento de control de alarmas, el cual es activado cuando existe un cambio en uno de los bits de alarma, cuando esto sucede el sistema interpreta cual es el bit que se activó, de esta forma puede generar el o los mensajes que corresponden a las alarmas activas, hecho esto, invoca al Módulo de Alarmas que se encarga de desplegar los mensajes de alarma, para que sean atendidos por el usuario, el Módulo de Alarmas contiene un botón que cierra la ventana, Cada vez que se generen señales de alarma, el módulo se activa y presenta los mensajes, si el usuario no ha cerrado la ventana de Alarmas antes de que se presente una nueva, el Módulo de Alarmas actualiza automáticamente los mensajes.

También, desde este módulo se hace el muestreo de datos de proceso, los cuales son almacenados en diferentes archivos, el muestreo se realiza cada 30 segundos y junto con el dato, en los archivos se almacena la fecha y hora actual. Esta información es utilizada por el Módulo Gráfico para generar las curvas que representan el comportamiento histórico de los datos.

La página gráfica de este módulo, tiene en su parte inferior cinco botones los cuales se muestran en la figura 5.4. El primero de ellos de izquierda a derecha corresponde al control de apagado de la extrusora, ya que por seguridad no se permite encender la extrusora en forma remota (la imagen que se presenta corresponde a la representación del estado del máquina cuando se encuentra apagada). El segundo botón, despliega la ventana correspondiente al Módulo de Control. El tercer botón, se utiliza para solicitar la clave de acceso al Módulo de Programación. El cuarto botón, muestra la ventana correspondiente al Módulo de Temperaturas. El quinto botón genera la señal para el restablecimiento del sistema de alarmas.



Figura 5.4 Botones de control correspondientes al Módulo Principal

Además de lo anterior en este módulo existe una etiqueta denominada Lbl_DDE, la cual es utilizada como medio para acceder a alguna posición de memoria no establecida en otra parte, pero principalmente es utilizada por los procedimientos del Módulo de Manipulación de Datos .

5.2.2.3. Módulo de Control

Desde este módulo se pueden encender y apagar el motor dosificador y la bomba de vacío, así como apagar el motor principal; además se puede incrementar o decrementar la velocidad de los motores, ya sea de forma independiente o simultáneamente. Para realizar estas funciones, el sistema cuenta con 9 botones, los cuales tienen una función implementada para que al colocar el mouse sobre alguno de ellos, se despliegue un mensaje que indica cual es la función de cada uno.

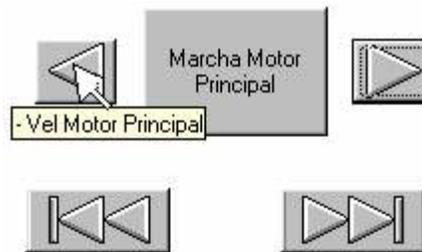


Figura 5.5 Forma de los botones, con los cuales se puede incrementar o decrementar la velocidad de la máquina.

Existe en esta ventana unos indicadores que se muestran encendidos cuando alguien desde el sistema remoto o desde la touch screen en la máquina extrusora está ejecutando alguna de las funciones, existe un indicador para el motor principal, para el dosificador y para la bomba de vacío que se muestran encendidos (de color rojo) cuando alguno de esos aparatos esta operando.



Figura 5.6 Panel indicador del estado de las funciones del motor principal

En la figura anterior se puede reconocer según la información que se muestra, que el motor principal se encuentra encendido y las señales de incremento o decremento de velocidad no se encuentran activadas.

En la parte inferior de la ventana además de los botones de apagado del extrusor y de restablecimiento de alarmas que se encuentra en todos cuatro módulos principales, existe un botón que retorna al Módulo Principal, un botón que invoca al Módulo Gráfico y un botón que invoca al Módulo de Temperaturas



Figura 5.7 Muestra de tres de los cinco botones que se encuentran en la ventana de correspondiente al Módulo de Control.

Existe además al igual que la touch screen un procedimiento desde el cual se activan los parámetros en el PLC para encender o apagar una máquina haladora, así como incrementar o decrementar su velocidad, ya que esto actualmente no se está realizando, estos procedimientos quedan planteados para un posible uso futuro, para que puedan ser utilizados. Para que estas funciones puedan desarrollarse, se debe en este módulo, habilitar como visibles los botones correspondientes al control de la haladora, esto se debe hacer desde el propio código fuente del programa.

5.2.2.4. Módulo de Programación

Este módulo tiene la finalidad de programar en el PLC los parámetros de protección y de precaución para la máquina extrusora.

Como parámetros de precaución se considera un valor de corriente del motor principal y un valor de presión de los tornillos que el usuario programa. Generalmente este valor ronda el 85% del valor máximo permitido.

Como parámetros de protección o paro además de los anteriores esta el dato de la temperatura de fusión el cual es el valor mínimo de temperatura que debe tener el cañón para que el proceso de extrusión pueda iniciar. La figura 5.8 representa parte de la página gráfica de este módulo y se puede apreciar claramente como están definidos cada uno de los parámetros mencionados.

En el manual de usuario ubicado como apéndice A2, se puede leer cual e la secuencia de pasos a realizar para alterar uno de estos parámetros.

| <u>PARÁMETROS DE PRECAUCIÓN Y PROTECCIÓN DEL EXTRUSOR</u> | | | |
|---|-------------------|--------------------|------------------|
| DATO | CORRIENTE | PRESIÓN | TempFUSION |
| PROCESO | 64 | 2664 | - |
| PRECAUCIÓN | <u>95</u> | <u>5800</u> | - |
| PARO | <u>100</u> | <u>6500</u> | <u>50</u> |

Figura 5.8 Pantalla principal del Modulo de Programación.

Un dato erróneo en este módulo puede provocar que la máquina extrusora se dañe o que el producto no llegue a alcanzar las características deseadas. Por tanto cuando desde el Módulo de Principal se hace la invocación a este módulo, se activa una ventana que solicita una clave de acceso, la cual corresponde a un dato numérico de 4 dígitos, esta clave de acceso es la misma que se utiliza desde la touch screen y es un dato que el PLC compara con una constante definida durante la programación en escalera del PLC.

Con este proceso se asegura que únicamente el personal que conozca la clave puede acceder a estos datos.

Desde este módulo se puede regresar al Módulo Principal o si lo desea el usuario puede desplazarse al Módulo de Temperaturas o al Módulo de Control.

5.2.2.5. Módulo de Temperaturas

Es una ventana que contiene la información de las zonas de calentamiento. Para cada zona existen dos casillas de manipulación, una de información y un botón de control, además de dos barras que representan la temperatura del proceso así como la temperatura programada.



Figura 5.9 Información que se presenta para las zona de calentamiento

Las casillas que pueden manipularse corresponden a los valores que el usuario programa para la temperatura de proceso deseada y el valor máximo de corriente permitida en cada resistencia de calentamiento, lo que se conoce como alarma de ruptura de zona. Los procedimientos que se realizan son similares en ambos casos, primero el usuario selecciona la casilla de una zona, al hacer esto el dato de la casilla se pone en azul, el usuario digita el dato. Si el usuario presiona ENTER y el dato esta en los límites permitidos, el valor del dato en enviado a la posición de memoria a la cual la casilla fue direccionada en el proceso de inicialización. Si el usuario presiona escape o marca otra casilla sin haber aceptado el dato digitado, el valor anterior es restaurado.

Las casillas identificadas como PV, corresponden a los valores actuales de la temperatura de proceso en la zona respectiva, esta información se actualiza constantemente, el usuario no puede de forma alguna alterar este dato.

Sobre las casillas que corresponden a los valores de temperatura de proceso (PV, process value) y temperatura programada (SV, set value), existe una barra sobre cada una, la barra azul representa el valor de la temperatura programada y la barra roja representa a la temperatura actual, cada barra es proporcional al valor de temperatura y se utilizan para que el usuario pueda apreciar de una forma gráfica cual es la diferencia que existe entre cada uno de los datos.

El botón de control que contiene cada zona, corresponde a la señal de encendido o de apagado de la zona de calentamiento. Al presionar este botón, se activa o desactiva en el PLC un bit determinado, el cual es interpretado como una señal para encender o apagar la zona de calentamiento. Al ejecutarse el programa, durante el proceso de inicialización, se realiza una serie de llamadas a procedimientos que chequean el estado de los bits de cada zona, si el bit esta activo, en el botón de control se coloca un mensaje de Off para indicarle al usuario que al presionar el botón apagará la zona y si la zona esta apagada, se coloca en el botón un mensaje de On. El sistema mantiene un control constante sobre los bits que corresponden al estado de encendido y de apagado de cada una de las 19 zonas de calentamiento, con esto se asegura que cuando un operario encienda o apague una zona desde la máquina extrusora, este cambio pueda ser reflejado en esta ventana y que el estado de la zona en el Módulo de Temperatura sea interpretado como encendido o apagado según corresponda.

Al contar este módulo con un enlace a 57 zonas de memoria en el PLC y al estado de 19 bits, es que durante la inicialización del programa se requiere de un tiempo bastante largo para que el módulo pueda inicializar y actualizar todos sus parámetros, durante la inicialización es fácilmente apreciable el tiempo que se requiere para actualizar los datos entre zona y zona.

La ventana de este módulo, en su parte inferior, además de los botones de apagado de la máquina y de restablecimiento de alarmas, tiene un botón para retornar al Módulo Principal, un botón para invocar al Módulo Gráfico y un botón para cambiar las zonas de temperatura mostradas, pues las 19 zonas se encuentran divididas en dos grupos, el primer grupo corresponde a las zonas definidas desde la 0 hasta la 9 y el segundo bloque desde la zona 10 hasta la zona 18.

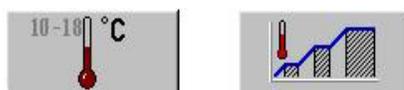


Figura 5.10 Diseño de dos de los botones que contiene el Módulo de temperaturas

En la figura anterior el botón de la izquierda corresponde a la petición de desplegar la información de las zonas 10 hasta la 18. El de la derecha es el botón para abrir la ventana correspondiente al Módulo Gráfico.

5.2.2.6 Módulo Gráfico

Este módulo se encarga de tomar la información de un parámetro específico que se encuentra en un archivo definido para ese parámetro. Este archivo contiene la información muestreada durante un lapso de tiempo. La figura 5.11 es un ejemplo de la gráfica que genera este módulo.

La información que contiene el archivo es leída e interpretada, en la gráfica se despliega la información de las últimas 120 muestras realizadas, que corresponden a una hora de muestreo, la gráfica posee auto escala por lo cual el rango vertical de valores, se ajusta entre el valor máximo y el valor mínimo de las 120 muestras que se van a desplegar.

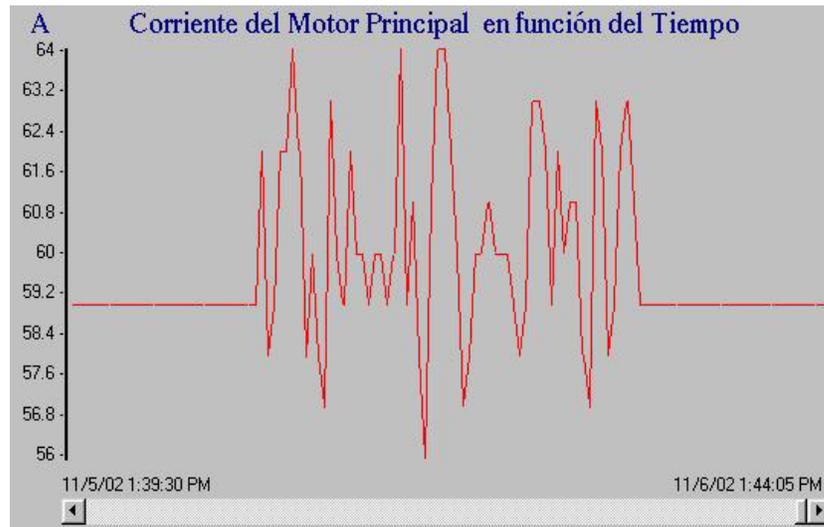


Figura 5.11 Ejemplo de una curva generada por el Módulo Gráfico

Para mostrar la variación en el tiempo del dato muestreado, en la parte inferior de la gráfica existe una barra de desplazamiento, desde la barra, se pueden apreciar cambios mínimos de 30 minutos y moviendo el cursor de la barra, se puede desplazar la gráfica hasta el momento deseado.

En la parte inferior de esta gráfica se encuentran tres botones que cierran esta ventana y retornan al Módulo Principal, al Módulo de Control o al Módulo de Temperaturas, dependiendo del botón presionado.

Debido a la capacidad de memoria que utiliza este módulo, es que se implementó un procedimiento el cuál se activa dos minutos después de que el usuario realizó la última instrucción, este procedimiento lo que hace es cerrar el módulo gráfico y retornar al Módulo Principal, esto es con el fin de que el usuario no deje esta ventana activa, pues disminuye la velocidad del procesador para las demás tareas. Cada vez que el usuario realiza un función en el Módulo Gráfico, el tiempo de espera retorna a cero y la ventana se mantiene activa al menos por dos minutos más.

5.2.2.7. Módulo de Control Interno

Este módulo no corresponde a ninguna ventana gráfica y tampoco es posible para el usuario acceder a él de forma directa, pues este módulo corresponde a la sección del programa que posee a aquellas variables que son de carácter global, así como los procedimientos que son del mismo tipo.

A pesar de que en el lenguaje de programación Visual Basic, con el comando LinkRequest se puede leer un dato direccionado en el PLC y con el comando LinkPoke se puede escribir, no existe una función que determine el estado de uno de los bits de alguna localidad de memoria y mucho menos el alterar valor de un bit específico.

Las variables definidas como funciones globales del programa son: C_bit, cod, V_link, Alarma, MotorON, MotorHaladON, MotorDosifON, BombaVacioON. Las primeras tres variables son del tipo Variant y las restantes son variables booleanas.

Para poder alterar, ubicar o chequear un bit, existen cuatro procedimientos principales que son: PrClrB, PrSetB, PrUbicarBit y F_BitActivo.

Procedimiento PrUbicarBit

Este es el procedimiento es el encargado de detectar donde se ubica un bit específico. Este procedimiento puede determinar en que posición de memoria y en que posición de la palabra de memoria se encuentra un bit del tipo: entrada (X), salida (Y), variable (C), estado de timer (T) y del tipo periodo (S).

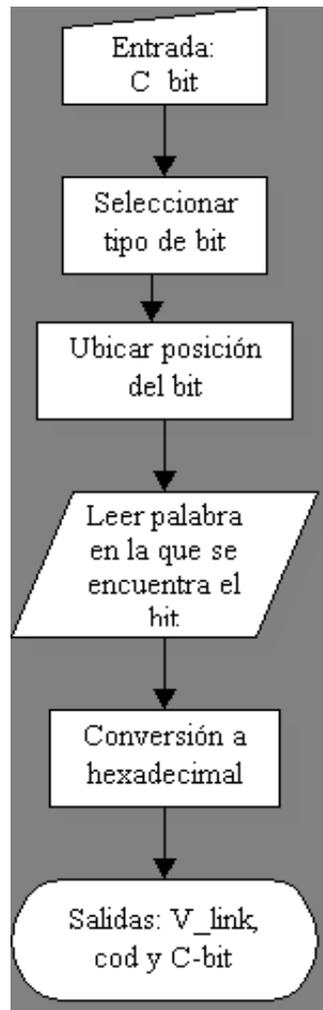


Figura 5.12 Diagrama de flujo del procedimiento para ubicar un bit.

La ubicación de un bit se hace siguiendo la lógica del anterior diagrama de flujo.

Este procedimiento requiere que al ser invocado, en la variable C_bit, “venga” el bit que se desea ubicar, ya sea Y60, X101, C256, etc.; luego toma el primer carácter (X, Y o C) y se determina a partir de que posición de memoria es que está la palabra que contiene a ese tipo bit y cual es la información de esa palabra.

Para hacer lo anterior:

Se divide en forma octal el dato del bit (60, 101, 256)

El cociente de la división es sumado en forma octal a la posición inicial correspondiente al tipo de bit y se ubica entonces la posición de la palabra.

El residuo de la división corresponde a la posición del bit dentro de la palabra, esta posición se interpreta en forma decimal.

En la etiqueta Lbl_DDE del Módulo Principal, se direcciona la posición de memoria establecida y se lee el dato.

El dato es convertido es forma hexadecimal y se agrega a la izquierda del mismo la cantidad de ceros necesarios para que el valor del dato posea 4 dígitos.

Como salida del procedimiento, se ubica en "V_Link" la posición de memoria donde se ubica el bit, en "C_bit", la posición del bit en la palabra y en "cod", el código del dato en hexadecimal

Procedimiento PrSetB

Este procedimiento así como el procedimiento PrClrB fue desarrollado de forma tal que ninguno de los otros bits de la palabra puedan ser alterados, pues esto podría incluso provocar un gran daño en la máquina extrusora o en el proceso de extrusión.

A partir del valor de C_bit (0 a 15), se determina cual caracter del código hexadecimal contiene al bit en cuestión. Ese caracter es convertido a su valor binario a través de una función previamente diseñada (pues Visual Basic no cuenta con un comando para realizar esta función). En el valor binario, se coloca un "1" en la posición donde esta el bit que se desea activar. El nuevo valor binario se convierte a un valor hexadecimal por medio de otra función desarrollada. El caracter hexadecimal se inserta en su posición respectiva dentro del dato que esta en la variable "cod". Ahora el nuevo valor hexadecimal es convertido a decimal y es enviado al PLC.

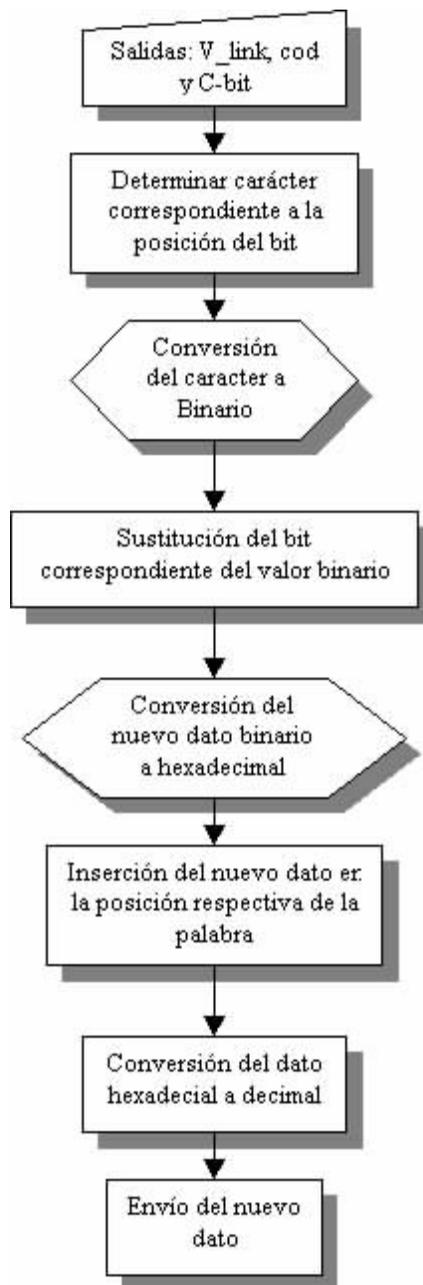


Figura 5.13 Diagrama de flujo de los procedimientos para activar y desactivar un bit

Procedimiento PrClrB

Este procedimiento es prácticamente el mismo que se utiliza para activar un bit, con la única diferencia que en lugar de colocar un “1” en la palabra binaria, se coloca un “0”.

Cabe destacar que este procedimiento, al igual que el procedimiento PrSetB, requiere como entradas, las variables que el procedimiento que ubica el bit tiene como salidas. Aunque no es necesario para ejecutarse este procedimiento, que haya sido invocado con anterioridad el procedimiento que ubica el bit. Sólo, se debe tener el cuidado asignar los valores correctos a las variables de entrada.

Función F BitActivo

Esta es una función que genera como respuesta un valor booleano. Esta función requiere, que la variable “cod” posea un dato hexadecimal de 4 dígitos y en C_bit se encuentre la posición numérica (de 0 a 16) del bit al cual se desea conocer el estado. Esta función al igual que en los procedimientos PrClrB y PrSetB, determina el caracter que contiene al bit, convierte este caracter a binario y entonces determina si el bit en cuestión esta activo (1) o apagado (0) y de acuerdo a ello genera la respuesta booleana.

En este módulo se encuentra también el procedimiento encargado de verificar cuál de las señales que encienden la alarma fue la que se activó. Esto lo hace consultando el estado de los bit correspondientes a las señales de alarma. Cuando encuentra que un bit esta activo, genera el mensaje correspondiente, al final el procedimiento se hace la invocación al Módulo de Alarmas, que de lo único que se encarga es de desplegar el mensaje.

