

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **PROYECTO DE MEJORAS DE TRES BANCOS DE PRUEBAS INSTALADOS EN EL LABORATORIO DE TURBOMÁQUINA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UCV.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Hernández M. José L.  
para optar al Título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2013

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **PROYECTO DE MEJORAS DE TRES BANCOS DE PRUEBAS INSTALADOS EN EL LABORATORIO DE TURBOMÁQUINA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UCV.**

Profesor Guía: Ing. Nerio Ojeda  
Tutor Industrial: Ing. Augusto Carrillo

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Hernández M. José L.  
para optar al Título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2013


## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 29 de octubre de 2013


Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller José L. Hernández M., titulado:

**“PROYECTO DE MEJORAS DE TRES BANCOS DE PRUEBAS  
INSTALADOS EN EL LABORATORIO DE TURBOMÁQUINA DE LA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA U.C.V.”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención Potencia, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

  
Prof. Patricia Sánchez  
Jurado

  
Prof. Wirmer Malpica  
Jurado

  
Prof. Nerio Ojeda  
Prof. Guía

## **DEDICATORIA**

A mis padres José Gregorio Hernández Sánchez y Liliana del Valle Moncada Reverol.

A un excelente amigo Jhon Alexander Mora Pérez Dios te tenga en la gloria y por siempre protégenos.

## **RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias Dios quien nunca nos abandona, a mis padres José G Hernández y Liliana Moncada por siempre contar con todo su apoyo el cual fue y ha sido totalmente incondicional durante esta etapa de mi vida, se que sin ellos haber alcanzado este logro no hubiera sido tan sencillo, a mis hermanos Francisco y Jonathan por siempre contar con sus buenos deseos, a mi novia Yskarel Gutiérrez quien siempre supo brindarme la ayuda necesaria en los buenos y malos momentos durante la ultima etapa de la carrera y de la cual he aprendido que la bondad es un sentimiento muy valioso, gracias por ser mi amiga, a Néstor Hernández y Marugenia Moncada quienes estuvieron presentes y me brindaron todo el apoyo desde el comienzo y durante de este esplendido aprendizaje y formación como persona.

Agradezco a todas aquellas personas compañeros de aula, alumnos, personal administrativo que de manera directa o indirecta formaron parte de la construcción de este sueño que hoy es realidad, gracias a los profesores por haber compartido todas sus experiencias y conocimientos, pero sobre todo por contribuir en mi formación tanto profesional como personal.

Gracias Universidad Central de Venezuela y escuela Melchor Centeno.

**José L., Hernández M.**

**PROYECTO DE MEJORAS DE TRES BANCOS DE PRUEBAS  
INSTALADOS EN EL LABORATORIO DE TURBOMÁQUINA  
DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UCV.**

**Prof. Guía: Nerio Ojeda. Tutor Industrial: Ing. Augusto Carrillo. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Potencia. Institución: Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV. 2013. 82h + anexos.**

**Palabras claves: Motores de corriente continua, control de velocidad, equipos de medición, generador asincrónico.**

**Resumen.** Se presentó una propuesta de mejora para optimizar el funcionamiento de los bancos: Bomba Centrifuga, Turbina Francis y Compresor de Flujo Axial instalados en el laboratorio de Termomáquinas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV, para ello se realizó un estudio y levantamiento técnico de los bancos de pruebas, tableros de alimentación y sistema de control de velocidad de los motores asociados. Como solución a la problemática presentada por los estudiantes en cuanto a la dificultad de ajuste de las rpm en las máquinas eléctricas, se proponen equipos nuevos de control de velocidad, incluyendo un generador comercial para ser acoplado a la Turbina Francis, así como cada uno de los elementos y dispositivos necesarios para la instalación y correcto funcionamiento de los equipos propuestos. Se logró conseguir un equipo de múltiples funciones, capaz de realizar control de velocidad en motores DC y a la vez apto para censar las variables eléctricas de las máquinas, al igual que se presentó el generador sincrónico a ser acoplado a la Turbina Francis y el respectivo banco de carga. Cumpliendo con esas premisas se pretende tener un mayor control en los motores, obteniendo con ello que a los estudiantes que realizan pruebas en los bancos se les facilite la ejecución de las prácticas, logrando a futuro una mayor automatización de los mismos.

# ÍNDICE GENERAL

<b>CONSTANCIA DE APROBACIÓN</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>ÍNDICE</b> .....	vii
<b>LISTA O ÍNDICE DE TABLAS Y/O CUADROS</b> .....	x
<b>LISTA O ÍNDICE DE FIGURAS Y/O ILUSTRACIONES</b> .....	xi
<b>LISTA O ÍNDICE DE FOTOS</b> .....	xii
<b>SIGLAS</b> .....	xvi
<b>ABREVIATURAS</b> .....	xvii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	3
<b>OBJETIVOS</b> .....	4
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	5
2.1 <b>Máquina</b> .....	5
2.1.1 <b>Máquina de fluido</b> .....	5
2.1.1.1 <b>Máquina hidráulica</b> .....	6
A. <b>Turbomáquina o máquina de corriente</b> .....	6
B. <b>Máquina de desplazamiento positivo</b> .....	6
2.1.1.2 <b>Máquina térmica</b> .....	7
A. <b>Compresor de flujo axial</b> .....	7
B. <b>Ventilador</b> .....	7
2.1.2 <b>Máquinas Eléctricas</b> .....	7
2.1.2.1 <b>Generador</b> .....	7

2.1.2.2 Transformador.....	8
2.1.2.3 Motor.....	8
2.2 Bombas.....	8
2.2.1 Bombas rotodinámicas.....	9
2.2.2 Elementos constitutivos.....	9
2.3 Turbinas.....	10
2.3.1 Turbina Francis.....	10
2.3.2 Elementos constitutivos.....	10
2.4 Máquinas eléctricas rotativas.....	12
2.4.1 Máquinas rotativas DC.....	13
2.4.1.1 Motores DC.....	14
2.4.1.2 Descripción de los sistemas de control de velocidad en motores de corriente continua.....	14
A. Regulación de velocidad por cambio en la resistencia en serie con el inducido.....	14
B. Regulación de velocidad por cambio en la tensión aplicada al inducido.....	15
C. Regulación de velocidad por cambio en la resistencia en serie con el inductor.....	15
2.4.2 Máquinas rotativas AC.....	16
2.4.2.1 Máquinas síncronas.....	16
2.5 Rectificador monofásico de doble onda (Onda Completa)...	17
2.5.1 Rectificador en puente de Graetz.....	17
2.6 Variador de velocidad.....	18
2.7 Puente rectificador controlado de seis pulsos.....	18
<b>CAPÍTULO III</b>	
MARCO METODOLÓGICO.....	20
3.1 Técnicas de recolección de datos.....	20



<b>CAPÍTULO IV</b>	
RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO.....	22
4.1 Levantamiento de información del banco T.F.....	23
4.2 Levantamiento de información del banco B.C.....	41
4.3 Levantamiento de información del banco C.A.....	49
<b>CAPÍTULO V</b>	
CRITERIO PARA EL DESARROLLO DE LAS PROPUESTAS.....	58
5.1 Propuesta banco Turbina Francis.....	67
5.1.1 Equipos seleccionado.....	67
5.1.2 Dispositivos de protección.....	68
5.1.3 Canalización hacia el equipo SIMOREG.....	69
5.1.4 Canalización hacia el motor.....	69
5.2 Propuesta banco Bomba Centrífuga.....	70
5.2.1 Equipos seleccionado.....	70
5.2.2 Dispositivos de protección.....	71
5.2.3 Canalización hacia el equipo SIMOREG.....	72
5.2.4 Canalización hacia el motor.....	72
5.3 Propuesta banco Compresor de Flujo Axial.....	73
5.3.1 Equipos seleccionado.....	73
5.3.2 Dispositivos de protección.....	74
5.3.3 Canalización hacia el equipo SIMOREG.....	75
5.3.4 Canalización hacia el motor.....	75
5.4 Propuesta del generador a ser acoplado a la Turbina Francis	76
5.5 Propuesta del mecanismo empleado para el censo del par mecánico.....	77
<b>CONCLUSIONES</b> .....	78
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	80
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	81
<b>BIBLIOGRAFÍAS</b> .....	82
<b>ANEXOS</b> .....	83

## LISTA O ÍNDICE DE TABLAS Y/O CUADROS

Tabla. 1. Aspectos más importantes del banco “Turbina Francis”.....	30
Tabla. 2. Características de operación nominal del motor asociado al banco “Turbina Francis”.....	31
Tabla. 3. Características de cada unidad rectificadora.....	34
Tabla. 4. Aspectos más importantes del banco “Bomba Centrífuga”.....	42
Tabla. 5. Características de operación nominal del motor asociado al banco “Bomba Centrífuga”.....	43
Tabla. 6. Aspectos más importantes del banco “Compresor de Flujo Axial”.....	49
Tabla. 7. Características de operación nominal del motor asociado al banco “Compresor de Flujo Axial”.....	50

## LISTA O ÍNDICE DE FIGURAS Y/O ILUSTRACIONES

Fig. 1. Partes de una máquina eléctrica rotativa.....	12
Fig. 2. Vista de planta y partes que constituyen el banco “Turbina Francis”.....	24
Fig. 3. Tableros y gabinetes que forman parte de la alimentación del banco “Compresor de Flujo Axial”.....	52
Fig. 4. Sistema de fuerza instalado dentro del gabinete del banco C.A	53
Fig. 5. Representación gráfica del sistema de control de velocidad del banco C.A.....	57
Fig. 6. Representación grafica de la placa informativa del motor del banco T.F.....	85
Fig. 7. Modelo y lugar de fabricación del arrancador del motor T.F.....	86
Fig. 8. Valores nominales de operación del arrancador del motor T.F.	86
Fig. 9. Placa informativa de la bomba del banco T.F.....	87
Fig. 10. Valores nominales de operación de la bomba del banco T.F.	87
Fig. 11. Placa informativa de la Turbina Francis.....	90
Fig. 12. Vista de planta y partes que constituyen el banco “Bomba Centrífuga”.....	96
Fig. 13. Representación gráfica de la placa informativa del motor del banco B.C.....	101
Fig. 14. Vista de planta y partes que constituyen el banco “Compresor de Flujo Axial”.....	107

