



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
CARRERA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

PROYECTO DE TESIS PREVIO LA OBTENCION DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN INFORMÁTICA Y SISTEMAS
COMPUTACIONALES

TEMA: **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MAQUETA PARA EL
CONTROL DE UN MOTOR JAULA DE ARDILLA
INSTRUMENTADO CON LABVIEW PARA EL
LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

POSTULANTES:

- Betty Maricel Armijo Moreta
- Vilma Rocío Quisanga Toapanta

DIRECTOR:

ING. PATRICIO ESPIN P.

Latacunga – Ecuador

2008

AUTORIA

Los autores certifican que la investigación, redacción y propuesta del presente trabajo son de su exclusiva autoría.



ARMIÑO MORETA
BETTY MARICEL

CI: 0201349461



QUISANGA TOAPANTA
VILMA ROCÍO

CI:0502261878

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Patricio Espín en calidad de Director de Tesis y cumpliendo con lo expuesto en el Capítulo IV, Art. 9, literal f; del reglamento del curso profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

INFORMO QUE: El grupo de postulantes conformado por las señoritas Betty Maricel Armijo Moreta , Vilma Rocío Quisanga Toapanta, Egresadas de la Carrera de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; han desarrollado su trabajo de investigación para la previa obtención del título de Ingenieros en Informática y Sistemas Computacionales con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MAQUETA PARA EL CONTROL DE UN MOTOR JAULA DE ARDILLA INSTRUMENTADO CON LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.**

En virtud de lo antes expuesto considero que las Egresadas se encuentran habilitadas para presentarse al acto de la defensa de tesis.

Latacunga, de Diciembre 2008.



Ing. Patricio Espín
DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

Al termino de nuestro trabajo investigativo, queremos dejar constancia de nuestro profundo reconocimiento y gratitud, a la Universidad Técnica de Cotopaxi que nos abrió las puertas para continuar con los estudios, en especial a nuestro director de tesis Ing. Patricio Espín, quien con sus valiosos aportes curriculares facilitó los medios para culminar nuestro trabajo; y, a nuestros profesores que aportaron para mejorar nuestra enseñanza aprendizaje.

EL GRUPO

DEDICATORIA

Este esfuerzo pequeño pero de justa retribución, dedico a Dios con todo mi cariño y amor, a mis padres quienes con entusiasmo siempre estuvieron a mi lado en los momentos más difíciles de mi vida a mi esposo quien con su paciencia supo comprenderme y apoyarme en todos los problemas que se presentaron durante la época de estudio de igual modo a mis hijos que también fueron la fuerza para seguir adelante ellos hicieron que logre culminar una etapa muy importante en mi vida.

Betty Armijo

Dedico la presente tesis a ti mi dios que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa, a los seres que más amo en este mundo: mis hijos Valeria, Angelito y Galilea, a mi esposo, por ser la fuente de mi inspiración y motivación para superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un mejor futuro.

Rocío Quisanga

Índice

Pág.

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO I.....	1
1.1 Reseña histórica de la universidad Técnica de Cotopaxi.....	1
1.2. Fundamentos de máquinas de corriente alterna	2
1.2.1 Introducción	2
1.3 Espira sencilla en un campo magnético uniforme.....	2
1.4 Voltaje inducido	3
1.5 Par inducido en una espira que porta corriente	6
1.6. Motores de inducción.....	8
1.6.1. Construcción del motor de inducción	8
1.7. Conceptos básicos sobre motores de inducción.....	11
1.7.1 Desarrollo del par inducido en un motor de inducción.....	11
1.7.2 Concepto de deslizamiento del rotor.....	14
1.7.3 Frecuencia eléctrica en el rotor	15
1.7.4 Circuito equivalente de u motor de inducción	16
1.7.5 El modelo transformador de un motor de inducción.....	17
1.7.6 Circuito modelo del rotor	19
1.7.7 Circuito equivalente final.....	21
1.8 Potencia y par en los motores de inducción	22
1.8.1 Pérdidas y diagrama de flujo de potencia	22
1.9 Características par-velocidad del motor de inducción	24
1.9.1 Par inducido desde el punto de vista físico	24
1.9.2 Deducción de la ecuación del par inducido en el motor de inducción.....	25
1.10 Variaciones en las características par-velocidad del motor de inducción.....	25
1.10.1 Control de las características del motor mediante diseño de la jaula del rotor.....	26
1.10.2 Clases de diseño de motores de inducción.....	26
1.10.2.1 Diseño clase A.....	27
1.10.2.2 Diseño clase B.....	27
1.10.2.3 Diseño clase C.....	28
1.10.2.4 Diseño clase D.....	28
1.11 Arranque de motores de inducción	29
1.11.1 Circuitos de arranque de motores de inducción	29
1.12 Control de velocidad en motores de inducción	32
1.12.2 Control de velocidad mediante el cambio de la frecuencia de la línea	34
1.12.3 Control de velocidad mediante cambio de voltaje de línea.....	38
1.12.4 Control de velocidad mediante el cambio de la resistencia del rotor.....	39
1.13 Controladores de estado sólido para motor de inducción	39
1.14 Qué es LabVIEW	40
1.14.4 Paleta de Herramientas.....	42
1.14.5 Paleta de controles.....	43
1.14.6 Paleta de Funciones, (Functions Palette)	44
1.14.7 Instrumentos Virtuales	45
1.14.8 Barra de Herramientas del Panel Frontal	47

1.14.9 Barra de Herramientas del Diagrama de Bloques	49
1.14.10 Programación en labVIEW	50
1.14.11 Ejecución de un VI.....	51
1.15 Sensor.....	52
1.16 Tarjeta de adquisición.....	53
CAPITULO II	55
2.1. Introducción	55
2.2. Presentación y análisis de resultados	59
2.2.1 Conclusiones y recomendaciones	65
2.2.2 Conclusiones	65
2.2.3 Recomendaciones.....	65
2.3 Verificación de la Hipótesis.....	65
2.4. Fase de Análisis	66
2.4.1. Introducción a los requisitos	66
2.4.2. Los requisitos	67
2.4.3. Presentación General.....	67
2.4.4. Usuarios	68
2.4.5. Metas.....	68
2.4.6. Funciones del Sistema.....	68
2.4.6.1 Funciones básicas.....	68
2.4.6.2 Atributos del sistema.....	69
2.4.6.3 Funciones básicas de la maqueta.....	69
2.4.6.4. Elementos del hardware y software	70
CAPITULO III.....	72
3.1 Objetivo General	72
3.2. Objetivos Específicos.....	72
3.3 Justificación.....	73
3.4 Casos de uso	74
3.4.1. Actividades y dependencias	74
3.4.2. Actores	75
3.4.3 Casos de uso	75
3.4.5 Descripción de procesos.....	77
3.4.6 Casos de uso de alto nivel.	77
3.5.2 Ciclo de desarrollo	79
3.5.3 Modelo conceptual de la aplicación.....	80
3.5.4 Agregación de las asociaciones.....	82
3.5.6 Diccionario de datos.....	84
3.6 Especificaciones adicionales.....	85
3.6.1 Comportamiento de los sistemas.....	85
3.6.2 Diagramas de la secuencia del sistema.	86
3.7 Análisis de circuitos.	88
3.7.1 Circuitos de la maqueta.....	88
3.8 Fase de diseño.	90
3.9 Descripción de los casos reales de uso.....	90
3.10 Algunos aspectos del diseño del sistema.	96
3.12 Mapeo de los diseños para codificación.....	97
3.13 Ensamblaje de la maqueta control de motor jaula de ardilla	98
3.13.1 Introducción	98

3.13.2 Requerimientos de funcionamiento de la maqueta.....	99
3.13.3 Pasos para el ensamblaje.....	99
3.15 Caso de Pruebas.....	108

Índice de tablas

Tabla. N° 2.1 ¿Sabe usted que es un motor de corriente alterna?.....	59
Tabla. N° 2.2 ¿Conocía usted que un motor de corriente alterna es un motor de jaula de ardilla?	60
Tabla. N° 2.3 ¿Conoce los diferentes tipos de lenguajes de programación que se utiliza para controlar motores de corriente alterna?	61
Tabla. N° 2.4 ¿Piensa usted que con la maqueta de motores de corriente alterna se está contribuyendo al avance tecnológico de la Universidad Técnica de Cotopaxi?	62
Tabla. N° 2.5 ¿Sabe usted que la implementación de una maqueta de control de motores de corriente alterna contribuye al incremento de material didáctico en los laboratorios de máquinas eléctricas?	63
Tabla. N° 2.6 ¿Al implementar una maqueta de control de motores de corriente alterna piensa usted que beneficiara a la enseñanza de los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi?	64
Tabla N° 2.7 (Funciones básicas del sistema)	68
Tabla N° 2.8 (Atributos del Sistema).....	69
Tabla N° 2. 9 (Funciones básicas de la maqueta)	70
Tabla N° 2. 10 (Elementos de la maqueta)	70
Tabla N° 2.11 (Elementos del Software)	71
Tabla N° 3.1 (Conceptos)	81
Tabla N° 3.2 glosario de términos	85
Tabla N° 3.3 Curso normal de los eventos de control de velocidad del motor jaula de ardilla.....	92
Tabla N° 3.4 Curso normal de los evento realiza práctica.....	93
Tabla N° 3.5 Curso normal de los eventos Administra estudiante.	94
Tabla N° 3.6 Recupera práctica.	95
Tabla N° 3.7 Curso normal de los evento administra docente.....	97

Índice de Figuras

Figura 1.1 Estator de un motor de inducción.....	9
Figura 1.2 rotor jaula de ardilla	9
Figura 1.3 rotor típico de jaula de ardilla	10
Figura 1.4 corte de un motor de inducción pequeño, de jaula de ardilla típico.....	10
Figura 1.5 corte de un motor de inducción grande de jaula de ardilla típico	11
Figura 1.6 el campo rotacional del estator bs induce voltaje en las barras del rotor	12
Figura.1.7 voltaje inducido máximo y corriente inducida máxima.....	13
Figura.1.8 voltaje neto.....	13
Figura.1.9 circuito equivalente transformador	19

Figura.1.10 devanado estático de dos polos para cambio de polos.....	34
Figura 1.11 paleta de herramientas.....	42
Figura 1.12 paleta de controles.....	44
Figura 1.13 paleta de funciones.....	45
Figura 1.14 panel frontal.....	46
Figura 1.15 diagrama de bloques.....	47
Figura 1.16 barra de herramientas.....	47
Figura 1.17 barra de herramientas.....	49
Figura 1.18 barra de herramientas del panel frontal.....	51
Figura 1.19 barra de herramientas del panel frontal.....	51
Figura 1.20 barra de herramientas del panel frontal.....	52
Figura 1.21 barra de herramientas del panel frontal.....	52
Figura 1.22 sensor inductivo.....	53
Figura 1.23 tarjeta de adquisición de datos.....	54
Figura 2.1 Sabe usted que es un motor de corriente alterna.....	59
Figura 2.2. Conocía usted que un motor de corriente alterna es un motor de jaula de ardilla.....	60
Figura 2.3 Conoce los diferentes tipos de lenguajes de programación que se utiliza para controlar motores de corriente alterna.....	61
Figura 2.4 Piensa usted que con la maqueta de motores de corriente alterna se está contribuyendo al avance tecnológico de la universidad técnica de Cotopaxi.....	62
Figura 2.5 sabe usted que la implementación de una maqueta de control de motores de corriente alterna contribuye al incremento de material didáctico en los laboratorios de máquinas eléctricas.....	63
Figura 2.6 al implementar una maqueta de control de motores de corriente alterna piensa usted que beneficiara a la enseñanza de los estudiantes de la universidad técnica de Cotopaxi.....	64
Figura 3.1 Diagrama de casos de uso del negocio.....	75
Figura 3.2 Diagrama de casos de uso realiza práctica.....	76
Figura 3.3 Diagrama de casos de uso recupera práctica.....	76
Figura 3.4 Diagrama de casos de uso administra docente.....	77
Figura 3.5 Diagrama de casos de uso administra estudiante.....	77
Figura 3.6 Ciclo de desarrollo del sistema.....	80
Figura 3.7. Modelo conceptual de la aplicación.....	82
Figura 3.8 Asociación estudiante práctica.....	82
Figura 3.9 Asociación docente práctica.....	83
Figura 3.10 Asociación docente maqueta.....	83
Figura 3.11 Asociación estudiante maqueta.....	83
Figura 3.12 Conceptos y atributos.....	84
Figura 3.13 Diagrama de secuencias para el caso de uso:.....	87
Figura 3.14 Circuito acondicionador de señales.....	88
Figura 3.15 Circuito acondicionador de señales.....	88
Figura 3.16 Placa fuente de alimentación.....	89
Figura 3.17 Placa fuente de alimentación.....	89
Figura 3.18 Control velocidad del motor.....	92
Figura 3.19 Control de velocidad del motor jaula de ardilla.....	94
Figura 3.20 Pantalla ingreso de estudiantes.....	95
Figura 3.21 Recupera Práctica.....	96

Figura 3.22 Pantalla ingreso de estudiantes.....	97
Figura 3.23 Vista clásica de una arquitectura de tres capas.	98
Figura 3.24 Diagrama de despliegue	98
Figura 3.25 Diagrama esquemático de la maqueta.....	100

RESUMEN

La presente investigación tuvo como principal objetivo implementación de una maqueta para el control de un motor jaula de ardilla instrumentado con labVIEW, que permitirá mejorar el proceso enseñanza aprendizaje dentro del laboratorio de maquinas eléctricas de las especialidades de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica e Industrial en la Universidad Técnica de Cotopaxi

El software del sistema motor jaula de ardilla consiste en que desde el computador se controlará la velocidad del motor, la parada, el giro. El sistema se encuentra realizado en el lenguaje labVIEW.

La maqueta está compuesta de un motor jaula de ardilla, un variador de velocidad, sensor medidor de velocidad, caja de acondicionamiento y adquisición de señales, esta maqueta será controlada desde la PC con un programa de control.

La tarjeta de acondicionamiento cumple con las siguientes funciones: Los relés RL1 y RL2 son los encargados de controlar el encendido e inversión de giro del motor. Las resistencias R1 y R2, junto con el amplificador U1:A forman el circuito amplificador con Ganancia 2, el mismo que se encarga de duplicar el voltaje que proviene de la tarjeta USB6008 que es de 0 a 5V, a un voltaje de 0 a 10V que necesita el variador de velocidad. Las resistencias R3, R4 y el transistor Q1 forman un circuito reductor de voltaje, el mismo que disminuye el voltaje de salida del sensor inductivo que es de 10V a un voltaje de 5V que soporta la entrada del contador de la tarjeta USB6008.

Con esta investigación estamos brindando la oportunidad a que los estudiantes de las especialidades de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica e Industrial puedan realizar una manipulación y práctica en forma directa dentro del laboratorio de maquinas eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

ABSTRACT

This research had as main objective the implementation of a scale model for the control of a type cage. It is with labview which allows to improve the teaching learning process inside the laboratory. It will be used with electric machines electric of the specialties of Electric, Electromechanical and Industrial Engineering at the Cotopaxi Technical University.

The motive system software squirrel cage it consists where from the computer the velocity control of the motor, the stop, the turning will be controlled. The system finds accomplished in the language labview.

The scale model is composed of AD in a squirrel cage motor, one the varyer of velocity, measuring sensor of velocity, box of conditioning and acquisition of signals, this maquette will be controlled from the PC with a checking program.

The card of conditioning complies with following functions: The relays RL1 and RL2 are the persons in charge to control the ignition and investment of turning of the motor. The resistances R1 and R2, along with the amplifier U1:A they form the amplifying circuit at a profit 2, the same that the voltage puts in charge of doubling itself that USB6008 that is of 0 to 5V, to a voltage of 0 to 10V that needs to comes from the card the varyer of velocity. The resistances R3, R4 and the transistor a reducing circuit of voltage, the same one that decreases the voltage of exit of the inductive sensor that is of 10V to a voltage of 5 V that the entrance of the bookkeeper of the card supports USB6008 to form Q1.

With this investigation is the opportunity to for the students of the specialties of Electric, Electromechanical and Industrial Engineering for carry ing out a direct manipulation and practice in direct form the laboratory by giving you electric scheme of Cotopaxi Technical University.

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Docente de Idiomas de la Instituto Victoria Vascones Cuvi. **CERTIFICO:** Haber revisado el resumen de la Tesis presentada por las Señoritas Betty Maricel Armijo Moreta, Vilma Rocío Quisanga Toapanta, Egresadas de la Carrera de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; previo a la obtención del Título de Ingenieros en Informática y Sistemas Computacionales. Con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MAQUETA PARA EL CONTROL DE UN MOTOR JAULA DE ARDILLA INSTRUMENTADO CON LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.**

Es todo cuanto puedo afirmar en honor a la verdad y las interesadas pueden hacer uso del presente documento como lo creyeran conveniente.

Latacunga, de Diciembre del 2008.

Atentamente



Lic. Clara Masapanta

DOCENTE

INTRODUCCIÓN

El Control de la maquinaria industrial ha tomado un espectacular repunte dentro del quehacer cotidiano a nivel mundial, debido a su gran importancia y radio de acción al permitir que mediante su utilización y puesta en práctica dentro del campo informático se pueda obtener la información necesaria acerca de su funcionamiento.

Así mismo nuestro País, ha tenido que obligatoriamente ir a la par del avance tecnológico sobre todo dentro de lo que se relaciona al Hardware y Software para realizar estos controles mejorando los procesos industriales.

En lo que se refiere a la Universidad Técnica de Cotopaxi en las especialidades de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica e Industrial adquirirán especial importancia al ser implantado en su laboratorio un Hardware y Software que permita realizar las prácticas para el control de motores jaula de ardilla.

La no existencia de una maqueta para realizar las prácticas de Control de motores jaula de ardilla, ha llevado a que se presente un sin número de problemas en el aprendizaje de los alumnos y transmisión de conocimientos por parte de los docentes, debido a la falta de manipulación y práctica en forma directa dentro de un laboratorio acorde a su especialidad como parte de su formación profesional.

Por lo que el grupo investigador cree factible el poder implementar una maqueta para el Control de un motor jaula de ardilla en las especialidades de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica e Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi insertándole a las mismas en la nueva era tecnológica.

Ante lo expuesto anteriormente se propondrá la implementación de una maqueta para el control de un motor jaula de ardilla utilizando LabVIEW para las especialidades de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica e Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi para que el mismo sirva de apoyo en las

prácticas realizadas por los alumnos de las ya nombradas especialidades.

Nuestro trabajo ha sido técnicamente diseñado en tres capítulos. El primero corresponde al conocimiento de los motores jaula de ardilla y sus aplicaciones en los procesos de automatización industrial, el segundo se basa en el análisis e interpretación de los resultados el tercero los casos de uso y el diseño de la aplicación informática e implementación.

En cuanto al tercer capítulo podemos afirmar que es el núcleo de todo el trabajo, toda vez que al concluir la meta que nos hemos trazado. Que fue la implementación de una maqueta para el control de un motor jaula de ardilla, lo que se logro realizar la maqueta y controlar el motor desde la PC.

El objeto de esta investigación es la implementación de una maqueta para el control de un motor jaula de ardilla el cual tiene como campo de acción el laboratorio de las de maquinas eléctricas. El Problema Científico que se plantea deberá dar respuesta a la siguiente interrogante ¿Cuál es la incidencia de implementar una maqueta para el control de un motor de corriente alterna instrumentado con labVIEW para el laboratorio de maquinas eléctricas de la universidad técnica de Cotopaxi?

Como objetivo general de la presente investigación se plantea:

- Construir una maqueta para el control de un motor jaula de ardilla instrumentado con labVIEW para el laboratorio de maquinas eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Los objetivos específicos de la investigación son los siguientes:

- Diseñar e Implementar una maqueta para el control de un motor jaula de ardilla instrumentado con Labview para el laboratorio de máquinas eléctricas, utilizando tecnología y partes que se pueden encontrar en el país y reducir considerablemente los costos de su implementación.
- Investigar los dispositivos que puedan ser utilizados para este tipo de aplicación con sus limitaciones y alcances para que le permita modelar la maqueta propuesta
- Analizar, conocer y comprender el funcionamiento del motor a través del lenguaje Labview para poder diseñar e implementar la maqueta propuesta

Las preguntas científicas que guiaran esta investigación y a las que nuestra investigación debió dar respuesta son las siguientes:

- ¿Cuáles son los referentes teóricos-conceptuales que fundamentan la implementación de una maqueta para el control de un motor jaula de ardilla instrumentada con LabVIEW?
- ¿Cuál sería el enfoque metodológico y las principales características para la determinación de los requisitos y la definición del caso de estudio para el control del motor jaula de ardilla?
- ¿Cuáles serían los principales atributos para la implementación de la propuesta para un sistema de control de motor jaula de ardilla?

Para la realización de este estudio se llevaron a cabo las siguientes tareas principales:

- Fundamentar teóricamente los elementos básicos que rigen las tecnologías de control de motor jaula de ardilla
- Identificar las estrategias metodológicas básicas para determinar los requerimientos que permitan diseñar el sistema para el control de motor jaula de ardilla
- Diseñar e implementar un sistema para el control de motor jaula de ardilla.

El paradigma o enfoque utilizado para la presente investigación es la Metodología

clásica experimental la cual proveerá los elementos necesarios para el desarrollo de la electrónica y el software que permitan desarrollar el sistema propuesto. Se aplicará la Estadística Descriptiva por cuanto esto nos ayudará a obtener un conocimiento detallado del trabajo de investigación, permitiendo resaltar, analizar e interpretar los resultados obtenidos de una manera cuantitativa y cualitativa a través de la representación gráfica de los resultados. Para la presente investigación se considero como población y muestra a los docentes, alumnos y encargado del laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi. La muestra se determino a partir de la formula de la varianza la cual arrojó como resultado 1142 alumnos, 65 docentes y encargado 1 siendo un universo de 1208 involucrados.

La novedad científica de esta investigación radica en el involucrar a la electrónica y la informática para proceso de control industrial. Como aporte se realiza una modesta contribución a la implementación del laboratorio de maquinas eléctricas de las carreras Ciencias de la Ingeniería y aplicadas de la UTC.

Para terminar la presente Tesis consta de tres capítulos, En el primer capítulo se desarrolla el marco teórico-referencial imprescindible para el abordaje del desarrollo de la tecnología necesaria para el control de motores jaula de ardilla y el lenguaje seleccionado para instrumentarlo; en el segundo capítulo se realiza el análisis e interpretación de los resultados; en el tercer capítulo se desarrolla la propuesta del sistema de control del motor jaula de ardilla como lenguaje de modelado el UML (Lenguaje de Modelado Unificado). Al finalizar esta tesis se pudo determinar varias conclusiones y recomendaciones y para mejor entendimiento del lector se incremento los anexos.

CAPITULO I

1.1 Reseña histórica de la universidad Técnica de Cotopaxi

La Universidad Técnica de Cotopaxi, es una Institución de Educación Superior Pública, Autónoma, Laica y Gratuita, que surgió en 1992 como extensión de la Universidad Técnica del Norte, por iniciativa de la Unión Nacional de Educadores UNE y fruto de la lucha del pueblo de Cotopaxi. Fue creada mediante la Ley promulgada en el Registro Oficial No. 618 del 24 de enero de 1995 y forma parte del Sistema Nacional de Educación Superior Ecuatoriano. Somos una Universidad alternativa con visión de futuro, de alcance regional y nacional; sin fines de lucro que orienta su trabajo hacia los sectores populares del campo y la ciudad, buscando la afirmación de la identidad multiétnica, multicultural y plurinacional del país. Asume con responsabilidad la producción y socialización del conocimiento, así como del pensamiento democrático y progresista para el desarrollo de la conciencia antiimperialista del pueblo.

Se rige por la Constitución Política del Estado, la Ley de la Educación Superior y otras leyes conexas. Forma actualmente profesionales al servicio del pueblo en las siguientes carreras: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Ciencias Agropecuarias y Veterinarias y Ciencias Administrativas, Humanísticas y del Hombre.

Nos esforzamos para alcanzar cada día metas superiores, planteándonos como retos, la formación de profesionales integrales en los ámbitos de pre y posgrado, el desarrollo paulatino de la investigación científica y la vinculación con la colectividad a partir de proyectos generales y específicos, con la participación plena de todos sus estamentos. Somos cuestionadores del sistema económico social vigente impulsando acciones transformadoras en la lucha por la liberación nacional para alcanzar una sociedad más justa, equitativa, solidaria y soberana, en la cual el centro de atención del Estado sea el ser humano.

Por ello, la Universidad Técnica de Cotopaxi asume su identidad con gran responsabilidad: "Por la vinculación de la Universidad con el pueblo", Por una Universidad alternativa con Visión de Futuro", "Luchar y Estudiar junto al pueblo".

1.2. Fundamentos de máquinas de corriente alterna

1.2.1 Introducción

Las maquinas de corriente alterna son los generadores que convierten energía mecánica en energía eléctrica AC y los motores que convierten energía eléctrica AC en energía mecánica. Aunque los principios fundamentales de las máquinas de corriente alterna son muy simples, parecen un tanto difíciles por la construcción complicada de las máquinas reales. ¹

1.3 Espira sencilla en un campo magnético uniforme

El estudio de las máquinas AC comenzará por una espira sencilla de alambre que rota dentro de un campo magnético uniforme. Ésta es la máquina más sencilla posible que produce un voltaje sinusoidal alterno. Este caso no es representativo

¹ Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición

de las máquinas ac reales puesto que el flujo en estas máquinas no es constante ni en magnitud ni en dirección; sin embargo, los factores que controlan el voltaje y el par sobre la espira serán los mismos que los factores que controlan el voltaje y el par en las máquinas ac reales.

Una máquina sencilla formada por una gran magneto estacionaria que produce un campo magnético constante y uniforme, y una espira de alambre conductor que rota dentro de ese campo. La parte rotante de la máquina se llama rotor; la parte estacionaria de la máquina se denomina estator. Ahora, se determinarán los voltajes presentes en el rotor a medida que gira dentro del campo magnético.

1.4 Voltaje inducido

Si el rotor de esta máquina gira, se inducirá un voltaje en la espira. Para determinar la magnitud y forma de este voltaje. La espira mostrada es rectangular, los lados ab y cd son perpendiculares al plano de la página y, los lados bc y da son paralelos al plano de la página. El campo magnético es constante y uniforme, u está dirigido de izquierda a derecha de la página.

Para determinar el voltaje total e_{tot} en la espira, se examina cada segmento de ésta por separado y se suman los voltajes resultantes. El voltaje de cada segmento está dado por la ecuación.

$$e_{ind} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$$

1. Segmento ab. En este segmento, la velocidad del alambre es tangencial a la trayectoria de rotación, en tanto que el campo magnético B está dirigido hacia la derecha. La cantidad $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ apunta hacia la página, que es la misma dirección del segmento ab. Entonces, el voltaje inducido sobre este segmento de alambre es

$$\begin{aligned} e_{ba} &= (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l} \\ &= vBl \sin \theta_{ab} \text{ hacia la página} \end{aligned}$$

2. Segmento bc. En la primera mitad de este segmento, la cantidad $v \times B$ está dirigida hacia la página; en la segunda mitad, $v \times B$ está dirigida hacia fuera de la página.

Puesto que la longitud l está en el plano de la Página, $v \times B$ es perpendicular a l para ambas porciones de este segmento. Entonces el voltaje en el segmento bc será cero:

$$e_{cb} = 0$$

A) Velocidad y orientación de los lados de la espira respecto al campo magnético. B) Dirección de movimiento con respecto al campo magnético para el lado bc. C) Dirección del movimiento con respecto al campo magnético para el lado cd.

3. Segmento cd. En este segmento la velocidad del alambre es tangencial a la trayectoria de rotación, en tanto que el campo magnético B está dirigido hacia la derecha.

La cantidad $v \times B$ apunta hacia fuera de la página, dirección que es la misma del segmento cd. Entonces, el voltaje inducido en este segmento del alambre es

$$\begin{aligned} e_{ba} &= (v \times B) \cdot l \\ &= vBl \sin \theta_{ab} \text{ hacia fuera de la página} \end{aligned}$$

4. Segmento da. Tal como en el segmento bc, $v \times B$ es perpendicular a l . Entonces, el voltaje en este segmento será también cero:

$$e_{ad} = 0$$

El voltaje total inducido en la espira e_{ind} es la suma de los voltajes de cada uno de los lados:

$$\begin{aligned} e_{ind} &= e_{ba} + e_{cb} + e_{dc} + e_{ad} \\ &= vBl \sin \theta_{ab} + vBl \sin \theta_{cd} \end{aligned}$$

Nótese que $\theta_{ab} = 180^\circ - \theta_{cd}$ y, recordando la identidad trigonométrica $\sin \theta = \sin (180^\circ - \theta)$, el voltaje inducido es

$$E_{\text{ind}} = 2vBL \sin \theta$$

Hay una forma alternativa para expresar la ecuación que relaciona con claridad el comportamiento de una espira sencilla, con el de las grandes máquinas ac reales. Para deducir esta expresión alternativa, se examina de nuevo. Si la espira rota a una velocidad angular constante ω , entonces el ángulo θ de la espira se incrementará linealmente con el tiempo.

En otras palabras,

$$\theta = \omega t$$

A sí mismo, la velocidad tangencial v de los laterales de la espira puede expresarse como

$$V = r\omega$$

Donde r es el radio del eje de rotación medido desde el eje de la espira y ω es la velocidad angular de la espira. Sustituyendo esta expresión en la ecuación

$$e_{\text{ind}} = 2r\omega Bl \sin \omega t$$

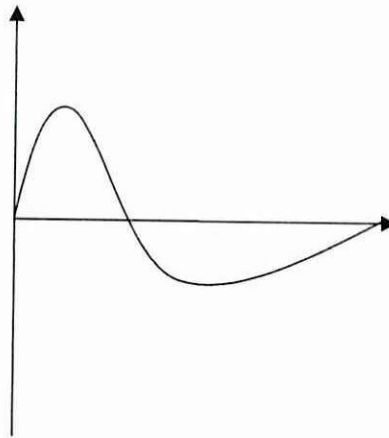
Nótese que, el área A de la espira es justamente igual a $2rl$. Entonces,

$$e_{\text{ind}} = AB\omega Bl \sin \omega t$$

Finalmente, nótese que el flujo máximo a través de la espira ocurre ésta es perpendicular a las líneas de flujo magnético. Este flujo es el producto del área de la superficie de la espira y la densidad de flujo a través de la espira.

$$e_{\text{ind}} = \phi_{\text{max}} \omega \sin \omega t$$

$$e_{\text{ind}} \text{ V}$$



Así el voltaje generado en la espira es una senoide cuya magnitud es igual al producto del flujo dentro de la máquina y la velocidad de rotación de la máquina. Esto también es cierto para las máquinas ac reales. En general, el voltaje de cualquier máquina real depende de tres factores:

1. El flujo en la máquina.
2. La velocidad de rotación
3. Una constante que representa la construcción de la máquina (número de espiras, etc.)²

1.5 Par inducido en una espira que porta corriente

Ahora se supone que la espira que gira se encuentra a algún ángulo arbitrario θ con respecto al campo magnético, y que la corriente influye en la espira. Si fluye corriente en la espira, se inducirá un par a los alambres de la misma. Para determinar la magnitud y dirección del par. La fuerza ejercida sobre cada segmento de la espira está dada por la ecuación

$$\mathbf{F} = i (\mathbf{l} \times \mathbf{B})$$

Donde i = magnitud de la corriente en el segmento

² Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición

l = longitud del segmento, con su dirección definida como la del flujo de la corriente

B = vector de densidad de flujo magnético

El par de segmento estará dado por

$$\begin{aligned}\tau &= (\text{fuerza aplicada}) (\text{distancia perpendicular}) \\ &= (f) (r \text{ sen } \theta) \\ &= rF \text{ sen } \theta\end{aligned}$$

Donde θ es el ángulo comprendido entre el vector \mathbf{r} y el vector \mathbf{F} . La dirección del par sigue el sentido de las manecillas del reloj si tiende a causar rotación en ese sentido contrario a las manecillas del reloj se presenta esta tendencia.