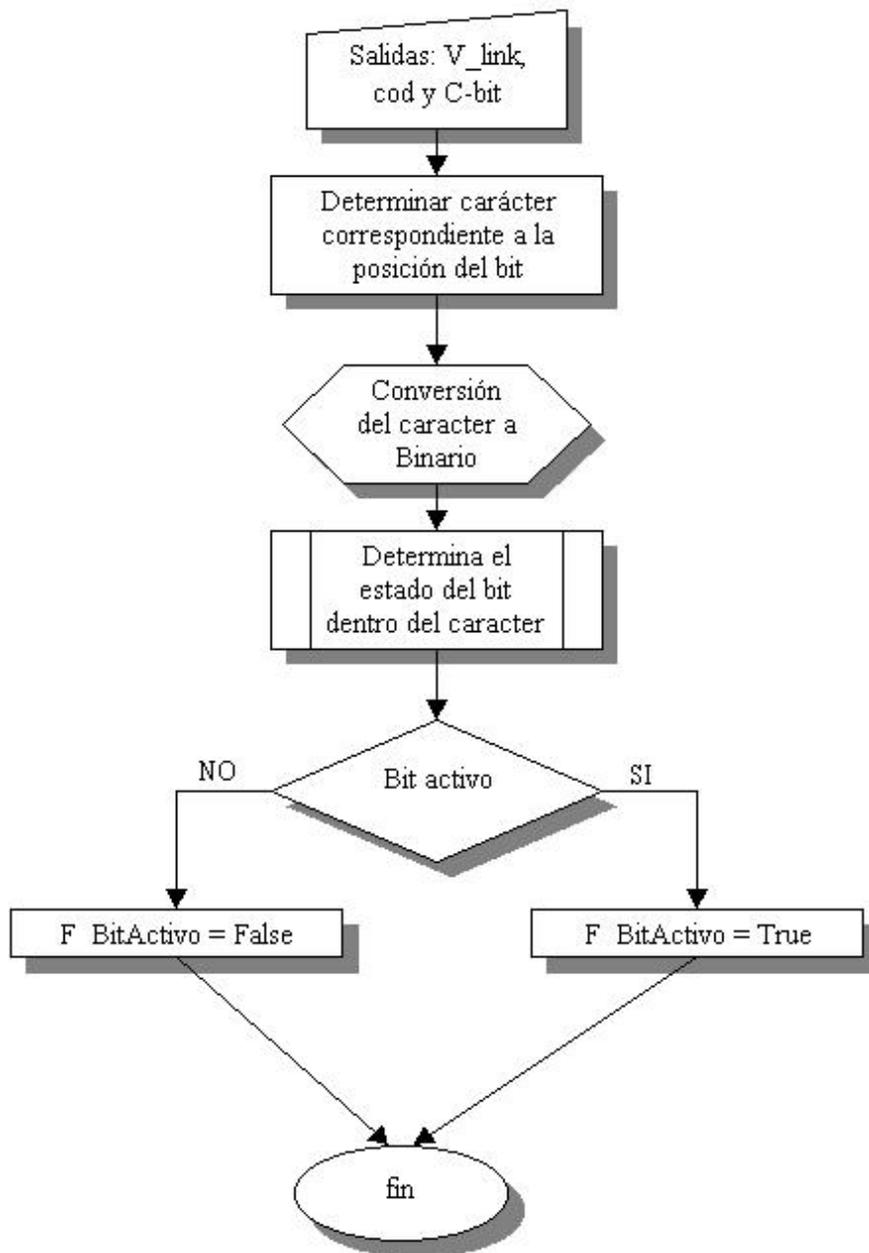


Figura 5.14 Diagrama de flujo de la función que determina si un bit esta activo.

5.2.3 Alcances e importancia del programa

Con este nuevo sistema, ya es posible desde un puesto de mando, manipular las variables que influyen en el proceso de extrusión, sin necesidad de desplazarse hasta la máquina para realizar alguna modificación. Pero, el aspecto más relevante es que se puede mantener el monitoreo de dichos parámetros y así tener un control en el tiempo, del estado del proceso, ya que la información es almacenada en una base de datos, esta cualidad está presente en las máquinas extrusoras más modernas, pero no es el caso para todas.

Además de lo anterior, se presenta el hecho de que se tiene un control de las alarmas que se activen y a la vez la notificación al puesto de mando para que el operario del sistema remoto, se entere de lo sucedido.

5.2.4 Limitaciones del software

La limitación más notoria que presenta el sistema de control es el proceso de inicialización. Este es relativamente largo y dependiendo de algunas variables puede ser causa de fallas.

Uno de los factores que puede ser causante de fallas es la existencia de una mala conexión entre el puerto serial de la PC y el del PLC, esto puede ser debido a que el ajuste de entre los terminales con el cable de comunicación no es perfecto. Esta falla la reporta el computador como un tiempo de respuesta excedido.

También puede presentarse el inconveniente de que el Data Server, no logre inicializarse en el tiempo estipulado y el programa no encuentre respuesta a la primera solicitud de lectura de memoria. En este segundo caso, si ésta es la causa de error y se ejecuta nuevamente el programa, las inicializaciones posteriores serán un 100% efectivas, esta afirmación es cierta cuando el usuario no ha apagado la computadora o el sistema de no ha eliminado de su memoria cache la información que necesita para inicializar el Data Server.

La siguiente tabla corresponde a un muestreo de tiempos de inicialización, las filas corresponden a las muestras de 5 inicializaciones continuas, después de realizar las seis inicializaciones de cada muestra se reiniciaba la PC, para así liberar de la memoria de la máquina cualquier vínculo o información.

Tabla 5.2 Tiempos de respuesta del proceso de inicialización del sistema de control remoto.

| Número de Inicialización | Tiempos del Muestreo 1 | Tiempos del Muestreo 2 | Tiempos del Muestreo 3 |
|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | 3:06:06 | 2:58:11 | 3:01:84 |
| 2 | 3:04:95 | 2:59:16 | 3:00:34 |
| 3 | 3:02:46 | 2:57:27 | 2:59:96 |
| 4 | 2:58:81 | 2:57:14 | 2:59:16 |
| 5 | 2:59:26 | 2:59:06 | 2:57:61 |

El formato de las muestras es minutos : segundos : centésimas de segundo

Las pruebas experimentales se realizaron utilizando un cronómetro perteneciente al departamento de suministros; cada muestra fue realizada un día distinto, de estas pruebas se puede determinar que el tiempo promedio para la inicialización del sistema es de tres minutos y un segundo. De todas las pruebas solo se presentó un problema de inicialización y fue en la primera prueba del último muestreo.

El procedimiento seguido para realizar estas pruebas fue el siguiente:

1. Se ejecuta el programa y empieza a correr el tiempo.
2. Cuando la pantalla de inicialización se cierra, se detiene el tiempo.
3. Se hace la anotación del tiempo de inicialización y se cierra el programa.
4. Se da un tiempo de espera de 1 minuto y se repite el proceso 4 veces más.

El tiempo requerido para que una zona de temperatura se inicialice por completo es de 9.2 segundos (caso máximo). En este tiempo se debe cargar, diseñar y colocar los objetos que contendrán a los valores de temperatura de proceso y programada, además la ubicación en de las barras y los botones.

Pero lo que toma la mayor parte del tiempo de inicialización es en el enlace y lectura de los valores de temperaturas y el valor de corriente máxima programada, además del tiempo que se necesita para direccionar y determinar el estado de los bit con los cuales se encienden o apagan las zonas de temperatura.

Cuando el proceso de inicialización se ha realizado, el programa funciona eficientemente, el desplazamiento entre módulo y módulo es efectivo y rápido a excepción del módulo encargado de la programación de parámetros; ya que este no es un módulo al que se debe estar accediendo constantemente, las variables que se encuentran en él son inicializadas cada vez que se le invoque, por lo que hay un pequeño tiempo de espera mientras se lee del PLC las 7 posiciones de memoria.

El tiempo máximo de respuesta a un cambio es realizado desde la touch screen es de 3 segundos y estos corresponden a aquellas funciones en las que el valor de un bit de una palabra es alterado. La respuesta a cambios de velocidad o variaciones en la corriente del motor son prácticamente instantáneas.

El tiempo de representación gráfica de los datos muestreados, se incrementa conforme aumenta el tamaño del archivo que contiene los datos a representar.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. El motor de CA que se debe adquirir para sustituir al motor de CD es el motor IMD4115T.
2. El controlador AMD 600, podrá eficientemente controlar al motor elegido.
3. El proceso de inicialización es el más lento del programa de control.
4. La lentitud del proceso de inicialización es debida a que se realizan los enlaces necesarios a la memoria del PLC.
5. Cuando el programa de control ha inicializado, se desarrolla de forma bastante ágil.
6. El tiempo de representación gráfica de los datos muestreados, se incrementa con forme aumenta el tamaño del archivo que contiene los datos a representar.

6.2. Recomendaciones

Para el sistema de Control Remoto, dado que este es un programa de control y de muestreo de datos, se recomienda, que se mantenga activo constantemente, así se evita también el tiempo que se necesita en cada proceso de inicialización.

Dado que en el proceso de extrusión, las variaciones de velocidad o temperatura dependen del estado del producto que “esta saliendo”, por ejemplo si el operario de la máquina observa que el tubo que se está produciendo presenta zonas porosas o ásperas, él inmediatamente realiza los cambios necesarios en las variables de control para que el tubo tenga la calidad requerida. Esto no sería posible de apreciar desde un puesto de mando debido a que ahí no se tiene un conocimiento del estado del tubo, además de que se deberían instalar diversos sensores para determinar que no exista ninguna persona realizando un mantenimiento u otro trabajo cerca de la máquina. Por lo anterior, aunque el sistema diseñado pueda realizar esas funciones, se recomienda que se utilice como sistema de monitoreo y no del todo como sistema de control, además se puede investigar cual es la relación entre la velocidad de la máquina y la cantidad de material producido, así se tendría un nuevo dato en monitoreo.

En cuanto al programa del PLC, se recomienda agregar comentarios en la lógica seguida al ejecutar algunas de las funciones, pues en algunos casos no existe o en muy escueta. También se encontró que existen señales o comparaciones redundantes.

En cuanto a las variables del programa del PLC se recomienda realizar una reedición de los comentarios y nombres de algunas de las variables utilizadas, pues durante la realización del proyecto se encontraron variables con nombres equivocados (ej. V3100 tiene el nombre que debe poseer V3104) e incluso existen variables con nombres definidos (ej. C105) que no se utilizan en el programa y en caso de que se desee realizar una modificación posterior, puede ocasionar algunos inconvenientes a la persona que desee hacer el cambio.

Bibliografía

ABB. ACS 600 Frequency Converters: Technical Catalog.

Bartho F.T. Motores Eléctricos Industriales y dispositivos de Control. España, Bilbao.
Ediciones URMO, 1968

Boston Gear Installation and Operating manual. Beta II Adjustable -Speed DC motor
controllers

JR Controles Industriales S.A. Seminario de variadores y motores

Krauss Maffei Corporation. Supplemental Manual KMD2 90, 1980

Krauss Maffei Corporation. Operation and Repair Manual, KMD2 - 90, 1980

Kingsley, Fusko Teoría y análisis de máquinas eléctricas España, Barcelona:
editorial Hispano Europea, 1984

Paragallo Torreira, Raúl. Manual Básico de Motores Eléctricos. España, Madrid:
Paraninfo, 1973

Ramshaw, Raymond. Electrónica de Potencia. España, Barcelona: Marcombo 1982

<http://www.baldor.com/>

APÉNDICE A1
Documento de Justificación

INTRODUCCIÓN

El siguiente documento contiene gran cantidad de información técnica y tecnológica referente a los motores eléctricos de corriente alterna y corriente directa así como los conceptos y teoría seguida para lograr el diseño de los dispositivos de control.

Con el siguiente documento se pretende, que funcione como de guía de referencia técnica, para la sustitución del de corriente directa de la máquina extrusora KMD2-90-Z , por un motor de corriente alterna. En este informe se detallan las características que presentan ambos tipos de motores y las razones por las cuales actualmente la industria mundial está dando el paso a la eliminación de los motores de corriente directa.

A1. Máquinas Eléctricas

A1.1 Conceptos Básicos

Con el término de máquinas eléctricas se conocen a todos aquellos aparatos que mediante movimiento mecánico generan o consumen una potencia eléctrica; si la energía mecánica es transformada en energía eléctrica, la máquina está operando como generador y si por el contrario la transformación es de energía eléctrica a energía mecánica, la máquina se encuentra operando como motor.

Cada máquina tiene una parte estacionaria y una parte móvil. La parte móvil se acopla al sistema mecánico y provee los medios para la entrada o salida mecánicas, ya sea que la máquina se emplee como generador o como motor.

Las máquinas giratorias tienen una parte exterior fija o estacionaria denominada estator. La parte interior es giratoria y se le conoce como rotor. El rotor está centrado dentro del estator, de modo que su eje y el del estator son concéntricos. Al espacio entre el exterior del rotor y el interior del estator se le llama entrehierro.

El rotor está montado en una barra rígida (generalmente de acero), que se denomina eje o árbol. El eje se sostiene sobre cojinetes, de modo que el rotor puede girar libremente. El eje se extiende a través de uno o ambos cojinetes para proporcionar un medio de acoplamiento entre la máquina y el sistema mecánico. Esta conexión puede ser directa o por medio de un acoplamiento, o de un engranaje.

El rotor y el estator tienen cada uno tres partes básicas: el núcleo, los devanados y el aislante.

La finalidad de los núcleos del rotor y del estator es la de conducir el campo magnético a través de las bobinas de los devanados.

Los devanados conducen las corrientes eléctricas que son la fuente del campo magnético y proveen mallas cerradas, en las cuales el campo magnético puede inducir voltajes de acuerdo con la ley de Faraday.

Por su parte los sistemas aislantes evitan los cortos circuitos entre las espiras de las bobinas de un devanado y aíslan los devanados del hierro de los núcleos.

A1.2 Motores Eléctricos

Las características de los diversos tipos de motores quedan determinadas por su construcción o por la forma de conectar y excitar las bobinas, así se podría hablar de motores sincrónicos, asíncrónicos, de inducción, de corriente directa, de imanes permanentes, etc.; a pesar de esto todos se basan en principios de operación similares.

Entre otras cosas los motores eléctricos se pueden clasificar según el flujo de corriente con que es alimentado. Existen dos tipos básicos, los motores de corriente directa y los motores de corriente alterna. Los motores de corriente directa son aquellos en los que el flujo de corriente a través de los terminales del estator mantiene siempre un mismo sentido, mientras que los motores de corriente alterna, tal como su nombre lo indica, la corriente fluctúa entre un valor máximo positivo a un valor mínimo negativo, o sea, la corriente invierte su dirección a intervalos regulares y su valor medio es igual a cero. En esta categoría existe un tipo más de motor que es conocido como motor universal, estos motores son capaces de funcionar con corriente continua y con alterna. Generalmente, los motores universales utilizados en la industria y los de uso doméstico, están previstos para funcionar con CA; en este caso, las pérdidas por corrientes parásitas y por histéresis pueden reducirse si el circuito magnético que incluye el estator con su carcasa externa y el núcleo del inducido estuviera construido con laminas de hierro y silicio de alta permeabilidad, aisladas entre sí como lo están en los transformadores.

De los tres tipos de motores mencionados anteriormente los motores de corriente alterna se emplean más, tanto en la industria como en los hogares, esto debido a que son de construcción más simple, prescindiendo de colectores y escobillas y por tanto precisan de un menor mantenimiento y con esto llegan a tener una vida útil más larga.

A1.3 Flujo y sentido de giro

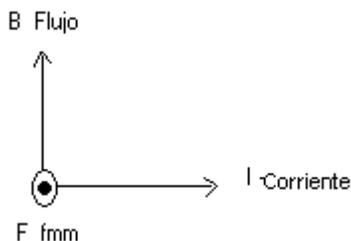
En máquinas CD (corriente directa) y CA (corriente alterna) las tensiones se inducen debido al movimiento relativo de un campo magnético respecto a un devanado. Este movimiento del campo magnético y la interacción de los devanados del estator y del rotor, son los que provocan que el rotor gire (como se explicará en secciones siguientes), el giro y su dirección es debido a la interacción de dos fuerzas y el par nace de la interacción entre los campos magnéticos de los devanados del estator y del rotor. Para comprender como el flujo magnético produce la rotación se debe recordar lo siguiente:

Sea **B** un vector que indica la magnitud y dirección de flujo magnético

I un vector que indica la magnitud y dirección de la corriente eléctrica y

F el vector resultante que indica la dirección y magnitud de la fmm (fuerza magnetomotriz)

Expresados en la siguiente formula: $F = B \times I$



Si se realiza un diagrama vectorial aplicando el producto cruz de la ecuación anterior, como el que se muestra en la figura de la izquierda; en esta figura sí se considera que el flujo esta en la dirección Y, y la corriente I se dirige en dirección X positivo; la fmm resultante debería estarse dirigiendo hacia afuera de la página. Si la corriente se dirigiera hacia la izquierda de la página o el flujo hacia abajo, la fmm tendría una dirección hacia adentro de la pagina.

El caso anterior es aplicable si el flujo magnético y la corriente eléctrica presentan entre ellos un desfase de 90°, de lo contrario se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$F = B * I * \cos \varnothing$$

Donde \varnothing , es el ángulo de fase entre la corriente el flujo magnético.

A1.4 Pérdidas en los motores eléctricos

Las pérdidas (en las máquinas) determinan el rendimiento de la máquina e influyen en el coste del servicio; producen calentamiento, determinando con ello la potencia nominal que puede obtenerse de la máquina sin que se vaya a producir deterioro de los aislamientos. Para cubrir las pérdidas anteriores deben tenerse en cuenta las caídas de tensión y las componentes de corriente, con esto se logra obtener una representación exacta de la máquina.

El rendimiento en una máquina viene dado por la formula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{potencia de entrada}} = \frac{(\text{entrada-perdidas})}{\text{entrada}}$$

Las máquinas rotativas trabajan con un buen rendimiento, con excepción de si lo hacen muy descargadas. Por ejemplo, el rendimiento a plena carga de la mayor parte de los motores es de alrededor del 74% para los de un caballo, 89% para los de 50%, 93 % para los de 500 caballos y 97% para los de 5000 caballos. Los motores lentos tienen en general menor rendimiento que los de gran velocidad, siendo la diferencia del orden de los 3 al 4 por ciento.

A1.5 Características Nominales y Calentamiento

La vida que se puede esperar de una máquina está íntimamente relacionada con la temperatura de servicio, debido a que la degradación del aislamiento está en función de ambos factores: temperatura y tiempo. Esta degradación es causada principalmente por un fenómeno químico de oxidación lenta que endurece los aislamientos volviéndolos frágiles y quebradizos en detrimento de su duración mecánica y de su rigidez dieléctrica.

La valoración de los materiales aislantes o de los aislamientos completos se basan en una serie de técnicas y ensayos de envejecimiento acelerado. En estas pruebas de vida se pretende simular las condiciones de servicio reales, en general los ensayos constan de las siguientes etapas:

1. Choque térmico, resultante de elevar la temperatura hasta la de ensayo.
2. Mantenimiento de dicha temperatura
3. Choque térmico resultante de enfriar hasta la temperatura ambiente o por debajo de ella.
4. Vibraciones y esfuerzos mecánicos análogos a los que existirán en la aplicación real
5. Exposición a la humedad
6. Ensayos dieléctricos para determinar las condiciones del aislamiento.

Los resultados permiten poder clasificar los materiales aislantes en distintas clases de acuerdo con la temperatura. En las normas de la ANSI (American National Standards Institute), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) y NEMA (National Electrical Manufacturers Association) pueden consultarse los límites de temperatura asignados a los aislamientos comercialmente disponibles. La NEMA fija tres clases de aislamientos de principal interés en las máquinas industriales; estas clases son las B, F y H.

La clase B comprende la mica, la fibra de vidrio, el amianto y otros materiales análogos junto con las sustancias aglutinantes adecuadas.

La clase F comprende también la mica, la fibra de vidrio y otras sustancias sintéticas análogas a las de la clase B pero que deban resistir temperaturas más altas.

La clase H destinada a temperaturas aún mayores incluye la goma silicona y mezclas de mica, fibra de vidrio, amianto, etc., aglomeradas con resinas de silicona apropiadas.

En la siguiente tabla se dan algunos ejemplos de temperaturas admisibles según las Normas NEMA aplicables a motores de inducción

Tabla A1.1 Comparación de la temperatura admisible en grados centígrados de diferentes tipos de aislante, para diferentes tipos de motores.

| | temperatura admisible °C | | |
|--------------------------------------|--------------------------|---------|---------|
| | Clase B | Clase F | Clase H |
| Motores, con factor de servicio 1.15 | 90 | 115 | |
| Motores, con factor de servicio 1 | 85 | 110 | |
| Motor cerrado, ventilación forzada | 80 | 105 | 125 |
| Motor cerrado, sin ventilación | 85 | 110 | 135 |

Una forma de disminuir el calentamiento de los aislamiento y con ello la vida del motor es por medio de sistemas de ventilación. Esta ventilación depende de la forma en que fue construida la carcasa del motor. Cuando se instala un motor a ciertas condiciones ambientales, se debe escoger la carcasa mas adecuada para esas condiciones. Los tipos de carcasa más comunes son los siguientes:

Open Drip - Proof (ODP): Abierto a prueba de goteo.

Totally enclosed not ventiled (TENV): Totalmente cerrado, sin ventilación

Totally enclosed fan colled (TEFC) Totalmente cerrado, enfriado por abanico.

Totally enclosed blower cooled (TEBC): Totalmente cerrado, enfriado por sistema externo.

Construcción tipo ODP (abierto a prueba de goteo); posee aberturas de ventilación, que permiten el paso del aire alrededor de las bobinas del motor, posee un grado pequeño de protección contra líquidos o partículas sólidas que entren al motor. Este tipo de motor se usa en industrias que tienen ambientes limpios, libres de polvo, humedad ambiental severa, aceite, etc.