## LISTA O ÍNDICE DE FOTOS

### **Levantamiento fotográfico banco Turbina Francis.**

Foto.1. Vista diagonal de la parte delantera del banco.....	25
Foto. 2. Arrancador y fusilera del motor.....	26
Foto. 3. Arrancador del motor.....	26
Foto. 4. Conexiones del arrancador.....	26
Foto. 5. Parte interna de la fusilera del motor.....	26
Foto. 6. Vista frontal de la parte delantera del motor.....	27
Foto. 7. Vista de planta del motor e identificación de la bornera.....	27
Foto. 8. Tacómetro empleado para medir las r.p.m del motor.....	27
Foto. 9. Mecanismo empleado para medir el par del motor.....	27
Foto. 10. Vista frontal de la parte delantera de la bomba acoplada al motor.....	28
Foto. 11. Turbina Francis.....	28
Foto. 12. Parte delantera de la demarcación del área de trabajo.....	29
Foto. 13. Descripción del sistema empleado para medir par en la máquina DC.....	32
Foto. 14. Freno de Prony.....	33
Foto. 15. Centro de control, distribución, protección y unidades rectificadoras.....	36
Foto. 16. Interruptor principal AC del centro de control, distribución y protección.....	37
Foto. 17. Interruptor aguas arriba de las unidades rectificadoras.....	37
Foto. 18. Gabinete de las unidades rectificadoras.....	37
Foto. 19. Interruptor principal DC.....	38
Foto. 20. Interruptor DC asociado al circuito eléctrico del banco T.F...	38

### **Levantamiento fotográfico banco Bomba Centrífuga.**

Foto. 21. Centro de control, distribución y protección B.C.....	46
Foto. 22. Interruptor principal del C.C.D.P.....	46
Foto. 23. Interruptor principal AC del circuito asociado a la mezzanina.	47
Foto. 24. Identificación del interruptor principal AC del circuito asociado a la mezzanina.....	47

### **Levantamiento fotográfico banco Compresor de Flujo Axial.**

Foto. 25. Gabinete asociado a las conexiones eléctricas del sistema de fuerza, control y protección.....	54
Foto. 26. Botones de accionamiento y parada para el proceso de conversión de AC a DC.....	54
Foto. 27. Conexiones y equipos en la parte interna del gabinete.....	54
Foto. 28. Cables de alimentación al contactor del motor de inducción	55
Foto. 29. Contactor asociado al motor de inducción.....	55
Foto. 30. Cables de alimentación del motor de inducción.....	55
Foto. 31. Motor de inducción del sistema de fuerza.....	56
Foto. 32. Generador DC del sistema de fuerza.....	56
Foto. 33. Tablero 1.....	56
Foto. 34. Tablero 2.....	56
Foto. 35. Tablero 3.....	56

### **Levantamiento fotográfico banco Turbina Francis. (Anexos)**

Foto. 36. Vista diagonal de la parte trasera del banco.....	84
Foto. 37. Vista frontal de la parte trasera del motor.....	85
Foto. 38. Conductores para la alimentación del motor.....	85
Foto. 39. Vista de planta de la bomba acoplada al motor.....	88
Foto. 40. Placa informativa de la bomba acoplada al motor.....	88
Foto. 41. Vista frontal de la parte trasera de la bomba acoplada al motor	88
Foto. 42. Vista diagonal de la parte delantera del tanque de agua.....	89
Foto. 43. Vista diagonal de la parte trasera del tanque de agua.....	89
Foto. 44. Vista interna del tanque de agua y placa orificio.....	89

Foto. 45. Vista interna del tanque de agua.....	89
Foto. 46. Freno empleado para disipar la energía generada por la T.F.	90
Foto. 47. Vista frontal de la parte trasera de la tubería.....	91
Foto. 48. Vista desde tres ángulos distintos de la tubería.....	91
Foto. 49. Demarcación del área de trabajo.....	92
Foto. 50. Parte trasera de la demarcación del área de trabajo.....	92
Foto. 51. Conexiones de las unidades rectificadoras.....	92
Foto. 52. Barras DC dispuestas a la salida de la unidad rectificadora..	92
Foto. 53. Puente rectificador. (Diodos).....	93
Foto. 54. Conductores para la transferencia de energía.....	93
Foto. 55. Conductores y conexión de la alimentación para las unidades rectificadoras.....	93
Foto. 56. Interruptor principal del circuito DC.....	94
Foto. 57. Gabinete asociado al interruptor del circuito que alimenta el motor del banco T.F.....	94
Foto. 58. Sistema de barras empleado para la distribución de energía DC dentro de los gabinetes.....	94
Foto. 59. Sistema de distribución de energía a través de conductores..	94
<b>Levantamiento fotográfico banco Bomba Centrífuga. (Anexos)</b>	
Foto. 60. Vista frontal de la parte delantera del banco.....	97
Foto. 61. Vista frontal del mecanismo empleado para medir par.....	99
Foto. 62. Vista diagonal de la parte delantera del banco.....	99
Foto. 63. Vista frontal de la parte delantera del sistema de control de velocidad.....	100
Foto. 64. Vista frontal de la parte delantera del sistema de protección del motor.....	100
Foto.65. Vista frontal del regulador de velocidad del motor.....	100
Foto. 66. Parte interna de la fusilera del motor.....	101
Foto. 67. Placa informativa del banco Bomba Centrífuga.....	102
Foto. 68. Vista frontal de la parte delantera del motor.....	102

Foto. 69. Vista de planta del motor.....	102
Foto. 70. Bomba Centrífuga.....	103
Foto. 71. Vista lateral del motor.....	103
Foto. 72. Conductores dispuestos para alimentar el motor.....	103
Foto. 73. Vista frontal de la demarcación del área de trabajo.....	104
Foto. 74. Vista lateral de la demarcación del área de trabajo.....	104
Foto. 75. Vista diagonal de la parte delantera de la demarcación del área de trabajo.....	104
<b>Levantamiento fotográfico banco Compresor de Flujo Axial.</b>	
<b>(Anexos)</b>	
Foto. 76. Vista frontal de la parte delantera del banco.....	108
Foto. 77. Vista frontal delantera del mecanismo usado para medir par.....	110
Foto. 78. Vista lateral del mecanismo usado para medir par.....	110
Foto. 79. Vista diagonal de la parte trasera del banco.....	110
Foto. 80. Vista frontal del sistema de control de velocidad y accionador del motor.....	111
Foto. 81. Regulador de velocidad del motor.....	111
Foto. 82. Accionador del motor.....	111
Foto. 83. Placa informativa del motor.....	112
Foto. 84. Vista diagonal de la parte delantera del motor.....	112
Foto. 85. Vista diagonal de la parte trasera del motor.....	112
Foto. 86. Vista de planta del motor.....	112
Foto. 87. Conductores que alimentan el motor.....	112
Foto. 88. Compresor de Flujo Axial.....	113
Foto. 89. Vista frontal de la demarcación del área.....	113
Foto. 90. Vista diagonal de la demarcación del área.....	113

## **SIGLAS**

UCV	Universidad Central de Venezuela
CEM	Compatibilidad electromagnética



## ABREVIATURAS

DC	Corriente continua
AC	Corriente alterna
Fig.	Figura
f.c.e.m	Fuerza contra electromotriz
f.e.m	Fuerza electromotriz
CV	Caballos de vapor
V <sub>m</sub>	Tensión máxima
T.F.	Turbina Francis
C.A.	Compresor de Flujo Axial
B.C	Bomba Centrifuga
C.C.D.P	Centro de control, distribución y protección.
I	Corriente
i <sub>i</sub>	Corriente en el inducido (armadura)
V	Tensión
P	Potencia Activa
f	Frecuencia
r.p.m	Revoluciones por minuto
h.p	Caballos de fuerza
S	Potencia aparente
f <sub>1</sub>	Frecuencia en el inductor
f <sub>2</sub>	Frecuencia en el inducido
f <sub>L</sub>	Frecuencia en la carga
n <sub>s</sub>	Velocidad periférica optima del rodete a la entrada para una T.F.

## INTRODUCCIÓN

La Universidad Central de Venezuela cuenta con el laboratorio de Termomáquinas perteneciente a la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ingeniería, donde los estudiantes de la asignatura Turbomáquinas realizan prácticas en los bancos: Bomba Centrífuga, Compresor de Flujo Axial y Turbina Francis, con el objetivo de caracterizar el funcionamiento mecánico de los elementos de éstos, afianzando el conocimiento adquirido en las aulas de clase.

Estos bancos cuya antigüedad aproximada es de 40 años están conformados por máquinas eléctricas DC (motores), los cuales son utilizados para la transmisión de potencia mecánica a las máquinas hidráulicas de los bancos. Estos motores presentan sistemas de regulación y ajuste de velocidad desactualizados; ocasionando que la ejecución de las prácticas y el necesario control en la velocidad de giro durante las mismas se realicen de manera imprecisa según comentan los estudiantes; así como la ausencia de equipos de medición que faciliten las lecturas de variables eléctricas que permitan un chequeo del comportamiento de estos motores durante su funcionamiento.

Considerando que los bancos a estudiar presentan elementos eléctricos de características diferentes, se realizará un levantamiento eléctrico detallado de los motores controlados y del sistema de regulación de velocidad instalado en la actualidad en cada banco; esto, con la finalidad de que la propuesta a presentar se adapte a las necesidades requeridas para cada sistema.

Bajo estas condiciones, el presente trabajo se basa en un estudio de equipos cuya labor sea proveer y garantizar el ajuste automático de la velocidad de operación de las máquinas DC a determinados puntos de carga en las pruebas desarrolladas, haciendo uso de elementos de última tecnología. Otro aspecto importante es la

selección de un generador síncrono que será acoplado a la Turbina Francis y cuyo propósito es la simulación de una central hidroeléctrica, permitiendo que los estudiantes de las escuelas de Mecánica y Eléctrica puedan familiarizarse con el funcionamiento de un centro de generación de electricidad a media escala. Adicionalmente se realizará la selección de todos los elementos y dispositivos necesarios para una adecuada instalación y correcto funcionamiento del sistema a proponer.

Se despliega en este informe los resultados de cada una de las actividades desarrolladas en el período de trabajo, mostrando de manera detallada, gráfica y documentada, los procesos ejecutados en dichas actividades; empleando los conocimientos teóricos adquiridos durante los años de estudios.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las prácticas realizadas en los bancos de pruebas: Bomba Centrífuga, Compresor de Flujo Axial y Turbina Francis del Laboratorio de Termomáquinas de la escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV, se desarrollan experiencias en las que los estudiantes deben controlar la velocidad de giro del motor DC asociado a estos bancos, estableciendo el ajuste de velocidad de forma manual una vez fijado el punto de operación; este proceso conlleva a retrasos en el desarrollo de las distintas actividades debido a lo complejo que se hace para los estudiantes alcanzar el ajuste inicial de trabajo de la máquina DC. Por lo que se requiere de un estudio extenso, con objetivo final de proponer la instalación de un equipo que controle la velocidad de la máquina DC de manera automática una vez se fije una carga mecánica determinada. Adicionalmente, los bancos no poseen sistemas de lectura y registro de las variables eléctricas, aspecto que es altamente importante para la evaluación de la transformación de energía en sistemas de accionamiento durante las pruebas semestrales.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Realizar un proyecto para mejorar el comportamiento eléctrico de tres bancos de pruebas instalados en el laboratorio de Termomáquinas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV.

### Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento de información del estado actual de los bancos de prueba.
- Realizar el levantamiento de los tableros de alimentación de cada banco.
- Estudiar los elementos de cada banco.
- Caracterizar el motor DC de cada banco.
- Estudiar los equipos de control de velocidad.
- Seleccionar los equipos de control de velocidad para cada motor.
- Proponer los equipos de medición de parámetros eléctricos, su conexión y ubicación en los bancos de pruebas, para determinar y comparar la eficiencia de las máquinas utilizadas.
- Proponer un dispositivo para medir par mecánico de los motores DC.
- Proponer un generador comercial asociado con un banco de resistencias para ser acoplado al eje de la Turbina Francis, para modelar el funcionamiento de una central hidroeléctrica.
- Elaborar un informe con las recomendaciones para mejorar el sistema eléctrico de los banco de pruebas.

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL TEÓRICO

#### *Máquina*

*Una máquina es un transformador de energía.*

Una máquina absorbe energía de una clase y restituye energía de otra clase (un motor eléctrico, por ejemplo, absorbe energía eléctrica y restituye energía mecánica) o de la misma clase pero transformada (una grúa o un torno, por ejemplo, absorbe y restituye energía mecánica).

*Las máquinas se clasifican en grupos: máquinas de fluido, máquinas herramientas, máquinas eléctricas etc.[1]*

#### *Máquina de fluido*

Son aquellas máquinas en que el fluido, o bien proporciona la energía que absorbe la máquina o bien aquellas en que el fluido es el receptor de energía, al que la máquina restituye la energía mecánica absorbida. En toda máquina de fluido hay un intercambio entre energía de fluido y energía mecánica (por ejemplo, el agua sale de una bomba con más presión que la que tenía a la entrada de la misma, porque la bomba ha restituido al agua la energía absorbida en el eje).

*Las máquinas de fluido se clasifican en máquinas hidráulicas y máquinas térmicas.[Ídem-355]*

### *Máquina hidráulica*

Es aquella en que el fluido que intercambia su energía no varía sensiblemente de densidad en su paso a través de la máquina, por lo cual en el diseño y estudio de la misma se hace la hipótesis de que  $\rho = \text{cte}$ . La bomba es, pues, una máquina hidráulica.[Ídem-356]

*Las máquinas hidráulicas se clasifican en turbomáquinas y máquinas de desplazamiento positivo.*[Ídem-357]

### *Turbomáquinas o máquinas de corriente*

Los cambios en la dirección y valor absoluto de la velocidad del fluido juegan un papel esencial. Máquina donde el órgano transmisor de energía (rodete) se mueve siempre con movimiento rotativo.[Ídem-357]

### *Máquinas de desplazamiento positivo o máquinas volumétricas*

El órgano intercambiador de energía cede energía al fluido o el fluido a él en forma de energía de presión creada por la variación de volumen. Los cambios en la dirección y valor absoluto de la velocidad del fluido no juegan papel esencial alguno. Máquinas alternativas o de émbolo, el órgano transmisor de energía puede moverse tanto con movimiento alternativo como con movimiento rotativo.

Las turbomáquinas y máquinas de desplazamiento positivo se subdividen en motoras y generadoras. Las primeras absorben energía del fluido y restituyen energía mecánica; mientras que las segundas absorben energía mecánica y restituyen energía al fluido.[Ídem-357]

### *Máquina térmica*

Es aquella en que el fluido en su paso a través de la máquina varía sensiblemente de densidad y volumen específico, el cual en el diseño y estudio de la máquina ya no puede suponerse constante.[Ídem-356]

En un *compresor* el fluido es un gas y un gas es muy compresible, y, por tanto, su volumen específico varía grandemente. Sin embargo, si el incremento de presión es pequeño (inferior a 100 mbar) el diseño del compresor llevado a cabo con la hipótesis de que el volumen específico del gas es constante resulta con frecuencia satisfactorio. En este caso la máquina se llama *ventilador*: el *ventilador*, pues, es una máquina hidráulica. No obstante, si la relación de compresión es grande (superior a los 100 mbar), no puede despreciarse la variación del volumen específico del gas a través de la máquina. En este caso la máquina se llama *compresor*: el *compresor*, pues, es una máquina térmica.[Ídem-356]

### *Máquina eléctrica*

Las máquinas eléctricas son el resultado de una aplicación inteligente de los principios del electromagnetismo y en particular de la ley de inducción de Faraday. Las máquinas eléctricas se caracterizan por tener circuitos eléctricos y magnéticos entrelazados. Las máquinas eléctricas realizan una conversión de energía de una forma a otra, una de las cuales, al menos, es eléctrica. En base a este punto de vista, estrictamente energético, es posible clasificarlas en tres tipos fundamentales. [2]

### *Generador*

Transforma la energía mecánica en eléctrica. La acción se desarrolla por el movimiento de una bobina en un campo magnético, resultando una f.e.m. inducida que al aplicarla a un circuito externo produce una corriente que interacciona con el



campo y desarrolla una fuerza mecánica que se opone al movimiento. En consecuencia, el generador necesita una energía mecánica de entrada para producir la energía eléctrica correspondiente.[Ídem-87]

### *Transformador*

Transforma una energía eléctrica de entrada (AC) con determinadas magnitudes de tensión y corriente en otra energía eléctrica de salida (AC) con magnitudes diferentes.[Ídem-87]

### *Motor*

Transforma la energía eléctrica en mecánica. La acción se desarrolla introduciendo una corriente en la máquina por medio de una fuente externa, que interacciona con el campo produciendo un movimiento de la máquina; aparece entonces una f.e.m inducida que se opone a la corriente y que por ello se denomina fuerza contraelectromotriz. En consecuencia, el motor necesita una energía eléctrica de entrada para producir la energía mecánica correspondiente.

Los generadores y motores tienen un acceso mecánico y por ello son máquinas dotadas de movimiento, que normalmente es de rotación; por el contrario, los transformadores son máquinas estáticas.[Ídem-87]

### *Bombas*

Es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa energía hidráulica. Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácido entre otros). Todo cuerpo sólido, líquido o gas es compresible. Sin embargo, el diseño de una bomba, por

ejemplo, se hace suponiendo que el líquido bombeado es incompresible o de densidad constante: la bomba, es pues, una máquina hidráulica.

*Las bombas se clasifican en bombas rotativas y bombas de desplazamiento positivo. [3]*

### *Bombas rotodinámicas*

Todas y solo las bombas que son turbomáquinas pertenecen a este grupo.

- Estas son siempre rotativas; y su órgano transmisor de energía se llama rodete.
- Se llaman rotodinámicas porque su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de la energía. [Ídem-369]

### *Elementos Constitutivos*

- Rodete, que gira solidario con el eje de la máquina y consta de un cierto número de álabes que imparten energía al fluido en forma de energía cinética y energía de presión.
- Corona directriz o corona de álabes fijos, que recoge el líquido del rodete y transforma la energía cinética comunicada por el rodete en energía de presión, ya que la sección de paso aumenta en esta corona en la dirección del flujo. Esta corona directriz no existe en todas las bombas; porque encarece su construcción; aunque hace a la bomba más eficiente.
- Caja espiral, que transforma también la energía dinámica en energía de presión, y recoge además con pérdidas mínimas de energía al fluido que sale del rodete, conduciéndolo hasta la tubería de salida o tubería de impulsión.
- Tubo difusor troncocónico, que realiza una tercera etapa de difusión o sea de transformación de energía dinámica en energía de presión. [Ídem-370]

## *Turbinas*

La turbina hidráulica es una turbomáquina motora, y por tanto esencialmente es una bomba rotodinámica que trabaja a la inversa.

Así como una bomba absorbe energía mecánica y restituye energía al fluido, una turbina absorbe energía del fluido y restituye energía mecánica. Teóricamente, suministrando energía hidráulica a la máquina e invirtiendo el flujo, una bomba podría trabajar como turbina. Prácticamente, el rendimiento sería muy bajo, y a veces nulo, exceptuando las máquinas especialmente diseñadas para trabajar como bomba y como turbina, como es el caso de la máquina doble bomba-turbina de las centrales de bombeo.[Ídem-460]

## *Turbina Francis*

La turbina Francis fue desarrollada por James B. Francis. Se trata de una turbomáquina motora a reacción y de flujo radioaxial.

Las turbinas Francis se clasifican en lentas, normales y rápidas, en todas ellas va aumentando la velocidad periférica óptima del rodete a la entrada.

En turbinas Francis normales el valor de  $n_s$  está comprendido entre 125 y 300. Es importante hacer referencia que el término rápido o lento no se refiere al número real de revoluciones, sino al número específico de revoluciones.[Ídem-477]

## *Elementos constitutivos*

- Caja espiral, transforma presión en velocidad.
- Distribuidor, la caja espiral y el distribuidor dirigen el agua al rodete con un mínimo de pérdidas, y transforman parte de la energía de presión en energía cinética. El distribuidor es de álabes orientables y sirve también para reducir

el caudal cuando la carga de la turbina disminuye, conservando el mejor rendimiento posible, es decir, reduciendo a un mínimo las pérdidas hidráulicas por fricción y choque.