1. Segmento ab. En este segmento, la dirección de la corriente va hacia dentro de la página en tanto que el campo magnético \mathbf{B} apunta hacia la derecha.

La cantidad $\mathbf{I} \times \mathbf{B}$ apunta hacia abajo. Entonces, la fuerza inducida en ese segmento del alambre es

$$\begin{aligned}\mathbf{F} &= i(\mathbf{I} \times \mathbf{B}) \\ &= i\mathbf{B} \text{ hacia abajo}\end{aligned}$$

El par resultante es $\tau_{ab} = (F) (r \text{ sen } \theta_{ab})$
 $= ril B \text{ sen } \theta_{ab}$ en sentido de las manecillas del reloj

2. Segmento bc. En este segmento, la dirección de la corriente sigue el plano de la página mientras que el campo magnético \mathbf{B} apunta hacia la derecha. La cantidad $\mathbf{I} \times \mathbf{B}$ apunta hacia dentro de la página. Entonces, la fuerza inducida en este segmento del alambre es

$$\mathbf{F} = i (\mathbf{I} \times \mathbf{B})$$

= $i\mathbf{l}\mathbf{B}$ Hacia dentro de la página

Para este segmento, el par resultante es 0 puesto que los vectores \mathbf{r} y \mathbf{I} son paralelos y el ángulo θ bc es 0.

$$\begin{aligned}\tau_{bc} &= (F)(r \sin \theta_{bc}) \\ &= 0\end{aligned}$$

3. Segmento cd. En este segmento, la dirección de la corriente va hacia fuera de la página mientras que el campo magnético \mathbf{B} apunta hacia la derecha, La cantidad $\mathbf{I} \times \mathbf{B}$ apunta hacia arriba. Entonces, La fuerza inducida sobre ese segmento del alambre.

1.6. Motores de inducción.

1.6.1. Construcción del motor de inducción

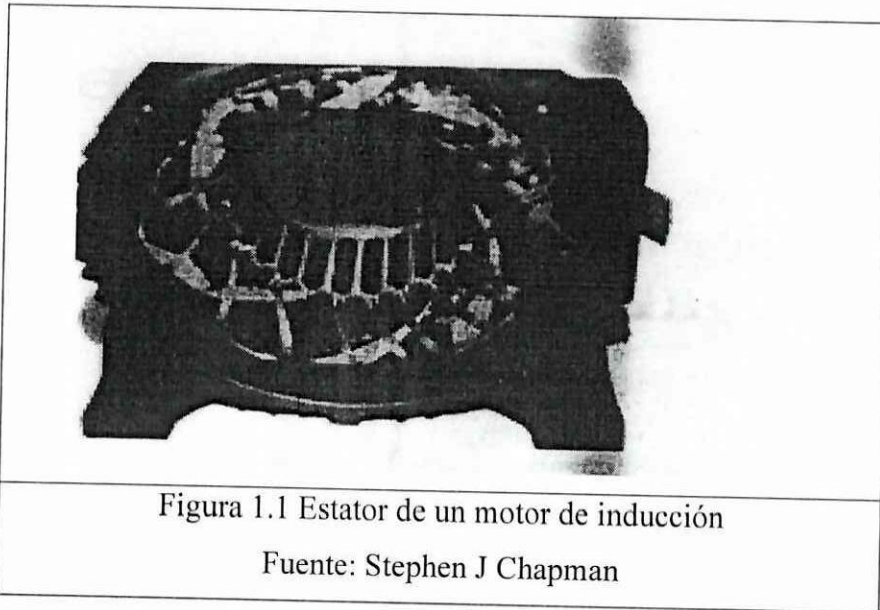
Un motor de inducción tiene físicamente el mismo estator que una máquina síncrona, pero la construcción del rotor es diferente. Un estator típico de dos polos se muestra en la fig. 1.1 Parece (y es) igual al estator de un máquina síncrona. Hay dos tipos diferentes de rotores que pueden disponerse dentro del estator del motor de inducción. Uno de ellos se llama rotor jaula de ardilla o simplemente rotor de jaula, mientras que el otro es llamado rotor devanado.

Las figuras 1.2 y 1.3 muestran rotores de motor de inducción, de tipo jaula de ardilla. Un rotor de esta clase consiste en una serie de barras conductoras dispuestas entre ranuras labradas en la cara del rotor y cortocircuitadas en cada extremo por anillos de cortocircuitado. Este diseño hace referencia a un rotor de jaula de ardilla debido a que los conductores examinados en los sí mismo se parecían a los de las ruedas de ejercicio de las ardillas o de los hamsters.

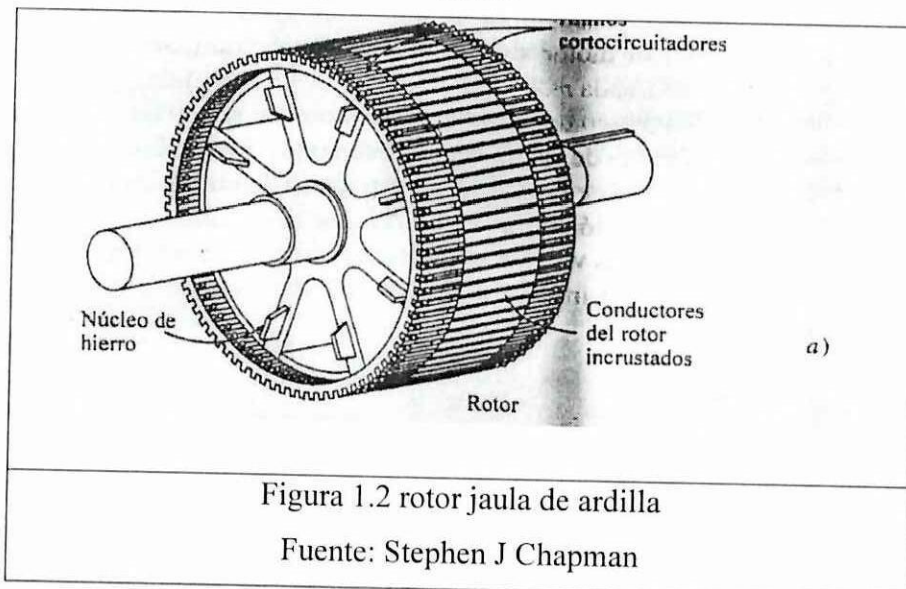
El otro tipo de rotor es el rotor devanado. Un rotor devanado tiene un grupo completo de devanados trifásicos que son las imágenes espectaculares de los devanados del estator.

Las fases de los devanados del rotor están conectadas usualmente en Y, y los extremos de los tres alambres del rotor están unidos a anillos rozantes dispuestos sobre el eje del rotor. Los devanados del rotor.³

Estator de un motor típico, que muestra sus devanados

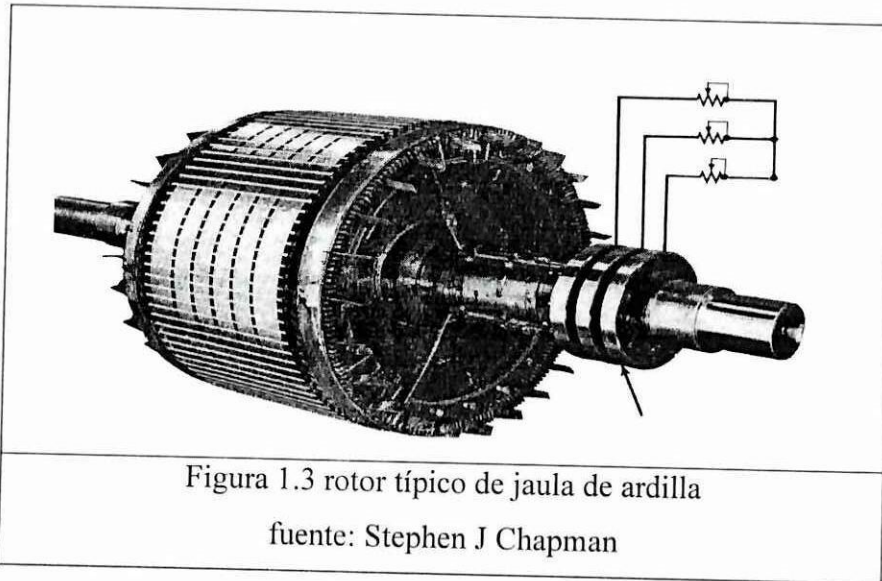


a) Dibujo de un rotor de jaula de ardilla.

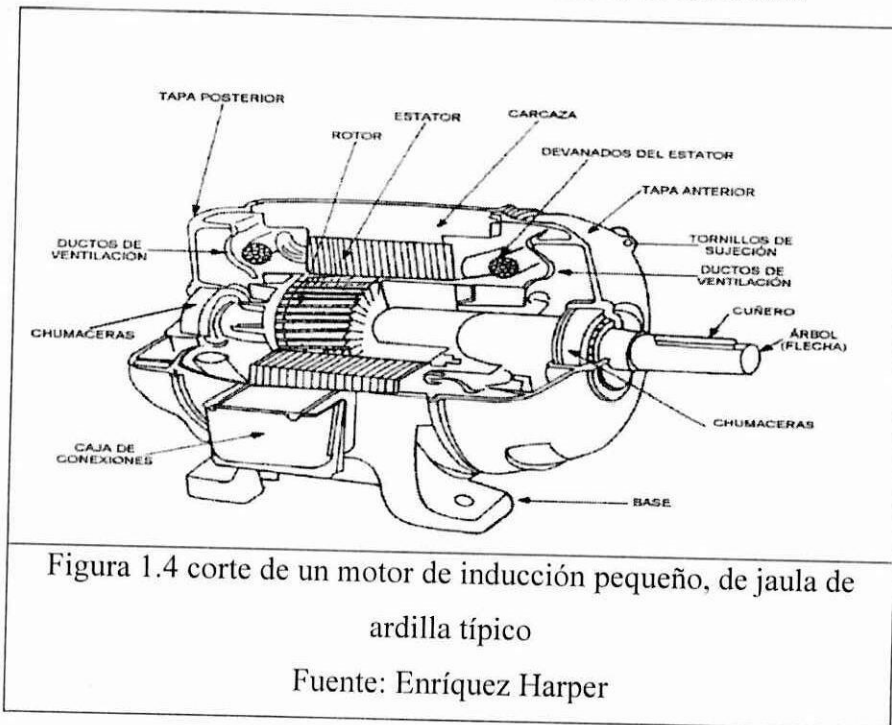


b) rotor típico de jaula de ardilla

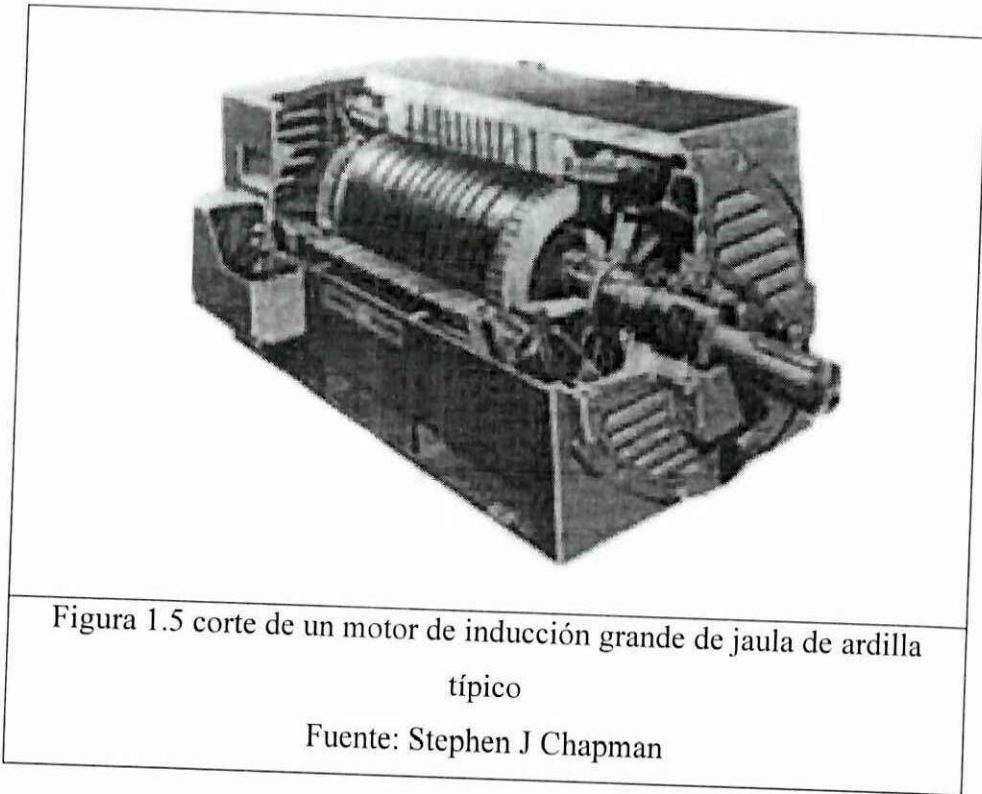
³ Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición



a) Diagrama de corte de un motor de inducción pequeño, de jaula de ardilla típico
Están cortocircuitados a través de escobillas montadas en los anillos



c) Diagrama de un motor de inducción, grande de jaula de ardilla típico



Motor jaula de ardilla

. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas).

1.7. Conceptos básicos sobre motores de inducción

En esencia, la operación de los motores de inducción es igual a la de los devanados de amortiguación en los motores sincrónicos.

1.7.1 Desarrollo del par inducido en un motor de inducción.

Un motor de inducción de jaula de ardilla. Al aplicar al estator un conjunto trifásico de voltajes, un conjunto trifásico de corrientes estatóricas que producen un campo magnético B_s que rota en dirección contraria a las manecillas del reloj. La velocidad de rotación del campo magnético está dada por la

$$n_{\text{sinc}} = \frac{120 \cdot f_e}{p}$$

donde f_e es la frecuencia del sistema, en hertz, y P es el número de polos de la máquina. Este campo magnético rotación B_s , pasa sobre las barras del rotor e induce voltaje en ellas.

El voltaje inducido en una barra determinada del rotor está dado por la ecuación

$$e_{ind} = (v \times B) \cdot l$$

Donde v = velocidad de la barra, relativa al campo magnético.

B = vector de densidad de flujo magnético

l = longitud del conductor en el campo magnético

El movimiento relativo del rotor con respecto al campo magnético del estator produce voltaje inducido en una barra del rotor. La velocidad de las barras de la parte superior del rotor, con relación al campo magnético, tiende hacia la derecha de modo que el voltaje inducido en las barras superiores tiende hacia fuera de la página. Esto origina influjo de corriente hacia fuera en las barras superiores, y hacia dentro en las inferiores. Sin embargo, puesto que el conjunto del rotor es inductivo, la corriente pico del rotor queda en atraso con relación al voltaje pico del rotor. EL flujo de corriente del rotor produce un campo magnético del rotor B_r .⁴

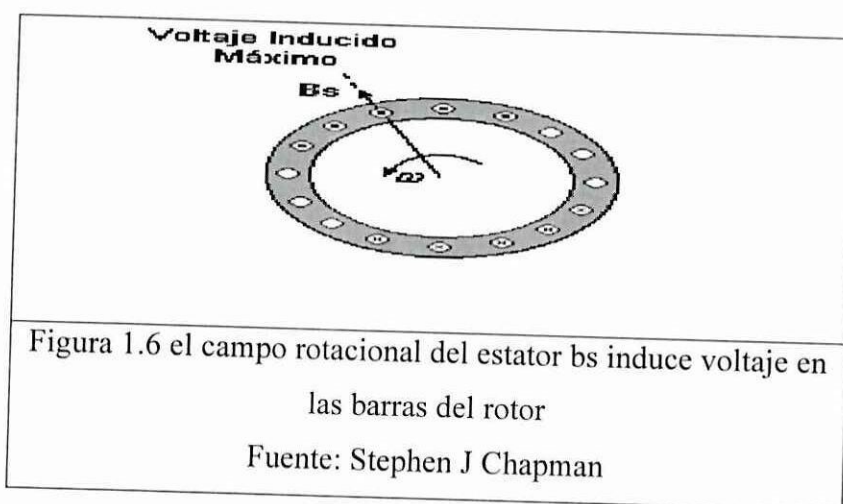


Figura 1.6 el campo rotacional del estator B_s induce voltaje en las barras del rotor

Fuente: Stephen J Chapman

⁴ <http://ohm.utp.edu.co/neuronales/Download/Motor.pdf>

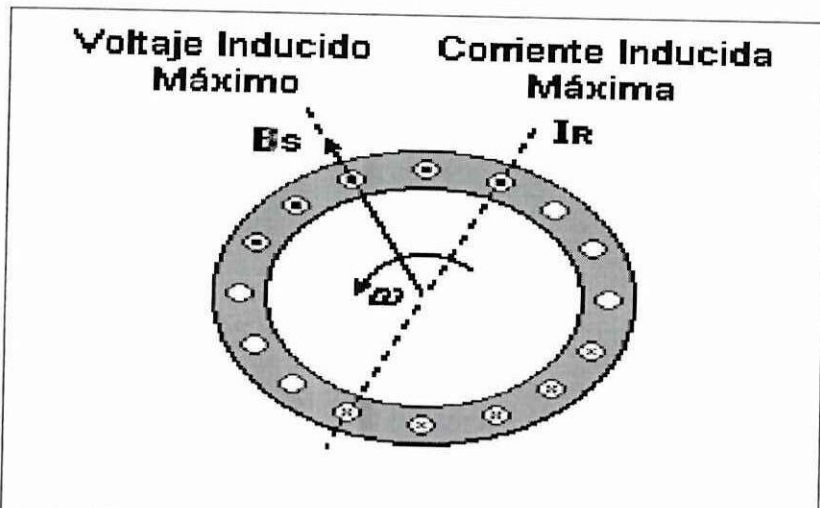


Figura.1.7 voltaje inducido máximo y corriente inducida máxima

Fuente: Stephen j Chapman

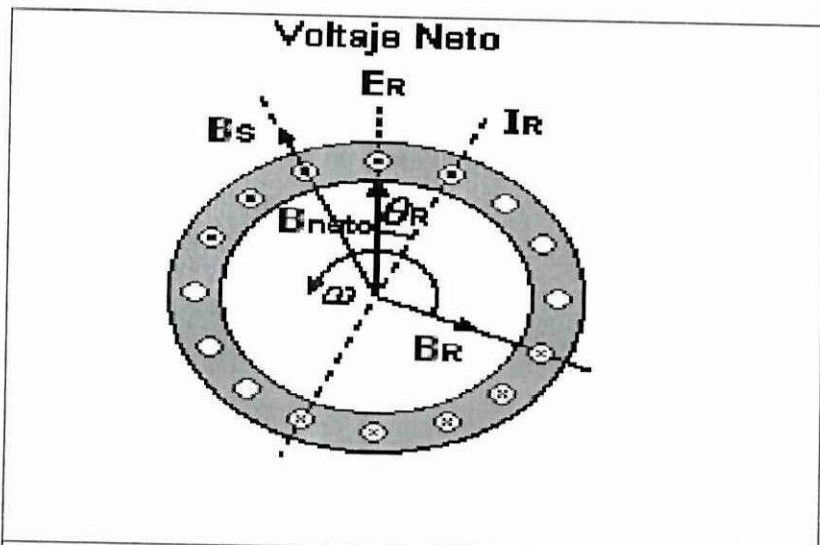


Figura.1.8 voltaje neto

Fuente: Stephen J Chapman

Desarrollo del par inducido en un motor de inducción. a) El campo rotacional del estator B_s induce voltaje en la barras del rotor; b) el voltaje del rotor produce un flujo de corriente en el rotor que atrasa el voltaje debido a la inductancia del mismo, c) la corriente del rotor produce un campo magnético en el rotor B_r que está a 90° detrás de ella, y B_r interactúa con B_{net} para producir en la máquina un par en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Finalmente, puesto que el par inducido en la máquina está dado por

$$\tau_{md} = kBr \times Bs$$

1.7.2 Concepto de deslizamiento del rotor

El voltaje inducido en una barra del rotor de un motor de inducción depende de la velocidad del rotor con respecto a los campos magnéticos. Puesto que el comportamiento de un motor de inducción depende del voltaje y la corriente del rotor, con frecuencia es más lógico hablar de su velocidad relativa.

En general se utilizan dos términos para definir el movimiento relativo entre el rotor y los campos magnéticos. Uno de ellos es la velocidad e deslizamiento, definida como la diferencia entre la velocidad sincrónica y la velocidad del rotor:

$$n_{des} = n_{sin c} - n_m$$

Donde n_{des} = velocidad de deslizamiento de la máquina

$n_{sin c}$ = velocidad de los campos magnéticos

n_m = velocidad mecánica del eje motor

El otro término utilizado para describir el movimiento relativo es el deslizamiento, el cual es la velocidad relativa expresada sobre una base en por unidad o en porcentaje. El deslizamiento está definido como

$$S = \frac{n_{des}}{n_{sin c}} (x 100\%)$$

$$S = \frac{n_{sin c} - n_m}{n_{sin c}} (x 100\%)$$

Esta ecuación también puede expresarse en términos de la velocidad angular ω (radianes por segundo) como

$$\frac{W_{\text{sinc}} - W_m}{W_{\text{sinc}}} (\times 100\%)$$

Nótese que si el rotor gira a la velocidad sincrónica, $s = 0$, mientras que si el rotor está estacionario, $s = 1$. Todas las velocidades normales de los motores caen dentro de estos dos límites. Es posible expresar la velocidad mecánica del eje del rotor en términos de la velocidad sincrónica y el deslizamiento.

$$n_m = (1 - s) n_{\text{sinc}}$$

$$\omega_m = (1 - s) \omega_{\text{sinc}}$$

Estas ecuaciones son útiles en la deducción del par del motor de inducción y en las relaciones de potencia.⁵

1.7.3 Frecuencia eléctrica en el rotor

Un motor de inducción trabaja induciendo tensiones y corrientes en el rotor de la máquina; por esa razón, a veces se le llama transformador rotante. Como transformador, el primario (estator) induce un voltaje en el secundario (rotor) pero, a diferencia del transformador, la frecuencia secundaria no es necesariamente la misma que la frecuencia primaria.

Si el rotor de un motor está bloqueado tal que no puede moverse, el rotor tendrá la misma frecuencia que el estator. Por el contrario, si el rotor gira a velocidad sincrónica, la frecuencia en el rotor será cero. ¿Cuál será la frecuencia del rotor a una velocidad arbitraria de rotación?

⁵ Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición.

A $n_m = 0$ r / min, la frecuencia del rotor es $f_r = f_e$ y el deslizamiento $s = 1$ a $n_m = n_{sinc}$ la frecuencia del rotor es $f_r = 0$ Hz y el deslizamiento es $s = 0$. Para cualquier velocidad intermedia, la frecuencia del rotor es directamente proporcional a la diferencia entre la velocidad del campo magnético n_{sinc} y la velocidad del rotor n_m . Puesto que el deslizamiento del rotor está definido como

$$s = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}}$$

la frecuencia del rotor puede ser expresada como

$$f_r = s f_e$$

Existen varias formas alternativas útiles de esta expresión. Una de las expresiones más comunes se obtiene sustituyendo la ecuación del deslizamiento en la ecuación y sustituyendo luego por n_{sinc} en el denominador de la expresión. ⁶

$$f_r = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}} f_e$$

Pero, $n_{sinc} = 120 f_e / P$

$$f_r = (n_{sinc} - n_m) \frac{P}{120 f_e} f_e$$

Entonces

$$f_r = \frac{P}{120} (n_{sinc} - n_m)$$

1.7.4 Circuito equivalente de un motor de inducción

Para operar, un motor de inducción depende de la inducción de voltajes y corrientes en su circuito rotor desde el circuito del estator (acción transformadora). Debido a que la inducción de voltajes y corrientes en el circuito del rotor de un motor se produce de forma muy similar al circuito equivalente de

⁶ Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición

un transformador. Un motor de inducción es llamado máquina de excitación única (a diferencia de la máquina síncrona de excitación doble) puesto que la potencia es suministrada sólo al circuito del estator. Dado que un motor de inducción no tiene circuito de campo independiente, su modelo no contendrá una fuente de voltaje interno como el voltaje interno generado E , en una máquina síncrona.

Es posible deducir un circuito equivalente de un motor de inducción a partir del conocimiento de los transformadores y de cuanto ya sabemos sobre la variación de la frecuencia del rotor con la velocidad en los motores de inducción. El modelo del motor de inducción será desarrollado comenzando por el modelo del transformador.⁷

1.7.5 El modelo transformador de un motor de inducción

La figura 1.9 muestra un circuito equivalente transformador, por fase, el cual representa la operación de un motor de inducción. Como en cualquier transformador existe cierta resistencia y auto inductancia en los devanados primarios (del estator), las cuales deben ser representadas en el circuito equivalente de la máquina. La resistencia del estator se llamará R_1 y la reactancia de dispersión será llamada X_1 . Estas dos componentes aparecen justo a la entrada en el modelo de la máquina.

Así mismo, como cualquier transformador con núcleo de hierro, el flujo en la máquina está relacionado con la integral del voltaje aplicado E_1 .

La curva de la fuerza magnetomotriz contra el flujo (curva de magnetización) para esta máquina comparada a la curva similar para un transformador de potencia. Nótese que la pendiente de la curva fuerza magnetomotriz-flujo del motor de inducción es mucho menos pronunciada que la curva de un buen transformador.

⁷ Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición

Esto se debe a la existencia de un entrehierro en el motor de inducción, el cual aumenta grandemente la reactancia del camino del flujo y reduce, por tanto, el acoplamiento entre los devanados primario y secundario. Una mayor reluctancia ocasionada por el entrehierro significa que se requiere más alta corriente de magnetización X_M en el circuito equivalente tendrá mucho menor valor (o la susceptancia B_M tendrá mucho mayor valor) que en un transformador normal.

El voltaje primario interno del estator E_1 está acoplado al secundario E_r por un transformador ideal con relación efectiva de vueltas a_{eff} . La relación efectiva de vueltas a_{eff} es fácil de determinar en un motor de rotor devanado –es básicamente la relación entre los conductores por fase del estator y los conductores por fase del rotor, modificada por las diferencias dadas por los factores de paso y de distribución *. En el caso de un motor de rotor de jaula de ardilla, es un tanto difícil ver con claridad a_{eff} debido a que no hay devanados distintos en este rotor. En todo caso, hay una relación efectiva de vueltas para el motor.

El voltaje es producido en el rotor ocasiona a su vez un flujo de corriente en el circuito rotor cortocircuitado(o secundario) de la máquina.

Las impedancias primarias y la corriente de magnetización del motor de inducción son muy similares a las componentes correspondientes en el circuito equivalente del transformador en los efectos de variación de la frecuencia del rotor sobre el voltaje del rotor E_r y en las impedancias del rotor R_R y jX_R .⁸

⁸ Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición

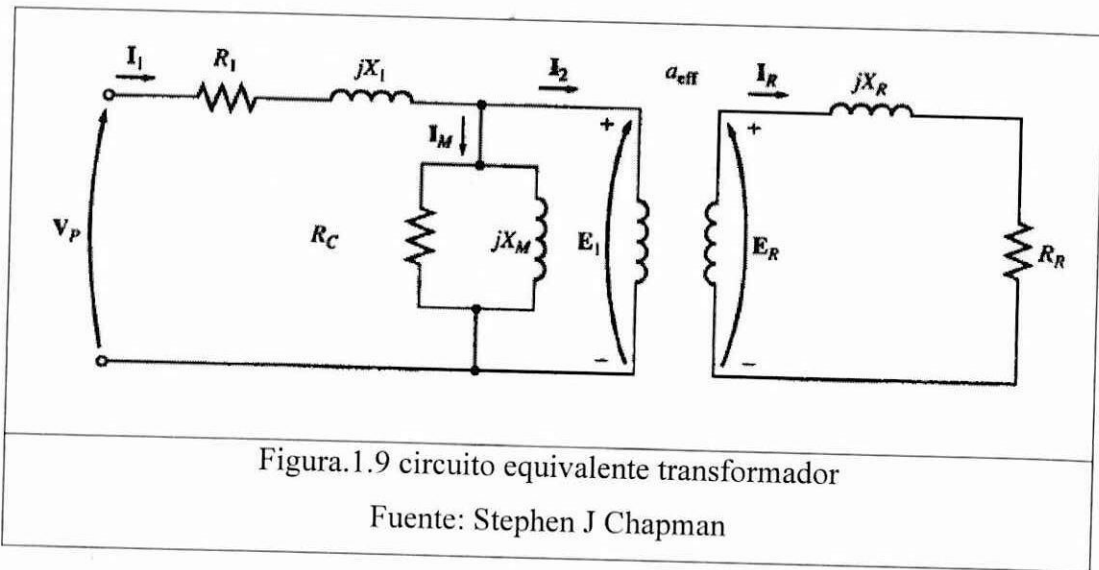


Figura.1.9 circuito equivalente transformador

Fuente: Stephen J Chapman

1.7.6 Circuito modelo del rotor

En un motor de inducción, cuando se aplica voltaje a las bobinas del estator, se induce un voltaje en los devanados del rotor de la máquina. En general, cuanto mayor sea el movimiento relativo entre los campos magnéticos del rotor y del estator, mayor será el voltaje resultante en el rotor y la frecuencia del rotor. El mayor movimiento relativo ocurre cuando el rotor se encuentra estacionario, condición llamada de rotor detenido a rotor bloqueado, de modo que en esta condición se induce el máximo voltaje y la máxima frecuencia del rotor. El mínimo voltaje (0 v) y la mínima frecuencia (0 Hz) ocurren cuando el motor se mueve con la misma velocidad que el campo magnético del estator, caso en que no hay movimiento relativo. La magnitud y frecuencia del voltaje inducido en el rotor a cualquier velocidad entre estos extremos es directamente proporcional al deslizamiento del rotor. Entonces, si la magnitud del voltaje inducido del rotor en condiciones de rotor bloqueado se llama E_{RO} , la magnitud del voltaje inducido para cualquier deslizamiento estará dada por la ecuación.

$$E_R = sE_{RO}$$

Y la frecuencia del voltaje inducido para cualquier valor de deslizamiento estará dada por la ecuación.

$$f_r = sf_e$$

Este voltaje es inducido en un rotor que contiene tanto resistencia como reactancia. La resistencia del rotor R_R es constante (excepto por el efecto pelicular o superficial), independientemente del deslizamiento, mientras que la reactancia del rotor es afectada de manera más complicada por el deslizamiento.