Construcción tipo TENV (Totalmente cerrado, sin ventilación); totalmente cerrado, no entra aire del exterior. Este tipo de motor es utilizado en los ambientes hostiles, donde incluso les llega humedad, en ocasiones se instalan donde los motores sellados con enfriamiento externo no se pueden instalar porque sus dimensiones son mayores.

Construcción tipo TEFC (Totalmente cerrado, enfriado por abanico); posee un abanico pegado al eje del motor que toma aire del medio ambiente y así ventila el interior del motor. La cantidad de ventilación depende de la velocidad a la cual gira el motor.

Construcción tipo TEBC (Totalmente cerrado, enfriado por sistema externo); este motor tiene un rango superior de velocidad en comparación con el TEFC, debido al enfriamiento externo separado. El rango típico de velocidad de este tipo de motor es de 10:1 aproximadamente, a 100:1. Esto permite un trabajo continuo a muy bajas velocidades.

A2. Motores de Corriente Continua

A2.1 Constitución básica de un motor de corriente continua

Si se desarmara un motor de corriente continua se apreciaría que las dos secciones mas grandes serían el rotor y una carcaza. En esta carcaza se encuentra una base polar donde esta arrollado un bobinado, este conjunto (base polar, bobinado, carcaza) se conoce como estator. El estator es la parte fija del motor y es el encargado de generar el campo magnético que influirá para que el rotor gire. El rotor es la parte móvil del motor, este es alimentado a través de conectores conocidos como escobillas.

El carbón de que están hechas las escobillas debe tener características específicas: ha de ser compacto, de gran homogeneidad y de dureza relativa; en ciertos casos se utilizan escobillas de grafito. De cualquier forma, el contacto entre las escobillas y el colector debe ser firme y constante, siendo este el motivo por el que el portaescobillas está dotado de un sistema de muelles que comprimen las escobillas contra los anillos.

Entre los polos del estator gira el rotor, armadura o inducido, mantenido en posición por los muelles de las tapas. El inducido esta formado por un eje de acero templado, un núcleo de hierro laminado con ranuras longitudinales y el colector. El colector está constituido por piezas de cobre endurecido, separadas entre si y del eje del rotor por láminas de mica.

A2.2 Principios de Funcionamiento

Para explicar el funcionamiento de un motor de corriente continua, se considerará un motor elemental constituido por una espira de conductor que gira entre los polos de un imán permanente. Como el que se muestra a continuación:

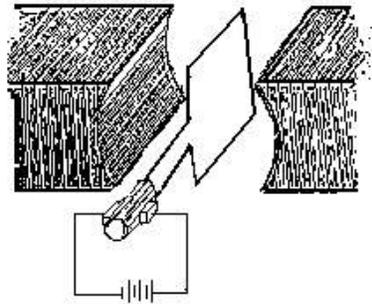


Figura A2.1 Diseño equivalente a un motor elemental de CD

La ley de Ampere o conocida en términos prácticos como “ la ley de la mano derecha” es la herramienta más útil para comprender y determinar el sentido de giro de cualquier tipo de motor.

Para las figuras siguientes considere el motor de CD visto de frente.

En la figura de abajo, la corriente que pasa por la espira hace que aparezca encima de ella un polo magnético norte y debajo un polo magnético sur. De esta forma, estos polos son atraídos por los polos de naturaleza opuesta del imán permanente y la espira gira en el sentido de las manecillas del reloj.

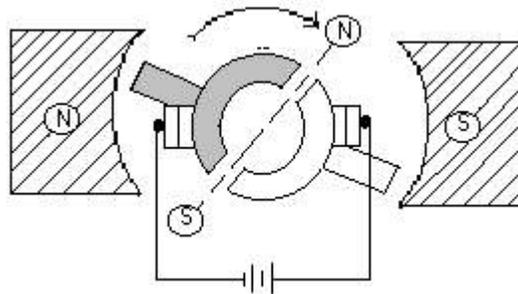


Figura A2.2 Espira del motor elemental de CD.

En la figura A2.3a, la espira ha realizado un giro de 90° en relación con la posición anterior, y, de esta forma, sus polos se encuentran frente a los del imán permanente. Pero ahora se observará que debido a la acción del conmutador, que invierte el sentido de recorrido de la corriente por la espira, no es su polo sur el que está frente al norte del imán, sino el propio polo norte. De esta forma debido a la repulsión entre los polos del mismo nombre, la espira continúa girando en el mismo sentido hasta alcanzar la posición representada en la figura A2.3b.

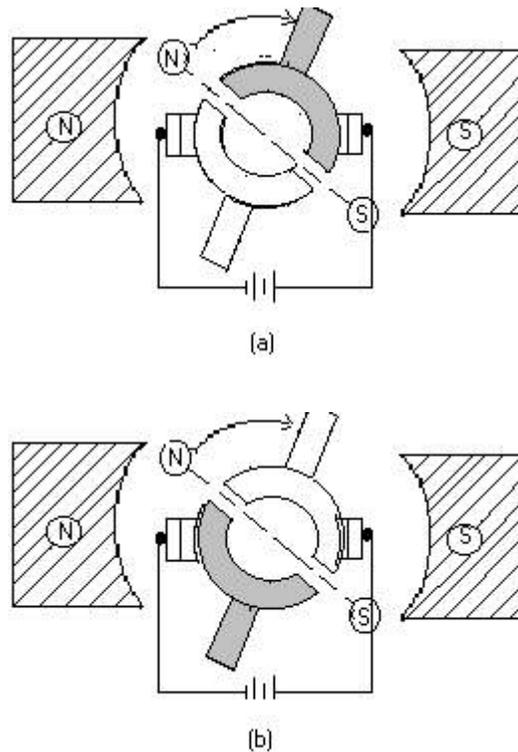


Figura A2.3 Espira del motor elemental.

Figura A2.3a Motor elemental en una posición desplazada 90° en relación con la de la figura A2.2. Figura A2.3b Posición del motor elemental, con la bobina desplazada 180° en relación con la posición mostrada en la figura A2.3a.

En esta nueva posición de la espira, que equivale a una rotación de 180° en relación con la anterior, ya hubo una nueva conmutación y como en el caso de la figura A2.2, los polos de la espira están frente a los polos del mismo nombre del imán, y aquella continúa girando en el mismo sentido, permaneciendo así mientras haya una corriente circulando por ella.

Es importante conocer el funcionamiento del motor fundamental, ya que éste constituye la base del estudio de todos los motores de corriente continua. A este efecto, es interesante recordar que la corriente que circula por la espira cambia de sentido en el momento exacto en que sus polos están frente a los polos de nombres contrarios del imán permanente. Si no realiza la conmutación, o si se hace en un momento inoportuno, el motor se parará y los polos de signos contrarios del imán y de la espira quedarían enfrentados.

En los motores reales, los inducidos están formados por bobinas múltiples, todas con el eje perpendicular al campo magnético producido por el estator. A causa del gran número de bobinas que tiene el motor, se puede suponer que el campo del inducido está siempre presente y localizado a una posición de 90° con respecto al campo del estator, lo que hace que haya siempre un par motor actuando sobre el inducido. El flujo en el rotor producido por el estator hace que el polo magnético norte del rotor sea repelido por el polo magnético norte del estator y atraído por el polo sur. La atracción y la repulsión se realizan simultáneamente, ejerciendo sobre el inducido un par motor que le hace girar de acuerdo con la ley de Ampere.

A2.3 Fuerza contraelectromotriz

La fuerza contraelectromotriz es el potencial eléctrico que se opone a la fuerza electromotriz aplicada a un lado del circuito. Conociéndose como “fuerza electromotriz” al potencial eléctrico que hace que fluya una corriente eléctrica por un circuito. La fuerza contraelectromotriz casi siempre se debe a la inducción del circuito, cuando éste tiene propiedades inductivas.

La fuerza contraelectromotriz está siempre presente en un motor en funcionamiento y su valor es proporcional a la intensidad del campo magnético y a la velocidad con que gira el motor. Así, la tensión efectiva existente en los bornes del inducido es la diferencia entre la tensión aplicada y la fuerza contraelectromotriz inducida.

Esta fuerza por oponerse a la fuerza electromotriz aplicada, limita el flujo de corriente que circula en el inducido, lo que es fundamental para la realización práctica de los motores, pues la resistencia de los devanados del inducido del motor es muy baja y si esta resistencia fuese el único factor limitador de corriente, la corriente eléctrica que podría circular por los devanados sería muy elevada lo que provocaría que los devanados se quemaran inmediatamente.

La fuerza contraelectromotriz reduce de forma considerable la corriente que circula por el inducido, siendo el principal factor de limitación de esta corriente el que el motor este en funcionamiento. No obstante, es preciso que se tenga en cuenta que en el momento en que arranca el motor, el valor de la fuerza contraelectromotriz es nulo, aumentando progresivamente a medida que el motor acelera. Por este motivo los motores CD de mayor potencia están dotados de mandos de arranque que limitan la corriente del inducido durante la aceleración.

A2.4 Velocidad y torque del motor de CC

Isaac Newton definió el trabajo mecánico como la integral de la fuerza por distancia, a través de la cual actúa:

$$W = \int f dx, \text{joules (J)} \quad (\text{ec 2.4.1})$$

De la ecuación anterior, si la fuerza esta en Newtons y la distancia x, en metros, entonces la potencia (en watts), es la rapidez para hacer el trabajo

$$P = \frac{dW}{dt} = f \frac{dx}{dt} \quad (\text{ec 2.4.2})$$

Al ser un motor (de cualquier tipo) una máquina giratoria, lo correcto no es expresar la ecuación 2.4.1 como una función en coordenadas cartesianas, sino, que una definición mas específica sería el hacerlo en coordenadas polares:

$$W = \int f dx = \int f r d\theta \quad (\text{ec 2.4.3})$$

Ahora, en la mecánica de rotaciones, la fuerza tangencial multiplicada por la distancia a la cual es aplicada, medida desde el eje de rotación se denomina par o torque (τ).

$$\tau = fr, \text{ newtons} \times \text{metros}(\text{Nm})$$

Entonces la ecuación 2.4.3, puede escribirse así:

$$W = \int \tau d\theta, \text{joules}(J), \quad (\text{ec } 2.4.4)$$

Entonces $dW = \tau d\theta$, de ahí que la potencia mecánica ésta dada por:

$$P = ei = \frac{dW}{dt} = \tau \frac{d\theta}{dt} = \tau\omega \quad (\text{ec } 2.4.5)$$

Donde ω es la velocidad angular en radianes por segundo. Por consiguiente, el par puede calcularse partiendo de la potencia mecánica si se conoce la velocidad.

De la ecuación anterior es fácil concluir que si se tiene una carga constante, el torque ejercido al motor es constante. Si se desea aumentar la velocidad de un motor con una carga fija, se debe entonces aumentar la potencia suministrada al motor, para ello se debe aumentar el voltaje o aumentar la corriente; una forma de aumentar la corriente manteniendo el voltaje constante, es teniendo un motor especial al cual se le pueda disminuir la resistencia interna. Así, para que la relación $V = IR$ se mantenga, si se disminuye la resistencia, entonces automáticamente la corriente aumenta y con esto la velocidad, pero presentará el grave inconveniente de que los devanados internos del rotor se calentaran debido al gran aumento de flujo de corriente. Entonces la forma mas sencilla de variar la velocidad de los motores de CD es variando el voltaje del rotor, tal y como se realiza en los sistemas de control de velocidad utilizados en Durman Esquivel S.A.

Si se aumenta el voltaje del rotor necesariamente aumenta la corriente del motor pues debido a que la resistencia interna de los motores utilizados no puede ser variada, al aumentar el voltaje (V) y para que la relación $V = IR$ se mantenga, la corriente debe aumentar, esta interacción voltaje corriente, se refleja en la potencia consumida $P = VI$.

La ventaja de esta relación es que el aumento de voltaje o de corriente para generar una nueva velocidad es mucho menor al que se presentaría si solo uno de los parámetros fuera aumentado. De ahí que la velocidad de un motor CC no depende solamente de la carga, también de la intensidad de campo y de la tensión aplicada. Cuanto mas pesada sea la carga, mayor será el torque requerido y por tanto mayor será la potencia requerida por el motor para funcionar con una determinada velocidad.

Rescribiendo la ecuación 2.4.5, se presenta de la siguiente forma:

$$e_i = \tau \omega \quad (\text{ec 2.4.6})$$

Se aprecia que para mantener una relación par-velocidad constante, se debe mantener una relación voltaje-corriente constante. ¿Pero cómo puede ser posible mantener un torque constante a una velocidad cero?

Si se tratara de un motor paso a paso esto se lograría manteniendo un voltaje fijo, energizando únicamente uno de los devanados del rotor, así la corriente circulante genera un polo norte en el rotor el cual se “junta” con el polo sur del estator y por consiguiente el polo sur del rotor estará enfrenteado al polo norte del estator, así el motor no se moverá y el torque se mantendrá. Los motores paso a paso no son motores que se utilicen para aplicaciones industriales, pero el principio explicado se aplica de igual forma para los motores CD industriales.

Para mantener torque en un motor, una corriente debe fluir en el rotor, pero para generar esa corriente, debe de existir una fuente de tensión. Así pues, para que el motor no gire e_i debe ser cero y dado que la corriente debe existir, el factor nulo es el voltaje.

En la figura A4.8 se muestra la forma de onda que se obtiene a la salida de un rectificador trifásico, con el cual se logra mantener una corriente constante a un voltaje nulo. En realidad el voltaje suministrado al motor no es ni constante ni cero, pero el valor medio de la señal sí lo es. Debido al sistema de rectificación trifásico de onda completa, la corriente circula únicamente en un sentido y el voltaje puede ser variado en un cierto ámbito, hasta el punto de generar un nivel CD cero.

A2.5 Mantenimiento de los motores DC

En motores CD los principales causantes de defectos son los colectores y las escobillas. En los conmutadores se rozan constantemente las escobillas y el roce produce desgaste de ambas partes, depositándose las partículas de carbón de las escobillas en las ranuras de los colectores aislados con mica, llegando incluso a poner las delgas en cortocircuito.

La acumulación de carbón en las ranuras y el desgaste del colector provocan una conmutación imperfecta, lo cual contribuye a acelerar aún más la destrucción del colector. La conmutación sólo se hará correctamente cuando el contacto entre el colector y las escobillas sea continuo. Por lo tanto se debe realizar una revisión periódica del colector y una limpieza del mismo, siendo aconsejable prestar una atención permanente al centrado de las escobillas en el colector y también a su configuración para que se apoyen correctamente en él.

El colector cuando esta en buen estado, es suave al tacto, libre de asperezas y no produce chispas debajo de las escobillas. Las chispas pueden también deberse a falta de presión de los porta escobillas contra el colector.

Las escobillas se deben elegir de acuerdo a las indicaciones del constructor para cada motor particular. La dureza varia desde la de carbón grafito hasta la del electrografito (escobillas de alta corriente). La holgura entre bobinados es generalmente de 100 micrómetros a 150 micras; la presión de escobillas al colector es de 0.14 a 0.2 Kg/cm²

A3. Motores de Corriente Alterna

Si se desarmara un motor de corriente alterna, al igual como ocurre con un motor de corriente continua, se apreciarán que las dos secciones mas grandes serían el rotor y la carcaza. En esta carcaza se encuentra una base polar donde está arrollado un bobinado, este conjunto se conoce como estator (al igual que para el motor CD). A diferencia de los motores de corriente continua, los motores de corriente alterna no poseen en su rotor un sistema colector, prescindiendo de las escobillas, por tanto su construcción es mas simple y requieren de un menor mantenimiento y con esto llegan a tener una vida útil más larga. Anteriormente cuando se requería de un funcionamiento a velocidad variable no eran considerados pues los mecanismos necesarios para variar la velocidad del motor CA son mucho mas complejos que los requeridos para variar la velocidad en un motor CD.

A3.1 Principio de funcionamiento

La habilidad de un motor CA de convertir energía eléctrica a energía mecánica esta basada en la inducción electromagnética. El voltaje en el bobinado del estator se presenta en forma de corriente y flujo magnético. La dirección de este flujo puede ser determinada usando la regla de la mano derecha.

Las máquinas sincrónicas se denominan así porque su velocidad está directamente relacionada con la frecuencia de la línea:

$$\omega_s = \left(\frac{\omega_e}{p/2} \right) = \left(\frac{2\pi f}{p/2} \right), \text{rad/s} \quad (\text{ec 3.1.1})$$

En la ecuación anterior, $p/2$ es el número de pares de polos magnéticos del diseño de cada máquina. En esta relación ω_s , es la velocidad angular del eje y ω_e , es la frecuencia angular del sistema eléctrico. Entonces cuando dos máquinas sincrónicas están conectadas a la misma línea, se moverán en sincronismo, ya que todas están funcionando a la misma frecuencia y se llama ω_s , la “velocidad síncrona” de una máquina dada. Desde luego, si una máquina tiene 2 polos y la otra 14, la máquina de 14 polos corre precisamente a un séptimo de la velocidad de la máquina de dos polos.

Cuando la corriente circula en el devanado del estator, cada grupo de espiras en el bobinado produce un polo con una polaridad dependiente del sentido de la corriente y una fuerza magnetomotriz (fmm) proporcional al amperaje. Los grupos de un devanado de fase se conectan de modo que cuando un grupo presente un polo magnético norte al entrehierro, los grupos adyacentes en ambos lados produzcan polos sur. Entonces, para el sentido de la corriente en un instante dado, la polaridad magnética es alternativamente N, S, N, S, etcétera.

Cuando cambia la dirección del voltaje en el cableado del estator, también cambia la dirección del flujo. Con un cambio de voltaje en las tres fases de un motor trifásico, en un orden correcto, el flujo magnético del motor comienza a girar, el rotor del motor entonces empieza a seguir el flujo con un cierto deslizamiento, tal como se representa en la figura A4.10.

Las magnitudes y la frecuencia de los voltajes del rotor dependen del movimiento relativo del rotor y del flujo que cruza el entrehierro. El deslizamiento de velocidad expresa la velocidad del rotor relativa al campo.

Cuando se pone una carga mecánica pesada en un motor de inducción, el rotor se desfleca aún más; es decir, el deslizamiento aumenta. Para la mayoría de los motores, el deslizamiento con plena carga es aproximadamente de 0.03. En estas condiciones la frecuencia de los voltajes y corrientes del rotor es bastante pequeña (alrededor de 2 Hz), pero el efecto de la reactancia de fuga ya no se puede despreciar y aparece un retraso en la fase temporal entre los voltajes y las corrientes del rotor.

Al tratarse de un motor de inducción, el voltaje en el bobinado del rotor es producto de la inducción de corriente debida al voltaje presente en el bobinado del estator.

Para disminuir la velocidad de un motor de inducción, tal como se expone en la ecuación 3.1.1, la frecuencia del sistema que alimenta el motor debe de disminuir.

En los motores de corriente alterna, para poder mantener un torque constante la relación V/f debe ser constante. Una razón V/f constante, produce un flujo constante en el motor. Un flujo constante en el motor, produce un torque constante. Como resultado se obtiene el torque óptimo del motor por amperio.

Si se tiene una razón V/f incorrecta, si esta es baja, provocará una reducción en el flujo del motor y esto reducirá el torque. Si la razón V/f es alta, provocará una sobresaturación que incrementará la corriente pero no el torque, esto generará un sobrecalentamiento del motor.

Por las razones anteriores es que no cualquier sistema puede utilizarse para controlar un motor eléctrico, es por ello que la utilización de circuitos simples como divisores o multiplicadores de frecuencia no son efectivos ni recomendados. Para ampliar la información acerca de controladores para motores de corriente alterna, hágase referencia a la sección 4.2 de este informe.

Una reducción en la velocidad del motor, implica una reducción en la frecuencia por parte del sistema que alimenta al motor y para mantener el torque constante se debe disminuir el voltaje en igual proporción. Al ser la frecuencia inversamente proporcional al periodo de la señal, al disminuirse ésta, el tiempo necesario para completar un ciclo aumenta.

En este caso el tipo de controlador debe ser capaz de administrar la energía necesaria para que el motor pueda funcionar de la forma deseada. Tal como se expone en la sección 4.2 los controladores para esta clase de motores toman el voltaje de la red, lo rectifican y luego generan a través de modulación una señal cuya fundamental, define la frecuencia del motor.

Conforme aumente el periodo de la onda generada, el controlador debe aumentar la energía que suministra al motor para mantener el torque. La energía que el controlador suministra al motor es la energía que ha almacenado durante el proceso de rectificación.

Cuando el controlador no puede suministrar la energía necesaria para una reducción de velocidad, el motor empieza a presentar pérdidas de torque. En ese momento el controlador está en el límite de potencia máxima, una disminución en la frecuencia provoca un aumento en el periodo de la señal y por ende una disminución cada vez mayor en la densidad de energía del sistema. Es por esta razón que en ocasiones no es posible mantener en un motor de corriente alterna un torque constante a muy baja velocidad.

La relación “densidad de energía” es la razón por la cual el sistema trifásico es más utilizado industrialmente que el sistema monofásico, debido a que en un mismo instante de tiempo existen tres fuentes de energía en comparación con el sistema monofásico en el cual solo hay una.