- Rodete, transforma energía de presión y cinética en energía útil en el eje.
- Tubo de aspiración, en una turbina es el órgano de desagüe, pero se llama tubo de aspiración porque crea una aspiración o depresión a la salida del rodete, de esta manera el salto de presión en él es mayor, tiene dos funciones:
  1. Recuperar la energía cinética que tiene el agua a la salida del rodete; a costa de ella se crea en parte la depresión mencionada.
  2. Recuperar la energía geodésica que tiene el agua a la salida del rodete, porque este se ha de colocar elevado para proteger el grupo contra una posible inundación; a costa de ella se crea en parte la depresión mencionada.
- Sección de salida de la turbina, esta sección sirve para definir la altura neta,  $H$ , según las normas internacionales. [Ídem-460-472]

## Máquinas eléctricas rotativas

### Elementos Básicos de las Máquinas Eléctricas rotativas

Se puede decir que una máquina eléctrica rotativa se compone de dos partes, como se indica en la Fig. 1. hay una parte fija, que se denomina estator y que tiene

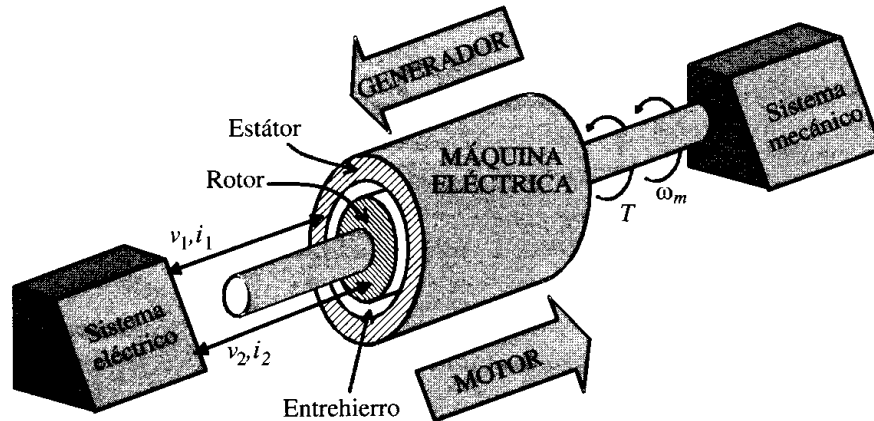


Fig. 1 Partes de una máquina eléctrica rotativa.

forma cilíndrica; en el caso de máquinas de gran velocidad, dicho cilindro es largo en comparación con su diámetro, mientras que para las de pequeña velocidad es relativamente corto. En la cavidad del estator se coloca el rotor, que como su nombre indica, es la parte giratoria de la máquina. El rotor se monta en un eje que descansa en dos rodamientos o cojinetes; éstos pueden estar montados en sendos pedestales que se apoyan en la bancada, o formar parte de las culatas o tapas que están sujetas a la carcasa del estator. El espacio de aire que separa el estator del rotor, necesario para que pueda girar la máquina, se denomina entrehierro, siendo el campo magnético existente en el mismo el que constituye el medio de acoplamiento entre los sistemas eléctrico y mecánico.

Normalmente tanto en el estator como en el rotor existen devanados hechos con conductores de cobre por los que circulan corrientes suministradas o cedidas a un

circuito exterior que constituye el sistema eléctrico. Uno de los devanados tiene por misión crear un flujo en el entrehierro y por ello se denomina inductor, y también excitación o campo. El otro devanado recibe el flujo del primero y se induce en él corrientes que cierran por el circuito exterior y se denomina inducido. Lo mismo puede situarse el inductor en el estator y el inducido en el rotor o viceversa; lo que realmente cuenta es el movimiento relativo entre ambos devanados y teóricamente puede elegirse cualquiera de ambas soluciones, aunque en la práctica su situación la determinan las condiciones tecnológicas de facilidad de construcción.

El estator y el rotor se construyen con material ferromagnético, de tal forma que para evitar pérdidas en el hierro suelen realizarse con chapas magnéticas de acero al silicio, convenientemente ranuradas para alojar en su interior los devanados correspondientes. [4]

*Las máquinas eléctricas rotativas se clasifican según el tipo de alimentación en máquinas AC y máquinas DC*

#### *Máquinas rotativas DC*

Constituida por una parte fija estator, el estator esta formado por la culata, que pertenece al circuito magnético inductor y una parte móvil rotor el cual esta formado por el inducido y el colector de delgas o conmutador. [Ídem-480]

*Las máquinas eléctricas rotativas DC se clasifican en: motores y generadores o dinamos.*

## *Motores DC*

Un motor de corriente continua transforma una energía eléctrica de entrada en una energía mecánica de salida. Esencialmente consiste en una dinamo trabajando en régimen inverso, lo que está de acuerdo con el principio de reciprocidad electromagnética formulado por Faraday y Lenz.[Ídem-514]

Los diferentes tipos de motores DC se clasifican de acuerdo con el tipo de excitación, de forma análoga a los generadores, y así se tiene: motores con excitación independiente, serie, derivación y compuesta.

*Descripción de los sistemas de control de velocidad en motores de corriente continua.*

- Regulación de velocidad por cambio en la resistencia en serie con el inducido:

Al introducir una resistencia adicional en el circuito del inducido se produce un aumento muy fuerte en la pendiente de la característica par-velocidad de la máquina. Este sistema es válido tanto para los motores con excitación en derivación como para motores con excitación independiente. Este procedimiento de control de velocidad es bastante antieconómico, ya que al circular una elevada corriente de inducido por esta resistencia adicional (reóstato) las pérdidas por efecto Joule son muy elevadas, y es por ello que solamente se utiliza en motores de pequeña potencia.[Ídem-521]

- Regulación de velocidad por cambio en la tensión aplicada al inducido

Este sistema de control de velocidad solamente se puede aplicar al motor con excitación independiente, ya que es el que tiene separados los circuitos de excitación y de inducido. Al reducir la tensión de alimentación la corriente  $I_i$  disminuye, por lo que el par desarrollado por el motor se reduce y, al hacerse inferior al par resistente, se produce una disminución de la velocidad de la máquina. Al contrario, si aumenta la tensión aplicada, se produce una elevación de la velocidad.[Ídem-522]

- Regulación de velocidad por cambio en la resistencia en serie con el inductor

Al introducir una resistencia adicional en el circuito del inductor se produce una disminución en el flujo inductor de la máquina (tanto si el motor es con excitación independiente o derivación), lo que se traduce en un aumento de la velocidad del motor. Para comprender la sucesión de fenómenos que resultan, téngase en cuenta que al introducir una resistencia adicional en el circuito inductor con ayuda de la resistencia o reóstato variable  $R_s$  se produce una disminución tanto de la corriente de excitación como del flujo inductor. Como consecuencia de ello, se reduce la f.c.e.m del motor, lo que provoca un aumento de la corriente del inducido absorbida por la máquina. El par del motor aumenta, ya que la disminución de flujo está compensada con creces por el aumento en la corriente del inducido. Como consecuencia del aumento del par motor se produce una elevación de la velocidad de la máquina.[Ídem-522]



## *Máquinas eléctricas rotativas AC*

### *Máquinas Síncronas*

Consisten en un inductor alimentado por c.c. ( $f_1=0$ ), que se denomina también devanado de excitación o campo, que suele colocarse en el rotor, alimentado por medio de anillos.

El inducido normalmente es trifásico y suele colocarse en el estator (en las máquinas de pequeña potencia se utiliza con frecuencia la posición inversa, es decir, se sitúa el inductor en el estator y el inducido en el rotor, existiendo entonces tres anillos en el rotor). Cuando funciona como generador (alternador), se introduce energía mecánica por el eje, y al aplicar DC al inductor, se obtiene en el inducido una f.e.m que se aplica a la carga. La corriente continua necesaria para alimentar el inductor se obtiene de una pequeña dinamo excitatriz, que está situada en el mismo eje de la máquina.

El alternador es con mucho la máquina generadora más importante que existe, y proporciona la mayor parte de energía eléctrica que hoy se consume; están situados en las centrales hidráulicas, térmicas y nucleares con potencia de hasta 1.000 MW; también se encuentran en los grupos electrógenos acoplados a motores de combustión interna.

Se observa que la frecuencia de la carga que coincide con la del inducido es directamente proporcional a la velocidad; como quiera que la frecuencia es una magnitud que debe mantenerse esencialmente constante, para que sea posible un enlace entre las diversas centrales de un país es preciso que los motores primarios que mueven los alternadores: turbinas hidráulicas del tipo Pelton, Francis y Kaplan, turbinas térmicas, etc., giren a velocidad constante; para ello se dota a estas últimas máquinas de reguladores tacométricos, que actúan sobre la entrada de agua o vapor en formas muy diversas.

La máquina síncrona puede funcionar también como motor introduciendo una corriente alterna de frecuencia  $f_2$  por el inducido (teniendo el inductor  $f_1=0$ ), apareciendo un par en el rotor que lo hace girar a una velocidad cuya magnitud es función directa de la frecuencia (velocidad de sincronismo). Este motor tiene el inconveniente de que gira a una velocidad fija, con el consiguiente problema de arranque y pérdida de sincronismo cuando se producen pares de frenado brusco. Los motores síncronos se utilizan cuando interesa una gran constancia en la velocidad, como en relojes eléctricos y en algunos tipos de servomecanismos. [Ídem-146]

*Rectificador monofásico de doble onda (Onda Completa)*

*Rectificador en puente de Graetz*

Es otra variante del rectificador doble onda. En este caso el circuito necesita cuatro diodos pero el transformador no necesita toma central, y además la tensión secundaria total es  $V$  (eficaz) o  $V_m$  su valor máximo, por lo que la tensión inversa de pico de cada diodo es sólo  $V_m$ . Durante el semiciclo positivo la tensión alterna del secundario del transformador sólo conducen dos de los diodos, que son los que están polarizados directamente, y la corriente circula a través de la carga  $R$ . Durante el semiciclo negativo, conducen los otros dos y el sentido de la corriente en  $R$  sigue siendo el mismo. En cada uno de los casos la tensión del transformador se refleja en la carga pero invirtiendo el semiciclo negativo. Se obtiene por tanto, en la carga una señal doble onda cuyo valor de continua será igual al determinado a partir de la ecuación (1). [Ídem-580]

$$V_{DC} = \frac{2 * \sqrt{2} * V_{RMS}}{\pi} \quad (1)$$

### *Variador de velocidad*

El Variador de Velocidad (VSD, por sus siglas en inglés Variable Speed Drive) es en un sentido amplio un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinarias, especialmente de motores. También es conocido como Accionamiento de Velocidad Variable (ASD, también por sus siglas en inglés Adjustable-Speed Drive). Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc.

Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo. La combinación de un motor de velocidad constante y de un dispositivo mecánico que permita cambiar la velocidad de forma continua (sin ser un motor paso a paso) también puede ser designado como variador de velocidad. [5]

### *B6C Puente rectificador controlado de seis pulsos*

En accionamiento eléctrico de alta potencia conviene utilizar convertidores trifásicos, ya que producen mayores tensiones de salidas y de menor rizado que los monofásicos y también contribuyen a un equilibrio mayor de la red en comparación con estos últimos. El esquema eléctrico es trifásico y en vez de estar constituido por diodos, la versión controlada esta conformada por tiristores, los cuales se encienden a intervalos de  $60^\circ$  (es decir,  $\pi/3$ ) y en los que las valores máximos son de  $\sqrt{3} \cdot V_m$ , siendo  $V_m$  la tensión pico de cada una de las fases del secundario del transformador. Para determinar la tensión de salida DC del puente rectificador controlado se hace uso de la ecuación (2).

$$V_{CCO} = \frac{3 * \sqrt{3} * V_m}{\pi} \quad (2)$$

Donde  $V_m$  representa la tensión pico por fase. [6]

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

La metodología utilizada fue analítica, propositiva, bibliográfica y de campo; con el objetivo de obtener información que permitió deducir conclusiones y recomendaciones aceptables, para poder brindar una propuesta adecuada a la escuela.