La reactancia de un rotor de motor de inducción depende de la inductancia del rotor y de la frecuencia del voltaje y la corriente del rotor. Si la inducción del rotor es L_R , la reacción del rotor está dada por

$$X_R = \omega_r L_R = 2\pi f_r L_R$$

Por la ecuación $f_r = sf_e$ tal que

$$\begin{aligned} X_R &= 2\pi s f_e L_R \\ &= s(2\pi f_e L_R) \\ &= sX_{R0} \end{aligned}$$

donde X_{R0} es la reactancia del rotor en estado bloqueado.

El flujo de corriente en el rotor se puede encontrar como

$$I_R = \frac{E_R}{R_R + jX_R}$$

$$I_R = \frac{E_R}{R_R + jsX_{R0}}$$

$$I_R = \frac{E_{R0}}{R_R + JSX_{R0}}$$

Nótese que es posible tratar todos los efectos del rotor debidos a la variación de la velocidad retórica como ocasionados por una impedancia variable alimentada con potencia desde una fuente de voltaje constante E_{RO} . La impedancia equivalente del rotor desde este punto de vista es ⁹

$$Z_{R,eq} = R_R / s + jX_{RO}$$

1.7.7 Circuito equivalente final

Para producir el circuito equivalente por fase final de un motor de inducción, es necesario referir al lado del estator la parte del modelo correspondiente al rotor.

En un transformador normal los voltajes, las corrientes y las impedancias del lado secundario del aparato pueden ser referidos al lado primario mediante la relación de vueltas del transformador:

$$V_p = V'_s = aV_s$$

$$I_p = I'_s = \frac{I_s}{a}$$

n_m porcentaje de la velocidad sincrónica

y
$$z'_s = a^2 Z_s$$

Donde el superíndice prima se aplica a los valores de voltaje, corriente e impedancia referidos. Inducción. Si la relación efectiva de vueltas de un motor de inducción es a_{eff} el voltaje transformado del rotor es

$$E_1 = E'_R = a_{eff} E_{RO}$$

⁹ Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición

La corriente rotórica es

$$I_2 = \frac{I_R}{a_{eff}}$$

Y la impedancia rotórica es

$$Z_2 = a_{eff}^2 \left(\frac{R_R}{s} + jX_{r_o} \right)$$

Si definimos ahora

$$R_2 = a_{eff}^2 X_{R_o}$$

$$X_2 = a_{eff}^2 X_{R_o}$$

1.8 Potencia y par en los motores de inducción

Debido a que los motores de inducción son máquinas de excitación única, sus relaciones de potencia y par difieren bastante de las relaciones en las máquinas sincrónicas.

1.8.1 Pérdidas y diagrama de flujo de potencia

Un motor de inducción se puede describir básicamente como un transformador rotante. Su entrada es un sistema trifásico de voltajes y corrientes. En un transformador normal, la salida es de potencia eléctrica desde los devanados secundarios. Los devanados secundarios de un motor de inducción están cortocircuitados de tal forma que no existe salida eléctrica de los motores normales de inducción sino mecánica. La relación entre la potencia eléctrica de entrada y la potencia mecánica de salida de este motor.

La potencia de entrada del motor de inducción P_{in} se presenta en forma de voltajes y corrientes eléctricas trifásicas. Las primeras pérdidas encontradas en la máquina son $I^2 R$ en los devanados del estator.

Luego alguna cantidad de potencia se pierde por histéresis y por corrientes parásitas en el estator la potencia remanente en este punto se transfiere al rotor de la máquina a través del entrehierro situado entre el rotor y el estator. Esta potencia es llamada potencia en el entrehierro de la máquina. Después que la potencia ha sido transferida al rotor, algo de ella se disipa como pérdidas y al restante se convierte de potencia eléctrica en mecánica. Por último, las pérdidas por rozamiento propio y por rozamiento con el aire y las pérdidas misceláneas se restan. La potencia restante es la de la salida del motor.

Las pérdidas en el núcleo no siempre aparecen en un diagrama de flujo de potencia, debido a la naturaleza de las pérdidas en el núcleo, el lugar en el que sean tenidas en cuenta dentro de esta máquina es un tanto arbitrario. Las pérdidas en el circuito del rotor. Puesto que un motor de inducción corresponden en parte al circuito del estator y en parte al circuito del rotor. Puesto que un motor de inducción opera normalmente a una velocidad cercana a la velocidad sincrónica, el movimiento relativo de los campos magnéticos sobre la superficie del rotor es muy lento y las pérdidas en el núcleo del rotor son muy pequeñas comparadas con las pérdidas en el núcleo de estator. Puesto que la fracción más grande de las pérdidas en el núcleo proviene en el circuito del estator, todas las pérdidas en el núcleo diagrama: estas pérdidas se representan en el circuito equivalente del motor de inducción por una resistencia. Si las pérdidas en el núcleo están dadas por un número conjunto con las pérdidas mecánicas y se restan en el punto del diagrama donde se localizan las pérdidas mecánicas.

Cuanto mayor sea la velocidad de un motor de inducción, mayor es su rozamiento propio y con el aire, así como mayores las pérdidas misceláneas. Por otra parte, cuanto mayor sea la velocidad del motor, menores serán sus pérdidas en el núcleo. En consecuencia, a veces estas tres clases de pérdidas se agrupan y se denominan pérdidas rotacionales. Con frecuencia las pérdidas rotacionales completas de un motor se consideran constantes frente a la velocidad variable debido a que las pérdidas compuestas cambian en dirección opuesta al cambio de velocidad.¹⁰

¹⁰ Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición

1.9 Características par-velocidad del motor de inducción

1.9.1 Par inducido desde el punto de vista físico

En esta máquina el campo magnético neto B_{net} es producido por la corriente de magnetización I_M que fluye en el circuito equivalente.

La magnitud de la corriente de magnetización y, por consiguiente, de B_{net} es directamente proporcional al voltaje E_1 . Si E es constante el campo magnético neto en el motor es constante. En una máquina real E varía cuando la carga puesto que las impedancias del estator R_1 y X_1 ocasionan caídas variables de voltaje cuando varía la carga. Sin embargo estas caídas en los devanados del estator son relativamente pequeñas de modo que E_1 es aproximadamente constante frente a los cambios de carga.

El par inducido, que mantiene girando el rotor, está dado por la ecuación

$$T^{ind} = k \mathbf{B}_R \times \mathbf{B}_{net}$$

Su magnitud está dada por

$$T_{ind} = K B_r B_{net} \sin \delta$$

Puesto que el rotor del campo magnético del rotor es muy pequeño, el par inducido también es bastante pequeño, pero suficientemente grande para contrarrestar las pérdidas rotacionales del motor.

Suponga ahora que se carga el motor de inducción cuando se aumenta la carga al motor, su deslizamiento aumenta y baja la velocidad del rotor. Dado que la velocidad del rotor es menor, existe más movimiento relativo entre los campos magnéticos del rotor y el estator en la máquina.

Cuando alcanza un motor de inducción su par máximo? Este ocurre cuando se llega al punto en que al aumentar la carga al eje, el término $\text{sen } \delta$ disminuya más que lo que se incrementa el término B_R . En este punto, un aumento mayor en la carga disminuye T_{ind} y el motor se frena.

Es posible utilizar el conocimiento de los campos magnéticos de la máquina para deducir aproximadamente la característica de par de salida contra velocidad de un motor de inducción recuerde que la magnitud del par inducido en la máquina está dada por ¹¹

$$T_{ind} = k B_R B_{net} \text{sen } \delta$$

1.9.2 Deducción de la ecuación del par inducido en el motor de inducción

Es posible utilizar el circuito equivalente de un motor de inducción y el diagrama de flujo de potencia para deducir una expresión general del par inducido como función de la velocidad. En un motor de inducción, el par inducido está dado por la ecuación

$$T_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m}$$

1.10 Variaciones en las características par-velocidad del motor de inducción

Si se diseña un rotor con alta resistencia, el par de arranque del motor es muy grande, aunque el deslizamiento también es muy grande en condiciones normales de funcionamiento.

¹¹ Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición

Un motor de gran resistencia en el rotor tiene un buen par de arranque pero su eficiencia es pobre en condiciones normales de operación. Por otro lado, un motor de baja resistencia en el rotor tiene bajo par de arranque y alta corriente de un motor de inducción está forzado a definir entre los conflictivos requerimientos de un alto par de arranque y una buena eficiencia.¹²

1.10.1 Control de las características del motor mediante diseño de la jaula del rotor

En el circuito equivalente del motor de inducción, la reactancia X_2 representa en forma referida reactancia de dispersión del rotor. Recuerde que la reactancia de dispersión es la reactancia debida a las líneas de flujo del rotor que no se acoplan con los devanados del estator. En general, cuanto más lejana del estator se encuentre una barra del rotor o parte de la barra, mayor es su reactancia de dispersión puesto que será menor el porcentaje del flujo de la barra que llegará al estator: entonces, si las barras de un rotor de jaula de ardilla se colocan cerca de la superficie del rotor, tendrán tan solo un pequeño flujo disperso y la reactancia X_2 será pequeña en el circuito equivalente. Por otra parte, si las barras del rotor se colocan profundas dentro de la estructura del rotor, habrá más dispersión y la reactancia X_2 del rotor será mayor.¹³

1.10.2 Clases de diseño de motores de inducción

Es posible producir gran variedad de curvas par-velocidad cambiando las características del rotor de los motores de inducción. Para ayudar a la industria a seleccionar de modo adecuado los motores destinados a diversas aplicaciones en el rango completo de caballos de fuerza, la NEMA en los estados Unidos y la international Electrotechnical Comision.

¹² THEODORE WILDI, Máquinas eléctricas y sistemas de potencia, Pearson

¹³Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición

Los rasgos característicos de cada clase de diseño estándar se presentan a continuación

1.10.2.1 Diseño clase A.

Los motores de diseño clase A son de diseño estándar: con un par de arranque normal, corriente de arranque normal y bajo deslizamiento. El deslizamiento a plena carga de los motores de diseño clase A debe ser menor de 5% y menor que el del motor de tamaño equivalente de diseño clase B. El par máximo equivalente a entre 200 y 300% del par de plena carga y ocurre a un bajo deslizamiento. El par de arranque de este diseño equivale por lo menos, al nominal de los motores grandes y es el 200% o más del par nominal de los motores pequeños. El problema principal de esta clase de diseño es la extremadamente alta corriente de irrupción en el arranque: los flujos de corriente en el arranque equivalen a entre 500 y 800% de la corriente nominal. Si la potencia sobrepasa 7.5hp, se debe utilizar alguna forma de voltaje en el sistema de potencia al cual se hallan conectados.

1.10.2.2 Diseño clase B.

Los motores de diseño clase B tienen par de arranque normal, baja corriente de arranque y bajo deslizamiento. Este motor produce casi el mismo par de arranque que el motor de clase A con cerca de 25% menos corriente: El par máximo es mayor o igual a 200% del par de carga normal, pero menor que el del diseño clase A, debido al aumento de la reactancia del rotor. El deslizamiento del rotor es relativamente bajo (menor al 5%), aun a plena carga. Las aplicaciones son similares a las de los motores de diseño clase A, pero los de diseño clase B son preferidos debido a que requieren poca corriente de arranque: los motores de diseño clase B han reemplazado ampliamente a los motores de diseño clase A en las nuevas instalaciones.

1.10.2.3 Diseño clase C.

Los motores de diseño clase C tienen alto par de arranque con bajas corrientes de arranque y bajo deslizamiento (menos de 5%) a plena carga. El par máximo es un poco menor que el de los motores clase A, mientras que el par de arranque es hasta 250% del par de plena carga. Estos motores son construidos con rotores de doble jaula; por tanto, son más costosos que los motores de las clases ya indicadas. Se utilizan para cargas con altos pares de arranque, compresores y transportadores.

1.10.2.4 Diseño clase D

Los motores de diseño clase D tienen alto par de arranque (275% o más del par nominal) y una baja corriente de arranque, pero también tienen alto deslizamiento a plena carga. En esencia son motores de inducción de clase A comunes, pero las barras del rotor son más pequeñas y la resistencia del material es más elevada. La alta resistencia del rotor desplaza el par máximo hacia una velocidad muy baja. También es posible que el par máximo ocurra a velocidad cero. En estos motores, el deslizamiento a plena carga es bastante alto debido a la resistencia retórica. Está típicamente entre 7 y 11%, pero puede llegar a 17% altas, en especial grandes volantes utilizados en troqueladoras o en cortadoras. En tales aplicaciones, estos motores aceleran un gran volante de modo gradual hasta alcanzar su plena velocidad que luego se transmite a la troqueladora. Después de la operación de troquelado, el motor reacelera el volante durante un moderado tiempo hasta la próxima operación.¹⁴

¹⁴ Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición

1.11 Arranque de motores de inducción

Los motores de inducción no presentan los problemas de arranque que tienen los motores sincrónicos. En muchos casos, los motores de inducción pueden ser puestos en marcha conectándolos simplemente a la red; a veces, sin embargo, hay buenas razones para no hacerlo así. Por ejemplo la corriente de arranque requerida puede causar una caída en el voltaje del sistema de potencia tal que haga inaceptable el arranque a través de la línea.

En motores de inducción de rotor devanado, el arranque puede llevarse a cabo con corrientes relativamente pequeñas, insertando resistencia extra en el circuito del rotor durante el arranque. Esta resistencia extra no sólo aumenta el par en el arranque sino que reduce su corriente.

En los motores de inducción de jaula de ardilla, la corriente de arranque puede variar con gran amplitud dependiendo, en principio, de la potencia nominal del motor y de la resistencia efectiva del rotor en las condiciones de arranque. Para estimar la corriente del rotor en condiciones de arranque, todos los motores de jaula de ardilla tienen ahora una letra código de arranque en su placa de características. La letra código limita la cantidad de corriente que el motor puede tomar en condiciones de arranque.

Estos límites se expresan en términos de la potencia aparente de arranque como función de su potencia nominal en caballos de fuerza.¹⁵

1.11.1 Circuitos de arranque de motores de inducción

El circuito típico de arranque a voltaje pleno o directo a través de la línea en un motor de inducción. La operación de este circuito es muy simple. Cuando se presiona el botón de arranque, la bobina del relé (o contactor) M se energiza y se

¹⁵Stephen J Chapman.(2005) Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición

cierran los contactos normalmente abiertos M_1 , M_2 y M_3 . Cuando se cierran estos contactos, se aplica potencia al motor de inducción y éste arranca.

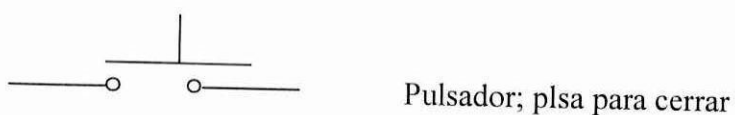
El contacto M_4 se cierra también cortocircuitando el interruptor de arranque y permitiendo que el operario lo libere sin que se quite el suministro de potencia al relé M cuando se presiona el botón de parada, se desenergiza M , se abren los contactos M , y se detiene el motor.

En motores de este tipo, un circuito arrancador magnético tiene varios elementos de protección incorporados:

1. Protección de cortocircuito
2. Protección de sobrecarga
3. Protección de bajo voltaje

La protección de cortocircuito para el motor está provista por los fusibles F_1 , F_2 y F_3 . Si se presenta un cortocircuito repentino dentro del motor y causa un flujo de corriente muchas veces mayor que la corriente nominal, los fusibles se funden y desconectan el motor de la fuente de potencia para evitar que se quemara por completo. Sin embargo, dado que los fusibles no se deben quemar durante el arranque normal del motor, deben ser diseñados para cumplir los requerimientos de corrientes muchas veces mayores que la corriente de plena carga, antes que abran el circuito.

Esto significa que los cortocircuitos a través de una alta resistencia o las cargas excesivas para el motor no serán evitados por los fusibles.

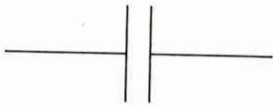




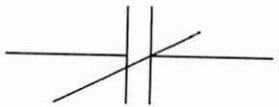
Fusible



Bobina del relé; sus contactos cambian de estado cuando se energiza la bobina



Normalmente Abierto Contacto cerrado cuando la bobina está desenergizada



Normalmente Cerrado Contacto abierto cuando la bobina está desenergizada

La protección de sobrecarga para el motor está provista por los dispositivos marcados OL. Estos elementos de protección de sobrecarga constan de dos partes, un elemento calefactor por sobrecarga y sus contactos. Bajo condiciones normales, los contactos de sobrecarga están cerrados. Sin embargo, cuando se eleva suficientemente la temperatura del calefactor de sobrecarga, se abren los contactos OL y se desenergiza el relé M que, a su vez, abre los contactos M normalmente abiertos y quita el suministro de potencia al motor.

Cuando se sobrecarga un motor de inducción, con el tiempo se daña debido al calentamiento excesivo causado por sus altas corrientes. Sin embargo, el motor tarda en dañarse y normalmente no sufrirá daños por exponerse durante breves periodos a altas corrientes (como las corrientes de arranque). El daño sólo ocurrirá si se mantiene la alta corriente. Los elementos calefactores de sobrecarga dependen del calor para su operación de modo que no serán afectados por periodos breves de alta corriente durante el arranque y operarán con corrientes altas durante

periodos largos, desconectando el motor de la fuente de potencia antes que experimenten algún daño.¹⁶

1.12 Control de velocidad en motores de inducción

Hasta la llegada de los modernos controladores de estado sólido, los motores de inducción no eran las máquinas adecuadas para aplicaciones que requerían considerable control de velocidad. El rango normal de operación de un motor de inducción típico está confinado a menos 5% de deslizamiento y la variación de velocidad en ese rango es más o menos directamente proporcional a la carga sobre el eje del motor. Aun si el deslizamiento fuera mayor, la eficiencia del motor sería muy pobre puesto que las pérdidas en el cobre del rotor son directamente proporcionales al deslizamiento del motor.

Existen sólo dos técnicas para controlar la velocidad de un motor de inducción, una de las cuales consiste en variar el deslizamiento del motor para una carga dada. Cada una de estas técnicas se explicará en detalle más adelante.

La velocidad sincrónica de un motor de inducción está dada por:

$$n_{\text{sin c}} = \frac{120 f_e}{p}$$

Por tanto las únicas formas en que se pueden variar la velocidad sincrónica de la máquina son: 1) cambiando la frecuencia eléctrica y 2) cambiando el número de polos de la máquina. El control del deslizamiento puede ser llevado a cabo bien sea variando la resistencia del rotor o variando el voltaje en los terminales del motor.

¹⁶ ENRIQUEZ HARPER, El libro práctico de los Generadores, transformadores y Motores eléctricos

1.12.1 Control de velocidad del motor de inducción mediante el cambio de polos

Existen dos métodos importantes para cambiar el número de polos en un motor de inducción:

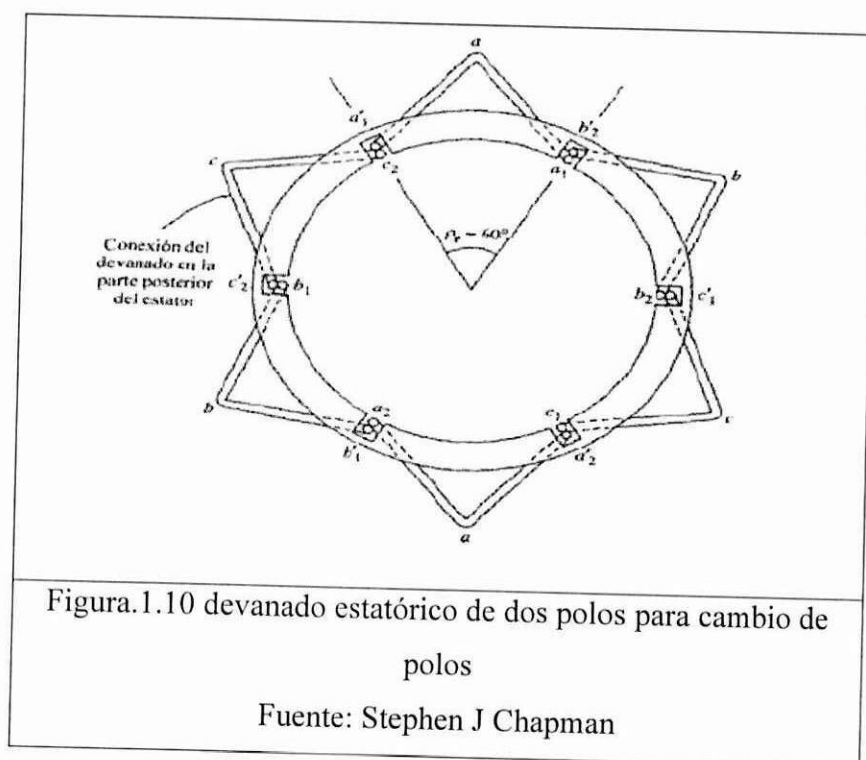
1. El método de polos consecuentes.
2. Devanados de estator múltiples

El método de polos consecuentes para controlar la velocidad es bastante antiguo. Desarrollado originalmente en 1987, se basa en el hecho de que el número de polos en los devanados estáticos de un motor de inducción se puede cambiar con facilidad en relación 2:1 con sólo efectuar simples cambios en la conexión de las bobinas. Un estator motor de inducción sencillo de dos polos adecuado para cambio de polos. Nótese que las bobinas individuales son de muy corto paso (60° a 90°). La figura 1.10 muestra el flujo de corriente en la fase a de los devanados del estator en un instante de tiempo durante la operación normal. Nótese que el campo magnético sale del estator en el grupo de fase superior (formando un polo norte) y entra al estator en el grupo de la fase inferior (formando un polo sur). Este devanado está produciendo dos polos magnéticos estáticos.

Supóngase que se invierte la dirección del flujo de corriente en el grupo de fase inferior del estator, entonces el campo magnético sale del estator tanto en el grupo de la fase inferior como el de la fase superior (cada uno de ellos será un polo norte magnético). El flujo magnético en esta máquina debe retornar al estator entre los dos grupos de fase produciendo un par de polos sur magnéticos consecuentes. Nótese que ahora el estator tiene cuatro polos magnéticos, el doble que antes.

En tal motor el rotor es de diseño de jaula de ardilla y, puesto que un rotor de jaula de ardilla tiene siempre tantos polos inducidos en él como los que hay en el estator, se puede adaptar cuando cambia el número de polos en éste.

Cuando el motor de dos polos se reconecta para operar con cuatro polos, el par máximo resultante del motor de inducción puede ser igual al de antes (conexión de par constante), la mitad de su valor anterior (conexión de par constante), la mitad de su valor anterior (conexión de par que sigue la ley de los cuadros utilizando par ventiladores, etc.) o dos veces su valor previo (conexión de salida de potencia constante), dependiendo de cómo se reordenen los devanados del estator.¹⁷



1.12.2 Control de velocidad mediante el cambio de la frecuencia de la línea

Si se cambia la frecuencia eléctrica aplicada al estator de un motor de inducción, la velocidad de rotación de sus campos magnéticos cambiara en proporción directa al cambio de frecuencia eléctrica.

Y el punto de vacío sobre la curva característica par-velocidad cambiará con ella la velocidad sincrónica del motor en condiciones nominales se conoce como velocidad base.

¹⁷ ENRIQUEZ HARPER, El libro práctico de los Generadores, transformadores y Motores eléctricos

Utilizando control de frecuencia variable, es posible ajustar la velocidad del motor por encima o por debajo de la velocidad base. Un controlador de frecuencia variable para motor. Un controlador de frecuencia variable para motor de inducción, diseñado adecuadamente, puede ser muy flexible y puede controlar la velocidad de un motor de inducción sobre un rango de velocidad que va desde el tan pequeño de 5% de la velocidad base hasta cerca del doble de está. Sin embargo, es importante mantener ciertos límites de voltaje y par sobre el motor cuando varía la frecuencia para asegurar una operación confiable.

Cuando se opera a velocidades inferiores a la velocidad base del motor, es necesario reducir el voltaje aplicado a los terminales del estator para obtener una operación adecuada. El voltaje aplicado a los terminales del estator deberá disminuir linealmente con la disminución de la frecuencia en él. Este proceso se llama degradación (derating) si esto no se hace, se satura el acero del núcleo del motor de inducción y fluirán corrientes de magnetización excesivas en la máquina. Para entender la necesidad de reducción, recuérdese que un motor de inducción es básicamente un transformador rotante. Como con cualquier transformador, el flujo en el núcleo de un motor de inducción se puede encontrar aplicando la ley de Faraday.

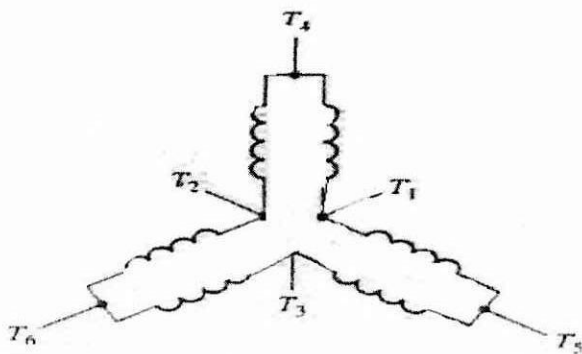
$$v(t) = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Si se aplica un voltaje $v(t) = V_M \text{sen} \omega t$ al núcleo, el flujo ϕ resultante es

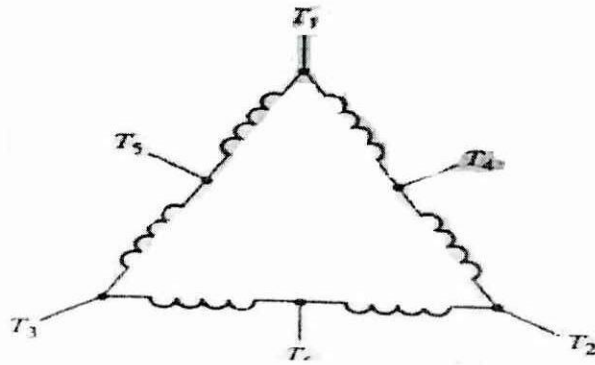
$$\begin{aligned} \phi(t) &= \frac{1}{N_p} \int v(t) dt \\ &= \frac{1}{N_p} \int V_M \text{sen} \omega \tau dt \\ \Phi(t) &= - \frac{V_M}{\omega N_p} \cos \omega t \end{aligned}$$

Nótese que la frecuencia eléctrica aparece en el denominador de esta expresión: entonces, si la frecuencia eléctrica aplicada al estator disminuye en 10%, mientras que la magnitud del voltaje aplicado al estator permanece constante, el flujo en el núcleo del motor se incrementará cerca del 10% y la corriente de magnetización se incrementará también. Así mismo en la región de no saturación de la curva de magnetización del motor, el aumento en la corriente de magnetización será de cerca de 10%. Sin embargo, en la región saturada de la curva de magnetización del motor un aumento de 10% en el flujo requiere un aumento mucho mayor en la corriente de magnetización.

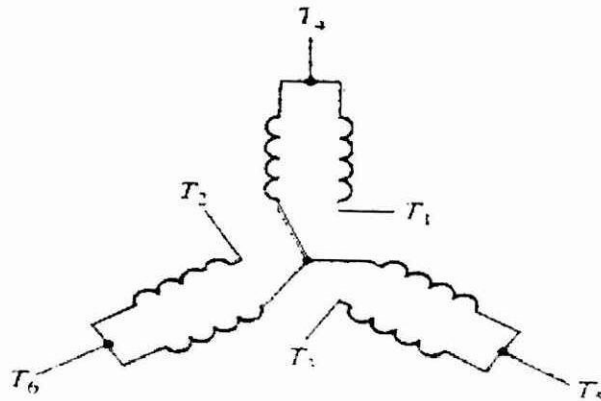
Los motores de inducción están diseñados para operar cerca del punto de saturación de sus curvas de magnetización: por lo tanto, el aumento en el flujo debido a la disminución de frecuencia causará un flujo excesivo de corriente de magnetización en el motor



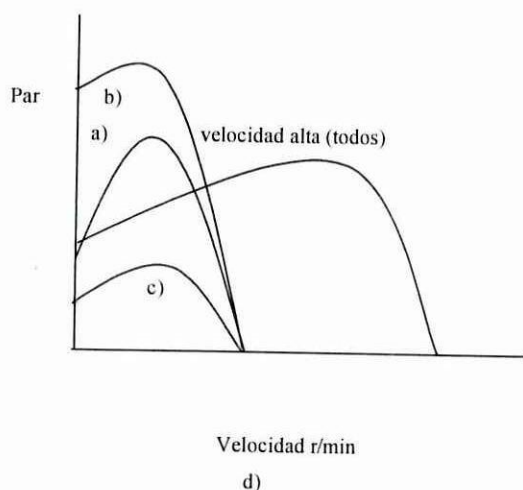
velocidad	Lineas			
	L ₁	L ₂	L ₃	
Baja	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄ , T ₅ , T ₆ abiertas
Alta	T ₄	T ₅	T ₆	T ₁ - T ₂ - T ₃ Conjuntas



velocidad	Líneas			
	L_1	L_2	L_3	
Baja	T_1	T_2	T_3	$T_1 - T_2 - T_3$ Conjuntas
Alta	T_4	T_5	T_6	T_4, T_5, T_6 abiertas



velocidad	Líneas			
	L_1	L_2	L_3	
Baja	T_1	T_2	T_3	T_4, T_5, T_6 abiertas
Alta	T_4	T_5	T_6	$T_1 - T_2 - T_3$ Conjuntas



Conexiones posibles de las bobinas del estator en un motor de polos cambiantes, junto con las características resultantes de par-velocidad: a) conexión de par constante: las capacidades de par del motor permanecen aproximadamente constantes de potencia en las dos conexiones de alta y baja velocidad.

b) Conexión de potencia constante: las capacidades de potencia del motor permanecen aproximadamente constantes en las dos conexiones de alta y baja velocidad, c) Conexión de par tipo ventilador: las capacidades de par del motor cambian con la velocidad de la misma manera que en las cargas de tipo ventilador¹⁸

1.12.3 Control de velocidad mediante cambio de voltaje de línea

El par desarrollado por un motor de inducción es proporcional al cuadrado del voltaje aplicado. Si una carga tiene una característica par-velocidad la velocidad del motor puede ser controlada en un rango limitado, variando el voltaje de la línea. Este método de control de velocidad se utiliza a veces para manejar pequeños motores de ventilación.

¹⁸ ENRIQUEZ HARPER, El libro práctico de los Generadores, transformadores y Motores eléctricos

1.12.4 Control de velocidad mediante el cambio de la resistencia del rotor

En los motores de inducción de rotor devanado es posible cambiar la forma de la curva par velocidad insertando resistencias extras en el circuito del rotor de la máquina.

Si la curva de par velocidad al cambiar la resistencia del rotor variará la velocidad de operación del motor. Sin embargo, la inserción de resistencias extras en el circuito del rotor de un motor de inducción reduce bastante la eficiencia de la máquina. Tal método de control de la velocidad se utiliza sólo durante periodos cortos debido a los problemas de eficiencia que conlleva.