A3.2 Factor de Potencia

El factor de potencia al que trabajan las máquinas de alterna tiene su importancia económica debido al coste de la potencia reactiva. Un factor de potencia bajo afecta desfavorablemente de tres formas distintas el sistema. En primer lugar los generadores, transformadores y equipos de transmisión se dimensionan en función de los KVA en lugar de hacerlo en función de los KW, ya que el calentamiento y las pérdidas dependen principalmente de la tensión e intensidad independientemente de la potencia. Las dimensiones físicas y el coste de los aparatos de alterna es aproximadamente proporcional a sus KVA nominales: las inversiones en generadores transformadores y demás equipos necesarios para suministrar una potencia dada son aproximadamente inversamente proporcionales al factor de potencia. En segundo lugar un factor de potencia bajo representa una mayor intensidad con el consiguiente aumento de pérdidas en el cobre de las máquinas y equipos. Por último el tercer inconveniente es el de que se dificulta la regulación de la tensión.

Los factores que influyen en los KVA reactivos por un motor pueden comprenderse relacionando estos con la creación del flujo magnético. Al igual que en cualquier otro dispositivo electromagnetizante, el flujo resultante necesario para el funcionamiento del motor debe ser creado por una componente magnetizante de la corriente. No existiendo diferencia, ni en el circuito magnético ni en el proceso de conversión de energía, tanto si esta corriente magnetizante pertenece al devanado del estator o al del rotor. Si toda o parte de la corriente magnetizante se suministra a un devanado de alterna, la entrada de corriente magnetizante retrasa 90 grados respecto a la caída de tensión y así los KVA reactivos en retraso crean un flujo en el motor.

En un motor de inducción, el único origen posible de la excitación es la alimentación del estator, por consiguiente estos motores trabajan siempre con un factor de potencia en retraso, cuyo valor es muy pequeño cuando se trabaja en vacío, aumentando hasta 85 o 90 por ciento en plena carga, siendo esta variación debida a la mayor potencia activa requerida al acrecentarse la carga.

A3.3 Definición de los tipos de motores según las normas NEMA.

Para cubrir las necesidades mas comunes de la industria se dispone en general de motores de jaula de ardilla de distintas potencias normalizadas hasta los 200 HP y a distintas frecuencias, tensiones y velocidades. Los motores de potencia mayor que la indicada se consideran en general como de uso especial más que como de uso general.

De acuerdo a la terminología establecida por la NEMA existen varios tipos normalizados para satisfacer distintas necesidades de arranque y de marcha.

A continuación se reseñan las características principales de estos cuatro tipos:

CLASE A

Par y corriente de arranque normales, con bajo deslizamiento. Este tipo de motor tiene en general un rotor de jaula simple de baja resistencia. Posee buenas características en marcha a expensas de las de arranque. A plena carga el deslizamiento es poco (menor del 20%) y el rendimiento alto. El par de arranque a plena tensión varía entre los 200% del par a plena carga en motores pequeños y el 100% en los grandes. El principal inconveniente de este tipo de motor, es su elevada intensidad de arranque (del 500% al 800% de la plena carga cuando se pone en marcha con su tensión nominal). El motor de tipo A es el clásico en el campo de potencias por debajo de 7.5 HP y por encima de 200 HP. Se utiliza típicamente en aplicaciones que tienen sobrecargas ocasionales, donde el sistema demanda mejor eficiencia o también en potencias intermedias a las indicadas anteriormente cuando por distintos motivos sea difícil cumplir las limitaciones de la corriente de arranque de la clase B.

CLASE B

Par de arranque normal, intensidad de arranque y deslizamiento bajos. Tiene aproximadamente el mismo par de arranque que la clase A, pero con el 75% de la intensidad, por lo tanto podrá emplearse el arranque directo con plena tensión en una gama más amplia que con la clase A. La reducción de la intensidad de arranque se consigue mediante una reactancia de dispersión relativamente alta, manteniéndose el par con el empleo de rotores de barras altas o de doble jaula. El deslizamiento y el rendimiento a plena carga son buenos, del mismo orden que en la clase A, sin embargo, la alta reactancia baja un poco el factor de potencia y apreciablemente el par máximo, consiguiéndose apenas superar el 200% del de plena carga.

Este tipo de motor es el más corriente en el campo de potencias comprendidas entre los 7.5 y 200 HP, empleándose principalmente en aplicaciones a velocidad constante sin grandes exigencias en el arranque tales como ventiladores bombas y máquinas herramienta.

CLASE C

Los motores diseño NEMA C no se ven mucho en aplicaciones. Tiene un diseño poco común de doble jaula de ardilla. Presentan un par de arranque fuerte, con intensidad de arranque baja, pero tiene menos rendimiento y más deslizamiento en marcha normal que los de las clases A y B. Los motores de diseño Nema C se usan en aplicaciones tales como bandas transportadoras, pulverizadores o compresores especiales.

CLASE D

Son totalmente diferentes a los tipos A, B o C. Tienen un par de arranque fuerte y mucho deslizamiento. Este tipo generalmente tiene el rotor de jaula sencilla de gran resistencia, siendo las barras frecuentemente de bronce. Tienen un gran par de arranque con poca intensidad y un par máximo elevado con 50% de deslizamiento, pero a plena carga trabaja con mucho deslizamiento, del orden del 7 al 11%, lo que supone un bajo rendimiento. Encuentra sus aplicaciones principales en el accionamiento de cargas intermitentes que representen fuertes aceleraciones o choques. Cuando acciona cargas con impactos fuertes, en general el motor está auxiliado por un volante de inercia que reduce las pulsaciones de potencia que repercuten sobre la red de suministro. Para estos casos se requiere un motor cuya velocidad decaiga apreciablemente al aumentar el par, de forma que el volante pueda perder velocidad y ceder parte de su energía cinética.

A4. Dispositivos estáticos para la regulación de motores

Unidad motriz de velocidad ajustable

Para comprender porqué es necesario un control variador de velocidad, primero debemos comprender los requerimientos de los diferentes procesos industriales. Estos procesos pueden ser divididos en dos categorías principales: tratamiento de materiales y transporte de materiales, además de esto existe muchas sub categorías que pueden incluirse bajo estas dos categorías básicas. Un aspecto común es que cada categoría debe ajustarse a la actividad específicamente definida. Para poder hacer esto es que en muchas ocasiones se hace necesario la utilización de algún sistema controlador de velocidad.

Por ejemplo, en aplicaciones de aire acondicionado el flujo requerido cambia de acuerdo a la humedad y a la temperatura de la habitación. Se puede mantener la humedad ajustando la cantidad de aire suministrado o extraído por el sistema de ventilación. Este ajuste puede ser únicamente realizado si se cuenta con un sistema regulador de velocidad. En todo proceso industrial, se requiere de suplir al sistema de: material y energía; el estado del producto final depende de estas variables del proceso. Como se mencionó al principio, existen dos categorías básicas para dividir los procesos de producción industrial. La primera categoría es la de tratamiento de materiales, la cual se lleva a cabo utilizando diferentes tipos de aparatos de proceso para convertir las propiedades de un material de una forma a otra.

Esta primer categoría puede ser dividida en dos grupos de acuerdo al resultado final de la forma del producto que fue tratado. Así, se puede dividir en productos de forma definida o forma indefinida. Los productos de forma definida son por ejemplo: papel, metales y madera, los cuales son procesados con maquinaria como tornos y molinos. Los materiales de forma indefinida son por ejemplo algunos tipos de alimentos y artículos plásticos, los cuales se procesan con máquinas agitadoras o diferentes clases de máquinas centrifugas o extrusoras.

Así, para cada actividad no solo se requiere de materiales y energía que suplan los requerimientos del proceso, sino que el producto final depende también en mucho del tipo de maquinaria y del modo y velocidad con que ésta opere, en este aspecto es donde resulta conveniente la utilización de algún mecanismo regulador.

A4.1 Controladores de velocidad para Motores DC

Las máquinas de corriente continua en general se adaptan mucho mejor a la regulación de su velocidad que las de alterna con campos giratorios a velocidad constante. De hecho, esta posibilidad de variar la velocidad dentro los amplios límites ajustándola a las necesidades del servicio es la que situó a las máquinas de continua en una sólida posición competitiva para muchas aplicaciones industriales.

Los tres procedimientos más empleados para la regulación de la velocidad son: modificando el flujo, normalmente mediante un reóstato de campo en el circuito del devanado de derivación; ajustando las resistencias del circuito inducido y variando la tensión en los bornes del inducido.

La regulación por variación de la tensión en bornes del inducido, se basa en el hecho de que una variación de tal tensión en un motor de derivación va acompañada de una variación análoga de la fuerza contraelectromotriz, esta variación de fuerza genera una variación de flujo y por consiguiente una variación en la velocidad. Generalmente, la fuente de energía disponible es una corriente alterna de tensión constante, por lo que se precisará un equipo auxiliar en forma de rectificadores estáticos o de grupo motor-generator para proporcionar la tensión continua necesaria para alimentar el devanado inducido.

A4.1.1 Regulación de velocidad de los motores utilizados en Durman Esquivel S.A.

Para el proceso productivo en Durman Esquivel lo ideal es contar con un sistema capaz de mantener un torque constante a un diferentes velocidades. Si se contara con un control shunt para un motor se lograría mantener la potencia a velocidad variable no así el torque; por ejemplo, si se contara con un motor de velocidad nominal de 1000 rpm y una potencia de 100 HP, entonces con un control con variación en la resistencia del inducido, se obtendría a 1000 r.p.m. una potencia de 100 HP , lo que implicaría un torque de 712.37 N*m; si se reduce la velocidad a un tercio, o sea a 333 r.p.m. manteniéndose la potencia constante, el torque seria de 2139.27 N*m.

Si el mismo motor esta controlado por la tensión del rotor, a una velocidad de 1000 r.p.m. con una potencia de 100 HP se obtendría el mismo torque (712.37 N*m), ahora si la velocidad se disminuye a un tercio 333 r.p.m., la potencia se disminuirá a 33 HP y el torque obtenido a esta velocidad y potencia será de 712.378 N*m. Por lo que es apreciable que este último modo de controlar la velocidad de los motores es el necesario en esta empresa.

El gran desarrollo alcanzado por los rectificadores estáticos de gran potencia ha abierto un amplio campo en aquellas aplicaciones en las que es necesaria una regulación muy precisa de la velocidad del motor. Aquí en Durman Esquivel se utilizan controladores de velocidad ajustable para motores CD, de diferentes marcas ya sean los controladores SPECTRUN de EMERSON o BETA II de BOSTON GEAR, pero el principio de funcionamiento es muy similar en todos los casos.

Para poder regular la velocidad de los motores se modifica la tensión en los bornes del inducido. Para generar una tensión definida con el fin de obtener una velocidad definida, los sistemas de control que operan los motores de CD de las máquinas extrusoras de la empresa, se valen de dispositivos estáticos denominados tiristores.

Los tiristores son dispositivos con tres terminales que dan paso a una corriente desde su ánodo hasta su cátodo cuando en su borne de control o puerta se aplica una determinada señal de tensión. Los tiristores se utilizan para conseguir una tensión continua regulada a partir de una red de alterna. Se les conoce también con las siglas SCR (silicon controlled rectifier).

Para variar la tensión en el inducido, se utilizan sistemas o bancos de tiristores que suministran corriente continua a los motores. La tensión en el inducido se gradúa regulando el ángulo eléctrico de desfase entre la onda de alterna y la señal aplicada a la puerta (gate en inglés).

Los sistema de control tienen en general los mismos circuitos de control y de operación, para conformar en sí el controlador completo. Presentan circuitos detectores de velocidad; circuitos limitadores de corriente, para prevenir excesos de corriente en los devanados del motor y que este se sobrecaliente y se pueda quemar; circuitos de sincronismo, para sincronizar el disparo de los tiristores con la señal alterna de las líneas de alimentación; circuitos osciladores, para generar los pulsos necesarios en la compuerta de los tiristores, para hacer que estos entren en funcionamiento; circuitos de aislamiento, para aislar y proteger al controlador de cualquier sobrecarga de la líneas y también cuenta con un banco de relays de control.

Así que en términos generales el voltaje necesario para obtener una velocidad específica es el generado a la salida del banco de rectificación de tiristores, los cuales son controlados por los circuitos de sincronismo que determinan cuando se deben generar los pulsos de activación en el la puerta de cada tiristor.

A4.1.2 Qué es un tiristor?

Un tiristor o SCR es un dispositivo semiconductor con tres terminales, tres uniones y cuatro capas, constituido por capas alternadas de silicio de los tipos p y n, la figura siguiente es una representación esquemática del tiristor y de su símbolo eléctrico.

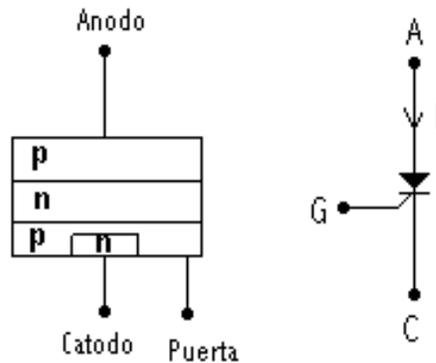


Figura A4.1 Estructura y símbolo del tiristor

En la figura A4.1 la región p extrema representa el ánodo, la región n extrema en el cátodo y la región p interior es la puerta. Esencialmente el dispositivo es un interruptor, idealmente permanece abierto o en corte y se comporta como si tuviera una impedancia infinita, hasta que los terminales de ánodo y puerta se presente una tensión positiva adecuada. Entonces el tiristor se comporta como un interruptor cerrado (deja pasar corriente). La unión pnpn de la figura A4.1, puede considerarse como dos transistores con dos regiones de base. El colector del transistor npn provee la excitación de base para el transistor pnp cuya corriente de colector mas la corriente de puerta, suministra la excitación de base para el transistor npn. Tal como se aprecia en la figura A4.2

Para poner al tiristor en el estado de conducción, es aplicada la corriente de puerta al componente mas sensible del transistor npn de la estructura pnpn. La base n del transistor pnp es cargada por la corriente de colector del transistor npn. De esta manera es iniciada la realimentación positiva por la corriente de colector del transistor pnp que se suma a la carga creada en la base p del transistor npn. El nivel de saturación es alcanzado rápidamente y la corriente está únicamente limitada por la impedancia de la carga.

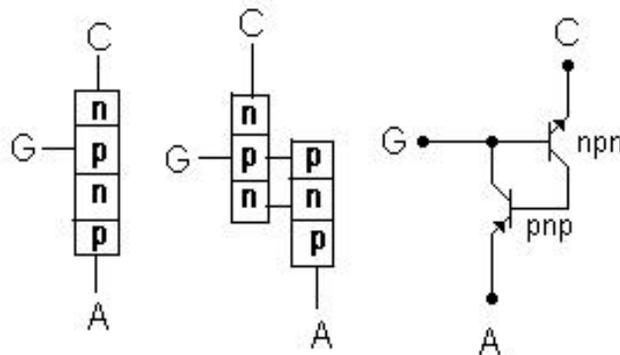


Figura A4.2 Representación esquemática de la estructura y símbolo del circuito eléctrico del tiristor y su modelo de dos transistores

Así pues, para que el tiristor real entre en funcionamiento, se debe inyectar portadores minoritarios adicionales en la región de puerta a través del terminal de puerta. Si la corriente de puerta es suficientemente intensa, el tiristor conducirá tan pronto como el ánodo se haga positivo con respecto al cátodo. Aumentando el tamaño del tiristor se podrá conseguir que la corriente de puerta aumente hasta 250 mA o más, siendo para SCR's de menor tamaño de solo algunos miliamperios.

Con el tiristor en funcionamiento solo existen tres métodos para cortar el tiristor, o sea, para ponerlo en estado de bloqueo o corte:

Corte por conmutación natural, cuando la corriente de ánodo se reduce por debajo de un valor mínimo llamado corriente de mantenimiento.

Corte por polarización inversa, una tensión inversa ánodo cátodo tenderá a interrumpir la corriente del ánodo.

Corte por prueba, en algunos tiristores especialmente diseñados, las características son tales que una corriente de puerta negativa aumenta la corriente de mantenimiento de modo que ésta excede la corriente de carga y el dispositivo se bloquea.

A4.1.3 Reguladores EMERSON

Como ya ha sido mencionado, para que un tiristor entre en funcionamiento, en su terminal conocida como gate o puerta debe presentarse un pulso de tensión, en los controladores disponibles (en Durman Esquivel S.A.) este pulso tiene una amplitud de 8 V CD y una duración de 20 μ s y es repetido cada 110 μ s, para cada tiristor existe un circuito oscilador denominado GATED OSCILATOR, este circuito entra en operación cuando en su entrada llega una señal proveniente del COMPATOR GATE CIRCUITS que mediante transistores y un operacional conectados en forma diferencial determinan cuando el voltaje de la onda de la señal de entrada es igual al voltaje de referencia necesario para una velocidad específica. Con el primer pulso en la compuerta del tiristor, este se pone a funcionar y los pulsos subsecuentes aseguran que el SCR permanezca encendido. Para generar los ciclos de 130 μ s, se utiliza un chip oscilador y la frecuencia se determina por la combinación de resistencias y capacitores que posee.

Para comprender mejor como es que se obtiene el voltaje variable de acuerdo al ángulo en que se disparen los SCR's se procederá a realizar algunos ejemplos gráficos.

Primero que todo, la corriente que llega a los terminales de alimentación es rectificada de las líneas trifásicas mediante un circuito rectificador trifásico de onda completa como el siguiente:

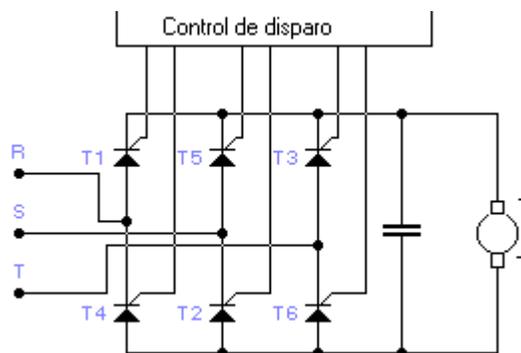


Figura A4.3 Circuito rectificador de onda completa.

En la figura anterior los tiristores pueden ser disparados secuencialmente. Los sistemas de control mantienen encendidos dos tiristores a la vez, la duración del estado de encendido de los tiristores depende del sentido de la corriente que por ellos circule.

El circuito de control determina cuándo y qué señal de voltaje es la que se “deja pasar” para así obtener el voltaje rectificado. Sean las líneas trifásicas determinadas por las iniciales R, S y T; para la siguiente figura la tensión RS, ST y TR se representan con trazos continuos y su inversa SR, TS y RT con líneas punteadas. De esta forma en un ciclo trafico se podrían obtener 6 diferentes ondas de voltajes en lugar de tres. Aunque hay que señalar que en la rectificación únicamente una de estas señales puede aparecer en un instante de tiempo, cuál señal y el momento en que aparezca, es lo que determina cuál será el nivel de CD que se pueda obtener.

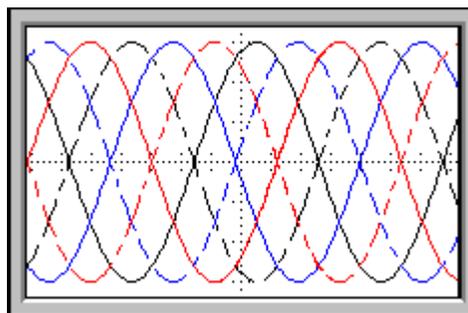


Figura A4.4 Funciones de onda positivas y opuestas de una línea de alimentación trifásica

Se considera α (alfa) como el ángulo en el cual entra a conducir el primer tiristor y ($\alpha = 0$) corresponde a ($\omega t = 30^\circ$) pues este sería el ángulo eléctrico en que conduciría T1 si fuera un diodo. Con este ángulo se obtendría la siguiente forma de onda.

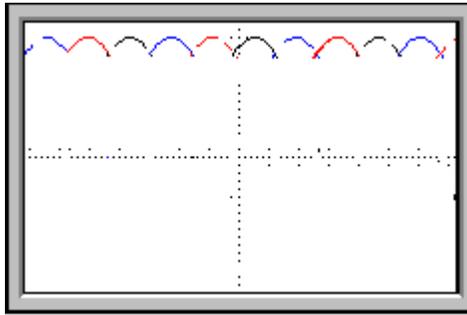


Figura A4.5 Forma de onda de salida del rectificador trifásico de onda completa para un ángulo alfa igual a cero.

Para conocer el nivel de voltaje CD que se obtiene de esta rectificación se debe utilizar la formula del valor medio de una señal cualquiera.

$$\text{Valor Medio} = \frac{1}{T} \int V(t) dt \quad (\text{ec.4.1})$$

En este caso si la amplitud máxima de voltaje de la señal alterna es de 600 V

$$V_m = 6 \left(\frac{1}{2\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} 600 \sin(\omega t) d(\omega t) \right) \text{ V} \quad (\text{ec.4.2})$$

$$V_m = 573 \text{ V}$$

Mediante rectificación trifásica este sería el nivel CD más elevado que se podría obtener. En el manual de instrucción EMERSON referente al controlador de voltaje ajustable de 100 HP a 2000 HP en la página 25 se hace referencia a ciertas formas de onda para obtener un voltaje de armadura de 200 V y 500 V, a través de una fuente trifásica de 600 voltios pico, para el primer caso se debe disparar el primer tiristor a un ángulo α de 100° aproximadamente, obteniéndose una forma de onda como la siguiente:

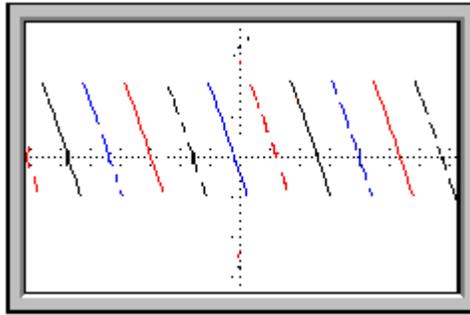


Figura A4.6. Formas de la señal de salida del rectificador trifásico de la figura A4.3 para obtener un voltaje medio aproximado de 200 V

En este caso el valor medio de voltaje aplicando la ecuación 4.1 para esta onda es de:

$$V_m = 6 \left(\frac{1}{2\pi} \int_{130}^{190} 600 \sin(\theta) d(\theta) \right) \text{ V}$$

$$V_m = 195.26 \text{ V} \sim 200 \text{ V}$$

Obsérvese que para alcanzar este nivel de voltaje CD se debió mantener disparados los tiristores incluso cuando el valor de voltaje de la señal senoidal entró en su ciclo negativo.