- Investigación Analítica.

Porque se han analizado los factores relacionados con el funcionamiento y mejora de los bancos Turbina Francis, Bomba Centrifuga y Compresor de Flujo Axial.

- Investigación Propositiva.

Porque el estudio ha comprendido la elaboración de un informe en el que se desarrolla una propuesta para mejorar la eficiencia en el funcionamiento de los sistemas evaluados.

- Investigación Bibliográfica.

Esta se realizó a través de la recopilación de información literaria relacionada con el tema: libros, manuales, entrevistas, así como cualquier documento que proporcionó información necesaria.

- Investigación de Campo.

La investigación de campo se realizó a través de visitas hechas al laboratorio y la información se obtuvo por medio de levantamiento técnico y entrevistas realizadas al profesor de la materia y auxiliares de las prácticas.

Para cumplir con los objetivos propuestos se procedió:

1. Se realizaron visitas al laboratorio con el propósito de recabar información base de las características de los bancos: T.F., B.C. y C.A.
2. Por medio de inspección se recabó información del estado de los elementos de los bancos y de los tableros de alimentación de los motores eléctricos asociados.
3. Se asistió a prácticas ejecutadas por los estudiantes para tener una perspectiva clara del uso de los bancos y reconocer posibles averías e irregularidades en el sistema de funcionamiento.
4. Se realizó una investigación de los equipos empleados actualmente para el control de velocidad en máquinas DC.
5. Se realizó una investigación del generador síncrono a proponer y que será acoplado a la T.F.
6. Luego de seleccionar el generador síncrono para el banco T.F. y el variador de velocidad adecuado para cada motor, se realizó el dimensionamiento de los elementos necesarios para la instalación y funcionamiento, aspectos como:
  - 6.1 Diagramas de conexión.
  - 6.2 Elementos de protección.
  - 6.3 Canalización.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADO DEL LEVANTAMIENTO**

Se realizó el levantamiento de los bancos de prueba con la intención de conocer las partes que lo conforman, la antigüedad, el funcionamiento, el propósito y las condiciones de todos sus elementos. Ésto enfocado en tener una perspectiva clara de la necesidad de cada banco y así presentar una propuesta certera a los diferentes problemas que se encontraron.

En vista de que el banco en estudio es un banco electromecánico; es decir, está conformado por piezas eléctricas y mecánicas, el presente levantamiento se clasificó en dos etapas, una primera etapa donde se especifica toda la parte eléctrica así como sus condiciones y una segunda etapa donde se puntualizan los equipos mecánicos y el estado bajo el cual estos se encuentran.

La información recabada durante la etapa del levantamiento eléctrico estuvo sustentada en el Código Eléctrico Nacional norma 200:2004 en su sección 110, “*Requisitos Para Instalaciones Eléctricas*” [7], en esta etapa se tomaron en cuenta aspectos como: condición del área de trabajo, canalización, tensión y conductores de alimentación del motor, integridad de los equipos, conexiones eléctricas, marcación, identificación de los medios de desconexión de los equipos y espacio de trabajo.

Dado que se desconoce la existencia de alguna norma nacional enfocada a levantamientos para equipos y partes mecánicas, en esta parte del trabajo se tomaron en cuenta aspectos como: integridad de los equipos, identificación de sus partes y marcación del espacio de trabajo, puntos a los que se hace referencia en la sección 110 del CEN.

Haciendo uso del CEN en su sección 110 que establece los aspectos a considerarse para el levantamiento técnico de un sistema, se desarrolla el mismo esquema de evaluación para los bancos: T.F., B.C. y C.A. Con la finalidad de no hacer repetitivo el despliegue del contenido; se presenta en detalle la descripción del primer banco Turbina Francis y se hace referencia en los otros bancos sólo a características de alta importancia, las cuales no se observaron en los anteriores. El resto de la información en detalle se encuentra en los anexos.

## **LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS BANCOS.**

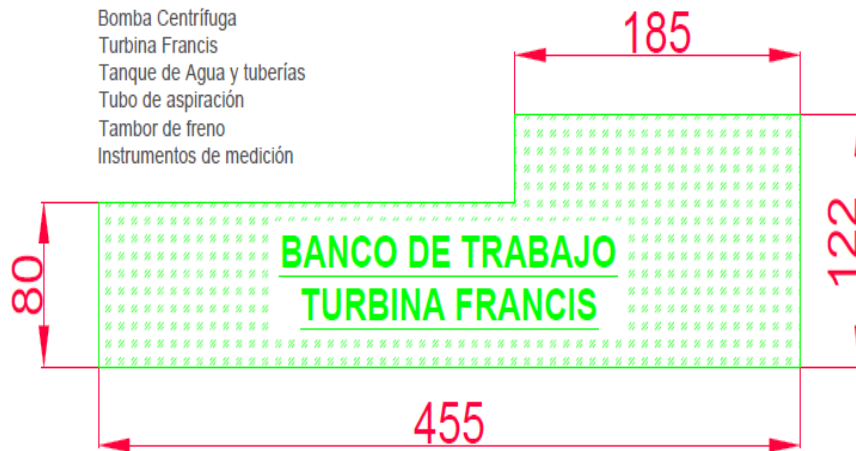
### **TURBINA FRANCIS**

El banco Turbina Francis es un sistema que cuenta aproximadamente con más de cuarenta años instalado; se encuentra ubicado en la mezzanina del laboratorio de Termomáquinas, escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela. Actualmente no está operativo debido a que uno de los manómetros del tanque de almacenamiento de agua está partido. Antes de que el banco T.F saliera de servicio, en él podían realizarse semestralmente ocho pruebas de carácter educativas con período de duración de treinta minutos por prueba, que están orientadas a la formación de los estudiantes de dicha escuela y cuyo propósito es obtener las curvas características de funcionamiento mecánico del banco. En la figura 2 podemos observar una vista de planta del banco en estudio, el cual ocupa un área aproximada de 4,5 m<sup>2</sup>, conformada por una máquina eléctrica (motor de corriente continua), fusilera, arrancador del motor, sistema de canalización de la alimentación del motor, dos turbomáquinas (Bomba Centrífuga y Turbina Francis), tanque de almacenamiento de agua, tuberías, tambor de freno, tubo de aspiración e instrumentos de medición (tacómetro, manómetro, dinamómetro, placa orificio y manómetro diferencial), elementos que pueden observarse seguidamente en la Foto 1.



# BANCO DE TRABAJO TURBINA FRANCIS

Banco constituido por:  
Regulador de velocidad  
Motor DC  
Bomba Centrífuga  
Turbina Francis  
Tanque de Agua y tuberías  
Tubo de aspiración  
Tambor de freno  
Instrumentos de medición



Vista de planta del banco de trabajo, partes por las cuales esta constituido y espacio ocupado por sus partes eléctricas y mecánicas.

Unidades: Cm

Orientación



Fig. 2 Vista de planta y partes que constituyen el banco Turbina Francis.

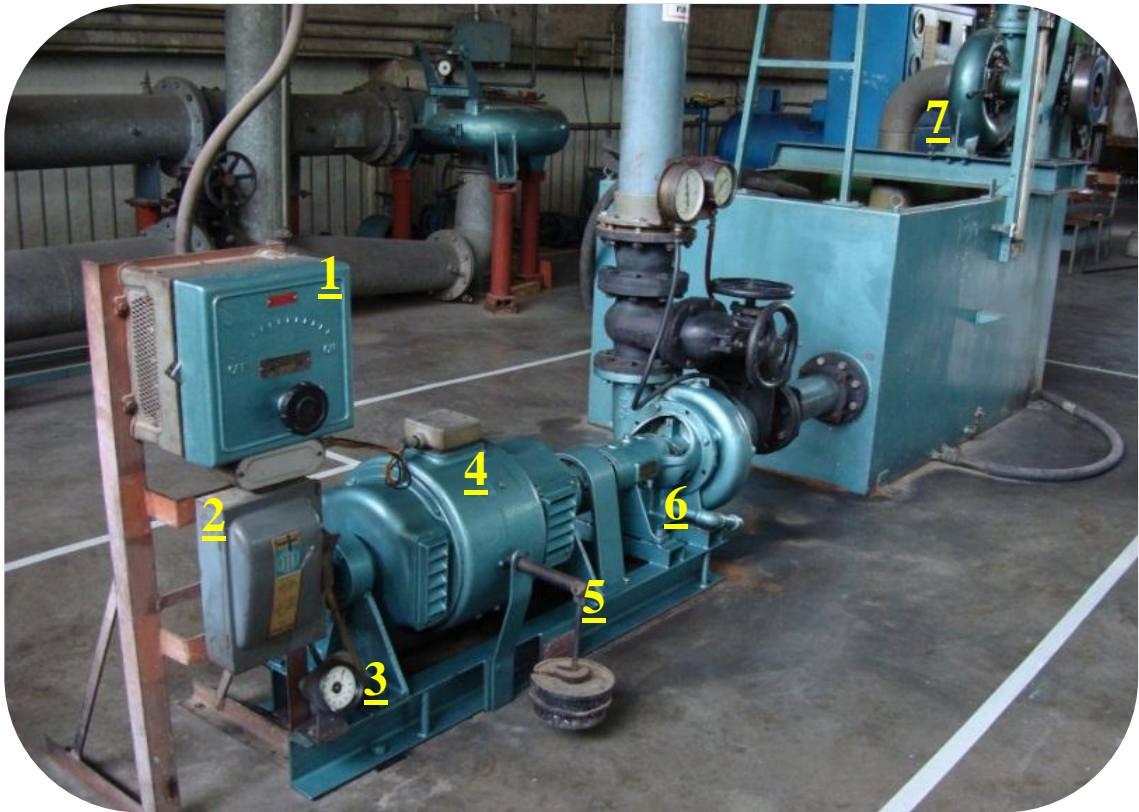


Foto. 1. Vista diagonal de la parte delantera del banco.

- 1) Arrancador.
- 2) Fusilera.
- 3) Tacómetro del motor DC.
- 4) Motor DC.
- 5) Mecanismo de medir par en el motor.
- 6) Bomba centrífuga.
- 7) Turbina Francis.

A continuación se presentan fotos más detalladas de cada una de las siete partes eléctricas y mecánicas que fueron mencionadas anteriormente.

- Arrancador y fusilera



Foto. 2. Arrancador y fusilera del motor.