1.13 Controladores de estado sólido para motor de inducción

El método preferido hoy en día para control de la velocidad de los motores de inducción es el controlador de frecuencia variable de estado sólido. El controlador es muy flexible su entrada de potencia puede ser monofásica o trifásica, 50 ó 60Hz, y puede tener un voltaje cualquiera entre 208 y 230 V. La salida de este dispositivo es un voltaje puede ser variado desde 0 V hasta el voltaje nominal del motor.

El control del voltaje y la frecuencia de salida se lleva a cabo utilizando la técnica de modulación de ancho de pulso (PWN) Tanto la frecuencia como el voltaje de salida pueden ser controlados por separado mediante modulación de ancho de pulso. El dispositivo PWM puede controlar la frecuencia de salida mientras mantiene un nivel de voltaje rms mientras mantiene una frecuencia constante. Con frecuencia es deseable variar en forma lineal tanto la frecuencia de salida como el voltaje rms de salida.¹⁹

¹⁹ ENRIQUEZ HARPER, El libro práctico de los Generadores, transformadores y Motores eléctricos

1.14 Qué es LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumente Engineering Workbench) de National Instrument, es una herramienta de programación gráfica, altamente productiva, para la construcción de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. LabVIEW nos da la capacidad de crear rápidamente una interfaz de usuario que nos proporciona la interactividad con el sistema.

La programación G es el corazón de LabVIEW, y difiere de otros lenguajes de programación como C o Basic, en que éstos están basados en texto, mientras que G es una programación gráfica.

Los programas en G, o VIs (“Virtual Instruments”) constan de una interfaz interactiva de usuario y un diagrama de flujo de datos que hace las funciones de código fuente.

De forma más específica, la programación gráfica LabVIEW se estructura como sigue:

- La interfaz interactiva de usuario de un VI se llama Panel Frontal, debido a que simula el panel de un instrumento físico. El panel frontal puede contener botones, interruptores, pulsadores, gráficas y otros controles e indicadores. Los datos se introducen utilizando el ratón y el teclado, y los resultados se muestran en la pantalla del ordenador.
- El VI recibe instrucciones de un diagrama de bloques que construimos en G. El diagrama de bloques es la solución gráfica a un determinado problema de programación. Además, el diagrama de bloques es el código fuente de nuestro programa o VI.
- Los VIs son jerárquicos y modulares. Pueden utilizarse como programas de alto nivel o como subprogramas de otros programas o subprogramas.

Cuando un VI se usa dentro de otro VI, se denominan subVI. El icono y los conectores de un VI funcionan como una lista de parámetros gráficos de forma que otros VIs puedan pasar datos a un determinado subVI.²⁰

1.14.1 Por qué se debe usar LabVIEW?

LabVIEW permite construir sus propias soluciones a científicos e Ingenieros en sistemas y electrónica. LabView provee de flexibilidad y de un poderoso lenguaje que permite generar aplicaciones sin dificultades ni complicaciones.

LabVIEW brinda satisfacciones a miles de usuarios, como un exitoso programa de instrumentación y sistemas de adquisición de datos. Al usar labVIEW como prototipo de diseño, prueba e implementación de sus sistemas de instrumentación se pueden desarrollar sistemas en poco tiempo e incrementar la productividad en un factor de a 4 a 10.

1.14.2 Cómo trabaja labVIEW

LabVIEW incluye librerías de funciones y herramientas de desarrollo diseñado específicamente para la adquisición de datos e instrumentos de control. A los programas de LabVIEW se los llama instrumentos virtuales (IVs) por su apariencia y operación imita a los instrumentos reales. Sin embargo, son análogos a las funciones de los lenguajes de programación convencional. Los IVs tienen una interfaz interactiva entre el usuario y un equivalente al código original, y acepta parámetros desde niveles superiores son descripciones de los tres aspectos de los IVs.

La IV recibe instrucciones desde el diagrama de bloque (block diagram), que se construyo en lenguaje G. El diagrama de bloque es una solución gráfica al problema del programador. El diagrama es también el código original para el IV.

²⁰ NATIONAL INSTRUMENTS, Measurement and Automation,

1.14.3 Paletas (Palettes)

Las paletas de LabVIEW tienen la opción de crear según la necesidad sobre el panel frontal y el diagrama de bloque.

1.14.4 Paleta de Herramientas

Se puede usar la paleta de Herramientas tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloque. La paleta de Herramientas contiene las herramientas que se usa para editar y dibujar sobre el panel frontal y los objetos del diagrama de bloque. Figura 1.11.

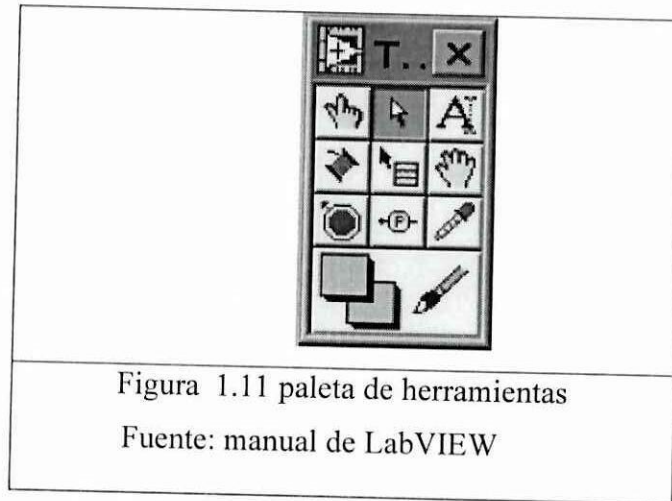





Figura 1.11 paleta de herramientas
Fuente: manual de LabVIEW

Para alternar entre las herramientas de la paleta Tools presione la tecla <Tab>. Para cambiar entre las herramientas de posicionamiento y de cableado en el diagrama de bloques o entre las herramientas de posicionamiento y operación en el panel frontal, presione la barra espaciadora.

 **Operate value.**- Utilice la herramienta de operación para cambiar los valores de un control o para seleccionar el texto sin el control. La herramienta de operación cambia al siguiente icono cuando ella se mueve sobre un texto de control, tal como un control digital o tipo cadena 

 **Position/Size/Select.**- Utilice la Herramienta de Posicionamiento para

seleccionar, mover o redimensionar objetos. La herramienta de Posicionamiento cambia a uno de los siguientes iconos que se muestran a continuación cuando el mouse pasa sobre la orilla de un objeto redimensionable.



Edit text.- Utilice la herramienta de Etiquetado para editar texto y crear etiquetas libres. La herramienta de Etiquetado cambia al icono que se muestra a continuación cuando Usted crea etiquetas libres.



Connect Wire.- Utilice la herramienta de cableado para unir objetos en el diagrama de bloques.



Object Shortcut.- Utilice la herramienta de menú de acceso rápido para tener acceso al menú de un objeto al oprimir el botón izquierdo del mouse.



Scroll Window.- Utilice la herramienta de Puntos de Ruptura para poner puntos de ruptura en VI's, funciones, nodos, cables y estructuras para detener la ejecución en dicho punto.



Set/Clear/Breakpoint.- Utilice la herramienta de Pruebas para crear probadores en cables del diagrama de bloques.



Probe data.- Utilice la herramienta de pruebas para chequear valores intermedios en un VI que produce resultados dudosos o inesperados.



Get color.- Utilice la herramienta de Copiado de Color para copiar colores e insertarlos con la herramienta de Color.



Set Color.- Utilice la herramienta de Color para colorear un objeto. Esta herramienta también despliega el color del fondo y del primer plano del objeto.

1.14.5 Paleta de controles

Esta paleta permite interactuar en el panel frontal. La paleta contiene controles e indicadores que se usa para crear la interfaz con el usuario Figura 1.12

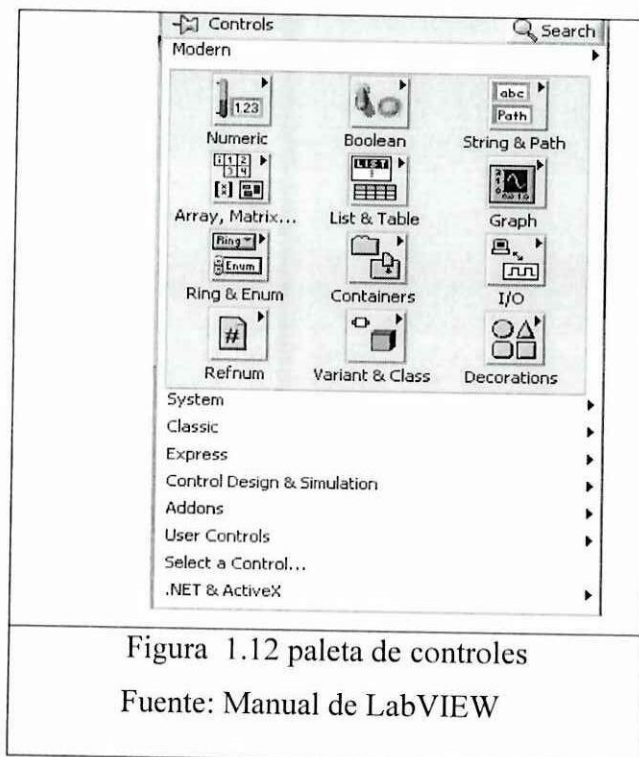


Figura 1.12 paleta de controles

Fuente: Manual de LabVIEW

1.14.6 Paleta de Funciones, (Functions Palette)

Se usa en el diagrama de bloque. La paleta de funciones contiene los objetos para programar el VI, tal como la aritmética, instrumentación de E/S, archivos de E/S, y operaciones de adquisición de datos. Figura 1.13

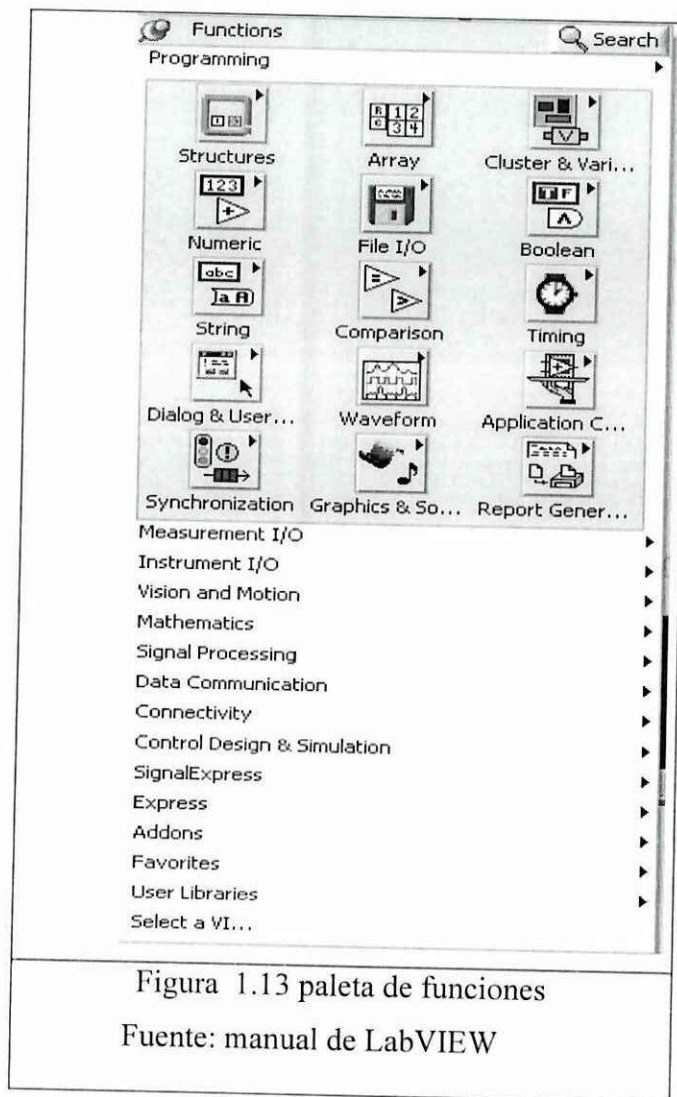


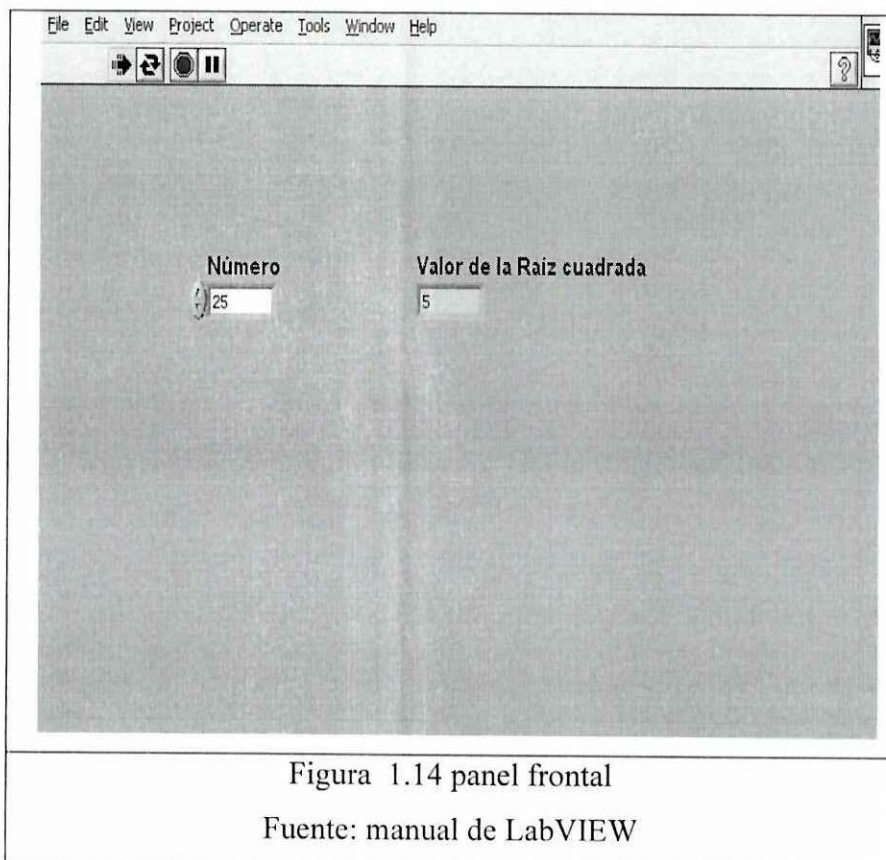
Figura 1.13 paleta de funciones

Fuente: manual de LabVIEW

1.14.7 Instrumentos Virtuales

Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales o VI's. Los VI's contienen tres componentes principales: el panel frontal, el diagrama de bloques y el icono/conector.

El panel frontal es la interfaz del usuario del VI. En la figura 1.14 Se muestra un ejemplo del panel frontal para calcular la raíz de un número.



El panel frontal se puede construir con controles e indicadores, los cuales son los terminales de entrada y salida interactivos del VI, respectivamente. Los controles son perillas, botones, diales y otros dispositivos de entrada. Los indicadores son gráficas, LED's y otros dispositivos de despliegue. Los controles simulan dispositivos de entrada al instrumento y entregan los datos al diagrama de bloques del VI. Los indicadores simulan los dispositivos de salida del instrumento y presentan los datos que el diagrama de bloques adquiere o genera.

Luego de construir el panel frontal se adiciona el código utilizando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques contiene éste código fuente gráfico. Los objetos del panel frontal aparecen como terminales, usted no puede borrar un terminal en el diagrama de bloques. El terminal desaparece solo después de borrar el objeto correspondiente en el panel frontal.

Los objetos del diagrama de bloques incluyen terminales, subVI's, funciones, constantes, estructuras y cables, los cuales transfieren datos hacia otros objetos del diagrama de bloques.

En el siguiente ejemplo se puede ver el diagrama de bloque para calcular la raíz cuadrada de un número Figura 1.15.

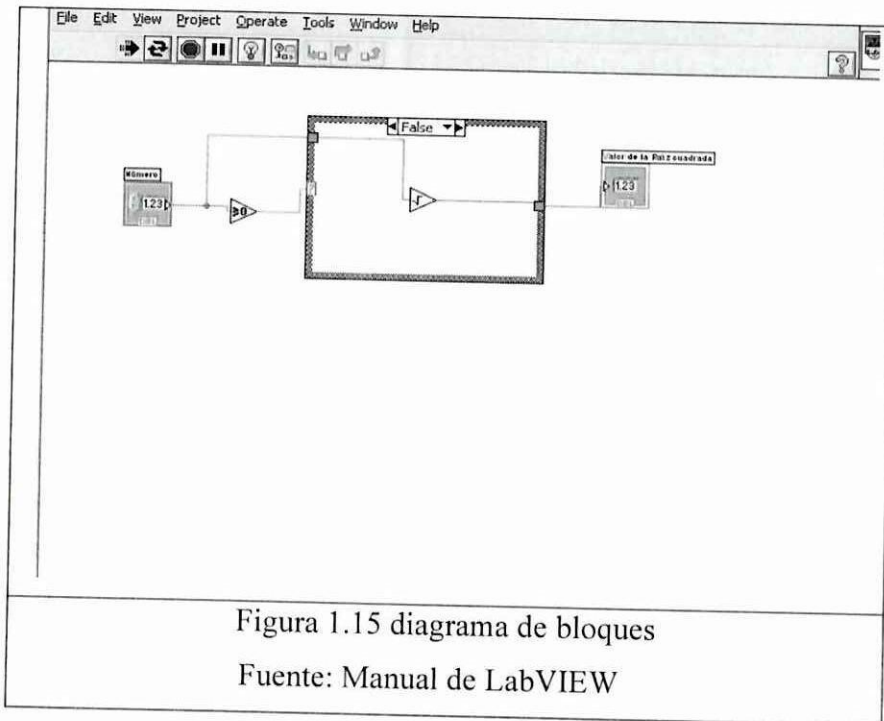


Figura 1.15 diagrama de bloques

Fuente: Manual de LabVIEW

1.14.8 Barra de Herramientas del Panel Frontal

Use los botones de la barra de herramientas para ejecutar y editar un VI. La siguiente barra de herramientas aparece en el panel frontal como se muestra en la figura 1.16.

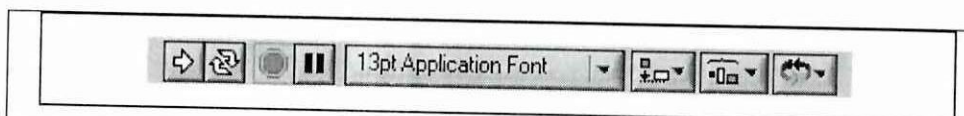







Figura 1.16 barra de herramientas


Fuente: Manual de LabVIEW


 **Run.-** Permite ejecutar el VI. Mientras se ejecuta el VI los botones cambian como se ve a continuación, siempre y cuando el VI sea un VI de alto nivel.


  El botón Run a veces aparece roto (una flecha rota), como se ve a la izquierda, cuando se crea o se edita un VI. Esto indica que el VI tiene errores y no se puede ejecutar. Si se hace click sobre dicho botón aparece la ventana Error List, la cual contiene la lista de los errores.


 **Run Continuously.-** Permite ejecutar continuamente hasta que pulse una pausa haga. Para deshabilitar éste modo de ejecución haga click nuevamente sobre el botón.

 **Abort execution.-** Permite detener la ejecución inmediatamente.

 **Pause.-** Para tener una pausa en la ejecución del VI se hace click sobre el botón **Pause**. Cuando esto ocurre, LabVIEW ilumina o marca en el diagrama de bloques la localización donde se detuvo el VI en ejecución. Para continuar con la ejecución se hace click nuevamente en el mismo botón.

 **Text Setting.-** Seleccione el menú descendente **Text Settings** para cambiar los atributos del tipo de letra utilizado, incluyendo tamaño, estilo y color.

 **Align Objects.-** permite alinear objetos sobre los ejes, incluyendo vertical, borde superior, izquierda, etc.

 **Distribute Objects.-** Permite distribuir los objetos equitativamente, incluyendo intervalos, compresión, etc.

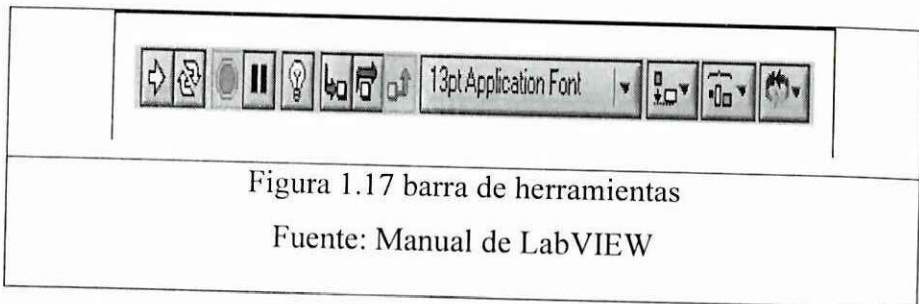


Reorder.- Seleccione el menú descendente Reorder cuando se tienen objetos que se sobreponen uno a otro y se requiere definir cual va en frente de otro.

Seleccione uno de los objetos con la herramienta de posicionamiento y después escoja **Move Forward** (mover adelante), **Move Backward** (mover atrás), **Move To Front** (mover al frente) y **Move To Back** (mover al fondo).

1.14.9 Barra de Herramientas del Diagrama de Bloques

Cuando se ejecuta un VI aparecen los botones en la barra de herramientas del diagrama de bloques, los cuales pueden ser utilizados para depurar el VI. La siguiente barra de herramientas aparece en el diagrama de bloques como se muestra en la figura 1.17.



Highlight Execution.- Para ver el flujo de datos a través del diagrama de bloques. Se hace click nuevamente sobre el mismo botón para deshabilitar dicho modo.



Step Into.- Haga click sobre el botón **Step Into** para entrar a un ciclo, un subVI, etc. Ejecución paso a paso a través de un VI se hace nodo a nodo. Cada nodo parpadea para indicar cuando está listo para ejecutarse. Al entrar al nodo se está listo para ejecutar paso a paso el contenido de dicho nodo.



Step Over.- Haga click sobre el botón **Step Over** para habilitar el modo paso a paso en un loop, un subVI, etc. Este modo permite parar en cada uno de los

nodos sin ejecutar paso a paso dentro de cada nodo.



Step Out.- Haga click sobre el botón **Step Out** para salir de un ciclo, un subVI, etc. Al salir de un nodo se completa la ejecución paso a paso de ese nodo y se va hacia el siguiente nodo.



Warning.- El botón **Warning** (advertencia) aparece cuando existe un problema potencial con el diagrama de bloques, pero no detiene la ejecución del VI. El botón Warning se puede habilitar seleccionando Tools»Options y seleccionando Debugging desde el menú descendente de arriba.

1.14.10 Programación en labVIEW

Con el entorno gráfico de programación de LabVIEW se comienza a programar a partir del panel frontal.

En primer lugar se definirán y seleccionarán de la paleta de controles todos los controles (entradas que dará el usuario) e indicadores (salidas que presentará en pantalla el VI) que se emplearán para introducir los datos por parte del usuario y presentar en pantalla los resultados.

Una vez colocados en la ventana correspondiente al panel frontal todos los objetos necesarios, debe pasarse a la ventana Diagram (menú Windows > Show Diagram), que es donde se realiza la programación propiamente dicha (diagrama de bloques). Al abrir esta ventana, en ella se encuentran los terminales correspondientes a los objetos situados en el panel frontal, dispuestos automáticamente por LabVIEW.

Se deben ir situando las funciones, estructuras, etc. que se requieran para el desarrollo del programa, las cuales se unen a los terminales mediante cables.

Para facilitar la tarea de conexión de todos los terminales, en el menú "Help"

puede elegirse la opción "Show Help", con lo que al colocar el cursor del ratón sobre un elemento aparece una ventana con información relativa a éste (parámetros de entrada y salida).

Además, si se tiene seleccionado el cursor de cableado, al situar éste sobre un elemento se muestran los terminales de forma intermitente.

1.14.11 Ejecución de un VI

Una vez se ha concluido la programación del VI se debe proceder a su ejecución. Para ello la ventana activa debe ser el panel frontal (si se está en la ventana del diagrama de bloques, se debe seleccionar la opción Show Panel del menú Window).

Una vez situados en el panel frontal, se pulsará el botón de Run, situado en la barra de herramientas.

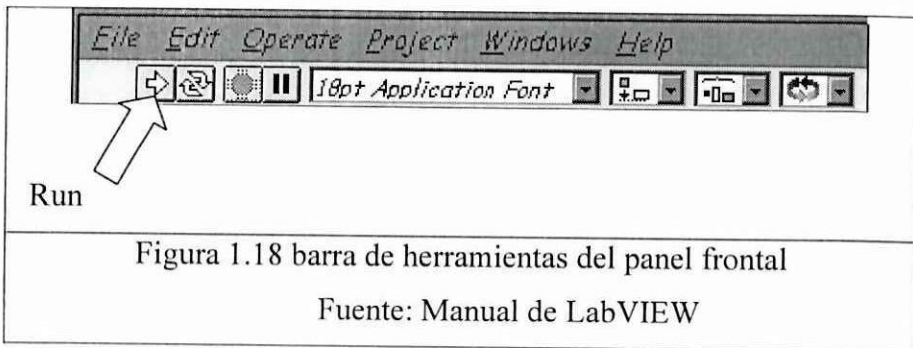


Figura 1.18 barra de herramientas del panel frontal

Fuente: Manual de LabVIEW

El programa comenzará a ejecutarse. Mientras dura la ejecución del mismo, la apariencia del botón de Run es la que se muestra a continuación:

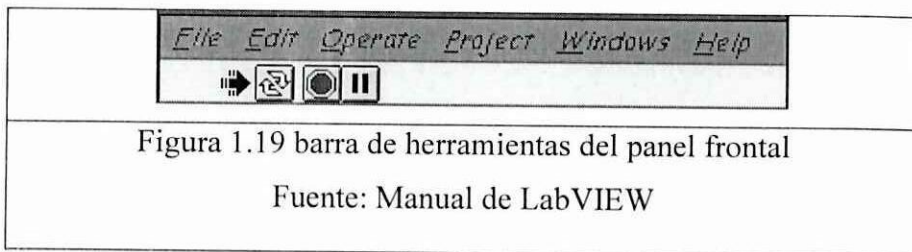
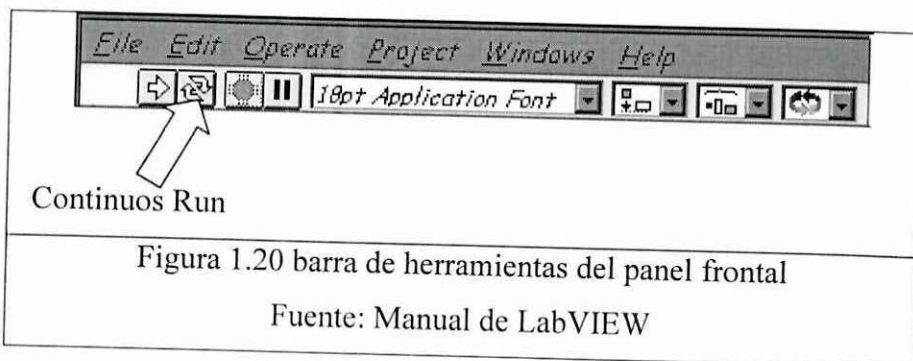


Figura 1.19 barra de herramientas del panel frontal

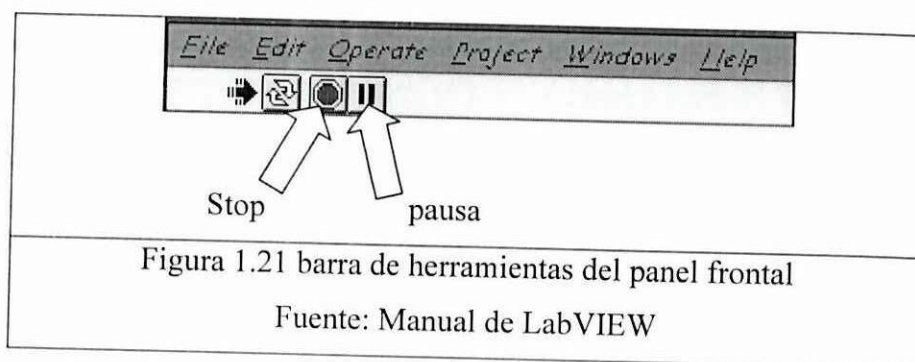
Fuente: Manual de LabVIEW

De este modo el programa se ejecutará una sola vez. Si se desea una ejecución

continúa, se pulsará el botón situado a la derecha del de Run (Continuous Run). Si durante el funcionamiento continuo del programa se vuelve a pulsar el citado botón, se finalizará la última ejecución del mismo, tras lo cual el programa se parará.



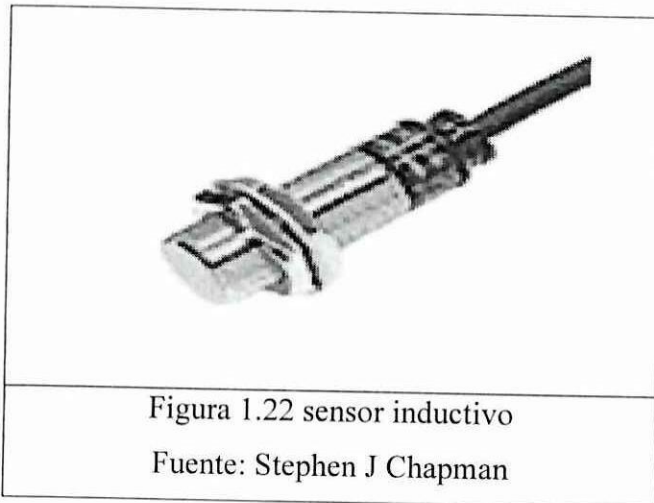
Para finalizar la ejecución de un programa se puede operar de dos formas. La primera, y la más aconsejable, es emplear un botón en el panel frontal del VI, cuya pulsación produzca la interrupción del bucle de ejecución de la aplicación. La segunda forma de detener la ejecución del VI es pulsando el botón de pausa o el de stop. La diferencia entre ambos es que si se pulsa stop, la ejecución del programa finaliza inmediatamente, mientras que si se pulsa pausa, se produce una detención en el funcionamiento del programa, retomándose su ejecución una vez se vuelve a pulsar el mismo botón.



1.15 Sensor

Un sensor es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.

Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante la utilización de componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR, etc. todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de alguna variable), y la utilización de componentes activos.



1.16 Tarjeta de adquisición

NI USB-6008

Adquisición de Datos Multifunción por USB de 12 bits a 10 kS/s

- Ocho canales de entrada analógica de 12 bits, 12 líneas DIO, 2 salidas analógicas, 1 contador
- Considere el NI USB-6210 y NI USB-6211 para un mayor rendimiento
- Alimentación de energía por el bus para mayor comodidad y portabilidad
- Obtenga los paquetes que tienen una tarjeta para aplicaciones OEM
- Software controlador para Windows, Mac OS X, Linux, Pocket PC
- El software de NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress para registro de datos.