En el segundo caso, la rectificación de voltaje es muy similar para cuando α es cero, pues α igual a cero corresponde a ωt igual a 30° y en este caso el primer tiristor se dispara a un ángulo ωt de 90 grados aproximadamente, obteniéndose una forma de onda como la siguiente:

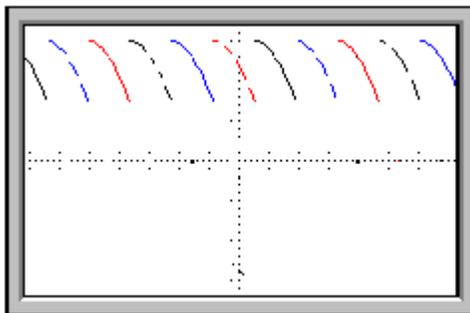


Figura A4.7 Voltaje de salida del rectificador trifásico de onda completa para un ángulo ωt igual a 90° .

En este caso el valor medio de voltaje para esta onda es de:

$$V_m = 6 \left(\frac{1}{2\pi} \int_{\pi/2}^{5\pi/6} 600 \sin(\omega t) d(\omega t) \right) V$$

$$V_m = 496.2 V \sim 500 V$$

Así que dependiendo del ángulo en que se dispare el primer SCR se puede generar a la salida del circuito rectificador una variedad de niveles de CD, con los cuales es posible variar la velocidad del motor. Siendo el nivel máximo posible de voltaje rectificado el determinado por la formula:

$$V_{MCD} = \left(\frac{3V_M}{\pi} \right) \quad (\text{ec 4.3})$$

Donde V_m es la amplitud pico de la señal senoidal.

Con este tipo de controlador se puede obtener una señal CD rectificada de 0 voltios y mantener una corriente continua en el motor.

Esto sucede por la siguiente razón: dado que el voltaje en una de las líneas de alimentación trifásica presenta un comportamiento senoidal con una función:

$$V(t) = V_m \sin(\omega t) \quad (\text{ec. 4.4})$$

Si este voltaje es aplicado al motor, que prácticamente es un sistema inductivo, la corriente que circula por uno de los bobinados es:

$$i(t) = \frac{1}{L} \int V_m \sin(\omega t) dt = \frac{-1}{\omega L} V_m \cos(\omega t) = \frac{1}{\omega L} V_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (\text{ec 4.5})$$

Con la ecuación anterior se demuestra que la corriente en el bobinado del motor se encuentra atrasada en 90° eléctricos con respecto al voltaje que esta en sus espiras. Por lo tanto cuando se presenta un mínimo en la señal de voltaje, existe un máximo en la señal de corriente y viceversa.

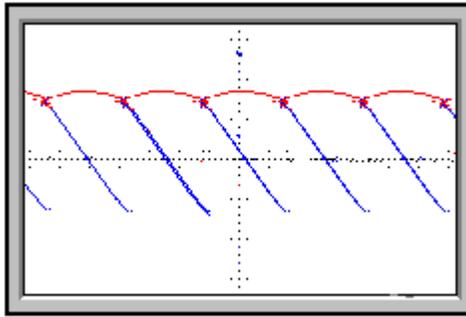


Figura A4.8 Forma de ondas de la corriente y el voltaje rectificado con el cual se obtiene un nivel de CD de cero voltios.

En la figura A4.8 las líneas azules indican la forma de onda de la salida del rectificador, esta rectificación genera un voltaje con nivel CD cero. La corriente en las diferentes fases aparece en la salida el rectificador únicamente cuando el tiristor respectivo se encuentra disparado, las líneas rojas de la figura A4.8 representan la forma de onda de corriente.

La demostración realizada en la ecuación 4.5, explica el porque para cada par de tiristores la corriente que fluye por ellos esta 90° atrasada con respecto al voltaje de los terminales del rectificador y en la figura A4.8 se aprecia que cuando se alimenta el motor con un nivel de voltaje cero, la corriente que este consume de la red es máxima, este consumo de corriente es necesario para poder mantener el torque requerido. Con esto también se concluye que cuánto más se disminuye la velocidad del motor (a un torque constante), se aumenta la corriente del mismo

A4.2 Controladores de velocidad para Motores de CA

La habilidad de un motor CA de convertir energía eléctrica a energía mecánica esta basada en la inducción electromagnética. El voltaje en el bobinado del estator en forma de corriente y flujo magnético. La dirección de este flujo puede ser determinada usando la regla de la mano derecha.

Cuando cambia la dirección del voltaje en el cableado del estator, también cambia la dirección del flujo. Con un cambio de voltaje en las tres fases de un motor trifásico, en un orden correcto, el flujo magnético del motor comienza a girar, el rotor del motor entonces empieza a seguir el flujo con un cierto deslizamiento. Éste es el principio básico utilizado para controlar los motores CA.

Éste control puede ser manipulado utilizando un convertidor de frecuencia. Como su nombre lo indica, un convertidor de frecuencia cambia la frecuencia del voltaje y la corriente alterna. Un convertidor de frecuencia se compone de tres partes: un sistema rectificador, un banco de capacitores y un sistema inversor.

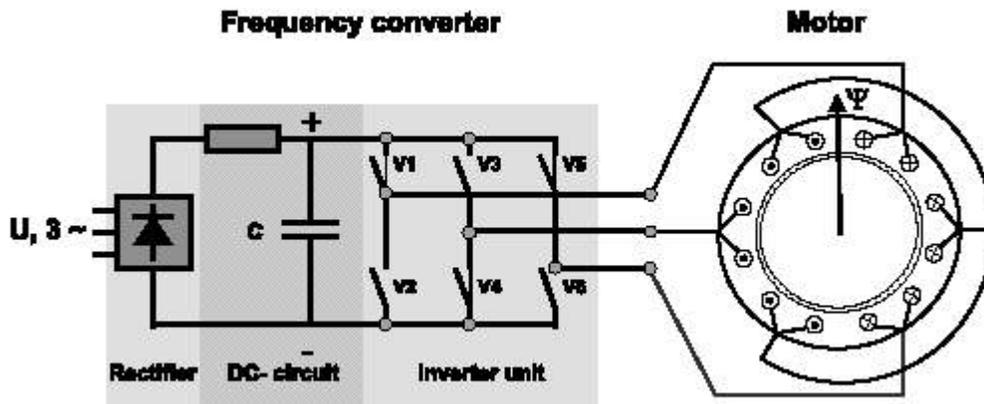


Figura A4.9 Diagrama elemental de un convertidor de frecuencia

El sistema rectificador es el encargado de que convertir la corriente alterna de una fuente trifásica a corriente directa (tal como se expuso en la sección de controladores CD). El voltaje CD es alimentado dentro de un circuito de banco de capacitores, el cuál filtra el voltaje pulsante para linealizarlo. La unidad inversora conecta a cada fase del motor las terminales positiva o negativa del bus DC de acuerdo a las necesidades del sistema. En la figura A4.9 se muestran una serie de interruptores, que en la realidad se trata de un circuito de control con semiconductores, los cuales se encuentran aislados del sistema de control principal por medio un sistema óptico, estas válvulas semiconductoras son generalmente transistores de potencia o IGBT's.

Para recibir un flujo en la dirección mostrada en el diagrama de la figura A4.9, los switches V1, V4 y V5 deben estar cerrados. Para hacer que el flujo rote en contra de las manecillas del reloj, el switch V6 tiene que ser cerrado pero V5 debe abrirse. Si el switch V5 no se abre, se creará un corto circuito. Así entonces con el nuevo cambio el flujo se ha movido 60°, tal como se aprecia el diagrama 2 de la figura A4.10.

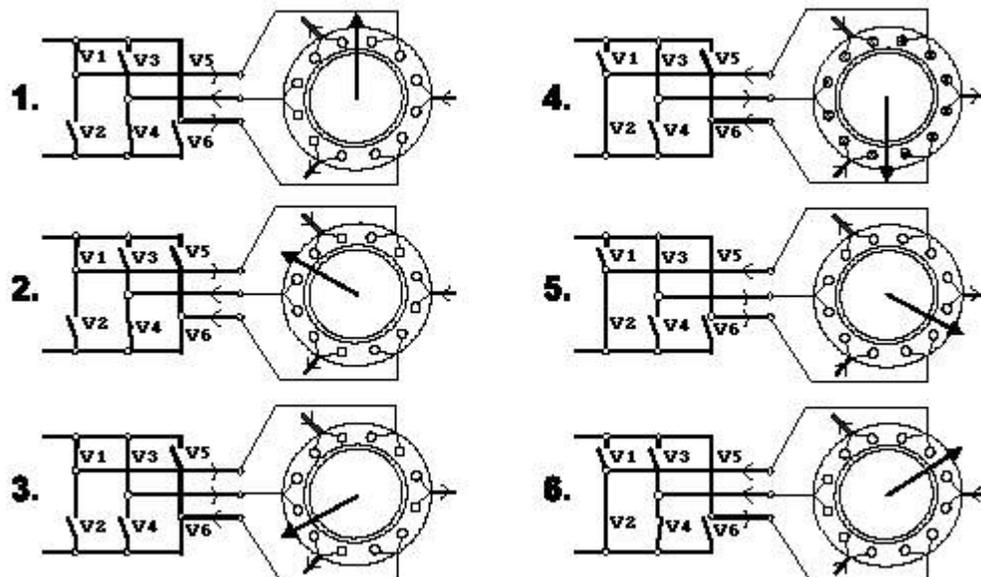


Figura A4.10 Secuencia de conmutación de los interruptores semiconductores de un circuito inversor para generar una revolución en un motor CA.

Existen ocho diferentes posiciones de switching en el inversor. En dos posiciones el voltaje es cero, esto se presentan cuando se conectan todas las fases del motor a una única terminal del bus DC, ya sea la positiva o la negativa. Así, en las restantes seis posiciones hay un voltaje en el bobinado del motor y este voltaje crea un flujo magnético.

En la figura A4.10 se muestran estas seis posiciones y la dirección del flujo que se genera de acuerdo al voltaje en cada caso. El voltaje también genera una corriente en el bobinado, la dirección de esta corriente es indicada en forma de flechas en cada fase.

Activando o desactivando en forma correcta los mecanismos que abren y cierran las válvulas de control, se puede hacer que el motor genere una revolución como se ve en la figura anterior, la velocidad con que se den estos cambios de señal es la que determina cuál será la frecuencia de operación del motor y de acuerdo a las características del mismo, se obtendrá la velocidad de giro del rotor.

En la práctica, el control no es tan simple como el presentado aquí. El flujo magnético genera corrientes en el rotor, estas corrientes en el rotor complican la situación. La Interferencia Externa, como temperatura del motor o cambios de cargas, pueden también causar algunas dificultades de control. De cualquier forma con los conocimientos y la tecnología que existe actualmente, es posible controlar estas interferencias de una forma eficiente. Hay que hacer notar que el módulo más importante para un controlador A.C. es el que determina cuándo es qué cada una de las válvulas debe ser abierta o cerrada, para permitir o no el flujo de corriente hacia algún bobinado del motor.

Los controladores de velocidad variable proveen muchos beneficios adicionales, uno de ellos es la utilización eficiente de la energía, pues los motores no utilizan mas energía que la requieren.

A4.2.1 Drivers para motores CA

La evolución de la tecnología de los controladores de velocidad variable CA, ha sido guiada a emular el desempeño de los controladores DC, los cuales tienen una rápida respuesta de torque y una precisión en la velocidad, pero utilizando las ventajas ofrecidas por los motores CA estándar.

Control de frecuencia usando PWM

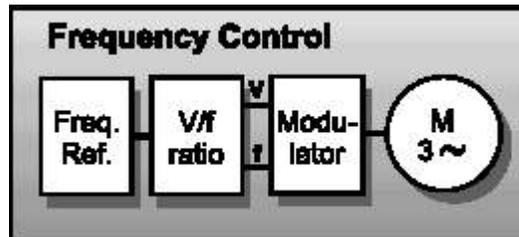


Figura A4.11 Diagrama de bloques de un sistema de control PWM del tipo Control Escalar

Características:

- Las variables de control son voltaje y frecuencia
- Simulación de la onda senoidal utilizando un modulador.
- Flujo constante a través de la relación V/f
- La carga determina el nivel del torque.

Tal como el controlador DC, la técnica de control de frecuencia utiliza como variables de control, parámetros generados fuera del motor, como lo son el voltaje y la frecuencia.

Ambos voltaje y frecuencia son generados dentro del modulador y alimentan al bobinado del estator del motor. Esta técnica es llamada Modulación por Ancho de Pulso (Pulse Width Modulation, PWM) y utiliza el principio de que existen diodos rectificadores que generan un voltaje DC a partir de la fuente principal de CA, este voltaje se mantiene constante. El control inversor PWM para el motor, genera un tren de pulsos que determinan el voltaje y la frecuencia hacia el motor.

Significativamente, este método no utiliza un mecanismo de retroalimentación que tome la velocidad o la posición del motor, para agregarlo al lazo de control. Este arreglo, sin retroalimentación, es llamado “Control de lazo abierto”.

Ventajas:

Bajo costo

No necesita mecanismo de retroalimentación

Como no hay retroalimentación, el principio de control implica un bajo costo y una simple solución para un control económico en un motor de inducción CA. Este tipo de control es utilizable en aplicaciones que no requieren altos niveles de precisión, como son las bombas de agua y ventiladores.

Desventajas:

No utiliza un campo de orientación

El estado del motor es ignorado

El torque no es controlado

Utiliza un modulador retardado

Con esta técnica es conocida como Control Escalar, en ella la orientación del campo del motor no es utilizada. En lugar de ello, la frecuencia y el voltaje son las principales variables de control y están aplicadas al bobinado del estator. El estado del rotor es ignorado, lo que implica que no hay una señal que indica el estado o la velocidad del motor. De esta forma, el torque no puede ser controlado con ningún grado de precisión. Además, esta técnica utiliza un modulador el cuál disminuye la relación voltaje frecuencia necesaria para que el motor responda a los cambios de señal.

Control Flux Vector utilizando PWM

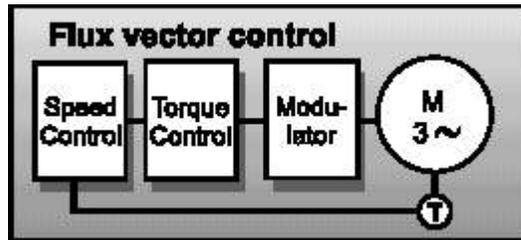


Figura A4.12 Diagrama de bloques de un sistema de control Flux Vector
Características:

Control de la orientación del campo (simula controlador DC)

Las características eléctricas del motor son simuladas

Control de lazo cerrado

Torque controlado indirectamente

Para emular las condiciones de operación magnéticas de un motor DC, el flux-vector necesita conocer la posición espacial angular del flujo del rotor dentro del motor de inducción CA. Con el controlador flux vector PWM, la orientación del campo es lograda simulando un conmutador mecánico a través de medios electrónicos, tal como lo harían las escobillas en un motor de corriente directa.

Primeramente la información acerca del estado del rotor, es obtenida midiendo la velocidad del rotor, y la posición angular relativa al campo del estator está referida al codificador de pulsos. Un control que utiliza un decodificador de velocidad como referencia, es conocido como "Control de Lazo Cerrado".

También las características eléctricas del motor son matemáticamente modeladas con procesadores de datos. El controlador electrónico del flux vector convierte los datos a variables eléctricas tales como: voltaje, corriente y frecuencia. Estas variables son suministradas al motor de inducción. Así, de esta forma el torque es controlado indirectamente.

Ventajas:

- Buena respuesta de Torque
- Precisión en el control de velocidad
- Máximo torque a velocidad cero
- Desempeño similar al controlador DC

Desventajas:

- Necesita lazo de retroalimentación
- Muy costoso
- Necesita un modulador

Para obtener un torque con alto nivel de respuesta y una velocidad confiable, es necesario un mecanismo de retroalimentación. Esto puede ser costoso y también agrega complejidad al motor de inducción tradicional. También, al ser usado un modulador se disminuye la velocidad de comunicación entre las entradas de voltaje y frecuencia y la necesaria para que el motor responda a estos cambios de señal. A pesar de que el motor es mecánicamente simple, el controlador es electrónicamente complejo.

Controlador DTC

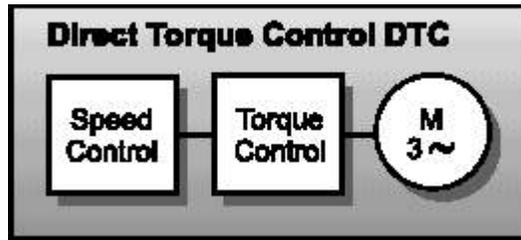


Figura A4.13 Diagrama de bloques de un sistema del tipo DTC

En la tecnología DTC la orientación del campo es controlada sin necesidad de retroalimentación, esto se hace utilizando teoría avanzada de motores, para calcular directamente el torque del motor y esto sin necesidad de utilizar un modulador. Las variables de control en el motor son el flujo magnético y el torque. Con el DTC no existe un tacómetro o un codificador de posición para retornar la velocidad o la posición del eje del motor. El DTC procesa rápidamente las señales digitales para determinar como está trabajando el motor. El resultado se refleja en una respuesta de torque que es 10 veces mas rápida que cualquier controlador DC o CA. La velocidad dinámica es 8 veces mejor que la de un controlador CA de lazo abierto y es comparable con la de un controlador DC que este usando retroalimentación.

Ventajas:

- El flujo y el torque del motor son controlados directamente.
- No requiere un modulador, para controlar la frecuencia y el voltaje.
- Elevada velocidad de respuesta a los cambios de torque requeridos.
- Control preciso del torque.
- No requiere mecanismo de retroalimentación.

A4.2.2 Sistema de control DTC para motores de CA

De las características de los controladores para motores de corriente alterna expuestos anteriormente, se considera que en la actualidad el mas eficiente de ellos en las aplicaciones es el controlador tipo DTC, las principales razones consideradas para tomar esta decisión son las siguientes:

- Presenta un preciso control de torque a bajas frecuencias, se puede alcanzar un torque a plena carga a una velocidad cero, esto sin utilizar un lazo de retroalimentación o un tacómetro. Con el DTC, la velocidad puede ser controlada a frecuencias menores de 0.5 Hz.

- Rápida respuesta de torque: el control de salida puede determinar fácilmente el valor específico de torque necesario, aún cuando la referencia del torque sea la nominal 100%. Para el sistema DTC, una típica respuesta al cambio de torque es de 1 a 2 ms por debajo de 0.5 Hz comparado con los 10 - 20 ms para el flux vector y los drivers DC con decodificadores. Con un PWM a lazo abierto el tiempo de respuesta típico esta sobre los 100 ms. De hecho, con esta respuesta de torque, el DTC a alcanzado el limite natural; con el voltaje y la corriente necesaria, el tiempo de respuesta podría ser menor.

Diferencias entre el control PWM y el control DTC

Los controladores tradicionales PWM usan las salidas de voltaje y de frecuencia como las principales variables de control, pero estas necesitan ser moduladas con un ancho de pulso para ser aplicadas al motor. Este estado de modulación agrega un tiempo de procesamiento de la señal y de esta forma se limita el nivel del torque y la velocidad de respuesta posible. Típicamente, un modulador PWM toma 10 veces mas tiempo para responder a un cambio que un DTC .

El controlador DTC utiliza al flujo del estator y al torque del motor como principales variables de control, ambos parámetros se obtienen directamente desde el motor mismo. De esta forma, con el DTC, no hay necesidad de separar el voltaje y la frecuencia controladas. Otra gran ventaja del DTC es que no necesita un mecanismo de retroalimentación para el 95% de todas sus aplicaciones.

Existen cuatro razones principales para que el controlador DTC no necesite de un tacómetro o un codificador de posición, estas son:

Contiene un preciso modelo del motor

El control de las variables se toma directamente desde el motor

Las señales se procesan rápidamente en el DSP y Optimum Pulse Selector

No hay necesidad de un modulador.

Cuando se combinan los dispositivos del DTC, este es capaz de calcular el "switching" de voltaje 40000 veces por segundo. Esto es suficientemente rápido como para controlar el apagado y encendido de los interruptores individualmente. Una vez cada 25 microsegundos, los semiconductores del inversor están generando el switching modelado para producir el torque requerido. Este rango de actualización es substancialmente menor que cualquier constante de tiempo en el motor. Con esto, el motor es ahora el elemento limitante y no el inversor. Así es posible que a bajas frecuencias el paso a torque nominal pueda ser incrementado en menos de un milisegundo.