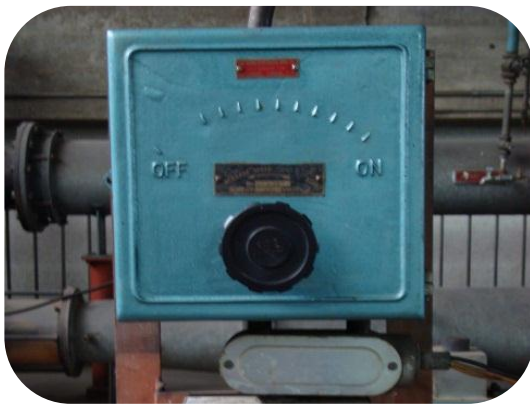


Foto. 3. Arrancador del motor.

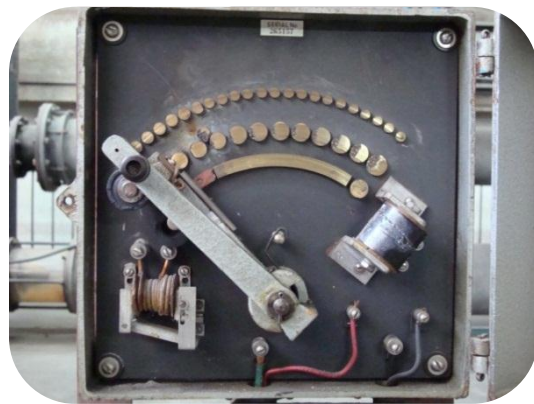


Foto. 4. Conexiones del arrancador.



Foto. 5. Parte interna de la fusilera del motor.

- Motor DC



Foto. 6. Vista frontal de la parte delantera del motor.



Foto. 7. Vista de planta del motor e identificación de la bornera.

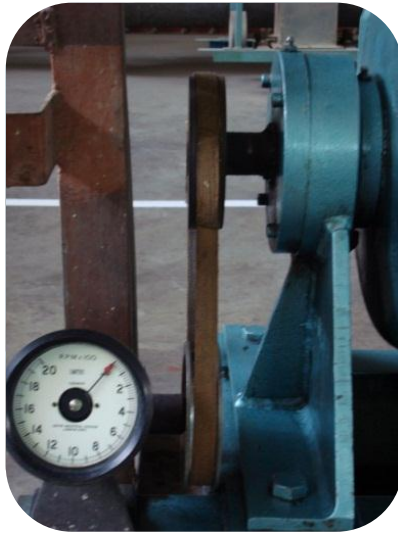


Foto. 8. Tacómetro empleado para medir las r.p.m del motor.



Foto. 9. Mecanismo empleado para medir el par del motor.

- Bomba Centrífuga del banco en estudio

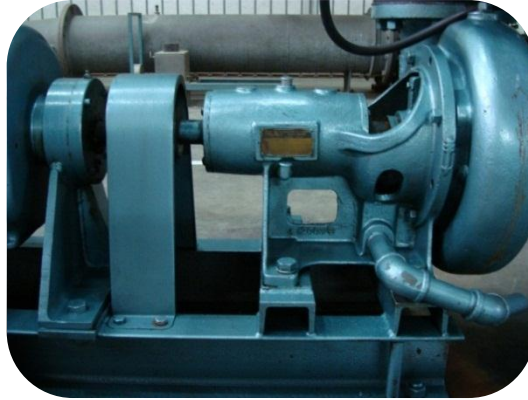


Foto. 10. Vista frontal de la parte delantera de la bomba acoplada al motor.

- Turbina Francis

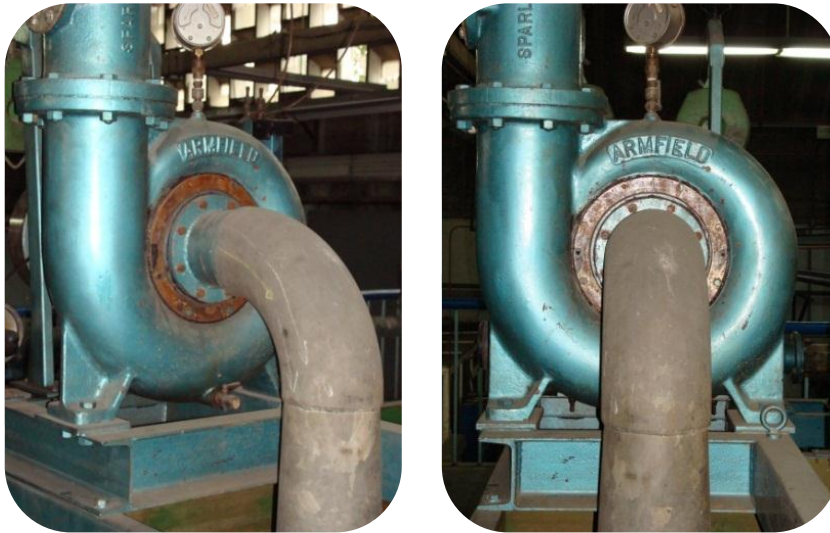


Foto. 11. Turbina Francis.

- Demarcación del área de trabajo



Foto. 12. Parte delantera de la demarcación del área de trabajo.

Prácticas que se realizan en el banco:

- Nombre de la práctica: Turbina Francis
- Objetivo: Obtener las curvas característica de potencia hidráulica ( $N_h$ ), potencia en el eje ( $N_e$ ) y rendimiento total ( $\eta_T$ ) versus caudal ( $Q$ ), manteniendo la velocidad de giro constante para una turbina Francis (Marca Armfield).

La ficha que a continuación se muestra, Tabla. 1 es una representación de aspectos importantes por los cuales está constituido el banco “Turbina Francis” y las condiciones en las que se encontraron sus partes durante la inspección.

Tabla. 1. Aspectos más importantes del banco “Turbina Francis”.

<b>Nombre Del Banco de Prueba:</b>	Turbina Francis		
<b>Antigüedad del Banco:</b>	Más de cuarenta años aproximadamente		
<b>Ubicación del Banco:</b>	Mezzanina del laboratorio de Termomáquinas, escuela de ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela		
<b>Uso del Banco:</b>	Fines educativos (Demostraciones y prácticas en algunas materias)		
<b>Tipo de Banco:</b>	Electromecánico		
<b>Tiempo de Uso del Banco por Semestre en (h):</b>	Cuatro horas		
<b>Estado del Banco:</b>	Banco no operativo a causa de partidura en un manómetro del tanque, se apreció en la superficie y carcasa de los equipos que lo conforman mucho polvo, excremento de aves y oxido.		
<b>Partes del Banco:</b>	Parte Eléctrica: Motor DC, variador de velocidad, canalización y fusilera		
	Parte Mecánica: Tanque, tubería, bomba centrífuga, turbina Francis, tambor de freno e instrumentos de medición.		
<b>Dimensiones del Banco:</b>	<b>Alto (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>
	2,75	1,22	4,55
<b>Dimensiones del Espacio de trabajo:</b>	<b>Alto (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>
	Observar vista de planta		

Como se presentó en la Tabla. 1, el banco “*Turbina Francis*”, esta constituido por un motor de corriente continua cuyas características de operación nominal vienen dadas por:

Tabla. 2 Características de operación nominal del motor asociado al banco “*Turbina Francis*”.

<b>Potencia (hp)</b>	7,5
<b>Tensión (V)</b>	250
<b>IARM (A)</b>	26,2
<b>Velocidad (rpm)</b>	960/1450
<b>Tipo de conexión</b>	COMPD
<b>Alimentación</b>	DC

Durante la inspección visual se realizaron mediciones de la tensión de alimentación del motor, ésto con el fin de corroborar que el valor registrado cumpla con el estipulado en la placa (250 V), para ello se midió el nivel de tensión en la fusilera y en la bornera del motor, para ambos casos el valor de tensión registrado por el equipo de medición correspondió a 243 V, existiendo aproximadamente una diferencia de tensión del 3% respecto al valor nominal de operación. Es importante mencionar que dicho valor de tensión fue medido estando el motor en vacío por tanto no debería de haber caída de tensión en el cable porque no hay circulación de corriente a través de él.

### **Levantamiento del sistema empleado para medir el par mecánico del motor del banco “*Turbina Francis*”.**

El sistema empleado para medir el par mecánico del motor DC consta de una barra de hierro soldada a la carcasa de la máquina y a la que se sujeta en su extremo una base que permite colocar masas de distintos valores; de esta manera y conociendo



el valor de la gravedad, conjuntamente con un nivel adosado en el motor se calcula la fuerza de las masas mediante la ecuación (3).

Considerando que la carcasa del motor es libre de movimiento para permitir la medición, dicho proceso consiste en ir agregando masas a la base de la barra soldada al motor hasta alcanzar la nivelación de la carcasa (hacer nula la fuerza contraelectromotriz), luego conocido la longitud de la barra soldada y el peso de las masas, se determina entonces mediante la ecuación (4) el par en el eje.

Dicho procedimiento se realiza estando el motor en funcionamiento.

$$P = m * g \quad (3)$$

$$T = P * l \quad (4)$$

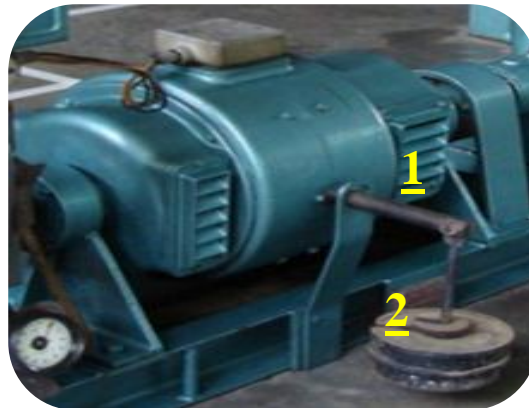


Foto. 13. Descripción del sistema empleado para medir par en la máquina DC.

- 1) Barra soldada a la carcasa de la máquina.
- 2) Masas empleadas para medir la fuerza de equilibrio.

El otro mecanismo empleado para medir par es el freno de Prony, el cual consta de un disco de metal sujeto por medio de una banda a la cual se conecta en sus extremos sendos dinamómetros que permiten censar fuerza y conociendo el radio del disco se determina mediante la ecuación (4) el par de la máquina, valor requerido para calcular la potencia de salida de la turbina.

Cabe resaltar que dicho sistema carece de la banda que se sujeta a los dinamómetros, por lo que en la foto 14, se hace una simulación de ésta.

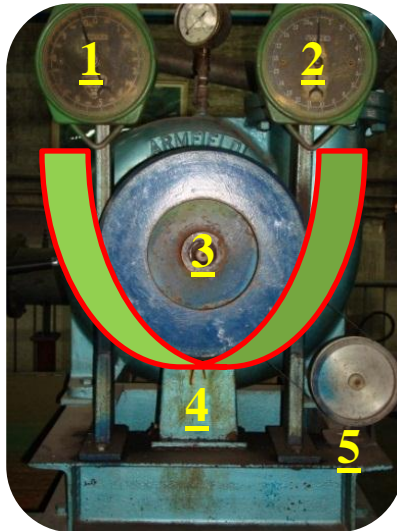


Foto. 14. Freno de Prony.