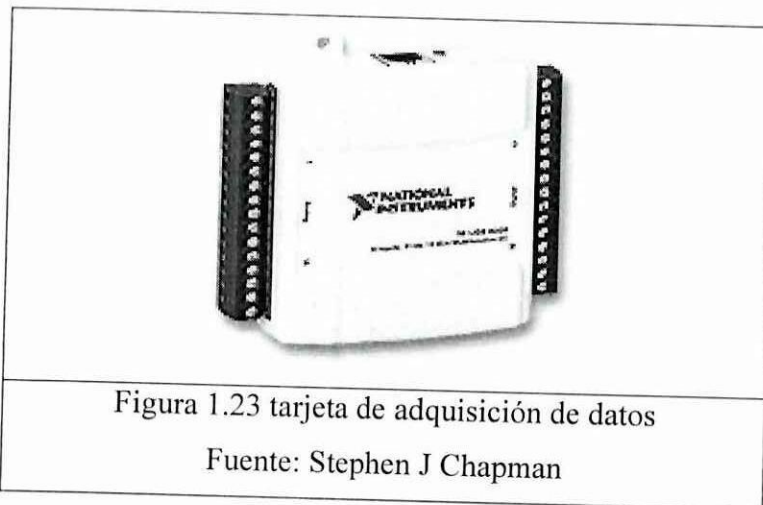


Figura 1.23 tarjeta de adquisición de datos

Fuente: Stephen J Chapman

1.17 Variador de velocidad

El Variador de Velocidad (VSD, por sus siglas en inglés Variable Speed Drive) es un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. También es conocido como Accionamiento de Velocidad Variable (ASD, también por sus siglas en inglés Adjustable-Speed Drive). De igual manera, en ocasiones es denominado mediante el anglicismo Drive, costumbre que se considera inadecuada. Son dispositivos que permiten variar la velocidad de un motor trifásico y asincrónico.

CAPITULO II

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

2.1. Introducción

Los avances tecnológicos actuales con la introducción de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones en el proceso docente-educativo de las instituciones de educación superior, obligan a que estas instituciones adquieran elementos que permitan llevar de mejor manera la enseñanza de las ciencias y las tecnologías a su interior.

Una forma de mejorar las prácticas de los estudiantes, es el uso de los llamados laboratorios virtuales que han desplazado a la utilización de laboratorios tradicionales, en los cuales la interacción del estudiante con los experimentos de laboratorio era netamente analógica y por su naturaleza muy tendiente a los errores de apreciación y toma de medidas plagadas de imprecisiones.

Un laboratorio virtual permite la interacción del estudiante con los experimentos de laboratorio de una nueva forma, al integrar como elementos de toma de medidas a un conjunto de sensores conectados a un computador, el cual lleva a cabo la tarea de monitorear las variables puestas en observación y obtener medidas confiables.

2.2. Presentación y análisis de resultados

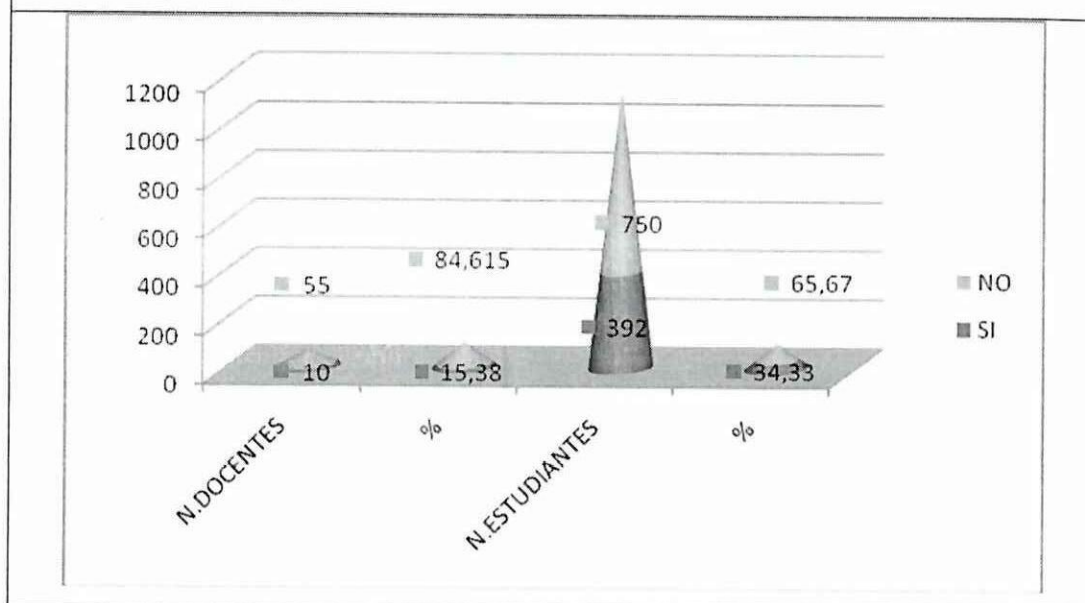
Tabla. N° 2.1 ¿Sabe usted que es un motor de corriente alterna?

Fuente: Grupo investigador

Contestaciones	N. Docentes	Porcentaje	N. Estudiantes	Porcentaje
SI	10	15,38	392	34,33
NO	55	84,615	750	65,67
TOTAL	65	100	1142	100

Figura 2.1 Sabe usted que es un motor de corriente alterna

Fuente: Grupo investigador



Análisis

Se deduce que del 100%, de docentes el 84,615% y el 65,67% no conocen que es un motor de corriente alterna.

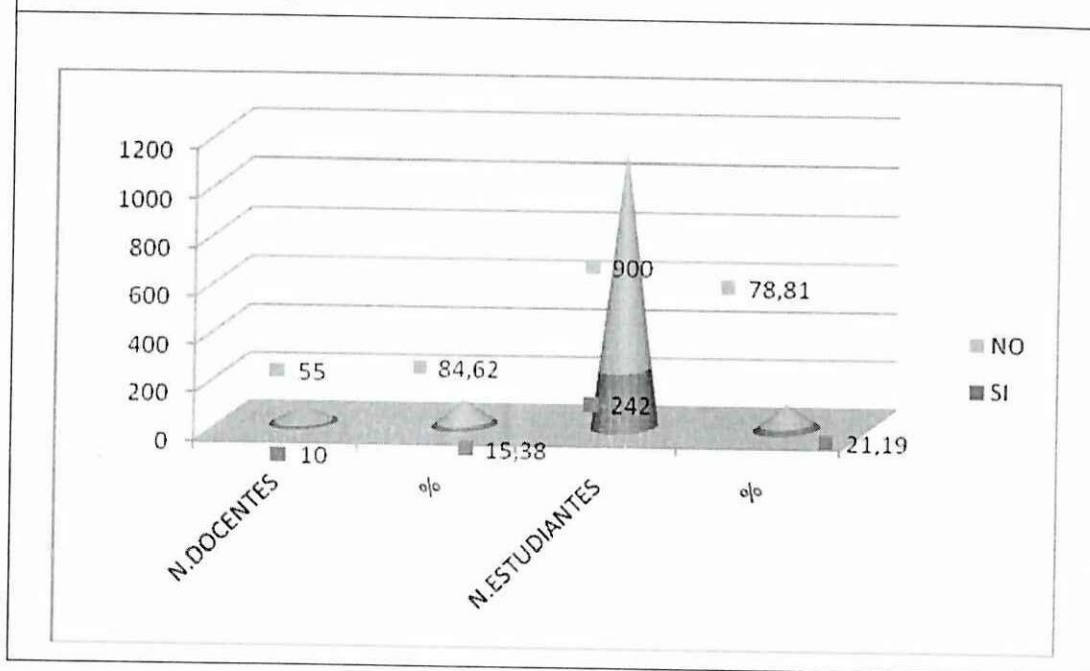
Tabla. N° 2.2 ¿Conocía usted que un motor de corriente alterna es un motor de jaula de ardilla?

Fuente: Grupo investigador

Contestaciones	N. Docentes	Porcentaje	N. Estudiantes	Porcentaje
SI	10	15,38	242	21,19
NO	55	84,62	900	78,81
TOTAL	65	100	1142	100

Figura 2.2. Conocía usted que un motor de corriente alterna es un motor de jaula de ardilla

Fuente: Grupo investigador



Análisis

Se concluye que del 100%, de docentes el 84,62% y el 78,81% no conocen que un motor de corriente alterna es un motor de jaula de ardilla.

Tabla. N° 2.3 ¿Conoce los diferentes tipos de lenguajes de programación que se utiliza para controlar motores de corriente alterna?

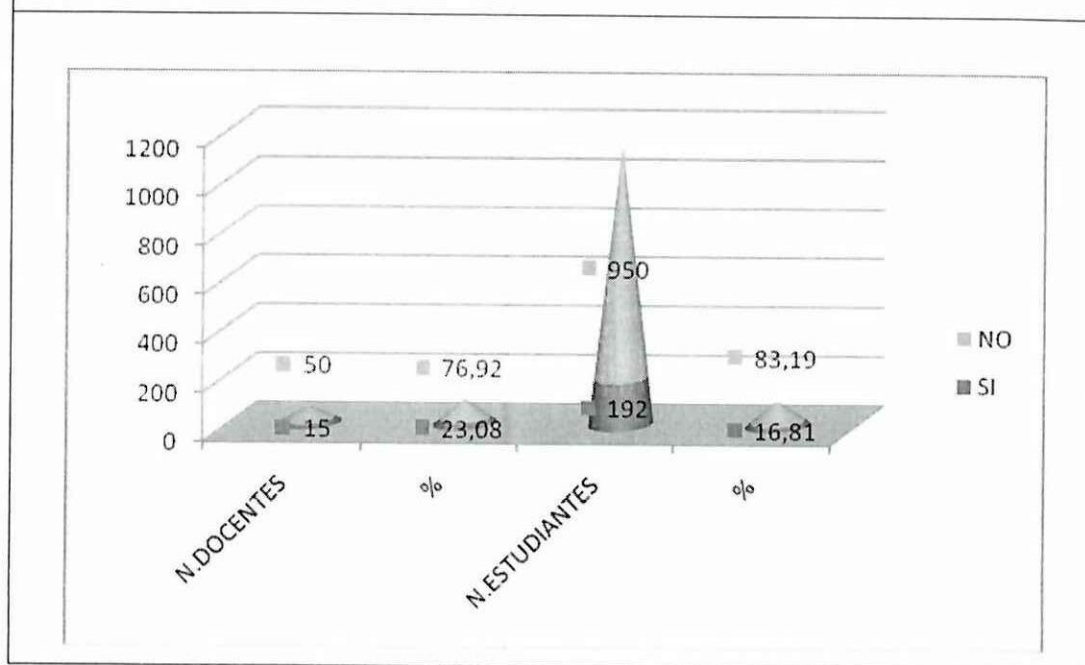
Fuente: Grupo investigador

Contestaciones	N. Docentes	Porcentaje	N. Estudiantes	Porcentaje
SI	15	23,08	192	16,81
NO	50	76,92	950	83,19
TOTAL	65	100	1142	100

Figura 2.3 Conoce los diferentes tipos de lenguajes de programación que se utiliza para controlar motores de corriente alterna

Fuente: Encuesta realizada a los docentes y estudiantes

Elaboración: Grupo investigador



Análisis

Se concluye que del 100%, de docentes el 76,92% y el 83,19% no conocen que lenguaje de programación se utiliza para controlar el motor de corriente alterna.

Tabla. N° 2.4 ¿Piensa usted que con la maqueta de motores de corriente alterna se está contribuyendo al avance tecnológico de la Universidad Técnica de Cotopaxi?

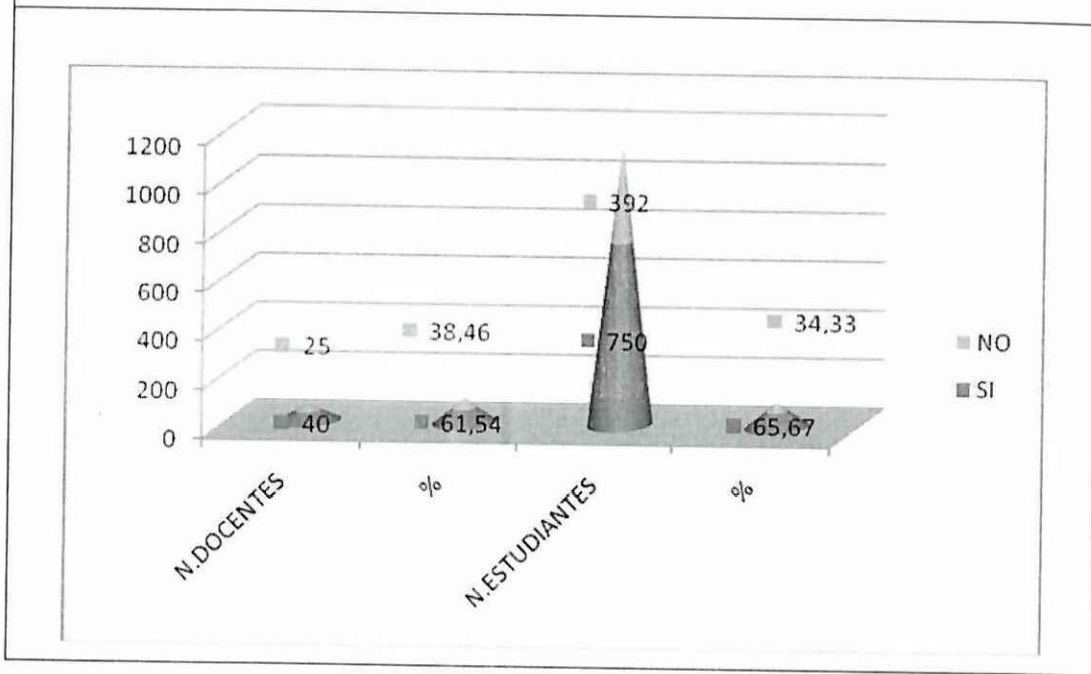
Fuente: Grupo investigador

Contestaciones	N. Docentes	Porcentaje	N. Estudiantes	Porcentaje
SI	15	23,08	192	16,81
NO	50	76,92	950	83,19
TOTAL	65	100	1142	100

Figura 2.4 Piensa usted que con la maqueta de motores de corriente alterna se está contribuyendo al avance tecnológico de la universidad técnica de Cotopaxi

Fuente: Encuesta realizada a los docentes y estudiantes

Elaboración: Grupo investigador



Análisis

Se concluye que del 100%, de docentes el 61,54% y el 65,67% de estudiantes, piensan que la maqueta de control de motores va contribuir al avance tecnológico de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Tabla. N° 2.5 ¿Sabe usted que la implementación de una maqueta de control de motores de corriente alterna contribuye al incremento de material didáctico en los laboratorios de máquinas eléctricas?

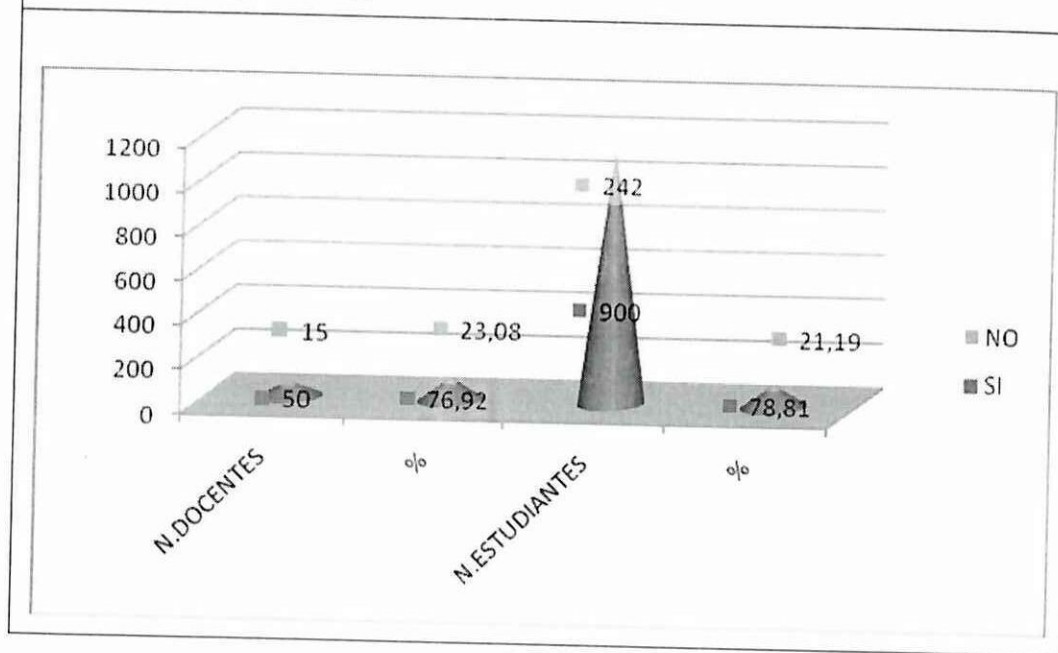
Fuente: Grupo investigador

Contestaciones	N. Docentes	Porcentaje	N. Estudiantes	Porcentaje
SI	50	76,92	900	78,81
NO	15	23,08	242	21,19
TOTAL	65	100	1142	100

Figura 2.5 ¿Sabe usted que la implementación de una maqueta de control de motores de corriente alterna contribuye al incremento de material didáctico en los laboratorios de máquinas eléctricas?

Fuente: Encuesta realizada a los docentes y estudiantes

Elaboración: Grupo investigador



Análisis

Se concluye que del 100%, de docentes el 76,92% y el 78,81% de estudiantes, piensan que la implementación de la maqueta de control de corriente alterna contribuye al incremento de material didáctico en los laboratorios de máquinas eléctricas.

Tabla. N° 2.6 ¿Al implementar una maqueta de control de motores de corriente alterna piensa usted que beneficiara a la enseñanza de os estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi?

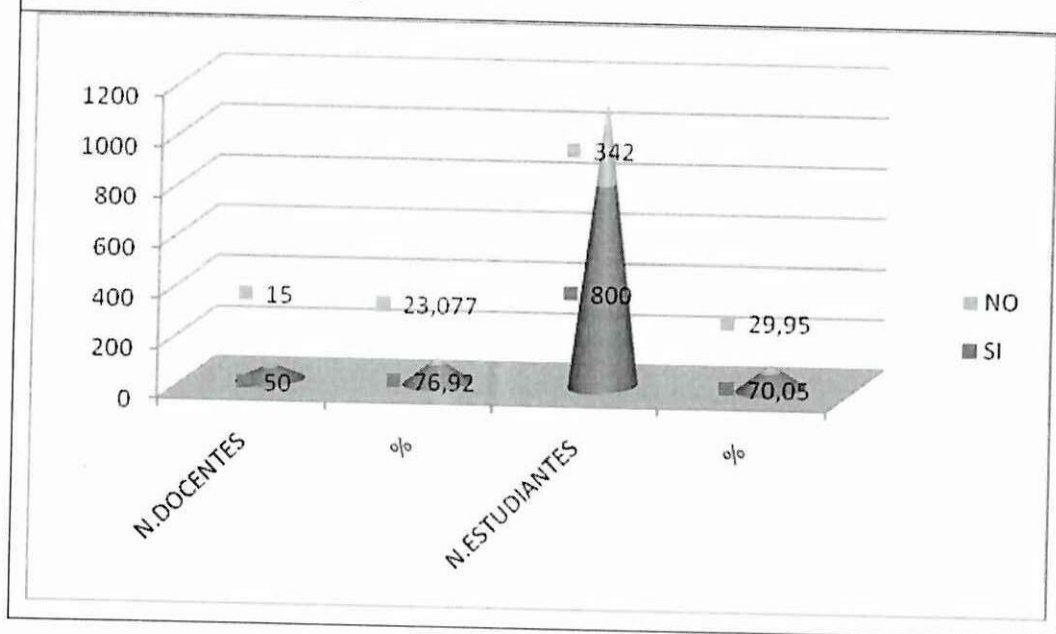
Fuente: Grupo investigador

Contestaciones	N. Docentes	Porcentaje	N. Estudiantes	Porcentaje
SI	50	76,92	800	70,05
NO	15	23,07	342	29,95
TOTAL	65	100	1142	100

Figura 2.6 al implementar una maqueta de control de motores de corriente alterna piensa usted que beneficiara a la enseñanza de los estudiantes de la universidad técnica de Cotopaxi

Fuente: Encuesta realizada a los docentes y estudiantes

Elaboración: Grupo investigador



Análisis

Se concluye que el 76,92% de los docentes y el 70,05% de estudiantes, piensan que al implementar una maqueta de control de motores de corriente alterna los estudiantes se beneficiaran en la enseñanza.

2.2.1 Conclusiones y recomendaciones

2.2.2 Conclusiones

- Los laboratorios de electrónica de la Universidad Técnica de Cotopaxi no cuenta con maquetas que sirva de material didáctico, esto dificulta a la enseñanza aprendizaje de los estudiantes.
- Desconocimiento de los beneficios de una maqueta de control de motores Jaula de ardilla.
- La implementación de una maqueta permitirá incrementar el material didáctico y el avance tecnológico de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.2.3 Recomendaciones

- Equipar a los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi con una maqueta de control de motores jaula de ardilla.
- Implementar la maqueta para mejorar la enseñanza aprendizaje de los estudiantes.

2.3 Verificación de la Hipótesis

A través de los resultados de las encuestas realizadas y basándonos en las preguntas han dado un porcentaje del 100% de respuestas afirmativas por lo que se concluye que el tema de tesis “Implementación una maqueta para el control de

un motor jaula de ardilla instrumentado con LabVIEW” servirá como material de apoyo para el laboratorio de máquinas eléctricas de la Institución, por lo cual ha sido verificado.

2.4. Fase de Análisis

2.4.1. Introducción a los requisitos

El esfuerzo principal en la fase de requisitos es desarrollar un modelo del sistema que se va a construir, y la utilización de los casos de uso es una forma adecuada de crear ese modelo. Esto es debido a que los requisitos funcionales se estructuran de forma natural mediante casos de uso, y a que la mayoría de los otros requisitos no funcionales son específicos de un solo caso de uso, y pueden tratarse en el contexto de ese caso de uso.

Los requisitos no funcionales restantes, aquellos que no son comunes para muchos o para todos los casos de uso, se mantienen en un documento aparte y se denominan requisitos adicionales. Los casos de uso proporcionan un medio intuitivo y sistemático para capturar los requisitos funcionales con un énfasis especial en el valor añadido para cada usuario individual o para cada usuario externo.

Un proyecto no puede ser exitoso sin una especificación correcta y exhaustiva de los requerimientos. Para ello se necesita muchas habilidades; un examen riguroso de las mismas permitirá obtener un buen resultado en la culminación del sistema planteado.

Esta investigación consiste en el control de un motor jaula de ardilla controlado a través de un variador de velocidad, sensor inductivo utilizando una adquisición de

datos estos controles permiten ver la velocidad del motor, el software a utilizarse es LabVIEW.

2.4.2. Los requisitos

Los requisitos son una descripción de las necesidades o deseos de un producto. La meta primaria de la fase de requerimientos es identificar y documentar lo que en realidad se necesita, en una forma que claramente se lo comunique al cliente y a los miembros del equipo de desarrollo. El reto consiste en definirlos de manera inequívoca, de modo que se detecten los riesgos y no se presenten sorpresas al momento de entregar el producto.

Se recomienda los siguientes artefactos en la fase de requerimientos:

- Presentación general
- Usuarios
- Metas
- Funciones del sistema
- Atributos del sistema

2.4.3. Presentación General

Este proyecto tiene por objeto Implementar una maqueta para el control de un motor jaula de ardilla instrumentado con labview para el laboratorio de maquinas eléctricas de la universidad técnica de Cotopaxi.

2.4.4. Usuarios

Docentes, estudiantes y encargados de los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.4.5. Metas

La implementación de la maqueta para el control del motor jaula de ardilla permitirá mejorar el proceso enseñanza aprendizaje e introducir aplicaciones que sean utilizadas en los laboratorios de la Carrera de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.4.6. Funciones del Sistema

Las funciones del sistema son lo que éste habrá de hacer, son las siguientes:

2.4.6.1 Funciones básicas

Las siguientes funciones del sistema en la aplicación para el control de un motor jaula de ardilla son las mínimas necesarias para el buen funcionamiento del sistema planteado:

Tabla N° 2.7 (Funciones básicas del sistema)

Fuente: Grupo investigador

Ref. No.	Función	Categoría
R1.1	Proveer un método estándar para la depuración de datos	Oculto
R1.2	Activación del control de velocidad del motor	Evidente
R1.3	Ingreso de datos internos en el sistema	Oculto
R1.4	Ofrecer mecanismos de comunicación entre los	Oculto

	procesos y los sistemas.	
R1.5	Ofrecer mecanismos de comunicación entre el sistema y la maqueta.	Ocultas
R1.6	Visualización gráfica de la variación y velocidad del motor jaula de ardilla.	Evidente

2.4.6.2 Atributos del sistema.

Los atributos del sistema son sus características o dimensiones; no son funciones. Estos pueden abarcar todas las funciones (por ejemplo, la plataforma del sistema operativo) o ser específicos de una función o grupo de funciones.

Tabla N° 2.8 (Atributos del Sistema)

Fuente: Grupo Investigador

Atributo	Detalles y restricciones de frontera
Tiempo de respuesta	(restricción de frontera) El envío y recepción de señal es de 1 milisegundo.
Metáfora de interfaz	(detalle) Maximiza una navegación fácil con teclado y mouse.
Tolerancia a fallas	(restricción de frontera) El hardware debe de estar conectado correctamente ya que puede producir un mal manejo en la maqueta.
Plataformas del sistema operativo	(detalle) Multiplataforma Windows.

2.4.6.3 Funciones básicas de la maqueta

Las siguientes funciones del hardware son las mínimas necesarias:

Tabla N° 2. 9 (Funciones básicas de la maqueta)

Fuente: Grupo investigador

Ref. No.	Función	Categoría
R1.1	Ofrecer un mecanismo de comunicación entre el motor y el sistema.	Oculto
R1.2	Visualización del funcionamiento del motor jaula de ardilla	Evidente
R1.3	El motor realiza una secuencia de procedimientos	Evidente
R1.4	Control de encendido y de la velocidad desde la PC	Evidente.

2.4.6.4. Elementos del hardware y software

Los elementos del hardware, sus complementos se describen y se muestran en la (Tabla 2.10).

Tabla N° 2. 10 (Elementos de la maqueta)	
Fuente: Grupo investigador	
Descripción	Cantidad
Componentes	
Motor jaula de ardilla trifásico ¼ HP	1
Tarjeta NI USB-6008	1
Variador de velocidad	1
Sensor inductivo	1
Transformador 110 v a 220v 12 voltios 1 amperio con tac central	1
Borneras	8
Micro transistores	2
Micro releds 9346 BI	2
Condensador electrolítico 1000 UF micro faradios 25 V	1

Puente rectificador de 2 Watios	1
Regulador 78.05 de un amperio	1
Regulador de 78.12 de un amperio	1
Integrado LM 324	1
Transistor NPN 313 de un amperio	1
Resistencia de 3,3 K	1
Resistencias de 1 K	2
Resistencias de 47 K	1

Tabla N° 2.11 (Elementos del Software)
Fuente: Investigador
Descripción
Requerimientos Utilizados
Labview 8.2
SQL server 2003
Multiplataforma Windows XP

CAPITULO III

IMPLEMENTACIÓN DE UNA MAQUETA PARA EL CONTROL DE UN MOTOR JAULA DE ARDILLA INSTRUMENTADO CON LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

3.1 Objetivo General

- Construir una maqueta para el control de un motor jaula de ardilla instrumentado con LabView para el laboratorio de maquinas eléctricas de la universidad técnica de Cotopaxi.

3.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar el marco teórico necesario que permita fundamentar la investigación sobre el control de motores jaula de ardilla y sus aplicaciones en la industria.
- Llevar a cabo el análisis de los requerimientos básicos para el desarrollo de la maqueta, la electrónica y los equipos necesarios que permitan acondicionar las señales para ser acopladas a una interfaz para ser instrumentada con Labview.

- Diseñar e Implementar una solución a la propuesta de la maqueta para el control de un motor jaula de ardilla instrumentado con Labview para el laboratorio de maquinas eléctricas, utilizando tecnología y partes que se pueden encontrar en el país y reducir considerablemente los costos de su implementación.
- Aportar al desarrollo tecnológico de la Universidad Técnica de Cotopaxi y contribuir a que el alma mater de la provincia de Cotopaxi se mantenga en el sitio que desde su creación ha mantenido, en el ámbito de la educación superior local, nacional e internacional.

3.3 Justificación.

El desarrollo de la ciencia y la tecnología es el resultado de la formación de los estudiantes que al interior de las instituciones de educación superior se desenvuelven, esto solo es posible si las instituciones cuentan con los recursos necesarios, llámese infraestructura de laboratorios como es el caso que nos preocupa. Pero esto es posible si se dispone de los recursos económicos para su adquisición.

La limitante realmente no es muchas veces los recursos económicos, sino las barreras mentales que nos han sepultado en el subdesarrollo, tomando en cuenta que el subdesarrollo básicamente es la incapacidad de un país de producir tecnología para la satisfacción de sus necesidades internas.

La generación de la tecnología está compuesta de tres elementos indispensables, que son: los recursos económicos que apoyen la investigación, los conocimientos científicos base para el desarrollo de nuevas tecnologías y los materiales para elaborar los equipos, maquinarias o instrumentos necesarios. ¿Cuál de estos tres elementos nos hace falta?, a nuestro criterio ninguno, tan solo las ganas y el apoyo de las autoridades para poder demostrar que en los actuales momentos la universidad ecuatoriana y en particular la Universidad Técnica de Cotopaxi está

en capacidad de desarrollar su propia tecnología y aplicarla en la solución de sus propias necesidades.

De todo lo argumentado concluimos que el primer paso para el desarrollo de nuestra propia tecnología es solo cuestión de la decisión de nuestras autoridades a impulsar este tipo de investigación, las cuales den frutos que realmente se apliquen en soluciones prácticas y sean reales medios de satisfacción de necesidades apremiantes de la educación superior ecuatoriana.

3.4 Casos de uso

Un caso de uso es una secuencia de interacciones entre un sistema y alguien o algo que usa alguno de sus servicios. Un caso de uso es iniciado por un actor. A partir de ese momento, ese actor, junto con otros actores, intercambia datos o control con el sistema, participando de ese caso de uso. Proporcionan un medio intuitivo y sistemático para capturar los requisitos funcionales con un énfasis especial en el valor añadido para cada usuario individual o para cada sistema externo. Es decir, describen un uso del sistema y cómo este interactúa con el usuario.

3.4.1. Actividades y dependencias

Los casos de uso requieren tener al menos un conocimiento parcial de los requerimientos del sistema, en teoría expresados en el documento donde se especifican.

