

ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO

JORGE L. MEDINA HANKE



EDICIONES UNIVERSITARIAS DE VALPARAÍSO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del «Copyright», bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

© Jorge L. Medina Hanke, 2003
Inscripción N° 132.303

ISBN 956-17-0339-4

Tirada de 300 ejemplares

Derechos Reservados

Ediciones Universitarias de Valparaíso
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Calle 12 de Febrero 187, Valparaíso
Fono (32) 273087 - Fax (32) 273429
E.mail: euvs@ucv.cl
www.euv.cl

Diseño Gráfico: Guido Olivares S.
Diagramación y Portada: Paulo Soza C.
Corrección de Pruebas: Osvaldo Oliva P.

Impreso en Salesianos S.A.

HECHO EN CHILE

ÍNDICE

Prólogo	Pág. 9
Capítulo 1 Accionamientos	11
Capítulo 2 Características Electromecánicas de Motores de Inducción	15
Capítulo 3 Elementos de Acoplo	37
Capítulo 4 Torques o Momentos de Carga	59
Capítulo 5 Dinámica de un Accionamiento	67
Capítulo 6 Arranque	75
Capítulo 7 Energías Asociadas al Arranque	85
Capítulo 8 Frenado	95
Capítulo 9 Estabilidad de un Accionamiento	113

Capítulo 10	
Calentamiento	Pág. 119
Capítulo 11	
Selección de Motores	135
Capítulo 12	
Operación de Motores de Inducción con Velocidad Variable	147
Capítulo 13	
Motores de Alta Eficiencia	175
Apéndice 1	
Motores de Inducción: Características Eléctricas y Constructivas del Motor	183
Apéndice 2	
Guía de Selección del Tipo de Motor para Diferentes Cargas	225
Apéndice 3	
Datos Característicos de Motores de Inducción	227
Apéndice 4	
Sistema Internacional de Unidades, SI	243
Apéndice 5	
Problemas	251
Bibliografía	275

*A mis padres... de donde vengo
A mis hijos... lo que sigue de mí*

*Galileos
¿Por qué os quedáis
mirando el cielo?*

HECHOS 1-11

*Nadie que enciende una vela,
la cubre con una vasija,
ni la pone bajo la cama,
sino en un candelero,
para que todos los que entren
vean la luz.*

LUCAS 8;16

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a las diferentes empresas y/o sus representantes que a través de literatura técnica, catálogos, notas de aplicación, cursos, libros y estádi en sus plantas, han tenido la gentileza de suministrar información, datos y conocimientos, muchos de los cuales se incluyen como material de apoyo en el texto.

(En orden alfabético)

- Abb
- Demag Mannesman
- Dodge
- Eaton
- Eurotherm
- Fintech
- Lanzco
- Leroy - Sommer
- Reliance Electric
- Ross - Hill - Ansaldo
- Sew
- Schneider Electric
- Technodrive
- Vacon
- Voigt
- Weg
- Wem

y otras empresas, que han hecho posible este trabajo.

Asimismo, deseo agradecer a mis alumnos de varias generaciones por sus valiosas observaciones y críticas al contenido al ser empleado como material de clases.

También deseo agradecer a mi hija Begoña por su colaboración en la elaboración y corrección de problemas; a mi hijo Julián, por su valiosa colaboración en la composición del texto y gráficos, así como a la Sra. María Elena por su mecanografiado de originales y al personal de Ediciones Universitarias de Valparaíso por su labor de edición.

Mi especial reconocimiento al Sr. Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y al Sr. Decano de la Facultad de Ingeniería por su apoyo y confianza en este trabajo.

JORGE MEDINA HANKE
Profesor Titular
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

PRÓLOGO

Hace poco más de 110 años que el motor eléctrico hizo su aparición en el ámbito industrial y desde entonces ha extendido su presencia a prácticamente toda actividad del hombre y desde épocas más recientes, en mayor grado, gracias a innovaciones de electrónica de potencia.

El estudio de los motores eléctricos forma parte del substrato de conocimientos de profesionales de ingeniería, sin embargo, la aplicación de motores a situaciones reales no se encuentra tan difundida, aunque por ser complementaria con el motor debería tener una relevancia similar.

Es por lo anterior y frente a la escasa disponibilidad de literatura técnica en castellano sobre el tema y ante la necesidad de disponer de un texto que permita a nuestros estudiantes acceder en forma expedita a los conocimientos sobre la materia, estructurados desde el punto de vista ingenieril y que a su vez satisfaga los requisitos de un texto para la asignatura de Accionamiento Eléctrico, que he tomado la decisión de dar forma de libro a un conjunto de apuntes que han evolucionado desde notas de clase, ejercicios y problemas de pruebas, así como datos técnicos de equipos, hasta apuntes más formales que se han estado utilizando en los últimos 6 años.