A4.3 Teoría Básica del controlador DTC

La figura A4.14 muestra el diagrama de bloques completo para el Direct Torque Control (DTC)

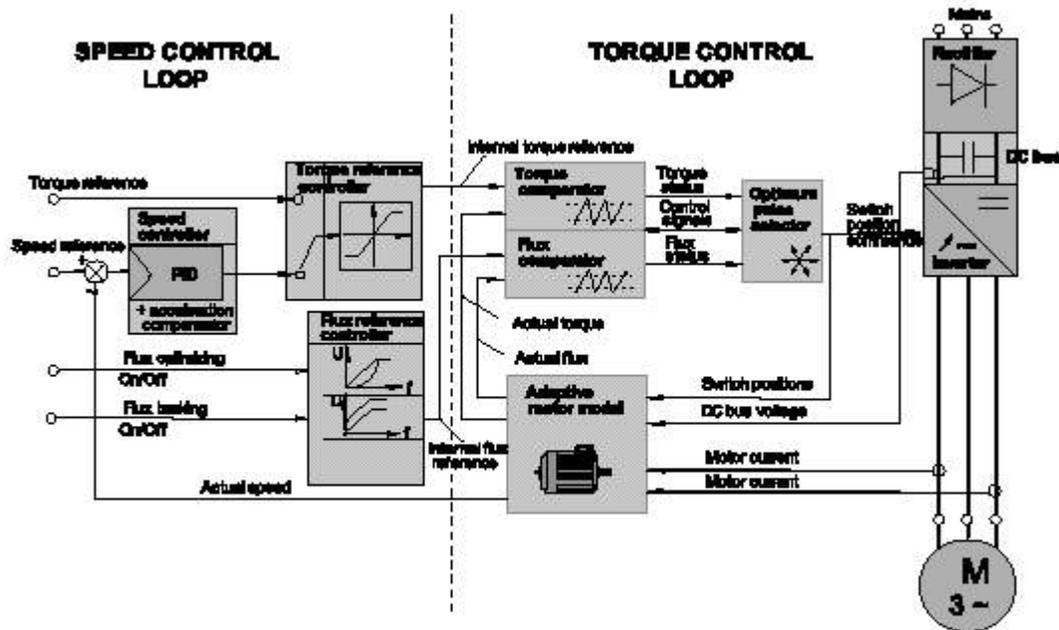


Figura A4.14 Diagrama general básico del sistema de control DTC

El diagrama de bloques muestra que el DTC tiene dos secciones fundamentales: el Lazo de Control de Torque y el Lazo de Control de Velocidad. Por lo cual se analizará cada bloque por separado.

A4.3.1 Lazo de Control del Torque

La figura A4.15 muestra los elementos que integran este bloque de control, como se aprecia en dicha figura existen cinco módulos principales: el Modelado del Motor, el Comparador de Torque y Flujo, el Selector de Pulso Óptimo, el Sistema Rectificador, el Banco de Capacitores y el Sistema Inversor. Los números de las banderas se utilizaran como referencia para seguir el proceso de control.

La zona indicada con el número 1 muestra cuales son señales utilizadas para la medición de voltaje y corriente que se esta inyectando al motor. En una operación normal, dos fases del motor poseen corriente y el bus de voltaje CD esta trabajando de acuerdo a la posición de los switch del inversor.

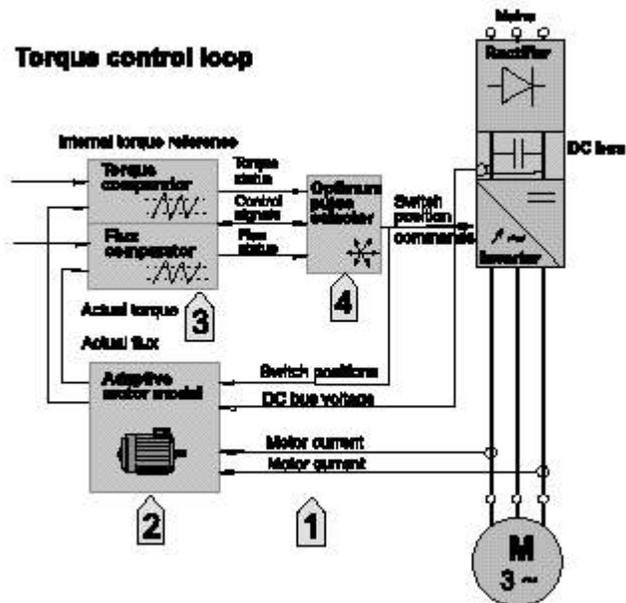


Figura A4.15 Diagrama de bloques del módulo del lazo de control de torque. La información obtenida del motor es alimentada al Modelo Adaptado del Motor. El sistema de este módulo ("Motor Model") mantiene datos precisos acerca del comportamiento del motor y los compara con los datos del modelo matemático que ha sido determinado con anterioridad.

Antes de que estuviera operando el control DTC, el Motor Model es alimentado con la información acerca del motor, la cual es recolectada durante una ejecución de identificación, esto es llamado "auto tuning". Cada dato como lo es, la resistencia del estator, la inductancia mutua y el coeficiente de saturación son determinados junto con la inercia del motor.

La identificación de los parámetros del modelo del motor pueden ser dados sin que el eje del motor este girando; el modelado se mejora cuando en el proceso de identificación se incluye el giro del eje del motor por algunos segundos. Si los requerimientos de precisión en la velocidad estática son superiores al 0.5% como sucede en la mayoría de las aplicaciones industriales, no hay necesidad de retroalimentar la velocidad o la posición del eje del motor con tacómetros o codificadores.

El modelado del motor es en sí la llave del DTC para generar las características de operación a baja velocidad.

La información a los switches de control de potencia es producida en el “Torque and Flux Comparator”, tal como señala la bandera tres de la figura A4.15. Ambos valores actualizados de torque y flujo son alimentados al comparador cada 25 microsegundos, y son comparados con valores de referencia de flujo y torque. El estado de las señales de torque y de flujo son calculadas usando un método de control con dos niveles de histéresis. Estas señales son entonces alimentadas al “Optimum Pulse Selector”.

Junto con el Optimum Pulse Selector esta un procesador digital (DSP) de 40 MHz, el cuál junto con el hardware ASIC determinan el switching lógico del inversor. Todas las señales de control son transmitidas a alta velocidad vía enlace óptico. La configuración del Optimum Pulse Selector opera a una velocidad de procesamiento, que permite que cada 25 microsegundos se activen los mecanismos semiconductores del sistema inversor y generen el pulso óptimo de recarga o restablecimiento, para mantener el control del torque.

La activación correcta de los interruptores es determinada en cada ciclo de control. No existe una secuencia de activación predefinida. El DTC tiene como referencia el control “just in time”. En el controlador tradicional PWM el 30% de todos los cambios de switchig son innecesarios, con el DTC, la activación de los interruptores semiconductores, se generan solo cuando son requeridos.

La velocidad de muestreo permite mantener un seguimiento de los cambios presentados en el eje del motor y cuando fuese necesario la actualización de la información del “ Motor Model”.

A4.3.2 Lazo de Control de Velocidad

La figura A4.16 muestra el diagrama de bloques correspondiente al lazo de control de velocidad. En ella, el modulo denominado “Torque Reference Controller” es el encargado de limitar la salida del lazo de control de velocidad, esto lo hace de acuerdo con el limite de torque programado y con el voltaje del bus DC. Este lazo también incluye el control de velocidad para cuando es utilizada una señal de torque externa. La señal de referencia de torque interno alimenta al modulo Comparador de Torque de este lazo de control.

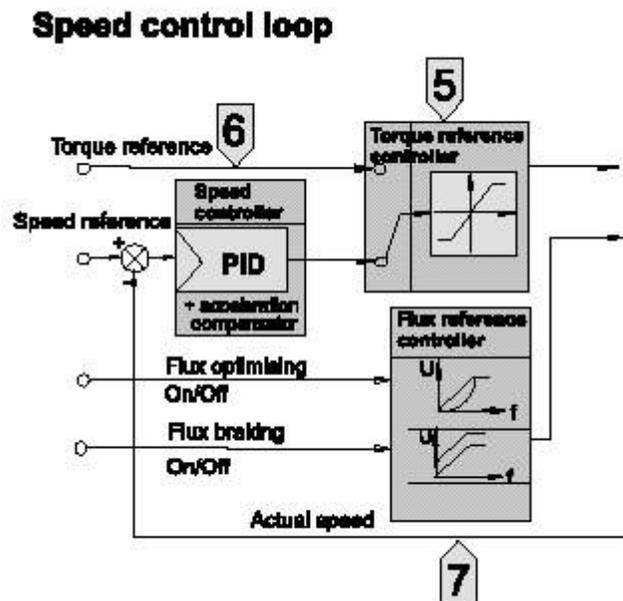


Figura A4.16 Diagrama de bloques del lazo de control de velocidad del sistema Direct Torque Control.

El bloque "Speed Control" señalado en la figura A4.16 con la bandera 6, se compone de un controlador PID y de un compensador de aceleración. La señal de referencia de velocidad externa es comparada con la velocidad producida por el modelo del motor. La señal de error generada en esta comparación es alimentada al compensador PID y al compensador de aceleración, la salida del Speed Controller es entonces la suma de ambas señales.

El valor absoluto del flujo del estator pasa del bloque "Flux Reference Controller" al bloque denominado "Flux Comparator" del lazo de control de torque. La habilidad para controlar y modificar este valor absoluto, provee una forma fácil de realizar muchas funciones de inversión tales como la optimización del flujo y el frenado por flujo.

APÉNDICE A2

Manual de Usuario del Software desarrollado

DURMAN ESQUIVEL S.A.



Manual de usuario del software

CONTROL REMOTO EX11

Noviembre del 2002

Aspectos Generales del Programa

El programa “Control Remoto EX11”, es un software diseñado exclusivamente para mantener un control de los parámetros de proceso de la máquina extrusora numero 11 de la empresa Durman Esquivel S.A., por ningún motivo es aconsejable utilizarlo en otra maquina a menos que se tenga la certeza de que el plc y el software de éste es exactamente igual al de la maquina Ex 11.

El programa en sí, se compone de 8 módulos; un módulo de Inicialización, un módulo Principal, un módulo de Temperaturas, un módulo de Control de velocidad del proceso, un módulo Gráfico para generar la gráfica de resultados, un módulo de Alarmas, un módulo de Programación y un Módulo Manipulador de Datos (sobre este ultimo, el usuario no puede tener acceso).

Para realizar el control y chequeo de datos el sistema, mantiene una comunicación constante con el PLC para conocer el valor de ciertas variables y el estado de los algunos de los bits. En términos generales el programa se encuentra muestreando un total de 69 variables y 86 bits.

De las variables muestreadas, sobre 44 de ellas se tiene un control permanente y automático de cambios que se presenten, estas variables corresponden a los valores de velocidad del motor principal, del motor dosificador y de los husillos, además de la corriente del motor principal, la temperatura de plastificación, presión de los tornillos y los valores de las temperaturas de las 19 zonas de calentamiento.

De los 89 bits de los que se tiene control, 52 corresponden a la totalidad de las posibles causas de activación de alarma. De los 37 bits restantes, 19 son utilizados para encender o apagar las zonas de calentamiento y los otros 18 bits, corresponden a las señales de incremento y decremento de velocidad del motor principal, del motor dosificador y del motor de la haladora, además de las señales de incremento y decremento simultáneo de estos motores, también entre estos bits están las señales de encendido y apagado de los diferentes motores y de la bomba de vacío, así como la señal para el restablecimiento de las alarmas.

El sistema, automáticamente interpreta, los cambios de las variables y de los bits seleccionados y efectúa la acción correspondiente.

Al igual que en la maquina extrusora, el programa posee los procedimientos necesarios para controlar la maquina haladora; estos procedimientos están inhabilitados, pero quedan previstos para un uso futuro.

El programa Control Remoto EX11, genera una señal interna cada 30 segundos, esta señal es utilizada como referencia para actualizar la base de datos de las siguientes variables:

- 1) Velocidad del motor principal
- 2) Corriente del motor principal
- 3) Velocidad del motor dosificador
- 4) Presión de los tornillos
- 5) Temperatura de proceso de las 19 zonas de calentamiento

La información contenida en estas bases de datos puede ser apreciada en forma grafica en el modulo graficador de datos

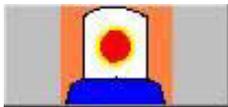
Si en alguna de las zonas de calentamiento, la termocupla se encuentra desconectada, el sistema no considera este dato como valido y por tanto no actualiza la base de datos correspondiente.

1. Función de los botones que aparecen en el programa

Estos son los botones más comunes del programa, se encuentran en la parte inferior de alguna de las páginas y en la mayoría de los casos, son el modo de acceder a otras páginas gráficas.



Este botón se encuentra en todas las páginas gráficas de los diferentes módulos, con este botón se apaga el motor principal de la máquina extrusora y con ello se detiene el proceso de extrusión. Por seguridad, no es permitido a través del sistema remoto, encender el motor principal.



Con este botón se genera la señal al PLC para que ejecute la función de restablecimiento de alarmas, además, en caso de que se encuentre activa alguna de las señales de alarma, la figura del botón aparenta estar girando. Este botón al igual que el anterior aparece en todas las páginas del programa.



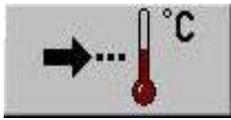
Cuando en una página aparezca este botón y se presione, se accederá nuevamente a la página principal.



Este botón se utiliza para acceder al módulo de control, del cual es posible aumentar o disminuir la velocidad del motor principal y el motor dosificador. También es posible desde este módulo encender y apagar el motor dosificador y la bomba de vacío.



Este botón corresponde a la petición de acceso al sistema de parámetros de protección y de paro. Para ingresar a este módulo se debe contar con una clave de acceso que es la misma que se necesita para acceder a estos parámetros a través de la touch screen de la máquina extrusora.



Con este botón se accesa al módulo de temperaturas desde el cual se pueden apreciar y manipular los parámetros que afectan a las 19 zonas de calentamiento



Debido a la cantidad de zonas de temperatura, éstas están divididas en dos secciones. Con el botón mostrado se accesa a las restantes zonas de temperatura. Dependiendo de las zonas mostradas, la imagen del botón cambia, si las zonas mostradas son las correspondientes a las zonas 0 a 9, al presionar el botón, se despliega la información de las zonas 10 a 18.



Este botón tiene la función de desplegar la página que presenta en forma grafica la información almacenada del comportamiento en el tiempo de la corriente del motor principal, la presión de masa o la velocidad del motor principal o del motor dosificador.



Este botón tiene la función de desplegar la página gráfica, que tiene acceso a la información de los archivos correspondientes a la información almacenada de la temperatura de proceso de las diferentes zonas de calentamiento.

2. Módulo de Inicialización

Este módulo es el que se despliega al ejecutarse el programa, la imagen que identifica a este módulo es la siguiente:



Leyendas

1. Logo
2. Nombre del programa
3. Ejecución en proceso
4. Barra de proceso

Función del módulo

Realizar la conexión entre el PLC y el computador accedando los parámetros requeridos por el programa para que el control de la máquina extrusora funcione efectivamente. La barra de proceso es un indicador del avance del proceso de inicialización, con esto el usuario puede darse cuenta en una forma gráfica que porcentaje de la inicialización se ha realizado y cuanto hace falta.

Posibles Problemas durante la Inicialización

Son dos los problemas que se pueden presentar durante la inicialización del sistema.

1. *Falla en la Inicialización del DDE*

Este mensaje aparece cuando el programa Data Server DDE de la compañía Host Engineering Inc no se inicia en el tiempo estipulado y el sistema hace la primera solicitud de lectura cuando el Data Server aun no se encuentra totalmente activo. Este tipo de error es identificado por el siguiente mensaje:



Solución

Cuando ocurra este error, ejecute nuevamente el programa, en esta ocasión el problema ya no se presentará.

2. *Excedido Tiempo de Respuesta*

Este error aparece cuando existe una mala conexión del cable de comunicación en el PLC o en el puerto serial de la PC. Cuando este error se genera, aparece el siguiente mensaje:



Solución

Revise y ajuste la conexión del cable.

3. Módulo principal

La pantalla gráfica con la que se identifica esta página es la siguiente:



Leyendas

1. Icono representativo de la página
2. Título de la página
3. Barra de funciones
4. Columna de valores actuales.
5. Área de despliegue
6. Indicadores del estado de los motores
7. Barra de Botones de Acceso
8. Apagar motor principal
9. Acceso módulo de control
10. Acceso al módulo de parámetros de protección
11. Acceso al módulo de temperaturas
12. Restablecimiento de alarmas

Función del módulo

La función principal de este módulo es la de controlar y distribuir la información proveniente del PLC. En esta página al igual que en las demás, se puede apreciar en displays numéricos claramente identificados, la información real de diversos parámetros presentes en el proceso de extrusión. Además, desde este módulo, se tiene acceso a todos los módulos del programa con excepción del encargado de generar las gráficas concernientes a la información almacenada.

Acciones de la barra de funciones

Salir del Programa: termina la ejecución del programa, antes de hacer esto, aparece una caja de dialogo para que el usuario confirme o cancele la acción.

Ver Informe de Alarmas: despliega la información que contiene el archivo de alarmas, este archivo se actualiza cada vez que se genera una señal de alarma. Para ampliar detalles, ver la sección “Informe de Alarmas”

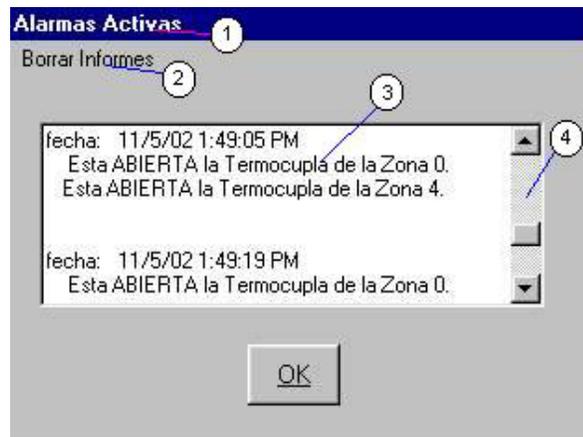
Acerca de: es el acceso al módulo de información del programa, contiene la información del programa de Control Remoto y del sistema.

Área de despliegue

La figura mostrada en esta área simboliza a la máquina extrusora, esta figura contiene dos imágenes en forma de flecha curva. Estas imágenes son los indicadores del estado de encendido o de apagado del motor principal y del motor dosificador. Si alguno de ellos se encuentra encendido, la flecha representativa de ese motor estará girando y si el motor esta apagado, la flecha estará inmóvil.

4. Informe de Alarmas

La pantalla gráfica con la que se identifica este módulo es la siguiente:



Leyendas

1. Titulo de la página
2. Barra de funciones
3. Área de despliegue de información
4. Barra de desplazamiento

Funciones del módulo

Son dos las funciones de este módulo.

La primera es la de desplegar un texto cuando se activa una señal de alarma. En este texto, se indica la causa que activo la alarma y almacena la información en una base de datos.

La segunda función de este módulo, es la de mostrar la información que contiene la base de datos generada por las fuentes de alarmas. La petición de esta opción es únicamente realizada desde la página del módulo principal. Cuando este módulo está efectuando esta función la Barra de Funciones se activa.

Acciones de la barra de funciones

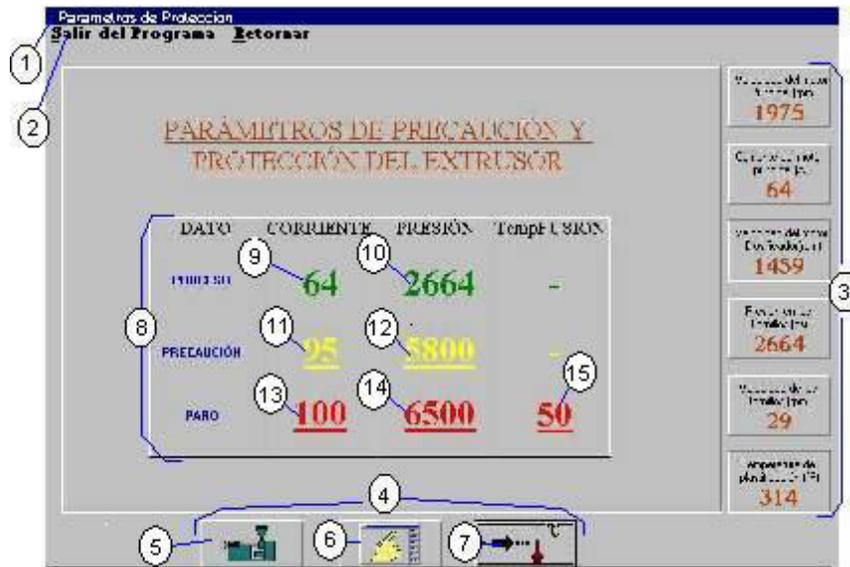
Borrar Archivo: esta función es accesible únicamente cuando el módulo es invocado desde la página principal y no cuando se activa automáticamente. Esta función borra la base de datos que contiene el registro de las causas de activación de alarma. Al solicitar esta acción aparece una caja de dialogo para que el usuario la confirme o la cancele.

Área de despliegue

Esta es el área selecciona para desplegar la información de las alarmas, cuando la cantidad de alarmas es superior al espacio determinado, se activa la barra de desplazamiento para expandir el espacio de información.