3.4.2. Actores

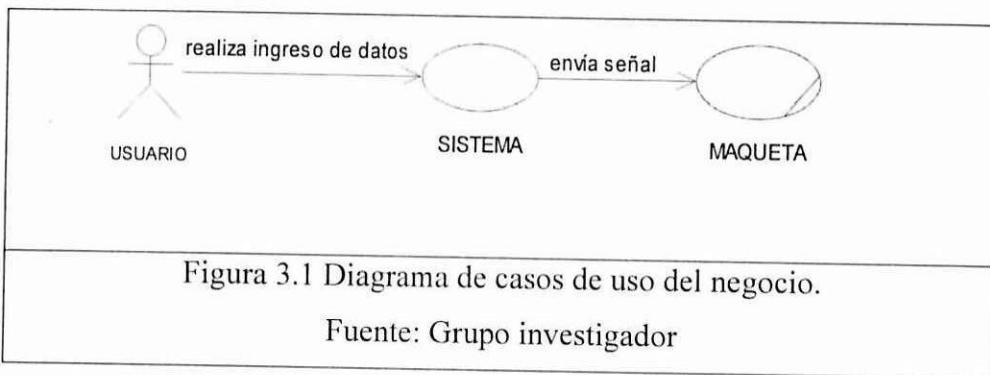
El actor es una entidad externa del sistema que de alguna manera participa en la historia del caso de uso. El modelo de casos de uso describe lo que hace el sistema para cada tipo de usuario.

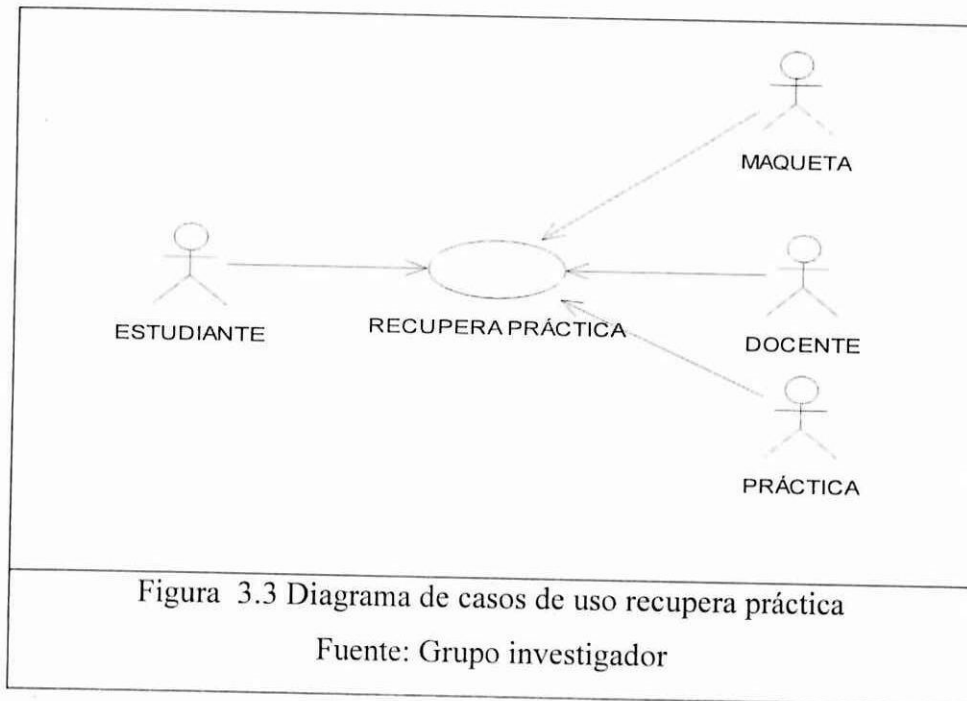
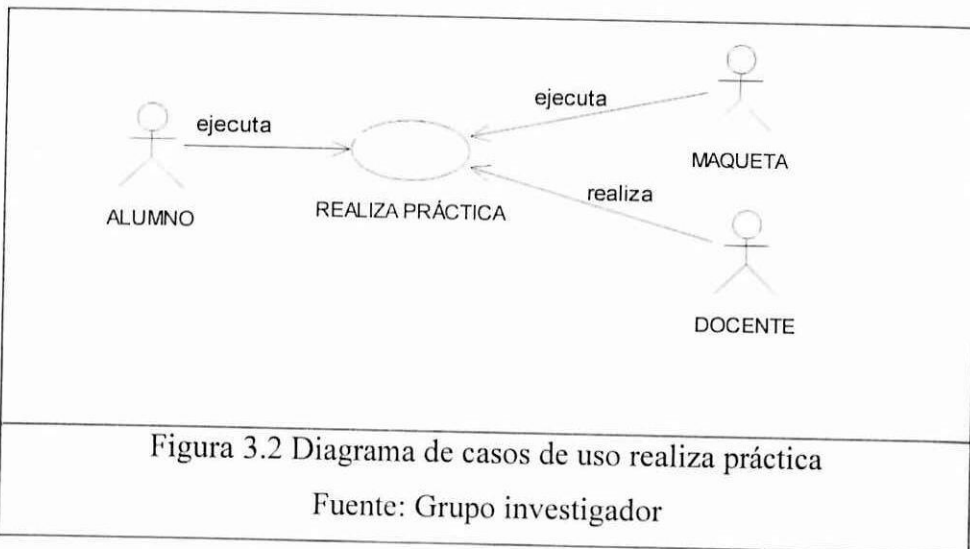
3.4.3 Casos de uso

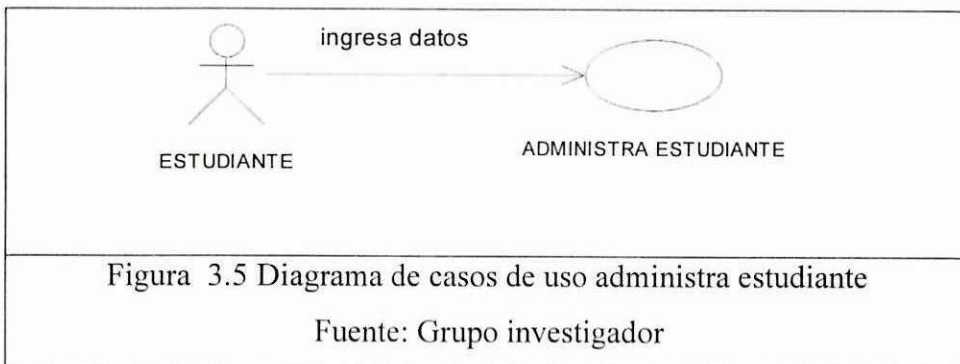
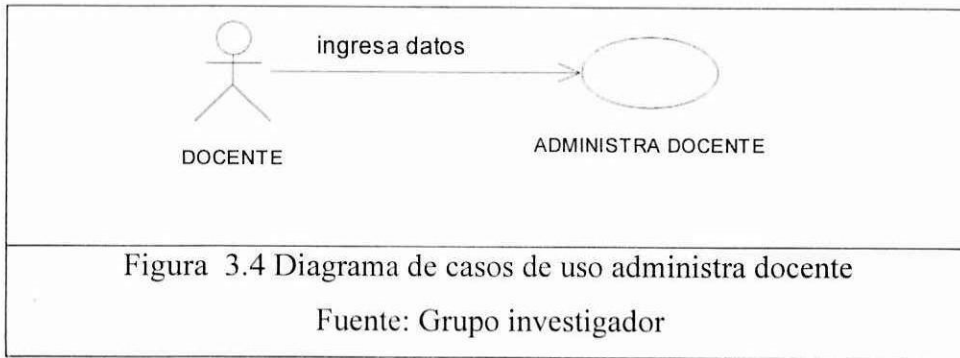
El caso de uso es un documento narrativo que describe la secuencia de eventos de un actor (agente externo) que utiliza un sistema para completar un proceso.

3.4.4 Diagrama de los casos de uso

En la (Figura N° 3.1, 3.2), se muestra el diagrama de casos de uso para control del motor jaula de ardilla.







3.4.5 Descripción de procesos

La descripción permite comprender de mejor manera los objetos o elementos que se constituirán en las piezas a desarrollarse en el sistema.

3.4.6 Casos de uso de alto nivel.

Describen clara y concisamente el proceso que se quiere especificar. Los encabezados y la estructura de estos casos de uso son representativos. Sin embargo, El UML (Lenguaje Unificado de Modelado) no especifica un formato rígido; puede modificarse para atender las necesidades y ajustarse al espíritu de la documentación: ante todo, una comunicación clara.

Caso de uso: Control de velocidad
Actores: Usuario, Motor
Tipo: Primario.

Descripción: El caso de uso empieza cuando el usuario escoge el método de control de velocidades, se realizara la activación del movimiento del motor y se visualizara la variación de la velocidad.

Caso de uso: Administra estudiante

Actores: Estudiante, sistema

Tipo: Primario.

Descripción: El caso de uso registro de estudiantes comienza cuando el estudiante ingresa al sistema inicializa el sistema y se registra en el sistema, ingresando sus datos, verifica sus datos ingresados y procede a grabar sus datos en el sistema.

Caso de uso: Realiza práctica

Actores: Usuario, sistema

Tipo: Primario.

Descripción: El usuario ingresa al sistema y realiza la práctica correspondiente ingresa parámetros deseados y ejecuta su práctica.

Caso de uso: Recuperar Práctica

Actores: Usuario, sistema

Tipo: Primario.

Descripción: El usuario ingresa al sistema, revisa que alumno ha ingresado a realizar las prácticas, visualiza la información ingresada y finalmente realiza el registro de las prácticas.

Caso de uso: Administra docente

Actores: Docente, sistema

Tipo: Primario.

Descripción: El caso de uso registro de docente comienza cuando el docente ingresa al sistema inicializa el sistema y se registra

en el sistema, ingresando sus datos, verifica sus datos ingresados y procede a grabar sus datos en el sistema.

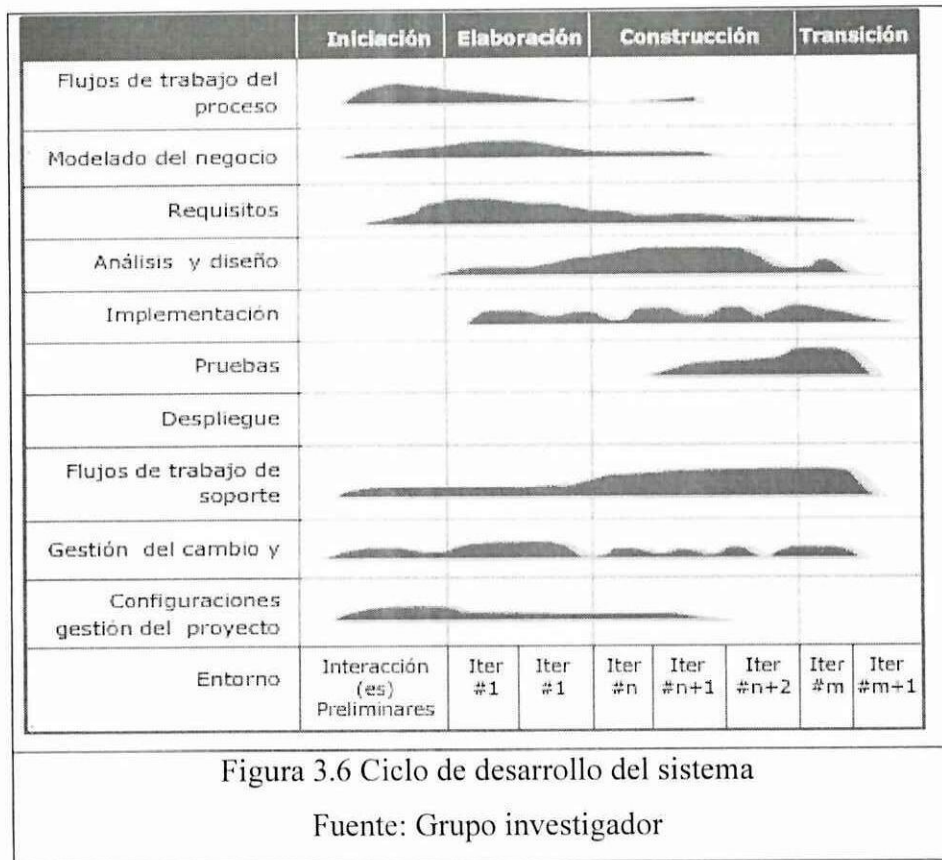
3.5.2 Ciclo de desarrollo

El Proceso Unificado de Rational (Rational Unified Process en inglés, habitualmente resumido como RUP) es un proceso de desarrollo de software y junto con el Lenguaje Unificado de Modelado UML, constituye la metodología estándar más utilizada para el análisis, implementación y documentación de sistemas orientados a objetos.

El RUP no es un sistema con pasos firmemente establecidos, sino un conjunto de metodologías adaptables al contexto y necesidades de cada organización.

El Proceso Unificado de Rational consta de las cuatro fases siguientes: ver (fig. 3.3)

1. Inicio.- Establecer la planificación del proyecto
2. Elaboración.- establecer un plan para el proyecto y una arquitectura correcta
3. Construcción.- Desarrollar el sistema
4. Transición.- Proporcionar el sistema a sus usuarios



3.5.3 Modelo conceptual de la aplicación

Un Modelo conceptual es un diagrama que ilustra una serie de relaciones entre ciertos factores que se cree impactan o conducen a una condición de interés.

Un buen Modelo conceptual muestra la forma en la que se piensa que ciertos eventos específicos, situaciones, actitudes, creencias o comportamientos afectarán el estatus de alguna otra situación que se está interesado en influenciar.

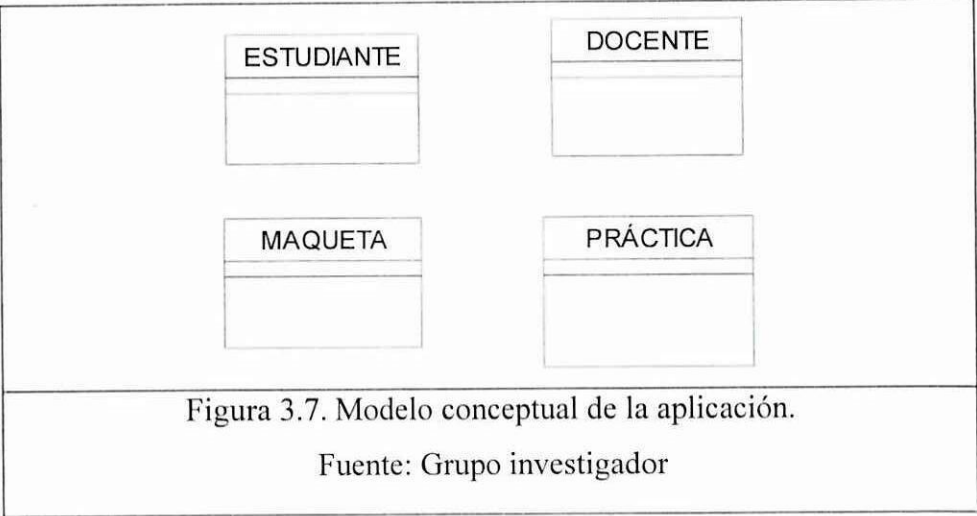
Un modelo conceptual explica (a sus creadores) los conceptos significativos en un dominio del problema es el artefacto más importante a crear durante el análisis orientado a objetos, la creación de un modelo conceptual se agrupa a conceptos idóneos, contiene muchas categorías comunes que vale la pena tener en cuenta sin que importe el orden.

Tabla N° 3.1 (Conceptos)	
Fuente: Grupo investigador	
Categoría del concepto	Ejemplos
Objetos físicos o tangibles	Computador, motor, variador de velocidad, sensor inductivo
Especificaciones, diseño o descripciones de cosas	Encendido, control de velocidad, giro y parada.
Lugares	Laboratorio de máquinas eléctricas
Datos	Envío de datos
Transacciones	Inserción, modificación y eliminación
Persona	Estudiante, docente
Contenedor de cosas	Práctica.
Conceptos de nombres abstractos	Control de velocidad
Otros sistemas de computo o electromecánicos externos al sistema	Tarjeta de adquisición de datos (convertidor análogo digital), acondicionador de señal
Organizaciones	CIYA.
Manuales.	Manual de especificaciones motor jaula de ardilla

La lista de categorías de conceptos y del análisis de frases nominales de los casos de uso definidos anteriormente generamos una lista de conceptos adecuados para incluirlos en la aplicación del desarrollo de una maqueta que permita controlar el motor de jaula de ardilla asistido por un computador, la lista está sujeta a la restricción de los requerimientos y simplificaciones que se consideren en el momento.

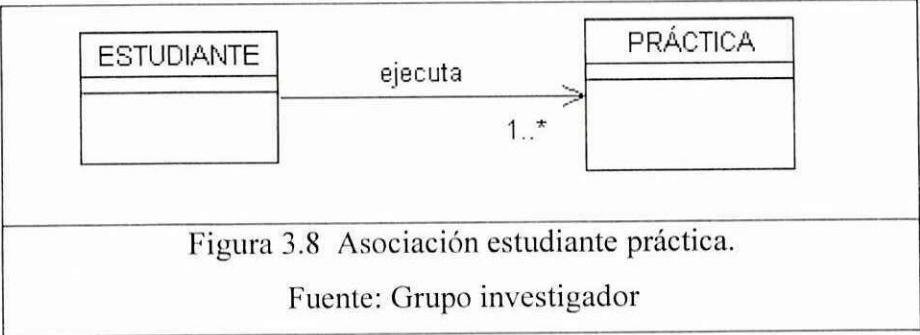
- Estudiante.
- Maqueta.
- administra estudiante
- Administra docente
- Realiza práctica
- Recupera Practica

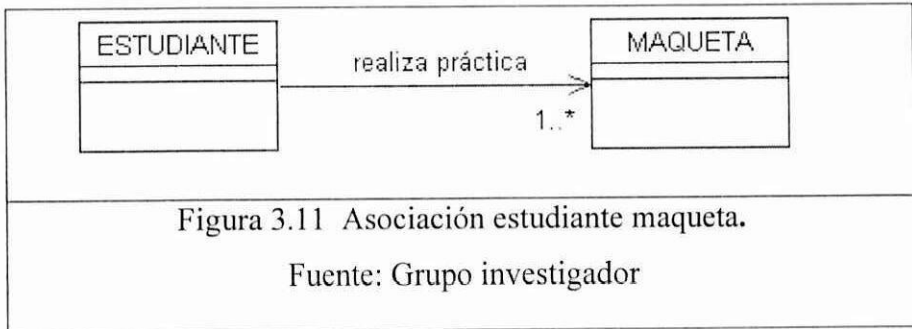
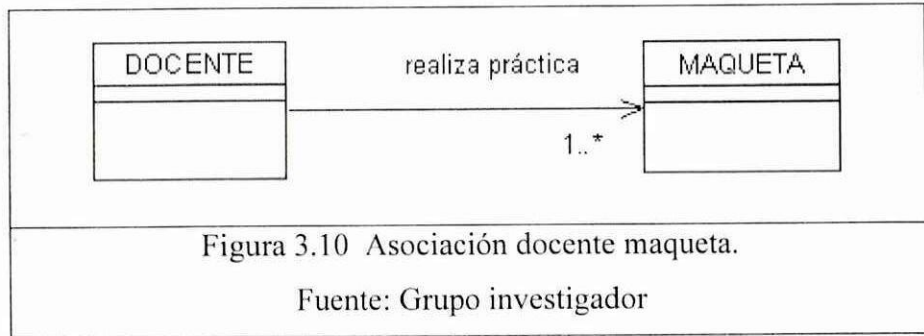
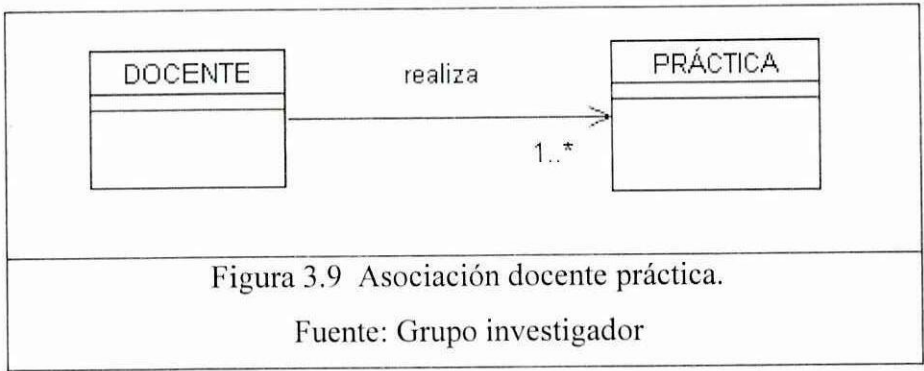
La lista anterior de los nombres de conceptos puede representarse gráficamente vea la figura No.3.4, en la notación del diagrama de estructura estática de UML a fin de mostrar la génesis del modelo conceptual.



3.5.4 Agregación de las asociaciones.

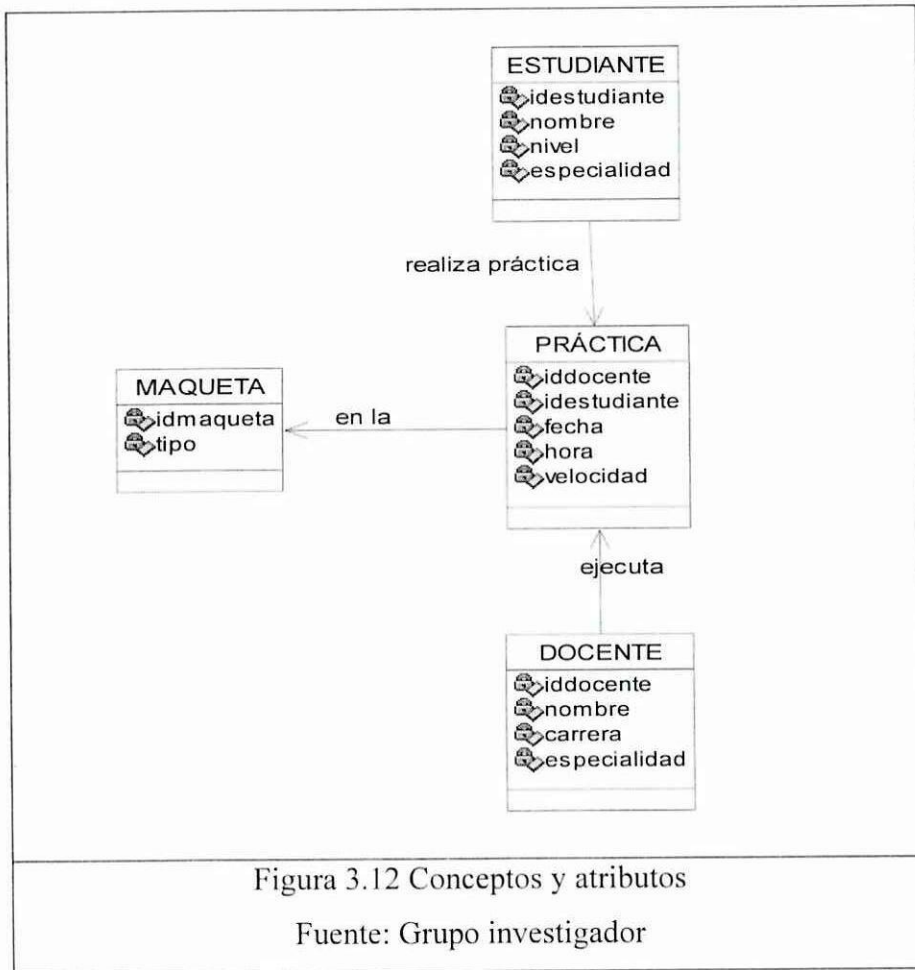
Es necesario identificar las asociaciones de los conceptos que se requieren para satisfacer los requerimientos de información de los casos de uso en cuestión, los que contribuyen a entender el modelo conceptual.





3.5.5 Agregación de los atributos

Es necesario identificar los atributos de los conceptos que se necesitan para satisfacer los requerimientos de información de los casos de uso en cuestión, un atributo es un valor lógico de un dato de un objeto.



3.5.6 Diccionario de datos

El glosario es un documento simple en el cual se definen términos, este define todos los términos que requieren explicarse para mejorar la comunicación y menorar el riesgo de malos entendidos. Un significado uniforme y compartido resulta extremadamente importante durante el desarrollo de las aplicaciones.

Tabla N° 3.2 glosario de términos

Fuente: Grupo investigador

Término	Categoría	Comentarios
Estudiante	Clase	Usuario
idEstudiante	Atributo	Identificación del estudiante
Nombre	Atributo	Nombre
Nivel	Atributo	nivel
especialidad	Atributo	especialidad
Docente	Clase	Docente
idDocente	Atributo	Identificación del docente
Nombre	Atributo	Nombre
Carrera	Atributo	carrera
Especialidad	Atributo	Especialidad
Práctica	Clase	Práctica
IdDocente	Atributo	Identificación del docente
IdEstudiante	Atributo	Identificación del estudiante
Fecha	Atributo	Fecha
Hora	Atributo	Hora
Fecha	Atributo	Fecha
velocidad	Atributo	Velocidad
Maqueta	Clase	Maqueta
Idmaqueta	Atributo	Código maqueta
Tipo	Atributo	tipo

3.6 Especificaciones adicionales.

3.6.1 Comportamiento de los sistemas.

El diagrama de la secuencia de un sistema muestra gráficamente los eventos que fluyen de los actores al sistema.

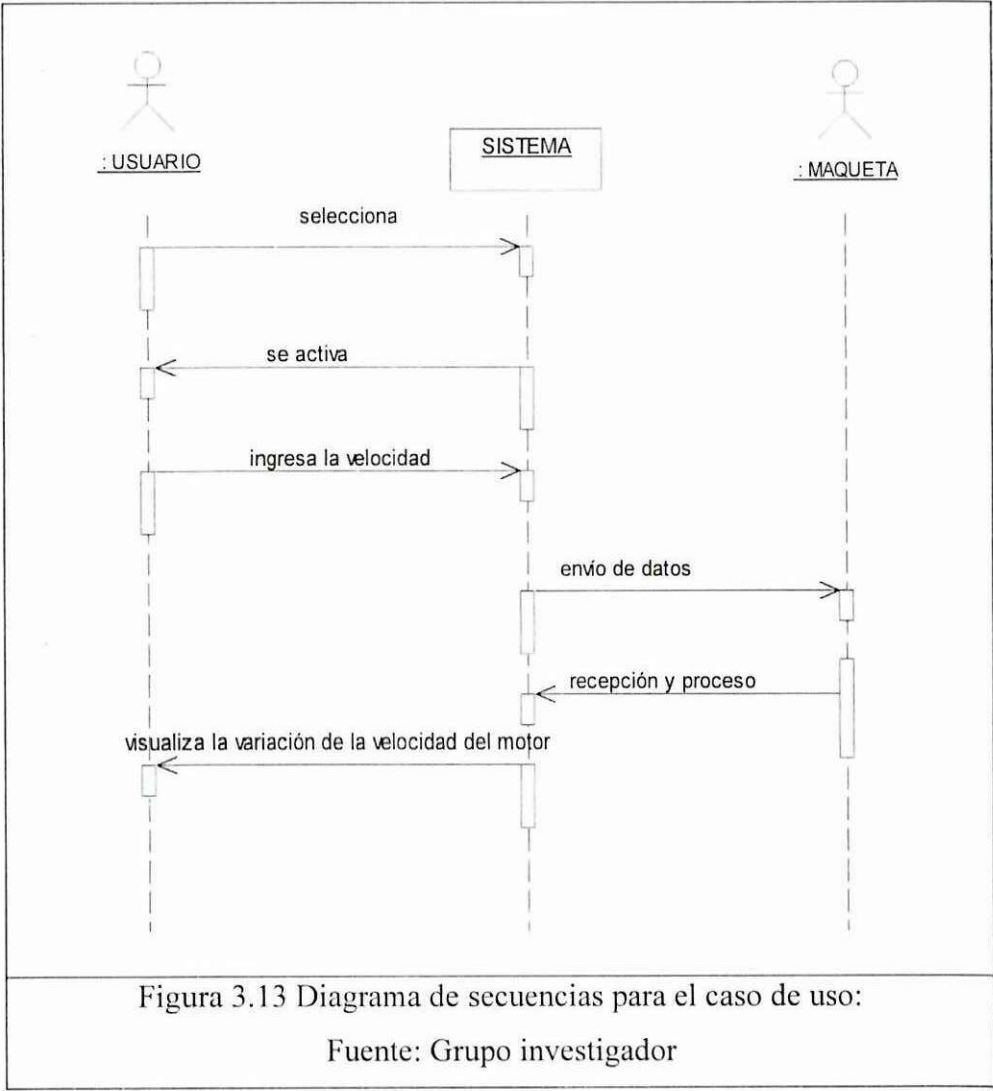
La creación de los diagramas de la secuencia de un sistema forma parte de la investigación para conocer el sistema; se incluye dentro del modelo de análisis.

El UML ofrece una notación con los diagramas de la secuencia que muestran gráficamente los eventos que pasan de los actores al sistema.

3.6.2 Diagramas de la secuencia del sistema.

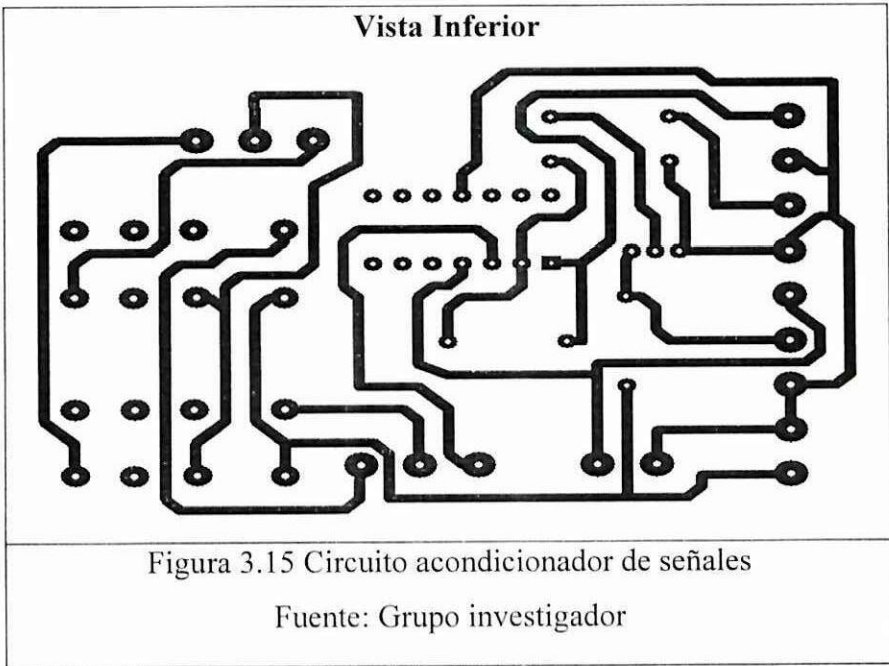
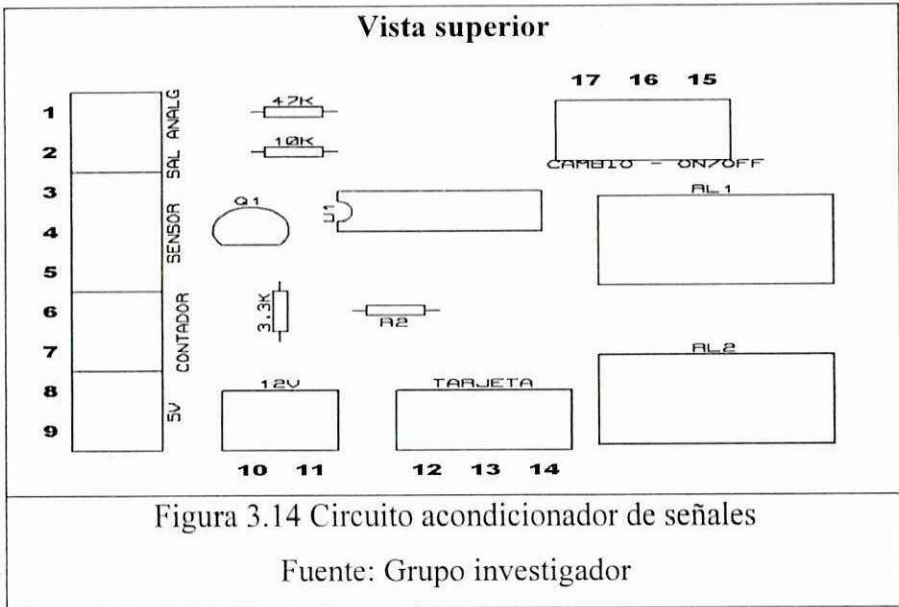
Los casos de uso indican cómo los actores interactúan con el sistema de software que es lo que en realidad deseamos crear. Durante la interacción un actor genera eventos dirigidos a un sistema, solicitando alguna operación a cambio. Conviene aislar y explicar gráficamente las operaciones que un actor solicita a un sistema, porque contribuye de manera importante a entender el comportamiento del sistema.