- 1) Dinamómetro 1.
- 2) Dinamómetro 2.
- 3) Disco de metal.
- 4) Banda que se sujeta a los dinamómetros.
- 5) Polea que permite censar las r.m.p. de la T.F.

## **Levantamiento del tablero de alimentación eléctrica que forma parte del banco “Turbina Francis”.**

En esta etapa del trabajo se realizó una visita al banco con el fin de ubicar y observar las condiciones físicas bajo las cuales se encuentran los tableros, gabinetes eléctricos y sus elementos que lo conforman; al igual que identificar las conexiones y partes eléctricas que se encargan de alimentar el motor dispuesto para la transmisión de potencia mecánica a la turbomáquina del banco.

Se inspeccionó su estado físico, el cual es bueno, considerando que todas sus puertas abren y que la rigidez mecánica en general tanto en su interior como exterior se ve conservada. Adicionalmente el sistema instalado en las puertas para corte de la energía eléctrica durante aperturas de éstas en estado operativo de cualquiera de los bancos funciona correctamente.

Se realizó un chequeo visual de la procedencia de la energía eléctrica que llega al gabinete. Tomando en cuenta que la alimentación eléctrica del banco debe realizarse en corriente continua dadas las características de operación del motor, se apreció que para la obtención de la tensión DC se hace uso de dos unidades rectificadoras trifásicas, previstas para realizar la conversión de energía eléctrica alterna a continua; unidades instaladas en una sección del gabinete anteriormente descrito, cuya alimentación principal llega al centro de control, distribución y protección en corriente alterna, que luego es distribuida a cada sector del laboratorio para ser aprovechada respectivamente por las distintas áreas.

Las características principales de cada unidad rectificadora son:

Tabla. 3. Características de cada unidad

AC	Tensión(V)	416	DC	Tensión(V)	125/250
	Frecuencia(Hz)	60		Corriente(A)	1600
	Fases	3		Potencia(kW)	200

Debido a la ausencia de personal con habilidad en el área eléctrica en dicho laboratorio y dado el desconocimiento de la correcta operación de los interruptores para energizar el banco en estudio, se procedió a identificar y describir los interruptores que deben estar en ON para una adecuada alimentación del motor del banco T.F. En la Foto. 15 se puede observar la identificación de los interruptores que obligatoriamente deben estar cerrados.

Como se menciona anteriormente el centro de control, distribución y protección del laboratorio de Termomáquinas tiene una serie de circuitos asociados, alimentando de manera independiente distintas áreas del lugar. Leyendo la información de la Foto. 15, de izquierda a derecha encontramos el interruptor principal del C.C.D.P., nodo que tiene asociado entre otros el circuito de la unidad rectificadora y que debe de estar en condición ON para que desde la acometida principal se alimente el laboratorio, si este interruptor esta en condición de OFF el laboratorio entero queda desprovisto de energía eléctrica; seguidamente en la foto tenemos el interruptor asociado a las unidades rectificadoras el cual debe de estar igualmente en ON para permitir que éstas entren en servicio y así cumplan con su función que es convertir la energía eléctrica AC en DC, si su estado es OFF no llega alimentación a las unidades y por tanto no se logra rectificar la señal. Posteriormente encontramos el interruptor principal DC el cual tiene como función permitir el paso de energía eléctrica hacia los bancos que funcionan con corriente continua entre ellos tenemos algunos que están en la mezzanina como es el caso del banco Turbina Francis, y por ultimo encontramos el interruptor principal del banco T.F., el cual alimenta única y exclusivamente el circuito ramal desde este ultimo interruptor hasta la fusilera a la que está conectado el motor eléctrico en estudio.



Foto. 15. Centro de control, distribución, protección y unidades rectificadoras.

- 1) Interruptor principal AC del centro de control, distribución y protección.
- 2) Interruptor AC aguas arriba de las unidades rectificadoras.
- 3) Unidades rectificadoras.
- 4) Interruptor principal DC.
- 5) Interruptor DC asociado al circuito eléctrico del banco T.F.



Foto. 16. Interruptor principal AC del centro de control, distribución y protección.



Foto. 17. Interruptor aguas arriba de las unidades rectificadoras.



Foto. 18. Gabinete de unidades rectificadoras.



Foto. 19. Interruptor principal DC.



Foto. 20. Interruptor DC asociado al circuito eléctrico del banco T.F.

### **Levantamiento de la fusilera que forman parte del banco “Turbina Francis”.**

Durante la inspección visual realizada al banco en estudio se observó que el sistema principal de protección asociado al motor eléctrico está constituido por un sistema de fusibles. Una vez asegurado que el puente rectificador de diodos no estuviera operativo y que los interruptores pertinentes permanecieran en estado OFF, se procedió a destapar la fusilera de los dispositivos de protección principal del motor y así realizar el levantamiento interno en cuanto a condiciones y dispositivos que en él se encontraban.

Se encontraron dos fusibles, uno asociado al terminal positivo y el otro al negativo, también se observaron los respectivos conductores encargados de transmitir la energía del punto de alimentación a la bornera del motor y los conductores de puesta a tierra. Se trató de verificar las características nominales de operación de los

dispositivos de protección (Fusibles), pero no se logró registrar información alguna a causa de que ninguno de ellos presentaba su respectiva etiqueta característica.

Luego de concluido el levantamiento del sistema eléctrico, se procedió a realizar una inspección de las condiciones de las carcasas y piezas mecánicas; en general se encontró un alto grado de suciedad debido a la falta de mantenimiento de las instalaciones y del banco. Se destaca la falta de delimitación del banco, que de efectuarse permitiría estimar la cantidad de estudiantes por banco de trabajo, evitando que un volumen alto de personas interfiera con las actividades de los bancos vecinos dado que el espacio en la mezzanina, específicamente donde se encuentra la T.F. es bastante reducido, esta consideración también facilitaría ejecutar algún mantenimiento y/o reparaciones en el banco.

### **Estudio de los elementos del banco Turbina Francis.**

Dentro de los elementos que forman parte del banco Turbina Francis y que fueron mencionados en la Tabla. 1 tenemos:

Motor DC: Máquina Crompton Parkinson dispuesta para la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, la cual es transmitida a una bomba centrífuga por medio de un acople en sus ejes, las especificaciones de operación nominal están presentadas en la Tabla.2.

Bomba Centrífuga: Máquina Armfield dispuesta para la transformación de energía mecánica en energía hidráulica, el fluido en su paso a través de la turbomáquina adquiere un incremento de energía que es aprovechado por la turbina Francis; la bomba centrífuga tiene en su entrada una válvula que permite controlar el caudal que pasa a través de ella, regulando la cantidad de fluido que recibe la turbina



Francis y así la potencia transformada, las especificaciones de operación nominal están presentadas en la Fig.10.

Turbina Francis: Máquina Armfield dispuesta para la transformación de energía hidráulica a mecánica, el fluido en su paso a través de la turbomáquina sufre un decremento de energía, en este caso y de manera inversa a la bomba centrífuga parte de la energía que llega a los alavés de la turbina y que es transportada por el fluido es convertida en energía mecánica en su eje, la turbina Francis cuenta con unas paletas directrices que permiten regular la entrada de fluido hacia los alavés y de esta manera se ajusta la velocidad de giro y la potencia de salida.

Freno de Prony: Dicho mecanismo cumple dos funciones en el banco, el primero es que mediante este sistema se puede determinar el par mecánico y a partir de él calcular el valor de la potencia de salida de la turbina Francis, la segunda función es disipar la energía mecánica de salida en calor la cual es absorbida por la banda y el disco que conforman el freno.

Tuberías: Sistema empleado para la transmisión del fluido a lo largo del banco, su función es canalizar el agua que sale del tanque de almacenamiento hasta la turbina Francis.

## **Caracterización del Motor DC del banco Turbina Francis**

Se visito el banco Turbina Francis con el propósito de determinar los parámetros de operación de la máquina eléctrica DC entre ellos modelar el motor y determinar las curvas características más importantes.

Considerando que el banco esta fuera de servicio y que la máquina eléctrica no se puede poner en funcionamiento, no se lograron desarrollar las pruebas que implicaban tener el motor en marcha.

Para la medición de los devanados de la máquina (resistencia de armadura y campo) el laboratorio de máquinas de la escuela de Ingeniería Eléctrica facilitó un puente de Kelvin, y los valores obtenidos durante la medición son:

$$R_a=1,2\pm 0,05 \Omega$$

$$R_f=248\pm 0,05\Omega$$

Para el caso de las curvas características se pensó en llevar la máquina a la escuela de eléctrica y allí realizar las pruebas pero se descarto esta opción pues de poder realizar las pruebas el motor estaría funcionando bajo características totalmente distintas a las reales y los valores de caracterización no serian los acordes con su funcionamiento.

## **BOMBA CENTRÍFUGA**

La ficha que a continuación se presenta, Tabla. 4. es una representación de aspectos importantes por los cuales está constituido el banco “Bomba Centrífuga” y las condiciones en las que se encontraron sus partes durante la inspección.

Tabla. 4. Aspectos más importantes del banco “Bomba Centrífuga”.

<b>Nombre Del Banco de Prueba:</b>	Bomba Centrífuga		
<b>Antigüedad del Banco:</b>	Más de cuarenta años		
<b>Ubicación del Banco:</b>	Mezzanina del laboratorio de Termomáquinas, escuela de ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela		
<b>Uso del Banco:</b>	Fines educativos (Demostraciones y prácticas en algunas materias)		
<b>Tipo de Banco:</b>	Electromecánico		
<b>Tiempo de Uso del Banco por Semestre en (h):</b>	Cuatro horas		
<b>Estado del Banco:</b>	Banco no operativo debido a averías en la unidad rectificadora, se aprecia en la superficie y carcasa de los equipos que lo conforman mucho polvo, excremento de aves y oxido.		
<b>Partes del Banco:</b>	Parte Eléctrica: Motor DC, variador de velocidad, canalización y fusilera.		
	Parte Mecánica: Tanques, tuberías, bomba centrífuga e instrumentos de medición.		
<b>Dimensiones del Banco:</b>	<b>Alto (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>
	2,73	0,63	2
<b>Dimensiones del Espacio de trabajo:</b>	<b>Alto (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>
	Observar vista de planta		

Como se presentó en la Tabla. 4, el banco “Bomba Centrífuga”, esta constituido por un motor de corriente continua cuyas características de operación nominal se muestran en la Tabla. 5.