5. Módulo de Parámetros de Protección

La pantalla gráfica con la que se identifica este módulo es la siguiente:



Leyendas

1. Título de la página
2. Barra de funciones
3. Columna de valores actuales.
4. Barra de Botones de Acceso
5. Retornar al módulo principal
6. Ir al módulo de control
7. Ir al módulo de temperaturas
8. Área de despliegue
9. Corriente de proceso del motor principal
10. Presión real de masa
11. Corriente de precaución
12. Presión de precaución
13. Valor máximo de corriente permitida
14. Valor máximo de presión permitida
15. Temperatura mínima de fusión

Función del módulo

La función de este módulo es la de ajustar los parámetros de precaución y protección de la corriente del motor principal, de la presión de masa y de la temperatura de fusión. Dado que ingresar un dato erróneo en esta página puede generar graves daños en la máquina extrusora, es que el acceso a este módulo está restringido.

Acceso al Módulo de Protección

Para acceder a este módulo, se debe presionar desde el módulo principal el botón correspondiente (ver función de los botones). Al presionar el botón en el módulo principal, aparece la siguiente caja de diálogo:



En la caja de diálogo anterior, se debe ingresar la clave de acceso, la cual es la misma que se utiliza desde la touch screen de la máquina extrusora para ingresar a la página equivalente.

Área de despliegue

Esta área contiene plenamente identificados los parámetros de proceso, precaución y paro. Para realizar el cambio de un parámetro, se debe hacer lo siguiente;

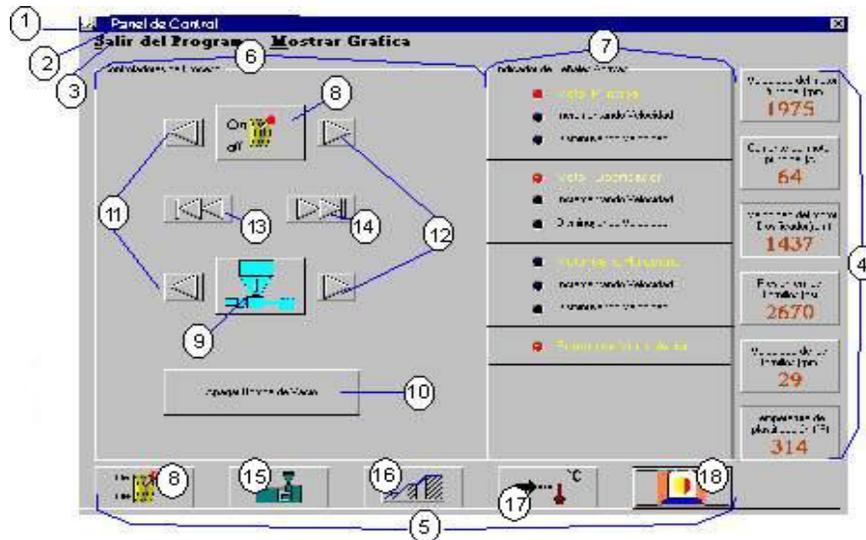
1. seleccionar la casilla correspondiente, si la información es manipulable el dato se marcará en azul
2. digitar el nuevo valor
3. presionar la tecla ENTER para que el sistema verifique el dato o ESC para cancelar

Al presionar ENTER, si el dato es valido, el sistema enviará la información al PLC, de lo contrario restablecerá el valor anterior y mostrara un mensaje:

“ Error: Ingreso de dato no valido”

6. Módulo de Control

La pantalla gráfica con la que se identifica este módulo es la siguiente:



Leyendas

1. Icono representativo de la página
2. Título de la página
3. Barra de funciones
4. Columna de valores actuales.
5. Barra de Botones de Acceso
6. Área de Botones de Control
7. Área de Indicadores de Estado
8. Paro del motor principal
9. Encendido o apagado del motor dosificador
10. Encendido o apagado de la bomba de vacío
11. Decrementador de velocidad (individual)
12. Incrementador de velocidad (individual)
13. Decrementador simultaneo de velocidad
14. Incrementador simultaneo de velocidad
15. Acceso al módulo principal
16. Acceso al módulo graficador de datos
17. Acceso al módulo de temperaturas
18. Restablecimiento de alarmas

Función del módulo

Desde esta página es posible detener el motor principal de la máquina, encender o apagar el motor dosificador y la bomba de vacío. Además de incrementar o disminuir la velocidad de estos motores.

Además, tiene unas señales indicadoras que se activan por acciones realizadas desde el panel de la máquina extrusora o a través del sistema remoto.

Acciones de la barra de funciones

Salir del Programa: es la misma función que los módulos anteriores, al accesar esta función se realiza la solicitud para cerrar el programa.

Mostrar Gráfica: es una petición para desplegar la página gráfica y que esta prepare el acceso a la información de los archivos correspondientes para desplegar la información almacenada de la corriente del motor principal, de la presión de masa y de la velocidad del motor dosificador y principal.

Área de Botones de Control

En esta área se encuentran los botones con lo cuales es posible aumentar o disminuir la velocidad del motor principal y del motor dosificador, ya sea independiente o simultáneamente. También es posible encender el motor dosificador y la bomba de vacío, así como apagarlos.

La siguiente es una vista ampliada de los botones para controlar la velocidad.



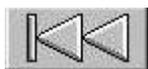
Incrementar la velocidad



Decrementar la velocidad



Incrementar simultáneamente la velocidad de los motores



Disminuir simultáneamente la velocidad de los motores

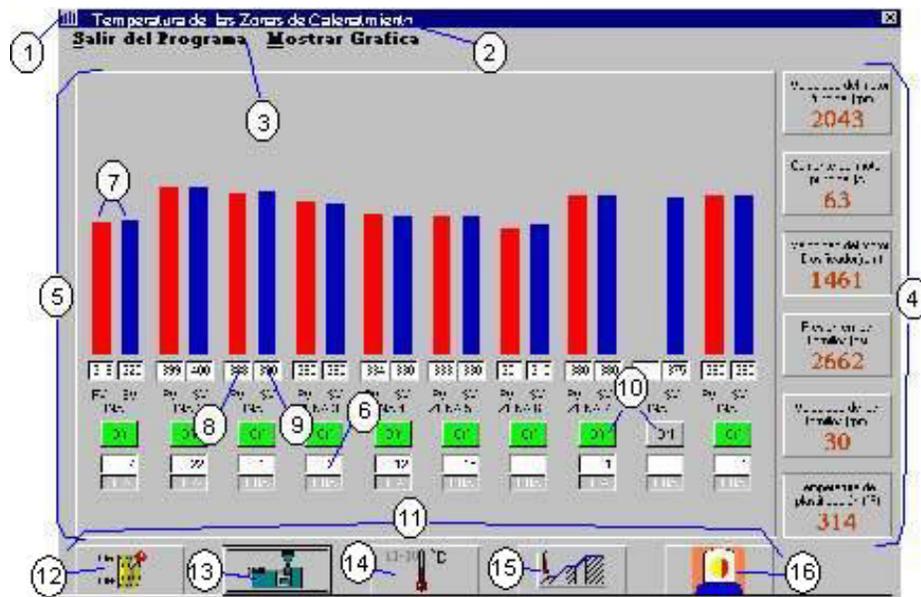
NOTA: Como medida de precaución queda imposibilitada la opción de encender desde el sistema remoto el motor principal de la máquina, pero si es posible apagarlo.

Área de Indicadores de Estado

Esta área contiene varios indicadores plenamente identificados. La función de éstos, es la de indicar al usuario el estado de una función definida; por ejemplo: si el motor dosificador estuviera encendido y su velocidad incrementándose, los indicadores respectivos tendrían un color rojo, si dichas señales en el PLC no están activas, el sistema presentaría los indicadores en color azul oscuro. Estos indicadores se activan o desactivan debido a las acciones que se realicen desde el sistema de control remoto o desde el panel de la touch screen en la máquina extrusora.

7. Módulo de Temperaturas

La pantalla gráfica con la que se identifica este módulo es la siguiente:



Leyendas

1. Icono representativo de la página.
2. Titulo de la página.
3. Barra de funciones.
4. Columna de valores actuales.
5. Área de despliegue.
6. Ajuste de las alarmas de ruptura de resistencias.
7. Indicadores gráficos de temperatura.
8. Temperatura de proceso.
9. Temperatura programa.
10. Encendido y apagado de zonas.
11. Barra de Botones de Acceso.
12. Apagado del motor principal.
13. Acceso al módulo principal.
14. Cambio de zonas de calentamiento mostradas.
15. Acceso módulo graficador de datos.
16. Restablecimiento de alarmas

Función del módulo

Desde la página gráfica de este módulo es posible activar o desactivar individualmente las zonas de calentamiento, así como ajustar la temperatura que se desee alcanzar en cada zona; ajustar las alarmas de ruptura de resistencia y también desplazarse a diferentes módulos entre los que se encuentra el módulo encargado de generar la gráfica correspondiente al comportamiento térmico de una zona específica.

Acciones de la barra de funciones

Salir del Programa: es la misma función que los módulos anteriores, se realiza la solicitud para cerrar el programa.

Mostrar Gráfica: es una petición para desplegar la página gráfica y que ésta prepare el acceso a las bases de datos correspondientes a la información almacenada de la temperatura de proceso muestreadas en el tiempo.

Área de despliegue

En esta área se muestra la información de las diferentes zonas de calentamiento. La visualización de las Zonas se encuentra dividida en dos. En una página se muestra desde la Zona 0 hasta la Zona 9 y en la otra página, desde la Zona 10 hasta la Zona 18.

La figura siguiente, contiene todos los elementos correspondientes a una zona específica:



La barra roja es el equivalente gráfico del valor que contiene el cajetín que se encuentra debajo de ésta. Estos datos corresponden a la temperatura real de la zona de calentamiento. Cuando la temperatura en la zona cambia, la barra se ajusta al nuevo dato. Al ser este una variable de proceso, no es manipulable por el usuario.

La barra azul es el equivalente gráfico del valor que contiene el cajetín que se encuentra debajo de ella. Estos datos corresponden a la temperatura que se desea en la zona de calentamiento, este valor es definido por el usuario. Cuando este dato de temperatura es alterado desde la máquina extrusora a través de la touch screen, automáticamente se actualiza en la pantalla. Para alterara este dato, se debe hacer lo siguiente:

1. Seleccionar la zona (ya sea con el mouse o presionando repetidamente la tecla TAB, cuando el cursor se ubica en una zona el dato de este cajetín se marca en azul).
2. Digitar el valor de temperatura
3. Para aceptar el dato, presionar ENTER

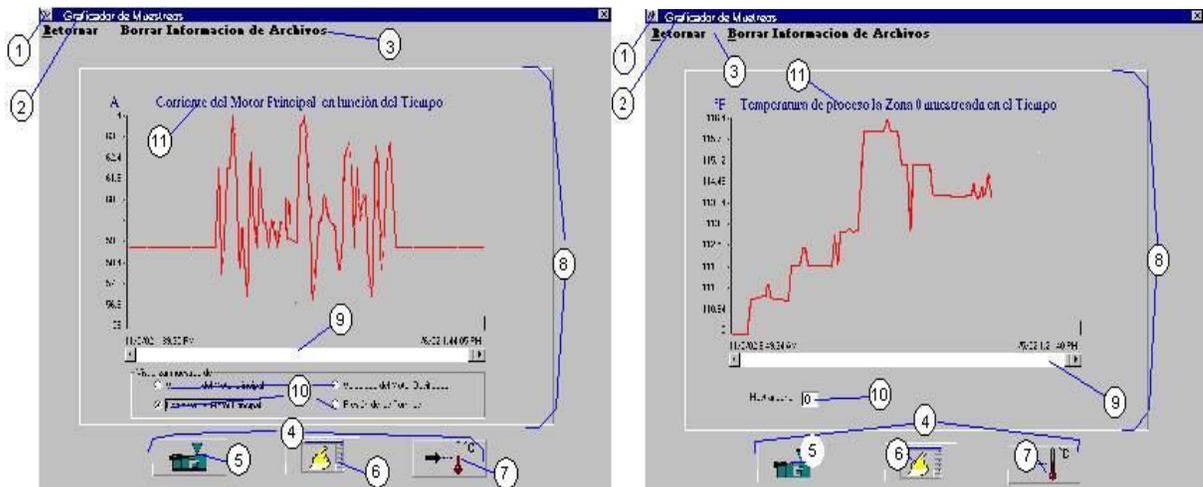
Si al presionar ENTER, el dato de temperatura a programar excede el valor máximo permitido (450 °F), se mostrara un mensaje indicando que ese no es un valor permitido y se restaurara el dato anterior. El dato será también restaurado si se presiona ESC en lugar de ENTER o si se cambia de zona sin haber aceptado el valor programado.

Debajo de los cajetines de temperatura programada y de proceso, existe un botón. Este botón es el encargado de generar la señal que permite el flujo de corriente a la resistencia de la zona de calentamiento respectiva. El texto en el botón (ON u OFF) corresponde a la función a realizar si se presiona el botón. Para una mejor identificación, si una zona se encuentra encendida, además de presentarse el mensaje off (como función a realizar si se presiona el botón), el botón esta representado en un color verde (cuando la zona esta apagada, el botón es gris).

Debajo del botón de encendido y apagado de la zona de calentamiento, existe un cajetín que corresponde al valor mínimo de corriente en la zona que activara la señal de “alarma por ruptura de resistencia”. Este dato es programado por el usuario de la misma forma en que ingresa el dato de temperatura.

8. Módulo Graficador de Datos

Son dos las pantallas con las que se identifica este módulo:



Desde la primera pantalla se puede acceder a los archivos que contienen la información de la velocidad del motor principal, la velocidad del dosificador, la corriente del motor principal y la presión de masa. Desde la segunda se accede a los archivos que contienen la información de las 19 zonas de calentamiento.

Leyendas

1. Icono representativo de la página
2. Título de la página
3. Barra de funciones
4. Barra de Botones de Acceso
5. Acceso al módulo principal
6. Acceso al módulo de control
7. Acceso al módulo de temperaturas
8. Área de despliegue
9. Barra de desplazamiento
10. Selectores de muestreo
11. Título de la grafica.

Función del módulo

La función de este módulo es la representación gráfica de datos muestreados en el tiempo. La información necesaria para generar una gráfica, es tomada de un archivo que contiene la información almacenada en el tiempo.

Los datos que contiene el archivo son: fecha, hora y magnitud. El módulo necesita que el archivo del cual se está tomando la información, contenga al menos 120 datos validos, de lo contrario se generará un mensaje indicado que no existen datos suficientes para generar la gráfica.

El módulo tiene una función de auto escala, así, la gráfica se ajusta automáticamente entre los límites máximo y mínimo de las 120 muestras desplegadas en pantalla.

La barra de desplazamiento es la encargada de recorrer en el tiempo la información de la base de datos y presentarla gráficamente. Por cada paso en la barra de desplazamiento, el sistema se desplaza 60 muestras que es el equivalente a 30 minutos de muestreo continuo.

Acciones de la barra de funciones

Retornar : Retorna el programa a la página que lo invoco, ya sea la página de control o la página de temperaturas

Borrar Archivo: esta acción borra la información de todos los posibles archivos representables, antes de realizarse la acción de borrado, el sistema genera un aviso esperando una por parte del usuario.

Modo de despliegue

La información utilizada para generar una gráfica, es tomada desde un archivo específico. La selección de este archivo es realizada indirectamente por el usuario, al seleccionar la información que desea ver.

Para apreciar gráficamente la información concerniente a la velocidad del motor dosificador o el motor principal, la corriente del motor principal o la presión de en los husillos, el usuario debió haber solicitado el acceso desde la página de control. Si lo hizo así, simplemente eligiendo una de las opciones, se generara (después de un tiempo de retardo) la gráfica.

Si lo que se desea es apreciar en forma gráfica el comportamiento de la temperatura en alguna de las zonas, se debe haber accedido a este módulo desde la página de temperaturas. Si así se hizo, debajo de la barra de desplazamiento, habrá una casilla en la cual se ingresa el valor de la zona que se desea apreciar, al presionar ENTER, se solicita el acceso, si la zona existe, se genera la gráfica.

ANEXO B1

Hojas de Datos del motor seleccionado

General Information

- [Overview](#)
- [Specifications](#)
- [Performance Data](#)
- [Parts List](#)
- [CAD Drawings](#)
- [Product Brochure](#)
- [More Information](#)
- [Locate Distributor](#)
- [Baldor Sales Offices](#)

[Return to List](#)

[AC Motors](#) | [Vector](#) |

Product Overview: ZDM4115T



[Click for Larger Image](#)

Catalog Number: ZDM4115T
Description: 50HP | 1775RPM | 3PH | TEBC | 326TC NEMA
Ship Weight: 679 lbs.
List Price: \$5264.00

[View Specifications](#)

FEATURES

- Full torque at zero speed
- 1000:1 constant torque range
- Totally Enclosed Non Ventilated (TENV) or Totally Enclosed Blower Cooled (TEBC)
- 1/3 thru 500 horsepower
- Cast Iron construction
- C-Face with base 143TC thru 449TC
- Base mount only in frames 5007L-5009L
- Class H Insulated
- ISR® (Inverter Spike Resistant) magnet wire

APPLICATIONS

Test stands, material handling, packaging equipment, printing presses, etc. Applications requiring adjustable speed operation with torque from zero to base speed and constant horsepower to maximum speed.

PRODUCTS | **SUPPORT** | **NEWS/EVENTS** | **ABOUT BALDOR**

General Information

- [Overview](#)
- [Specifications](#)
- [Performance Data](#)
- [Parts List](#)
- [CAD Drawings](#)
- [Product Brochure](#)
- More Information**
- [Locate Distributor](#)
- [Baldor Sales Offices](#)

[Return to List](#)

[AC Motors](#) | [Vector](#) |

Specifications: ZDM4115T

| | |
|----------------------------------|--------------|
| Catalog Number: | ZDM4115T |
| Specification Number: | 12S054W829Z1 |
| Horsepower/Kilowatt: | 50/37.3 |
| Voltage: | 230/460 |
| Hertz: | 60 |
| Phase: | 3 |
| Full Load Amps: | 114/57 |
| Usable at 208 Volts: | NO |
| RPM: | 1775 |
| Frame Size: | 326TC |
| Service Factor: | 1.00 |
| Rating: | 40C AMB-CONT |
| Locked Rotor Code: | H |
| NEMA Design Code: | B |
| Insulation Class: | H |
| Full Load Efficiency: | 94.5 |
| Power Factor: | 87.0 |
| Enclosure: | TEBC |
| Baldor Type: | 1262M |
| DE Bearing: | 6312 |
| ODE Bearing: | 6311 |
| Electrical Specification Number: | 12WGW829 |
| Mechanical Specification Number: | n/a |
| Base: | RG |
| Mounting: | F1 |

ANEXO B2
Información Técnica del controlador ACS600

ABB AC Drives

ACS 600 AC Drives for speed and torque control of 3 to 4000 HP (2.2 to 3000 kW) induction motors



ABB's ACS 600 AC Drives achieve the ultimate in AC motor control performance

Thanks to Direct Torque Control (DTC) technology, the ACS 600 performs precise speed and torque control of standard squirrel cage motors - without the added cost and inconvenience of pulse encoder feedback.

In fact, DTC has brought about fundamental changes to the way in which a motor can be controlled, so that now, in any application, the overall effectiveness of a drive is limited by the performance of the motor - not the drive.

- Motor starting torque up to 200 % with heavy duty rating
- Accurate open loop torque control
- Torque step rise time typically less than 5 ms
- Speed regulation typically 0.1 % to 0.5 % of nominal speed without encoder feedback

A broad product line to meet diverse needs

The ACS 600 product family includes models to suit virtually any application or operating environment, with a complete selection of voltage, power and enclosure ratings, combined with highly flexible control and communications capabilities.



Expanded versatility

The ACS 600 series provides a selection of ready-made application macros and a wide range of fully programmable inputs and outputs. Should your application require distributed or high resolution control signals, analog and digital extension modules can be added. Optional modules mount on standard DIN rails and connect via a high speed fiber optic link. Fieldbus adapter modules are available for all the common fieldbus standards including Modbus, Modbus Plus, DeviceNet, Profibus, ABB MasterField Bus, Interbus-S and others.

ABB Drives & Power Products
 16250 W. Glendale Drive
 New Berlin, WI 53151
 USA
 Telephone (414) 785-3416
 (800) 752-0696
 Telefax (414) 785-0397

No challenge too simple or too demanding

ACS 600 AC Drives meet the needs of any application - from the simplest to the most critical and highly demanding.

- Pumps - centrifugal, positive displacement, metering.
- Fans - forced draft, induced draft, centrifugal, axial.
- Mixers.
- Conveyors, bottling lines, palletizers and other materials handling applications.
- Lifts, elevators, cranes, hoists.
- Winders - films, paper, wire.
- Centrifuges.
- Extruders - melt pumps, pelletizers.

Technical data

Input Power

Voltage 3 phase, 380 to 690 V
 $\pm 10\%$ permitted tolerance
 Frequency 48 to 63 Hz

Output Power

Voltage 3 phase, from 0 to applied incoming supply voltage
 Frequency 0 to $3.2f_{rmp}$

Environmental limits

Ambient temperature 0 to 40 °C

Enclosure classes

Chassis (IP 00), NEMA 1 (IP 21) and NEMA 12 (IP 54)

Standard control connections

- 3 programmable differential analog inputs (1 voltage signal, 2 current signals)
 - 6 programmable digital inputs
 - 2 programmable analog outputs (current signals)
 - 3 programmable digital outputs (form C relays)
- Optional analog and digital extension modules can be added as well as a wide range of fieldbus adapters.