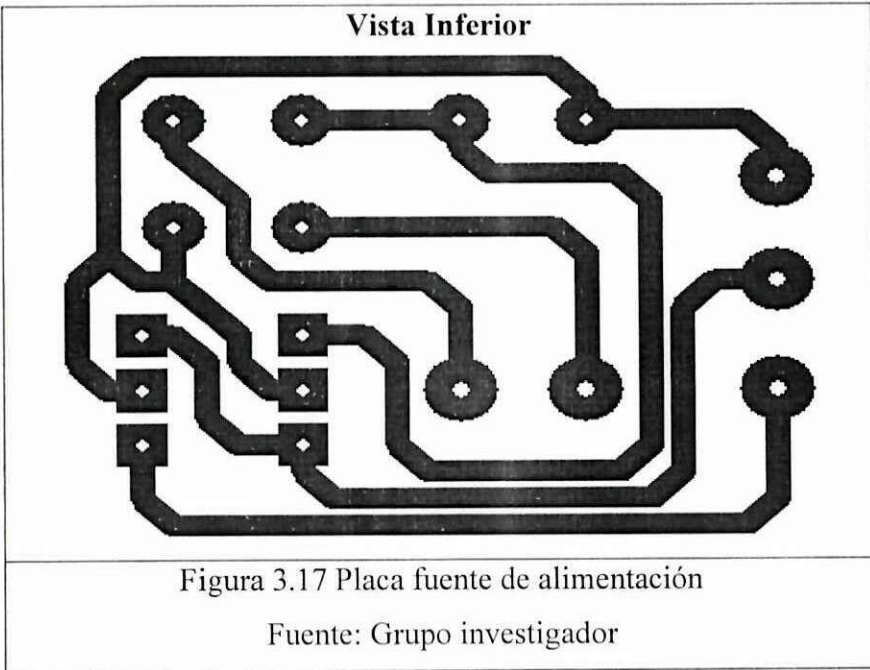
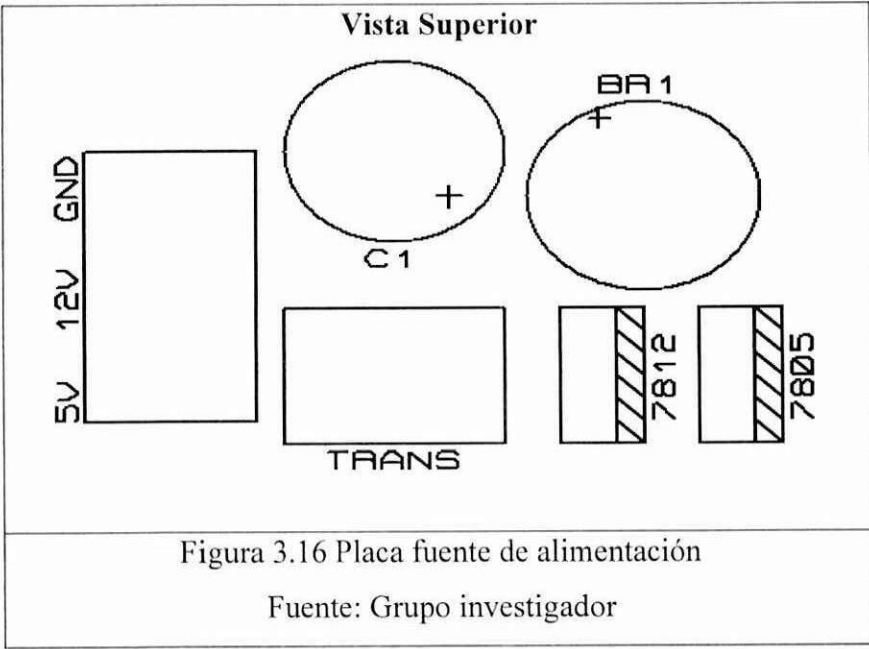
Los diagramas de secuencia muestran gráficamente las interacciones del actor y de las operaciones a que dan origen.



3.7 Análisis de circuitos.

3.7.1 Circuitos de la maqueta





3.8 Fase de diseño.

En la fase de análisis del desarrollo se da prioridad al conocimiento de los requerimientos, los conceptos y las operaciones relacionadas con el sistema. A menudo la investigación y el análisis se caracterizan por centrarse en cuestiones concernientes al qué: cuáles son los procesos, los conceptos, etc. En el UML hay otros artefactos que sirven para capturar los resultados de una investigación; a continuación se describe un grupo mínimo de ellos que fueron plasmados en la etapa anterior:

Durante este paso se logra una solución lógica que se funda en el paradigma orientado a objetos. Su esencia es la elaboración de diagramas de interacción, que muestran gráficamente cómo los objetos se comunicarán entre ellos a fin de cumplir con los requerimientos.

3.9 Descripción de los casos reales de uso.

Los casos reales de uso presentan un diseño concreto de cómo se realizará el caso. La definición de los casos de uso reales es una de las primeras actividades dentro de un ciclo de desarrollo. Su creación depende de los casos esenciales conexos que hayan sido generados antes.

Caso de uso:	Control de velocidad del motor
Actores:	Usuario, sistema
Tipo:	Primario.
Descripción:	El usuario escoge el método de control de velocidades, se realizara la activación del movimiento del motor y se visualizara la variación de la velocidad.

Tabla N° 3.3 Curso normal de los eventos de control de velocidad del motor jaula de ardilla. Fuente: Investigador.	
Acción del actor	Respuesta del Sistema
El usuario escoge el control de métodos de velocidad	
Escogerá el control de la trayectoria de velocidad	
	Se activa la opción escogida por el usuario.
Ingresará el número de pasos del motor.	
Iniciará el proceso de movimiento	
	Se realizará la transferencia de datos mediante el puerto paralelo
	Salida de datos por el sensor
Visualización de la interfaz del sistema.	

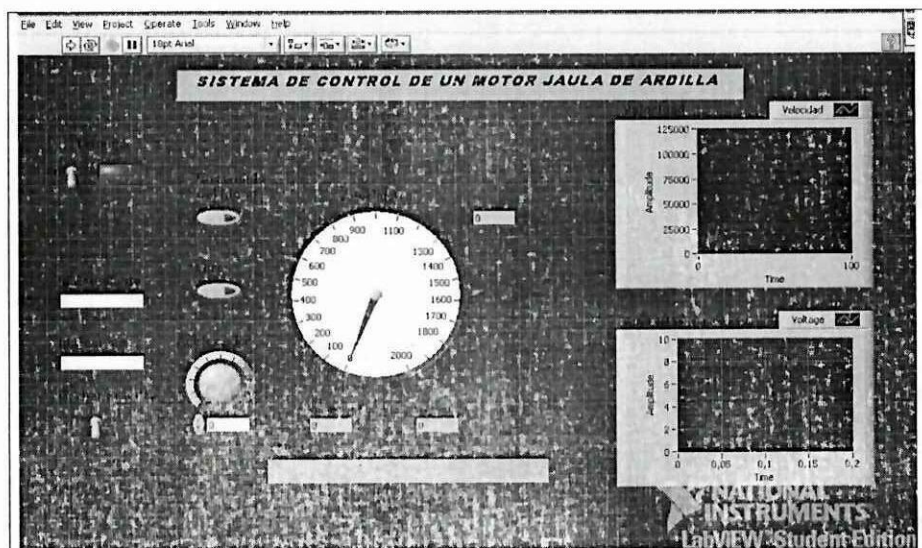


Figura 3.18 Control velocidad del motor

Fuente: Grupo Investigador

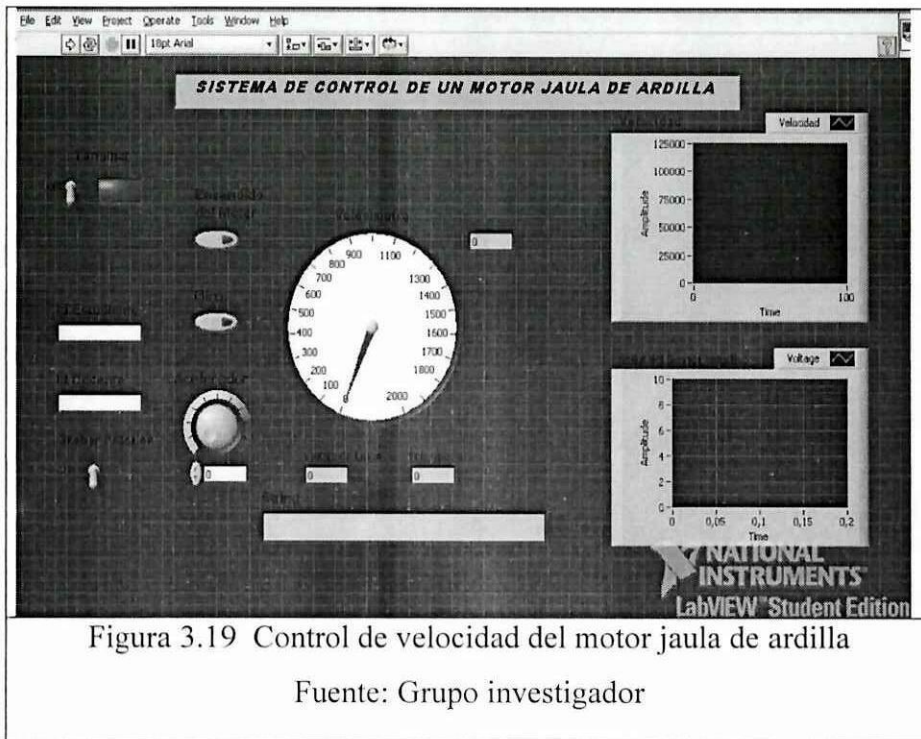
Caso de uso: Realiza práctica

Actores: Usuario, sistema

Tipo: Primario.

Descripción: El usuario ingresa al sistema y realiza la práctica correspondiente ingresa parámetros deseados y ejecuta su práctica.

Tabla N° 3.4 Curso normal de los evento realiza práctica. Fuente: Investigador.	
Acción del actor	Respuesta del Sistema
El usuario escoge el control de métodos de velocidad	
Escogerá el control de la trayectoria de velocidad	
	Se activa la opción escogida por el usuario.
Verifica la velocidad y las señales del motor.	El motor empieza el proceso de movimiento
	Se realiza la transferencia de los datos mediante la tarjeta de adquisición
Visualización de la interfaz del sistema.	



- Caso de uso: Administra estudiantes
- Actores: Usuario, sistema
- Tipo: Primario.
- Descripción: El estudiante ingresa al sistema ingresa sus datos personales y se registra en el sistema

Tabla N° 3.5 Curso normal de los eventos Administra estudiante.	
Fuente: Investigador.	
Acción del actor	Respuesta del Sistema
El usuario ingresa al sistema	
Ingresa el código y toda la información requerida por el sistema	
	Se activa la opción escogida por el usuario.
Inserta los datos	



Figura 3.20 Pantalla ingreso de estudiantes

Fuente: Grupo investigador

Caso de uso: Recupera práctica

Actores: Usuario, sistema

Tipo: Primario.

Descripción: El usuario ingresa al sistema da un clic en recuperar, ingresa el código y verifica la practica realizada.

Tabla N° 3.6 Recupera práctica.	
Fuente: Investigador.	
Acción del actor	Respuesta del Sistema
El usuario revisa la practica realizada	
Escogerá el método para visualizar la información	
	Se activa la opción escogida por el usuario.
Registra los datos que han sido ingresados y visualiza	

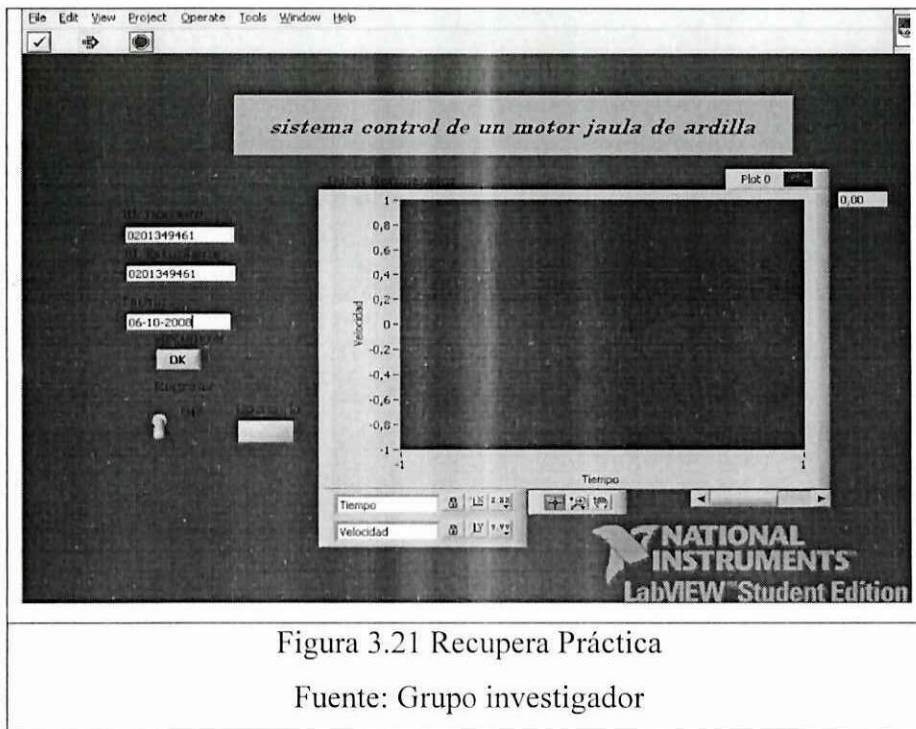


Figura 3.21 Recupera Práctica

Fuente: Grupo investigador

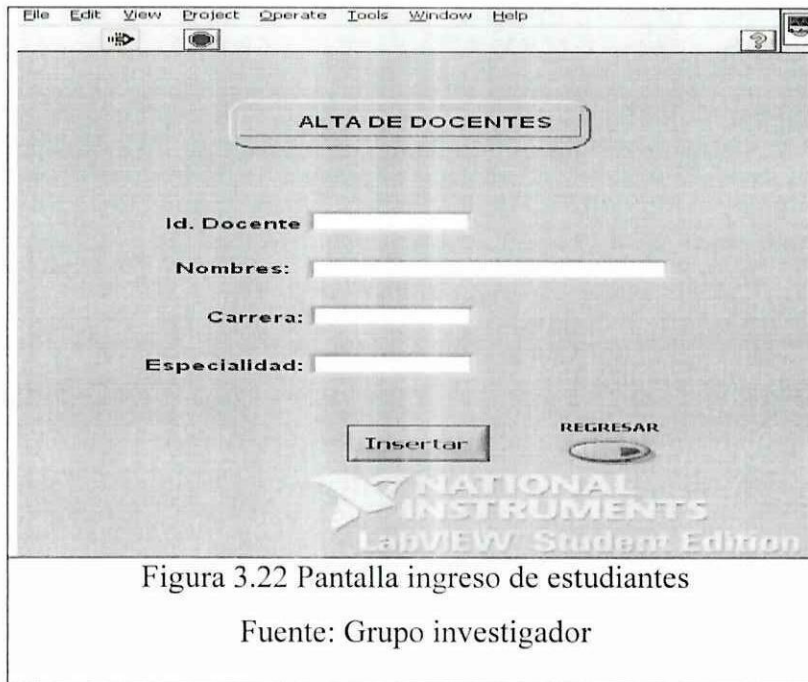
Caso de uso: Administra docente

Actores: Docente, sistema

Tipo: Primario.

Descripción: El caso de uso registro de docente comienza cuando el docente ingresa al sistema inicializa el sistema y ingresa todos sus datos, verifica datos ingresados y procede a grabar en el sistema.

Tabla N° 3.7 Curso normal de los evento administra docente. Fuente: Investigador.	
Acción del actor	Respuesta del Sistema
El docente ingresa al sistema	El sistema se activa
Ingresa los datos correspondientes	El sistema procesa lo datos
	Se activa la opción escogida por el usuario.
Graba los datos que han sido ingresados y visualiza	



3.10 Algunos aspectos del diseño del sistema.

En la sección anterior de casos nos centramos en los objetos del dominio del problema, porque así se definen los conceptos y el comportamiento básico de un sistema. Pero un sistema se compone de muchos subsistemas, uno de los cuales son los objetos del dominio. Un sistema ordinario de información ha de conectarse a la interfaz del usuario y a un mecanismo de almacenamiento persistente.

Una arquitectura común de los sistemas de información que abarca una interfaz para el usuario y el almacenamiento persistente de datos se conoce con el nombre de arquitectura de tres capas. He aquí una descripción clásica de las tres capas verticales:

1. Presentación: ventanas, reportes, etcétera.
2. Lógica de aplicaciones: tareas y reglas que rigen el proceso.
3. Almacenamiento: mecanismo de almacenamiento persistente.

Presentación



Lógica de aplicaciones

Control de un motor jaula de ardilla

Almacenamiento



Figura 3.23 Vista clásica de una arquitectura de tres capas.

Fuente: Grupo investigador

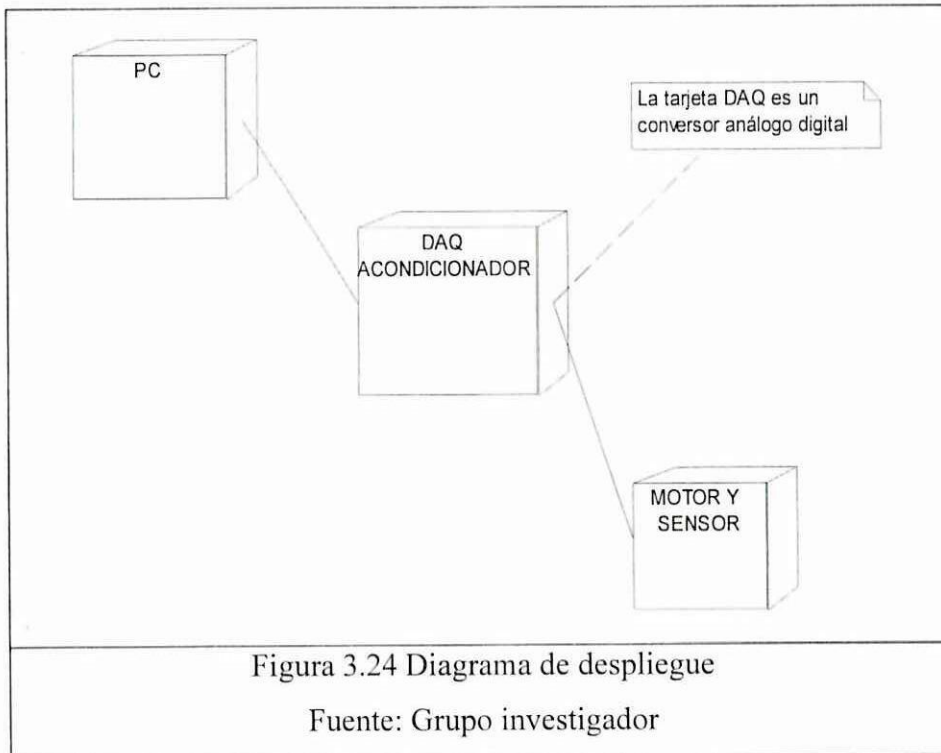
3.12 Mapeo de los diseños para codificación.

Una vez concluidos los diagramas de clases del diseño y destinados al ciclo de desarrollo actual en la aplicación, dispondremos de suficientes detalles para generar un código que utilizaremos en la capa del dominio de los objetos.

Los artefactos del UML creados en la fase de diseño, los diagramas de colaboración y los de clases del diseño, servirán de entrada en el proceso de generación del código.

Si se quiere reducir el riesgo y aumentar la probabilidad de conseguir una aplicación adecuada, el desarrollo debería basarse en un suficiente modelado del análisis y diseño antes de iniciar la codificación. Ello no significa que durante la programación no tengan cabida los prototipos ni el diseño: las modernas herramientas del desarrollo ofrecen un excelente ambiente para examinar

rápíamente métodos alternos, y normalmente vale la pena dedicar poco o mucho tiempo al diseño por la codificación.



3.13 Ensamblaje de la maqueta control de motor jaula de ardilla

3.13.1 Introducción

La maqueta fue diseñada para llevar a cabo el control de las variables, velocidad, parada, control de giro y frecuencia de un motor jaula de ardilla. Este control se lo llevo a cavo a través de un variador de velocidad industrial un sensor inductivo, un sistema de acondicionamiento y acoplamiento de señales, adquiridas a través de una tarjeta USB 6008 de National Instruments como sistema para adquisición de datos. Finalmente la maqueta fue instrumentada utilizando labVIEW 8.2.

3.13.2 Requerimientos de funcionamiento de la maqueta.

Se requiere dos fuentes de alimentación una de 110 voltios para alimentar las etapas de acondicionamiento y adquisición de señales y otra de 220 VCA para alimentar el variador de velocidad y el motor jaula ardilla.

3.13.3 Pasos para el ensamblaje.

Instalar el sensor inductivo en la base que está ubicada frente al disco giratorio, proceder a conectar los cables numerados que salen de la caja de acondicionamiento de señal según se indica en el figura 3.14 (verifique correctamente las instalaciones estén correctas).

Proceda a conectar el variador de velocidad al motor jaula de ardilla, conecte el cable de poder que sale del variador de velocidad a la alimentación de 220 VCA. Conecte o proceda a conectar la alimentación de la caja de acondicionamiento y adquisición de señales a la alimentación de 110 VCA.

Proceda a conectar el cable USB que sale de la caja de acondicionamiento y adquisición de señales a un puerto USB del computador en el cual se encuentra instalado el software de alimentación.

Proceda a encender el computador y a ejecutar la aplicación de instrumentación del sistema para el control del motor jaula de ardilla.

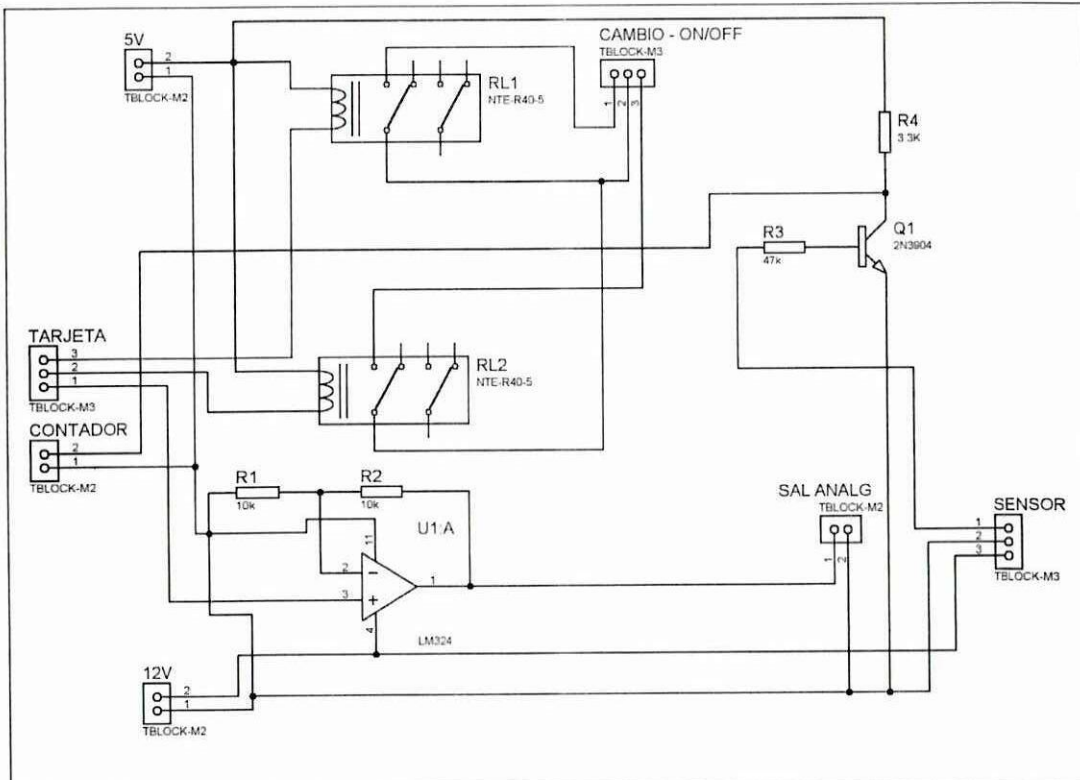


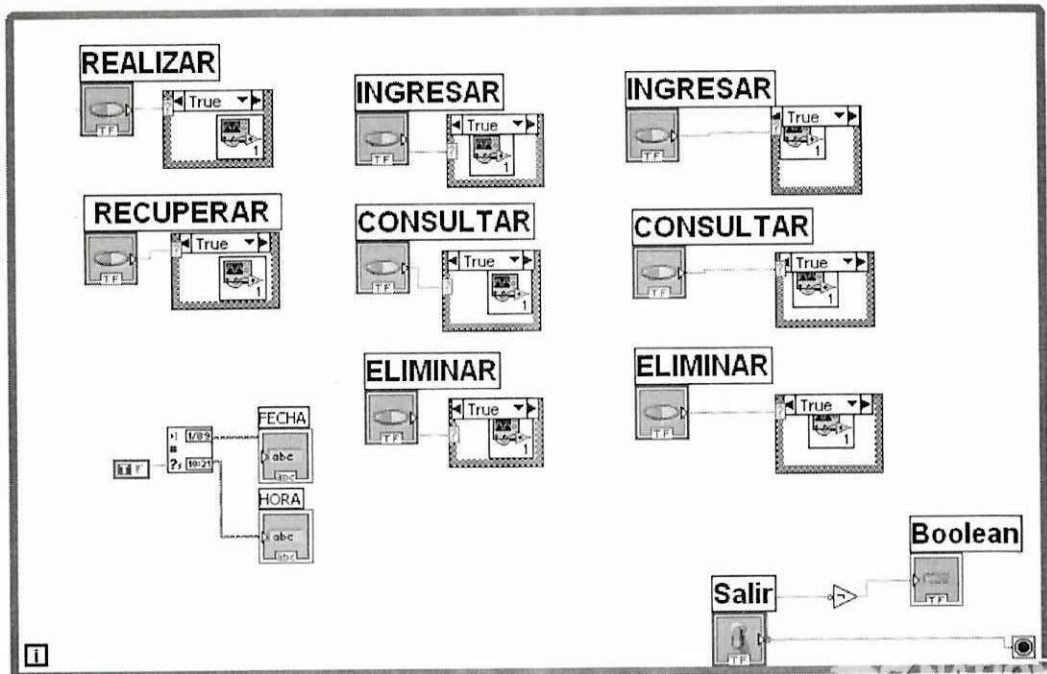
Figura 3.25 Diagrama esquemático de la maqueta

Fuente: Grupo investigador

3.14 Programación por fases

Programación del menú principal

Para realizar el menú principal dar clic derecho en el front panel, escogemos la opción que dice boolean y se escoge el botón rocker esto es para crear los botones de ingreso a las distintas tablas del sistema. Seguidamente creamos en el block diagram dando clic derecho añadimos una structures y escogemos case structure dentro del case structure seleccionamos el select VI para escoger el vi que queremos que se enlace para salir del menú se crea un botón boolean dando clic derecho en el front panel, para crear la fecha y hora se escoge string, y seguidamente string controls, después en block diagram escoger un Get Date/time el que va a permitir que se visualice la fecha y hora y también dando clic derecho boolean escoger un true constant.



Programación del control de velocidad del motor

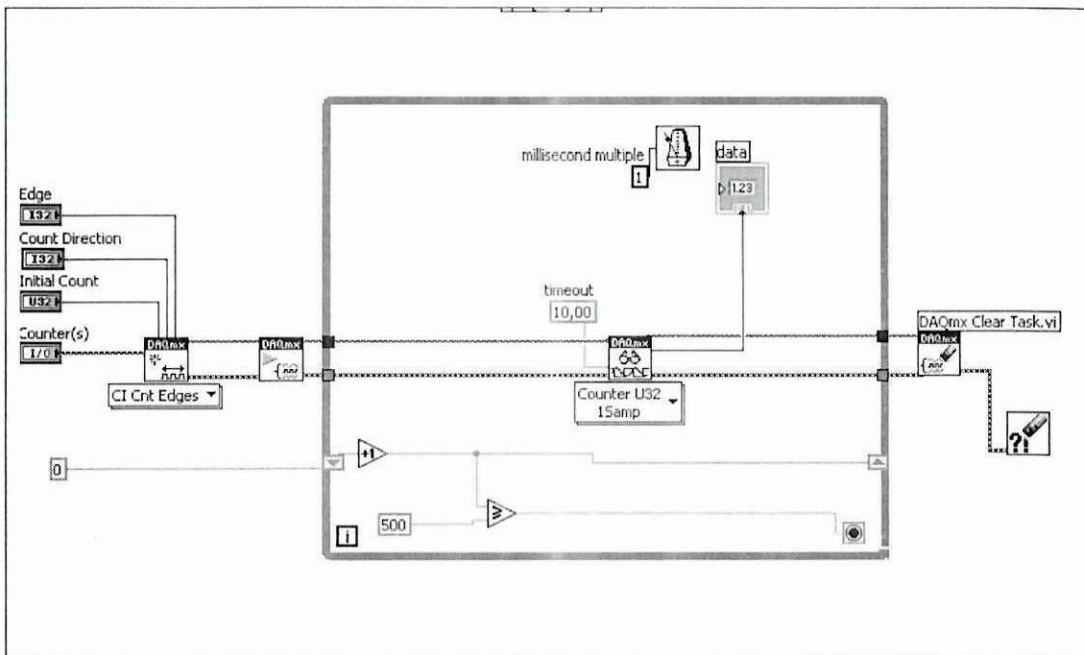
Primeramente para el encendido del motor dar un clic derecho en el front panel clic en boolean, clic en push button, para el giro de igual manera escoger boolean y push button, para ver la velocidad del motor se da clic derecho y escoger numeric y escoger knob, para visualizar el voltaje en línea y la frecuencia dar un clic derecho en string & path y escoger string indicador, la señal del sensor inductivo se visualiza dando un clic derecho y escogiendo un graph, clic en waveform chart, para la velocidad del motor crear dando un clic derecho graph, clic en waveform graf, el velocímetro se crea dando un clic derecho y escoger numeric, clic en gauge para terminar clic derecho y luego dar un clic en boolean y escoger el botón vertical toggle y round led.