Todo lo anterior, junto con mi experiencia como ingeniero y docente dan forma al presente libro, que tiene como objetivo ser usado como texto guía en la asignatura “Accionamiento Eléctrico”, complementado con las referencias bibliográficas sugeridas por los alumnos de nuestra escuela y como material de apoyo para los estudiantes de otras carreras que incluyan el tema, así como un aporte a profesionales del ámbito laboral.

EL AUTOR

Capítulo 1

ACCIONAMIENTOS

Desde los primeros tiempos de la presencia del hombre sobre la tierra, y tan pronto como éste tuvo conciencia del esfuerzo que significaban las acciones por él desarrolladas, tales como levantar pesos o arrastrar cargas, buscó un sustituto para que lo reemplazara como fuente energética en esas faenas.

La primera alternativa de sustitución energética fue el empleo de animales, práctica que se utiliza aún en la actualidad en muchas actividades, o el trabajo de esclavos, cuando se trataba de pueblos guerreros que subyugaban a sus enemigos derrotados. Posteriormente, se aprovecharon recursos energéticos naturales, como la fuerza del viento o la energía de las caídas de agua, siendo esta energía la que se emplea ampliamente en la actualidad para su conversión en energía eléctrica.

En el siglo XVIII, junto con la revolución industrial, se hizo presente la máquina de vapor como fuente de energía, para mover bombas destinadas a achicar el agua en las minas inglesas de carbón. Posteriormente, el uso del vapor como fuerza motriz se hizo extensivo a todo tipo de procesos industriales, hasta la aparición de la máquina eléctrica.

El empleo de la fuerza motriz en lugar del trabajo humano o animal, que eran los más utilizados en esa época, abrió paso a la realización de una serie de faenas, que en atención a la magnitud del esfuerzo necesario para su ejecución, eran imposibles de llevar a cabo por el ser humano solo, en grupos o con el auxilio de animales.

La disponibilidad de energía posibilitó el desarrollo y aplicación de maquinaria para efectuar muchas actividades productivas, nuevas o de las que ya se hacían a mano, en época de la incipiente industrialización.

A consecuencia del costo y de la compleja concepción de la máquina de vapor, era normal la presencia de una sola de ellas en una instalación. Esta máquina movía, mediante un sistema de ejes, poleas y un bosque de correas, los diferentes equipos usuarios de su energía mecánica, con toda la ineficiencia y complejidad que tal sistema significaba.

Cuando, a fines del siglo 19, fue posible disponer de energía eléctrica en forma masiva, el motor eléctrico, en primer término de corriente continua y posteriormente de corriente alterna, empezó a desplazar paulatinamente a la máquina de vapor en el suministro de fuerza motriz industrial.

No obstante el cambio introducido por el empleo de motores eléctricos, en las instalaciones productivas se siguió manteniendo el concepto de un solo gran motor impulsor y un sistema mecánico de distribución de la energía, según el esquema de la instalación original.

Junto con la difusión del uso de la electricidad como fuerza motriz, se desarrolló la industria manufacturera de motores eléctricos, que ofreció en el mercado una variedad de máquinas con una amplia gama de potencias, velocidades y características de operación.

La accesibilidad de motores eléctricos cuyas variables mecánicas (potencia y velocidad) eran compatibles con aquellas de la máquina a impulsar o adaptables a ella, permitió eliminar el primitivo sistema de poleas, ejes y correas en las instalaciones, dando paso al moderno sistema de accionamiento multimotor, en el que cada máquina o parte de una máquina que requiere energía, cuenta con su propio motor impulsor, apropiado a sus necesidades.

El empleo de motores individuales en cada una de las máquinas de una instalación, permitió mejorar el rendimiento energético de la misma, así como flexibilizar las diferentes operaciones involucradas en un proceso, mediante la apropiada manipulación y control de las variables del motor.

En la misma medida que el empleo de motores individuales simplificó

el uso de la energía en el ámbito industrial, también hizo patente la necesidad de seleccionar el motor de acuerdo a los rasgos específicos de la carga y de adaptar sus características a los requerimientos particulares de ella, dando origen a la técnica de los accionamientos.

Un accionamiento es un conjunto interactuante, constituido por una carga, un motor impulsor, elementos de acoplo y equipo de comando, todo inmerso dentro del ámbito general que es el sistema de suministro de energía.

El estudio de los accionamientos se enfoca al conocimiento, cálculo, diseño y aplicación de:

- las características electromecánicas de los diferentes tipos de motores
- la carga a ser impulsada y su relación con el motor
- los elementos de acoplo entre el motor y la carga
- los elementos y sistemas de control y comando necesarios para que el motor satisfaga los requerimientos de la carga según las especificaciones de operación

Cuando, como consecuencia del estudio mencionado, se eligen apropiadamente los distintos componentes de un accionamiento, se consigue una operación armónica del conjunto, sin que alguno de sus componentes constitutivos resulte sobrecargado o subdimensionado, con el consiguiente beneficio económico como energético.