Protection

Overcurrent, short circuit, ground fault, input phase loss, output phase loss, motor overload (I^2t), overvoltage, undervoltage, overtemperature, motor stall.

Application macros

The ACS 600 features a selection of built-in, pre-programmed application macros for configuration of inputs, outputs and parameters as well as signal processing. These include:

- FACTORY SETTING for basic industrial applications
- HAND/AUTO CONTROL for local and remote operation
- PID CONTROL for closed loop processes
- TORQUE CONTROL for processes where torque control is required
- SEQUENCE CONTROL for repetitive cycles
- USER MACRO 1 & 2 for user's own parameter settings
- OPTIONAL Lead - Follower for load sharing

Chapter 3 – Hardware Description

ACx 601

The ACx 601 hardware is arranged inside a wall-mountable metal frame. The ACx 601 series comprises six different frames (R2 to R7). The degree of protection of the frame housing is IP 22. IP 54 versions are available as an option, except R7. R7 is available as IP 54 in the ACx 607 series only.

The front section of the frame contains the electronics and the power and control cable terminals. The rear section forms a cooling channel. Two-section construction allows the unit to be installed protruding through a wall, placing the rear section in a cooling air duct (frames R2 to R6). In standard installations the converter is mounted directly onto the wall. The upward cooling air flow is provided by a fan or fans in the bottom part of the frame.

There is room for the Braking Chopper and for one Option Module in frames R4 to R7. Frames R2 and R3 need to have these devices installed outside the converter housing. For information on the optional devices available, see *Chapter 7 – Optional Equipment*.

For the degree of protection, materials etc. see the *Technical Data* appendix.

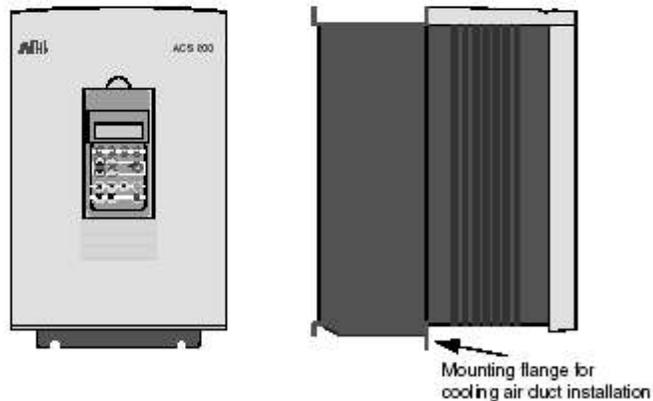


Figure 3-1 The ACx 601. The dimensions and weights are shown in *Technical Data* appendix.

**ACx 604 / ACx 607 /
ACS 617 / ACS 677**

The ACx 604 is a converter module which is installed into a cabinet and equipped with accessories by the user. The ACx 607 is housed inside a Drives-MNS cabinet.

ACx 604 The ACx 604 hardware is arranged inside a metal frame. There are three frame sizes: R7, R8 and R9. The ACx 604 frame is to be fitted in a cabinet by the user. The degree of protection is IP 22 (ACx 604-0100-3, -0120-3, -0120-5, -0140-5, -0100-6 and -0120-6) or IP 00 (ACx 604-0140-3 to -0320-3 and -0170-5 to -0400-5 and -0140-6 to -400-6). The Control Panel mounting platform, the Control Panel and the other optional devices are supplied separately. Most optional devices are to be installed outside the unit. For more information on the Control Panel, Control Panel Mounting Platform and the other optional add-on kits, see *Chapter 7 – Optional Equipment*.

**ACx 607 / ACS 617 /
ACS 677**

The cabinet of ACx 607 / ACS 617 / ACS 677 is equipped with a hinged front door(s) that holds the mains switch, the Control Panel mounting platform, and some optional devices. Cooling air intake and exhaust vents are covered with grates to keep out unwanted objects. As standard, the cabling is through the bottom of the unit. The mains and motor cable can also be lead in through the roof of the cabinet. See *Chapter 7 – Optional Equipment* for more information.

There is room inside the cabinet to allow connections and optional devices. The cabinet can be ordered as an extended version if more space is required.

ACx 607 types up to -0610-3, -0760-5 and -0760-6 use the ACx 604 converter modules/frames.

ACS/ACC 607 types -0760-3, -0930-5, -0900-6 or above, and ACS/ACC 617 and ACS/ACC 677 use the supply units and inverter modules/frames of the *ACS 600 MultiDrive*.

For the degree of protection, materials etc. see the *Technical Data* appendix.

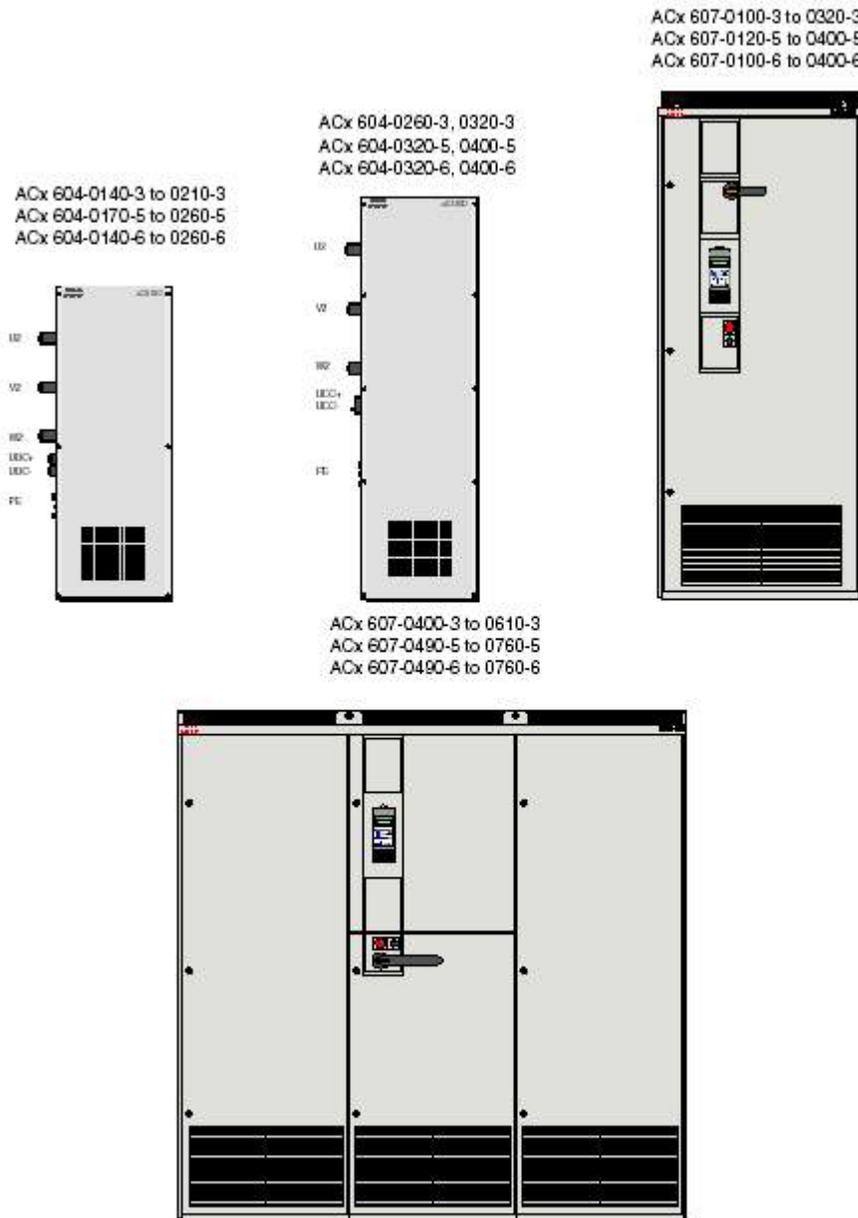


Figure 3-2 The ACx 604 and the ACx 607 (up to -0610-3, -0760-5 and -0760-6). The dimensions and weights are given in the Technical Data appendix.

Chapter 4 – User Interfaces

Overview

The ACS 600 can be controlled from several control locations:

- The detachable Control Panel which can be mounted on the ACS 600 enclosure or a remote control desk.
- External control devices that connect to the analogue and digital I/O terminals or Standard Modbus Link (serial RS 485 connection) on the Standard I/O Board, NIOC.
- External control devices that connect to the ACS 600 option modules (Analogue and Digital I/O Extension Modules and Fieldbus Adapter Modules).
- PC that connects via a PC adapter to the Application and Motor Control Board, NAMC.

Control Panel

The Control Panel is the user interface for monitoring, adjusting parameters and controlling the ACS 600 operation.

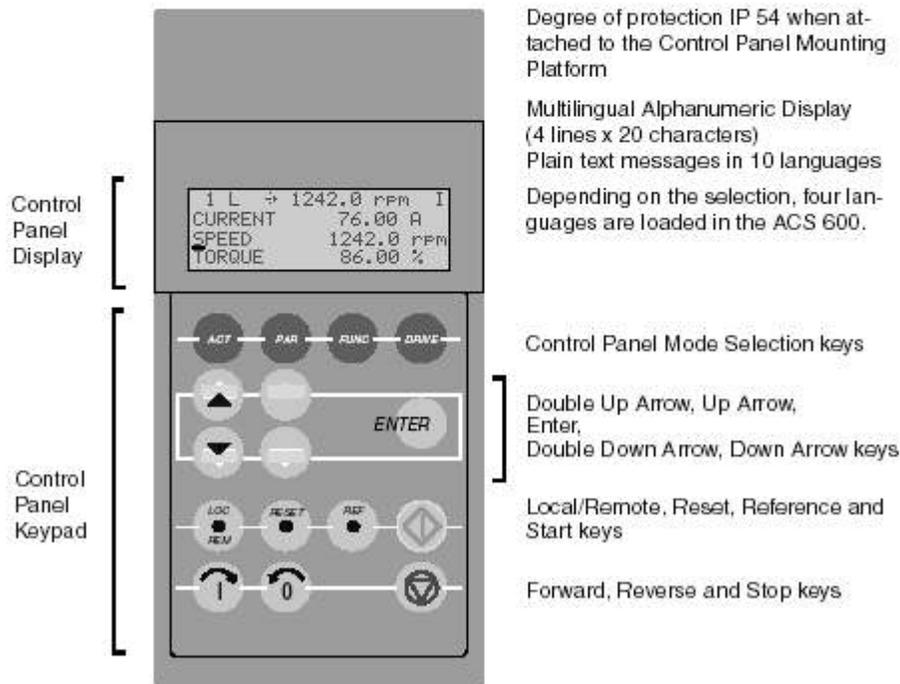


Figure 4-1 The Control Panel.

Using the panel it is possible to

- enter start-up data into the drive
- control the drive with a reference signal and with Start, Stop and Direction commands
- display the actual values (three values can be read simultaneously)
- display and adjust the parameters
- display information on faults
- upload and download complete parameter settings from one drive to another (this greatly simplifies the start-up procedure of several identical drives).

On the control panel mounting platform, there are two LEDs which indicate the status of the drive while the control panel is detached. The green LED indicates that the ACS 600 is powered, the red LED indicates that a fault is detected.

Standard I/O See the *Technical Data* appendix, subsection *Standard I/O*.

Standard ModBus Link See the *Technical Data* appendix, subsection *Standard I/O*.

I/O Extension Modules See *Chapter 7 – Optional Equipment*.

Fieldbus Adapter Modules See *Chapter 7 – Optional Equipment*.

PC Connection See *Chapter 7 – Optional Equipment*.

Chapter 8 – Selecting the Motor and the ACS 600

Overview

The excellent performance of the ACS 600 makes it suitable for most applications.

To specify your ACS 600 drive, select the ACS 600 rating according to the overload capacity required. Then choose a motor and a suitable ACS 600 for your motor.

There is a DriveSize PC tool available for optimal motor and ACS 600 selection. See *Chapter 7 – Optional Equipment* for more information.

Load Capacity Curves

The motor rated frequency and the field weakening point are at 50 Hz.

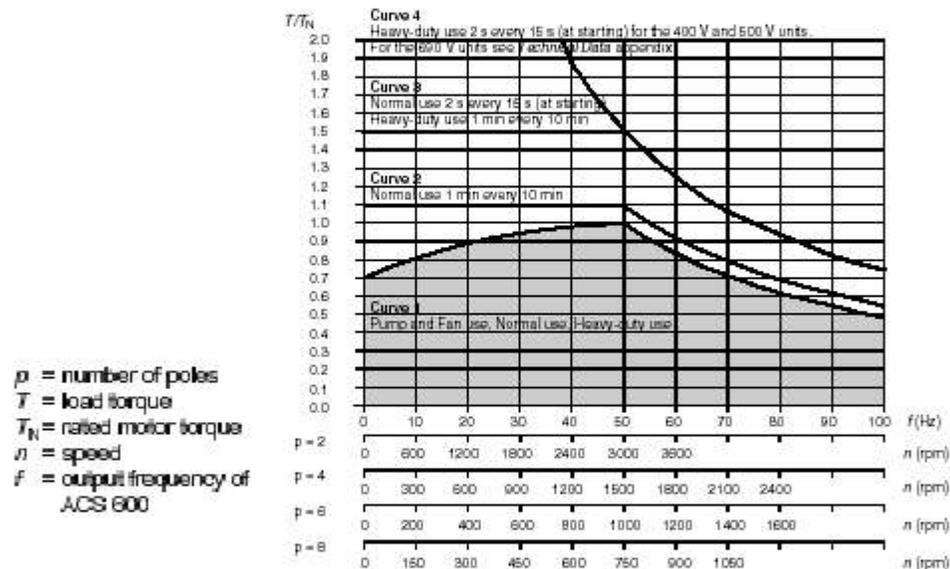


Figure 8-1 Curve 1: Typical continuous load capacity curve of an IEC 34 self-ventilated motor controlled by the ACS 600.

Curves 2 and 3: Short term overload capacity and peak overload (starting torque boost) capacity of a typical IEC 34 motor and ACS 600 combination. The ACS 600 is rated for normal use.

Curves 3 and 4: Short term overload capacity and peak overload capacity of a typical IEC 34 motor and ACS 600 combination. The ACS 600 is rated for heavy-duty use.

Note: If the ACS 600 is operated at high speeds (output frequency over 90 Hz), it should be observed that the motor maximum torque is not exceeded.

At low frequencies, the reduction in the continuous load capacity is due to the fact that the cooling capacity of a self-ventilated motor is reduced. In the field weakening range ($f > 50$ Hz), the load capacity is reduced because the output voltage of the ACS 600 cannot be increased.

At frequencies above 37.5 Hz, the reduction in the 200 % peak overload capacity (Figure 8-1, Curve 4) is due to the fact that the internal power limit ($1.5 \cdot P_{hd}$) restricts the allowed motor torque.

Selecting the ACS 600 Rating

There are three ratings for the ACS 600, the pump and fan use rating, the normal use rating and the heavy-duty use rating. Typically, the ACS 600 rated for pump and fan use or for normal use is selected. The pump and fan rating provides no overload capacity but the highest possible continuous load capacity. It is suitable for the squared torque applications (pump and fan drives). With the normal use rating ACS 600 provides 110 % short term overload capacity and 150 % peak overload capacity, which fulfils most requirements. If even higher overload capacity is needed the ACS 600 rated for heavy-duty use is selected.

Exception: If Scalar Control is used, the heavy-duty use rated ACS 600 must be selected for constant torque applications, even if no high overload capacity is required. Scalar Control must be used instead of Direct Torque Control in special applications, such as variable configuration multimotor drives. For more information on Scalar Control, see Chapter 2 – Motor Control Methods and Chapter 6 – Standard Features.

Motor Selection

As a general rule, the motor rated speed should be selected so that the motor continuous load capacity throughout the required speed range is as high as possible.

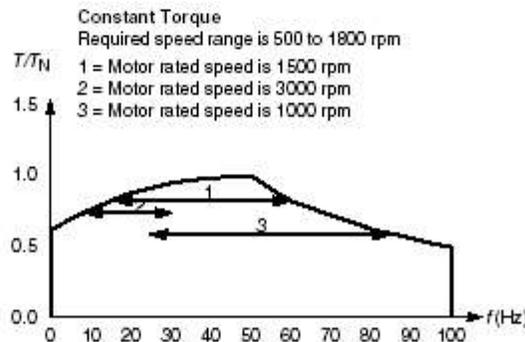


Figure 8-2 Continuous load capacities for three motors controlled by the ACS 600; required speed range is 500 to 1800 rpm. A four-pole motor, synchronous speed 1500 rpm, is selected.

The rated motor power must be higher than the continuous power required by the driven machine. In addition, the following factors must be considered:

- the continuous load capacity of the motor controlled by the ACS 600,
- the short-term overload capacity of the motor controlled by the ACS 600,
- the peak overload capacity of the motor controlled by the ACS 600.

The relation between the motor power and the torque is given by:

$$P = n \cdot T / 9550 \text{ kW}$$

P = power (kW)
 n = speed (rpm)
 T = torque (Nm)
 $9550 = 1000 \cdot 60 / (2 \cdot \pi)$

ACS 600 Selection

The ACS 600 is selected according to the rated motor power. It must be then checked that the rated output current of the ACS 600 is higher than, or equal to, the rated motor current.

In certain situations, it is possible to use an oversize motor. Please consult an ABB representative for more information.

To Be Noted

This chapter contains the general rating instructions for the motor and the ACS 600. It is assumed that the motor overload capacities correspond to the figures given for the ACS 600.

In applications requiring an exceptionally high short term overload capacity, the simplification above may lead to selection of a motor with higher rating to what is actually required. However, the ACS 600 is correctly selected also in these cases. If in any doubt about the preliminary motor selection, please refer to the actual overload capacity figures given by the motor manufacturer.

In applications requiring high peak overload capacities (up to 200 %), it should always be observed that the motor maximum torque is not exceeded.

Example 1.a

Constant Torque Drive

The minimum and maximum speeds are 600 rpm and 1900 rpm. The continuous torque required on the motor shaft is constant at 20 Nm, and the breakaway torque (during start for about one second) is 30 Nm. The supply voltage is 400 V.

Selecting the ACS 600 Rating

The ACS 600 is selected according to the normal use rating since the breakaway torque is not exceptionally high and no short term overload capacity is required.

Motor Selection

A four-pole motor is chosen. Its synchronous speed is 1500 rpm at 50 Hz.

The motor power rating is calculated:

- The power corresponding to the continuous load torque (20 Nm) is $P = 1900 \cdot 20/9550 = 4.0$ kW.
- The continuous load capacity of the motor controlled by ACS 600 is 89 % at 600 rpm and 80 % at 1900 rpm. See Figure 8-1, Curve 1.
- The peak overload capacity of the motor controlled by ACS 600 is 150 %. See Figure 8-1, Curve 3.
- No short term overload capacity is required.

Table 8-1 The required motor torque rating at critical points.

| Critical Point | Load Capacity Restriction | Required Motor Rated Torque |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Start | 150 % (Curve 3) | $30/1.5 = 20$ Nm |
| 600 rpm (20 Hz) | 89 % (Curve 1) | $20/0.89 = 22.5$ Nm |
| 1900 rpm (63.3 Hz) | 80 % (Curve 1) | $20/0.80 = 25$ Nm |

The motor is rated according to the most critical point. The required motor power is $P = 1500 \cdot 25/9550 = 3.9$ kW. The next larger standard motor from a motor catalogue is chosen. The rated power is 4 kW and the rated current is 9 A.

ACS 600 Selection

For the 4.0 kW motor, the ACS 601-0006-3 is selected. The rated currents are checked. Since the rated motor current is lower than the rated output current of the ACS 600, the selection is accepted.

Example 1.b Constant Torque Drive High Breakaway Torque

The requirements are the same as in *Example 1.a.*, except that a 70 Nm breakaway torque is required.

Selecting the ACS 600 Rating

The ACS 600 is chosen according to the heavy-duty use rating since a breakaway torque higher than 150 % of continuous load torque is required.

Motor Selection

A four-pole motor is selected. Its synchronous speed is 1500 rpm at 50 Hz.

The motor power rating is calculated:

- The power corresponding to the continuous load torque of 20 Nm is $P = 1900 \cdot 20/9550 = 4.0$ kW.
- The continuous load capacity of the motor controlled by ACS 600 is 89 % at 600 rpm and 80 % at 1900 rpm. See Figure 8-1, Curve 1.
- The peak overload capacity of the motor controlled by ACS 600 is 200 %. See Figure 8-1, Curve 4.
- No short term overload capacity is required.

Table 8-2 The required motor torque rating at critical points.

| Critical Point | Load Capacity Restriction | Required Motor Rated Torque |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Start | 200 % (Curve 4) | $70/2.00 = 35$ Nm |
| 600 rpm (20 Hz) | 89 % (Curve 1) | $20/0.89 = 22.5$ Nm |
| 1900 rpm (63.3 Hz) | 80 (Curve 1) | $20/0.80 = 25$ Nm |

The motor power is rated according to the most critical point. The required motor power is $P = 1500 \cdot 35/9550 = 5.5$ kW. A standard motor is chosen from a motor catalogue. The rated power is 5.5 kW and the rated current is 12 A.

ACS 600 Selection

For the 5.5 kW motor, the ACS 601-0011-3 is selected. The rated currents are checked. Since the rated motor current is lower than the rated output current of the ACS 600, the selection is accepted.