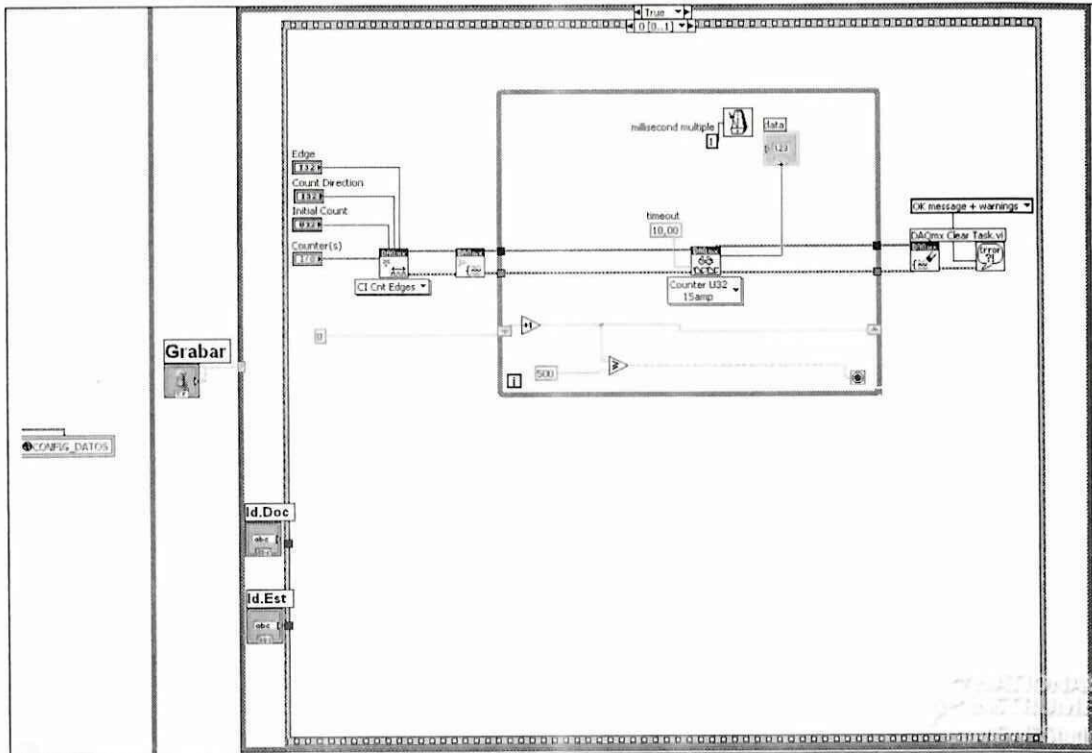
En el block diagram para poder crear la frecuencia y el voltaje en línea se crea una ecuación matemática dando un clic derecho y crear dando un clic en structures y clic en case structures seguidamente creamos un File/IO y escoger un greater OR este lo conectamos al case structure es como una condición.

Al velocímetro le multiplicamos por 60 añadiendo el multiply, este resultado se le envía a la base de datos a la señal del sensor inductivo le conectamos a un format into string.

El encendido del motor le conectamos a un build array al canal uno y dos. Para el giro se le conecta aun build array y todo esto al canal tres y cuatro.

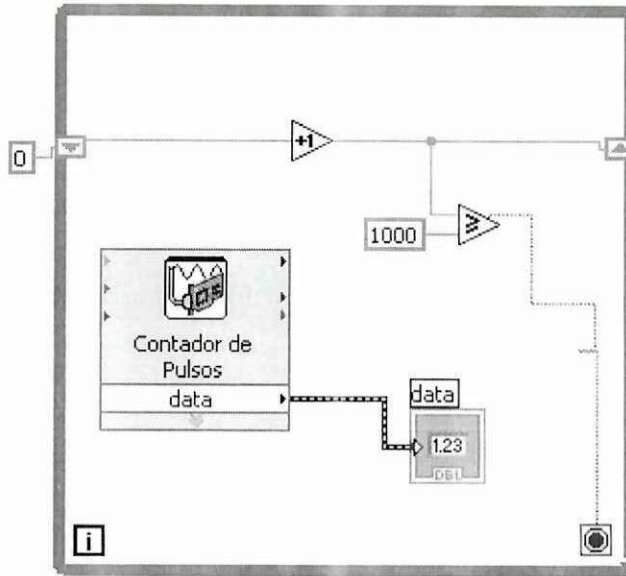
Y para controlar la velocidad del motor se obtuvo un instrumento diseñado de forma específica tarjeta USB 6008 por cuanto el DAQ que viene en el software estándar no permite controlar los ciclos de adquisición en intervalos dados lo que produce un problema de acumulación de lecturas. Es esta la razón por la que se opto usar un instrumento virtual propio de la tarjeta, para esto se escogió un DAQmx create channel, DAQmx start Task.vi, DAQmx Clear y un DAQmx Read. Se utilizo un while loop aqui se utilizo la función incremento que empiece en cero cuenta hasta 500 y sale, al DAQmx read que va conectado a un data. Y también a un timeout





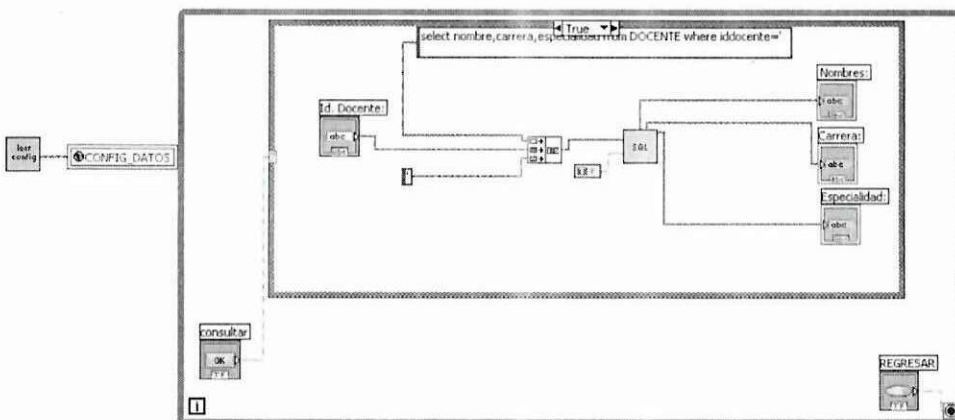
Programación para recuperar práctica

Primeramente en el front panel se crea dando clic derecho para ingresar el código del estudiante, del docente y la fecha de la práctica se crea dando clic derecho en string & path y se escoge string control, un waveform chart para ver la práctica que se ha realizado, el botón ok se crea dando clic derecho y escoger squared led para regresar al menú se crea dando clic derecho y se escoge un vertical togg

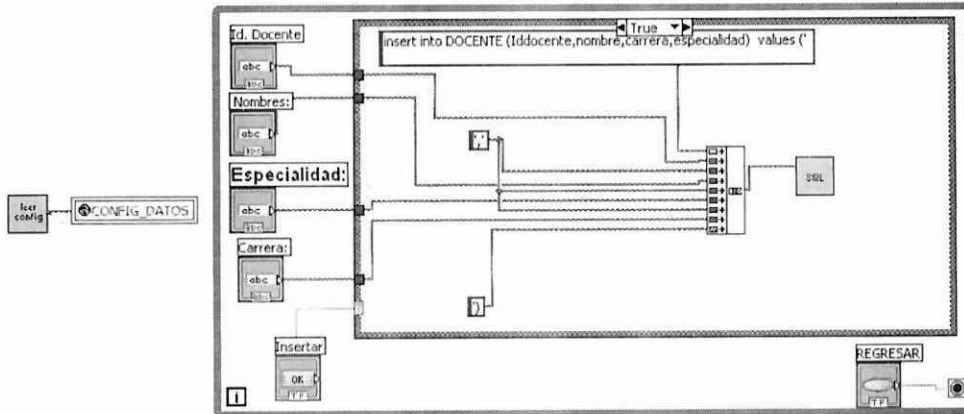


Programación para insertar, consultar y eliminar

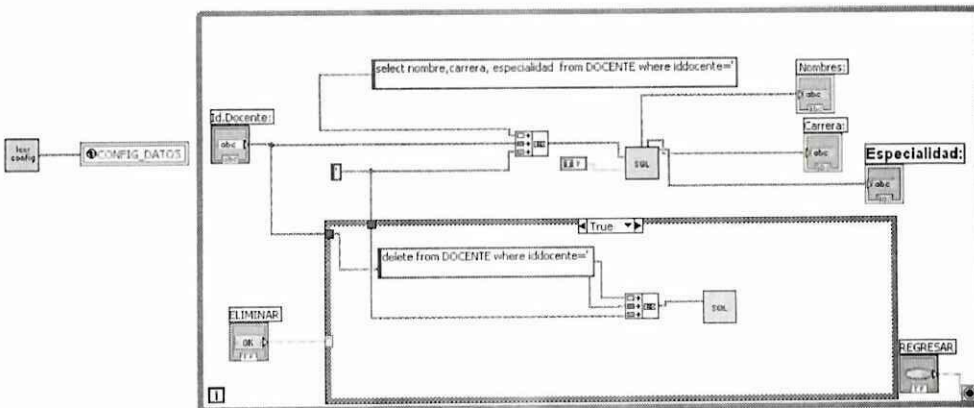
Para realizar una consulta primeramente ir al menú en donde se puede escoger la opción string& Path aquí se escoge un string control, un string indicador y un botón boolean, push button para regresar al menú principal. En el block diagram se crea un while loop dentro del de este lazo se inserta la base de datos y los campos creados en el front panel.



Para insertar ir al menú string & path escoger la opción string control para poder ingresar datos a las diferentes tablas y un botón boolean, push button para regresar a la pantalla principal. En el block diagram de igual manera que el anterior conectar los campos a la base de datos.



Para eliminar ir al menú string & path escoger la opción string control y string indicador y un botón para eliminar y un push button para regresar al menú principal en el block diagram conectar todos los campos a la base de datos.



SCRIP DE LA BASES DE DATOS

```
if exists (select * from dbo.sysobjects where id = object_id(N'[dbo].[DOCENTE]')
and OBJECTPROPERTY(id, N'IsUserTable') = 1)
drop table [dbo].[DOCENTE]
GO
```

```
if exists (select * from dbo.sysobjects where id =
object_id(N'[dbo].[ESTUDIANTE]') and OBJECTPROPERTY(id,
N'IsUserTable') = 1)
drop table [dbo].[ESTUDIANTE]
GO
```

```
if exists (select * from dbo.sysobjects where id =
object_id(N'[dbo].[PRACTICAS]') and OBJECTPROPERTY(id, N'IsUserTable')
= 1)
drop table [dbo].[PRACTICAS]
GO
```

```
CREATE TABLE [dbo].[DOCENTE] (
    [iddocente] [char] (10) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL ,
    [nombre] [varchar] (50) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL ,
    [carrera] [varchar] (50) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL ,
    [especialidad] [varchar] (50) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL
) ON [PRIMARY]
GO
```

```
CREATE TABLE [dbo].[ESTUDIANTE] (
    [idestudiante] [varchar] (50) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL ,
    [nombre] [varchar] (50) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL ,
    [nivel] [varchar] (50) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL ,
    [especialidad] [varchar] (50) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL
```

```
) ON [PRIMARY]
GO
```

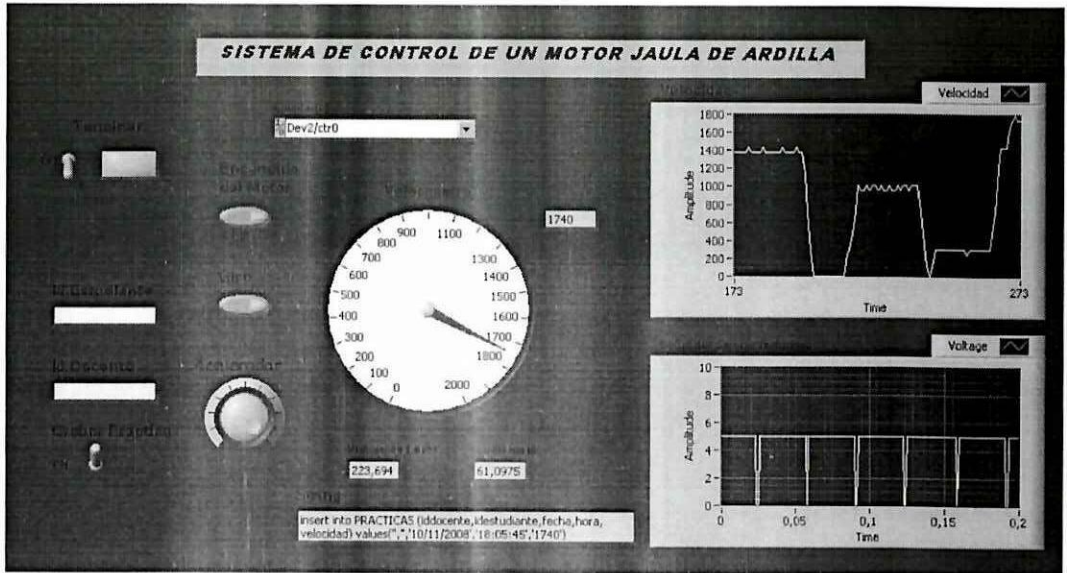
```
CREATE TABLE [dbo].[PRACTICAS] (
    [iddocente] [char] (10) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL ,
    [idestudiante] [char] (10) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL ,
    [fecha] [char] (10) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL ,
    [hora] [char] (10) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL ,
    [velocidad] [char] (10) COLLATE Modern_Spanish_CI_AS NULL
) ON [PRIMARY]
GO
```

3.15 Caso de Pruebas

Una vez desarrollado el sistema y el hardware se procederá a realizar los pasos para el funcionamiento de la maqueta:

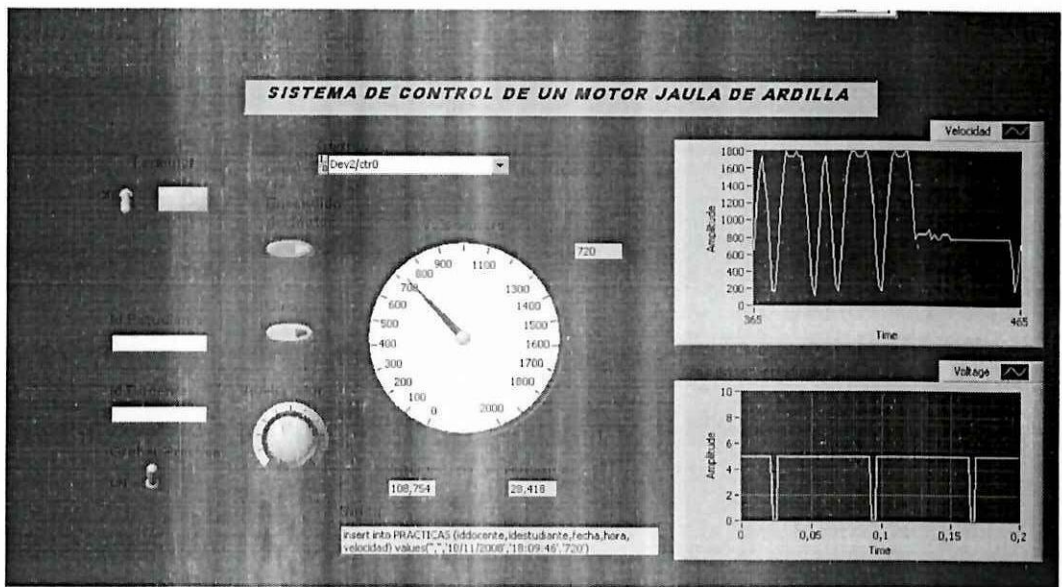
3.15.1 Plan de pruebas

1. Primera prueba incremento de velocidad.

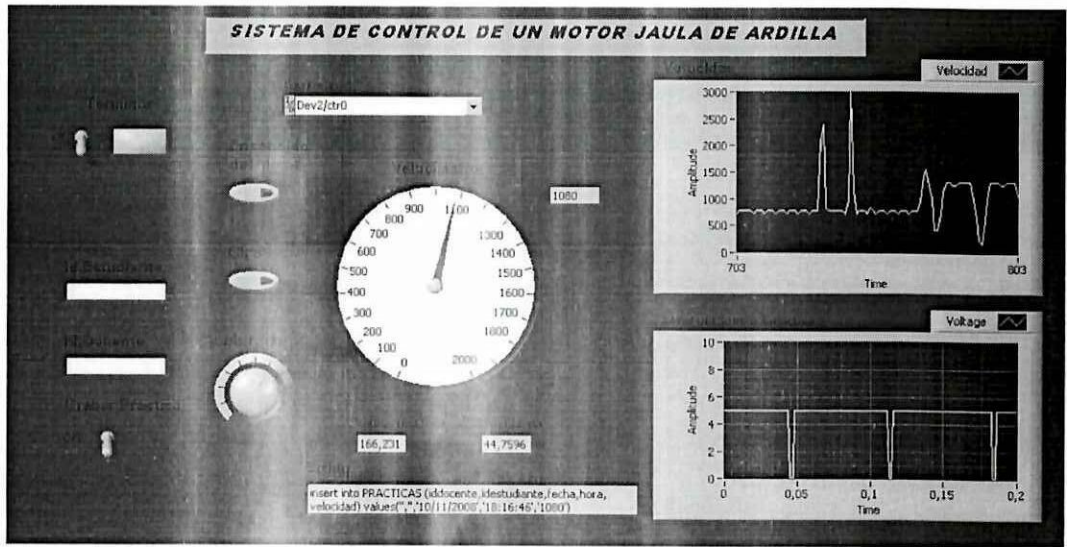


En esta prueba se hizo girar a la acelerador hasta llegar a la máxima velocidad que es 1800 revoluciones

- Segunda prueba Control de giro al encender el interruptor del giro el motor cambia la dirección de rotación a la derecha y al apagar cambia la dirección de rotación a la izquierda.



3. Tercera prueba parada del motor



En esta prueba se procede a parar el motor para esto apagamos el interruptor de encendido del motor

CONCLUSIONES

- El nuevo sistema implementado cumple con la premisa de esta tesis control de un motor jaula de ardilla instrumentada con LabVIEW.
- Al término de este trabajo de investigación se puede decir que se ha utilizado tecnología de punta, para obtener los resultados requeridos y el buen funcionamiento de la maqueta.
- Se logró uno de los objetivos específicos que era el de implementar una maqueta para el control de un motor jaula de ardilla instrumentado con LabVIEW.
- El control del motor jaula de ardilla nos llevo a aprender otro lenguaje.
- Se pone a disposición de las especialidades de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica e Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi una maqueta para realizar las prácticas de Control de motores jaula de ardilla que permitirá la mejor comprensión y el desarrollo de la actividad tecnológica de las especialidades.
- Esta propuesta permitirá mejorar el proceso de enseñanza, aprendizaje entre los docentes y estudiantes de las especialidades de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica e Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi mejorando la calidad profesional de los mismos.
- Con la implementación de este modelo de maqueta se ha contribuido a los laboratorios de la Universidad con importante material para que sus estudiantes tengan una mejor captación de la materia en una manera práctica.

RECOMENDACIONES

- El Ingeniero de Sistemas necesita fortificar de mejor manera en el campo de la electrónica ya que como sabemos el hardware y el software se necesitan el uno del otro para poder funcionar.
- Poner en práctica el sistema, para el control de un motor jaula de

ardilla construido como material didáctico para los estudiantes de las especialidades de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica e Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi

- Con este proyecto estamos brindando a las nuevas generaciones la oportunidad de despertar el interés por la investigación científica y la exploración de nuevos campos afines a la carrera de sistemas.
- El sistema puede ser complementado y adaptado para cubrir otros tipos de aplicaciones en los que se requiera de un computador para su operación y funcionamiento

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía Citada

- http://didas.disca.upv.es:8080/portal_recursos/folder_acciones/folder_accion5/definicion/definicion/document_view
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Motores>
- http://www.google.com.ec/search?hl=es&lr=&defl=es&q=define:F%C3%ADsica&sa=X&oi=glossary_definition&ct=title
- http://www.google.com.ec/search?hl=es&lr=&defl=es&q=define:Motores&sa=X&oi=glossary_definition&ct=title
- <http://ohm.utp.edu.co/neuronales/Download/Motor.pdf>

Bibliografía Consultada

- CRIAG LARMAN. (2004), Uml y Patrones, Editorial Pretince Hall.
- CRAIG LARMAN. (1999), introducción al análisis y diseño orientado a objetos
- CREUS ANTONIO. (1992), instrumentación industrial, Editorial Alfaomega Marcombo, cuarta Edición, México.
- CURSO DE ELECTRONICA DIGITAL, cekit, Compañía Editorial electrónica.
- CHAUPRADE R. Control Eléctrico de los motores de corriente alterna, Colección ciencia electrónica.
- DEGEM. (1982), Sistemas de entrenamiento tecnológico teoría y práctica moderna de las comunicaciones digitales, Degem systems.
- ENRIQUEZ HARPER, El libro práctico de los Generadores, transformadores y Motores eléctricos

- FRANCIS SCHEID. (2003), Introducción a la ciencia de las computadoras, McGrawHill.
- HARRY MILEAF. (1986), Curso Práctico de electrónica, Ediciones ciencia y técnica.
- HECTOR VALENCIA. (1975), Principios de corriente eléctrica, Editorial Trillas.
- HERRERA LUIS. (2004), Tutoría de la investigación Científica, Quito Ecuador.
- JOSE HERNÁNDEZ ORALLO. (2005), Introducción a la Minería de Datos, Editorial Pretince Hall.
- LABVIEW FOR WINDOWS. (1994), Tutorial, Copyright National Instruments Corporation.
- LOS GONZÁLES JOSÉ (1992) introducción a microcontroladores, McGraw-Hill España.
- MANO MORRIS. (2003), Arquitectura de las computadoras, Pretince Hall.
- MANO MORRIS. (2003), Diseño Digital, Pretince Hall.
- NATIONAL INSTRUMENTS, (2006), Measurement and automation catalog.
- PAUL KIMMEL. (2007), Manual de Uml, McGrawHill.
- ROGER S PREASSMAN. (2005), Ingeniería de software. McGrawHill.
- STEPHEN J CHAPMAN, (2005). Máquinas Eléctrica, Editorial McGraw_hill cuarta edición
- SOISSON HAROLD. (1990), instrumentación industrial, Editorial Limusa.
- SOISSON HAROLD. (1990), IBM PC para ingenieros, Editorial Limusa.
- SILBERSCHATZ Y OTROS. (2003), Fundamentos de bases de datos, McGraHill.
- S.GERGELY. (2003), Micro electrónica, Editorial Salvat.
- TXELO RUIZ VÁQUEZ Y OTROS. (2004), Análisis Básico de circuitos Eléctricos y Electrónicos, Editorial Pretince Hall.

- THEODORE WILDI, Máquinas eléctricas y sistemas de potencia,
Pearson

Glosario de términos

AC.- Corriente alterna

Circuito.- Es el conjunto de componentes unidos entre sí que permiten el paso de la corriente eléctrica o electricidad. En sí un circuito eléctrico es una serie de elementos o componentes eléctricos o electrónicos, tales como resistencias, inductancias, condensadores, fuentes, y/o dispositivos electrónicos semiconductores, conectados eléctricamente entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales electrónicas o eléctricas.

Circuito de inversión de giro de un motor.- En el estado inicial el motor gira hacia un sentido, mientras que cuando cerramos el interruptor del circuito primero, la corriente alimenta la bobina, y es suficiente para que el relé conmute y entonces la corriente cambia su curso y hace que el motor gire hacia el otro lado, es decir, invierte el sentido de giro.

Campo magnético.- Es campo de fuerzas que se encuentra en la región alrededor de un imán o corriente eléctrica y se caracteriza por la percepción de una fuerza magnética en cada uno de los puntos de la región, atrayendo una parte del imán y repeliendo otra.

Inducción.- Proceso por el cual el campo magnético creado por un conductor eléctrico provoca una fuerza eléctrica en otro conductor próximo: los transformadores eléctricos están basados en la inducción electromagnética.

Devanado.- Se le llama devanado a las vueltas de alambre conductor que tiene una bobina. El devanado Primario es el que va conectado a la fuente que suministra la alimentación. Y el devanado Secundario es el que recibe lo que le induce el primario.

Estator.- Estator es la parte estática, que sostiene el peso del motor. Es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero de calidad especial provistas de ranuras. Los bobinados están

distribuidos en estas ranuras y forman un conjunto de bobinas desfasadas entre sí 120°. Cada una de las bobinas se conecta a una de las fases de un sistema trifásico y dan lugar a un campo magnético giratorio

Electrostática.- Categoría de fenómenos físicos originados por la existencia de cargas eléctricas y por la interacción de las mismas. Cuando una carga eléctrica se encuentra estacionaria, o estática, produce fuerzas eléctricas sobre las otras cargas situadas en su misma región del espacio; cuando está en movimiento, produce además efectos magnéticos. Los efectos eléctricos y magnéticos dependen de la posición y movimiento relativos de las partículas cargadas.

Frecuencia.- se repite un fenómeno por unidad de tiempo. La frecuencia en los fenómenos ondulatorios, tales como el sonido, las ondas electromagnéticas (como las de la radio o la luz), señales eléctricas u otras ondas, expresa el número de ciclos que se repite la onda por segundo.

Iteracción.- La interacción es una acción que se ejerce de forma recíproca entre dos o más sujetos, objetos, agentes, fuerzas o funciones.

LDR.- Una LDR es una resistencia dependiente de la luz, o sea, cambia la resistencia de acuerdo a la luz incidente. Un incremento de la intensidad de la luz significa un decremento en la resistencia del LDR, y es una variación exponencial por lo tanto no es lineal.

LED's.- Los LED, o diodos emisores de luz, son mucho más que simples bombillas de tamaño reducido: constituyen una revolución para la iluminación. Nos permiten crear efectos de iluminación que años atrás eran inconcebibles. Gracias a los LED puede crear libremente cualquier instalación o efecto luminoso que se imagine.

Máquinas sincrónicas.- Las máquinas sincrónicas están entre los tres tipos más comunes de máquinas eléctricas; las máquinas sincrónicas son máquinas de corriente alterna que se caracterizan por tener una velocidad dependiente directamente de la frecuencia de la red. Pueden ser monofásicas o trifásicas, especialmente en aplicaciones de potencia; se llaman así porque trabajan a

velocidad constante y frecuencia constante en condiciones de operación estacionarias. Como la mayoría de las máquinas giratorias, una máquina síncrona es capaz de trabajar como motor o generador e incluso como reactor o como condensador.

NTC.- Son resistencias de coeficiente de temperatura negativo, constituidas por un cuerpo semiconductor cuyo coeficiente de temperatura sea elevado, es decir, su conductividad crece muy rápidamente con la temperatura.

PTC.- Es una nueva forma de publicidad para mercadear cualquier tipo de empresa que tenga su página en la internet para que éstas se encuentren ubicadas en los primeros lugares de preferencia en la Web, debido a su gran volumen de visita que estas reciben.

Potencia.- La potencia es la cantidad de trabajo que se efectúa por unidad de tiempo. Esto equivale a la velocidad de cambio de energía en un sistema o al tiempo que se emplea para realizar un trabajo. Por lo tanto, la potencia es igual a la energía total dividida el tiempo.

PUERTO SERIE O PUERTO SERIAL.- Es una interfaz de comunicaciones de datos digitales, frecuentemente utilizado por computadoras y periféricos, en donde la información es transmitida bit a bit enviando un solo bit a la vez, en contraste con el puerto paralelo que envía varios bits simultáneamente.

Relé.- Un relé es un conmutador eléctrico especializado que permite controlar un dispositivo de gran potencia mediante (por ejemplo un motor) un dispositivo de potencia mucho menor (el puerto paralelo es un caso).

Rotor.- Él es la parte móvil del motor. Esta situado en el interior del estator y consiste en un acoplamiento de chapas de acero que forman un cilindro solidario con el árbol del motor. Rotor es el eje que gira, o las aspas de un abanico.

Resistencia.- resistencia eléctrica de una sustancia, que es la oposición que encuentra la corriente eléctrica para circular. Su valor se designa en ohmios. Por otra parte, se denomina resistencia o resistor al componente electrónico diseñado

para introducir una resistencia eléctrica determinada entre dos puntos de un circuito.

UN PUERTO PARALELO.- Es una interfaz entre una computadora y un periférico cuya principal característica es que los bits de datos viajan juntos enviando un byte completo o más a la vez. Es decir, se implementa un cable o una vía física para cada bit de datos formando un bus.

VI.- Virtual Instrument.

Voltaje.- cantidad de voltios que actúan en un aparato o en un sistema eléctrico. De esta forma, el voltaje, que también es conocido como tensión o diferencia de potencial, es la presión que una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz ejerce sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado. De esta forma, se establece el flujo de una corriente eléctrica.

Watt.- El watt o vatio es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades y equivale a 1 joule por segundo (1J/s). Se trata de una de sus unidades derivadas y su símbolo es W.

ANEXO 1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI CARRERA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

OBJETIVO:

- Implementar una maqueta para el control de un motor de corriente alterna instrumentado con LabView para el laboratorio de maquinas eléctricas de la universidad técnica de Cotopaxi.

Con el presente cuestionario el grupo de egresados de la UTC, Especialidad de Ingeniería en Informática y Sistemas Computacionales, nos dirigimos a usted para solicitar su colaboración, respondiendo a cada una de las preguntas que a continuación se citan.

INSTRUCCIONES:

Marcar con una (X) la respuesta que usted crea que es correcta de acuerdo a su criterio.

CUESTIONARIO

1. ¿Sabe usted que es un motor de corriente alterna?

Si () No ()

2. ¿Conocía usted que un motor de corriente alterna es un motor de jaula de ardilla?

Si () No ()

3. ¿Conoce los diferentes tipos de lenguajes de programación que se utilizan para controlar motores de corriente alterna?

Si () No ()

4. ¿piensa usted que con la maqueta de motores de corriente alterna se está contribuyendo al avance tecnológico de la Universidad Técnica de Cotopaxi?

Si () No ()

5. ¿Sabe usted que la implementación de una maqueta de control de motores de corriente alterna contribuye al incremento de material didáctico en los laboratorios de máquinas eléctricas?

Si () No ()

6. ¿Al implementar una maqueta de control de motores de corriente alterna piensa usted que beneficiara a la enseñanza de los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi?

Si () No ()

Gracia por su colaboración