Tabla. 5. Características de operación nominal del motor asociado al banco “Bomba Centrífuga”

<b>Potencia (hp)</b>	2,1
<b>Tensión (V)</b>	210
<b>Velocidad (rpm)</b>	2900
<b>Tipo de conexión</b>	Shunt
<b>Alimentación</b>	DC

Es importante tomar en cuenta que la Tabla. 5. no proporciona el valor de la corriente de armadura, valor relevante de conocer con el fin de no excederlo durante el funcionamiento del banco y evitar que la máquina eléctrica se sobrecargue en la ejecución de las prácticas. Sin embargo conociendo la tensión de alimentación y la potencia expresada en caballos de fuerza, el Código Eléctrico Nacional norma 200:2004 en su sección 430 “*Motores, Circuitos y Controladores de Motores*”[9], presenta la Tabla 430.247 donde a partir de la información mencionada (V y hp) se puede calcular la corriente nominal de operación de la máquina. En este caso dado que la tabla no presentaba el valor de corriente para este motor en particular, tuvo que realizarse interpolación para determinarla, obteniéndose una magnitud de 9,651 A.

Durante el levantamiento se midió la tensión de alimentación del motor, esto con el fin de corroborar que el valor registrado cumple con el estipulado en la placa (210V), para ello se midió el nivel de tensión en la fusilera y en la bornera del motor.

En el proceso de medición del nivel de tensión en la fusilera se apreció que la alimentación aguas arriba de los fusibles se realiza en corriente alterna a un valor de 228Vrms el cual alimenta un puente rectificador de onda completa y que tiene como objetivo hacer la transformación de corriente alterna a continua para luego alimentar el campo y la armadura de la máquina. Posteriormente se realizaron mediciones en la bornera del motor pero no se logró registrar valor alguno, razón por la cual se inspeccionó el sistema de rectificación y elementos que se encontraban en la caja de

instalación, percatándose de que parte de los cables están sulfatados y uno de los fusibles que forman parte del conjunto está partido.

Considerando que no se logró registrar los valores de alimentación aplicados a la armadura y campo de la máquina, se calculó el valor de tensión continua que debería suministrársele a partir de la ecuación (1) la cual surge de la teoría de rectificación de onda completa, para dicho cálculo se tomó en cuenta el valor de tensión alterna registrada (228 Vrms).

$$V_{DC} = \frac{2 * \sqrt{2} * 228}{\pi} \approx 205V$$

El valor de tensión continua aplicado en la bornera del motor y calculado a partir de la ecuación 1 corresponde a 205 V DC, valor teórico, existiendo aproximadamente una diferencia de tensión del 3% respecto a la tensión nominal de operación estando la máquina en vacío, aspecto a considerar dado que no hay circulación de corriente a través de los conductores y que dicha diferencia podría aumentar en lo que entre en funcionamiento la unidad.

### **Levantamiento del tablero de alimentación eléctrica que forma parte del banco “Bomba Centrífuga”.**

En esta etapa del trabajo se realizó una visita al banco con el fin de ubicar y observar las condiciones físicas bajo las cuales se encuentran los tableros, gabinetes eléctricos y sus partes que lo conforman; al igual que identificar las conexiones y

partes eléctricas que se encargan de alimentar el motor eléctrico dispuesto para la transmisión de potencia mecánica a la turbomáquina del banco.

Se inspeccionó su estado físico, el cual es bueno, considerando que todas sus puertas abren y que la rigidez mecánica en general tanto en su interior como exterior se ve conservada. Adicionalmente el sistema instalado en las puertas para corte de la energía eléctrica durante aperturas de éstas en estado operativo de cualquiera de los bancos funciona correctamente.

Considerando que la alimentación del banco se realiza en corriente alterna dadas las circunstancias descritas anteriormente y tomando en cuenta que la tensión registrada por el voltímetro del C.C.D.P es de  $400 \pm 20$  V, se alimenta por medio de una fase y el neutro el puente rectificador del banco llegando a él una tensión de 228 Vrms.

Como se mencionó en la T.F. el personal que trabaja en el laboratorio desconoce la correcta operación de los interruptores para la energización del banco B.C. razón por cual en la Foto. 21 se identifican y describen los interruptores que deben estar en condición de ON para tener una adecuada alimentación hacia el motor. Leyendo la información de la imagen de izquierda a derecha encontramos el interruptor principal del laboratorio que fue descrito en la T.F; seguido a él tenemos el interruptor AC asociado a la alimentación de la mezzanina y en el que se encuentra el circuito eléctrico de la Bomba Centrífuga y previsto para alimentar su unidad rectificadora.



Foto. 21. Centro de control, distribución y protección B.C.

- 1) Interruptor principal AC del centro de control distribución y protección.
- 2) Interruptor principal AC de los circuitos asociados a la mezzanina.



Foto. 22. Interruptor principal del C.C.D.P.



Foto. 23. Interruptor principal AC del circuito asociado a la mezzanina.



Foto. 24. Identificación del interruptor principal del circuito asociado a la mezzanina.

### **Levantamiento de la fusilera que forma parte del banco “Bomba Centrífuga”.**

Durante la inspección visual realizada al banco en estudio se observó que el sistema principal de protección asociado al motor eléctrico esta constituido por un sistema de fusibles. Una vez asegurado de que el interruptor aguas arriba de la



fusilera estuviera abierto, se procedió a destaparla y así realizar el levantamiento interno en cuanto a condiciones y dispositivos que se encontraban.

En su interior estaban dispuestos dos fusibles, uno asociado a la alimentación y otro al retorno, también se observó los respectivos conductores encargados de transmitir la energía del punto de alimentación a la bornera del motor y los conductores de puesta a tierra. Se trato de verificar las características nominales de operación de los dispositivos de protección (Fusibles), apreciándose características distintas en cuanto a la corriente que estos son capaces de manejar, uno opera para una corriente de 40A y el otro para una corriente de 32A.

### **Levantamiento del sistema de control de velocidad instalado para operar el motor del banco “Bomba Centrifuga”**

Motivado a que la unidad rectificadora del banco presenta averías, situación que impide una adecuada alimentación a la bornera del motor, no se logró poner en marcha la máquina y así identificar el método de regulación de velocidad dispuesto para este banco.

## COMPRESOR DE FLUJO AXIAL

La ficha que a continuación se muestra, Tabla. 6. es una representación de aspectos importantes por los que está constituido el banco “Compresor de Flujo Axial” y las condiciones en las que se encontraron sus partes durante el levantamiento técnico.

Tabla. 6. Aspectos más importantes del banco “Compresor de Flujo Axial”.

<b>Nombre Del Banco de Prueba:</b>	Compresor de Flujo Axial		
<b>Antigüedad del Banco:</b>	Más de cuarenta años		
<b>Ubicación del Banco:</b>	Planta baja del laboratorio de Termomáquinas, escuela de ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela		
<b>Uso del Banco:</b>	Fines educativos (Demostraciones y prácticas en algunas materias)		
<b>Tipo de Banco:</b>	Electromecánico		
<b>Tiempo de Uso del Banco por Semestre en (h):</b>	Cuatro horas		
<b>Estado del Banco:</b>	Banco operativo, sin embargo se puede apreciar en la superficie y carcasa de los equipos que lo conforman mucho polvo, excremento de aves, oxido y desechos materiales.		
<b>Partes del Banco:</b>	Parte Eléctrica: Motor DC, variador de velocidad, canalización y gabinete de alimentación.		
	Parte Mecánica: Termomáquina, cámara de estancamiento, ducto, válvula tipo mariposa e instrumentos de medición.		
<b>Dimensiones del Banco:</b>	<b>Alto (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>
	Observar vista de planta		
<b>Dimensiones del Espacio de trabajo:</b>	<b>Alto (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>
	Observar vista de planta		

Como se presentó en la Tabla. 6, el banco “Compresor de Flujo Axial” está constituido por un motor de corriente continua cuyas características de operación nominal vienen dadas por:

Tabla. 7. Características de operación nominal del motor asociado al banco “Compresor de Flujo Axial”.

<b>Potencia (HP)</b>	7,5
<b>Tensión (V)</b>	240
<b>IARM (A)</b>	27
<b>Velocidad (RPM)</b>	2000/3600
<b>Tipo de conexión</b>	Shunt
<b>Alimentación</b>	DC

A diferencia de los bancos anteriores no se logró medir la tensión de alimentación del motor DC, pues el ajuste de la velocidad del motor se hace a través de variaciones en la tensión del motor, ocasionando que dicho valor no se mantenga constante durante el funcionamiento en el valor estipulado en la placa (240 V).

#### **Levantamiento del tablero de alimentación eléctrica que forma parte del banco “Compresor de Flujo Axial”.**

En esta etapa del trabajo se realizó una visita al banco en estudio con el fin de ubicar y observar las condiciones físicas bajo las cuales se encuentran los tableros, gabinetes eléctricos y sus partes que lo conforman; al igual de identificar las conexiones y partes eléctricas que se encargan de alimentar el motor eléctrico dispuesto para la transmisión de potencia mecánica a la máquina térmica del respectivo banco.

Una vez identificado el gabinete y luego de una inspección en la que se apreció que esta en buen estado, dado que todas sus puertas abren y la rigidez mecánica en general tanto en su interior como exterior se conserva, se procedió a realizar un chequeo visual de la procedencia de la alimentación eléctrica que llega a

éste. Durante la inspección se observó que aguas arriba del gabinete se encontraban tres tableros y por los cuales pasaban los conductores que finalmente llegarían al gabinete del banco.

Con el fin de facilitar la comprensión en el orden de los tableros que se encontraron antes del gabinete, se procederá a darles nombres que se especifican a continuación:

Tablero1: Tablero adosado a una bandeja portacables ubicada en la parte superior del laboratorio (techo), en este tablero no se logró observar con precisión las características del interruptor debido a la altura que se encontraba, sin embargo se aprecia que de él salen cuatro cables, tres cables que representan las fases y un cuarto que constituye el neutro.

Tablero2: Ubicado aguas abajo del tablero uno y a donde llegan los cables descritos anteriormente, los cuales se conectan a barras de neutro y barra común respectivamente, la barra común alimenta varios circuitos, entre ellos el circuito correspondiente al banco en estudio.

De este tablero salen entre otros, cuatro cables que llegan al interruptor principal del circuito eléctrico correspondiente al banco en estudio, los cables que salen, llegan a un tercer tablero.

Tablero3: Ubicado aguas abajo del tablero dos y al cual llegan los cables descritos en el mencionado tablero. En este tablero tres se encuentra un interruptor de 40A, que constituye el equipo de protección principal para todas las conexiones que se realizan en el gabinete del banco Compresor de Flujo Axial, de este tablero salen cuatro conductores, tres fases y el neutro.

En la Fig. 3. se presenta la ubicación de los tableros descritos anteriormente al igual que el gabinete donde se realizan las conexiones eléctricas del banco.

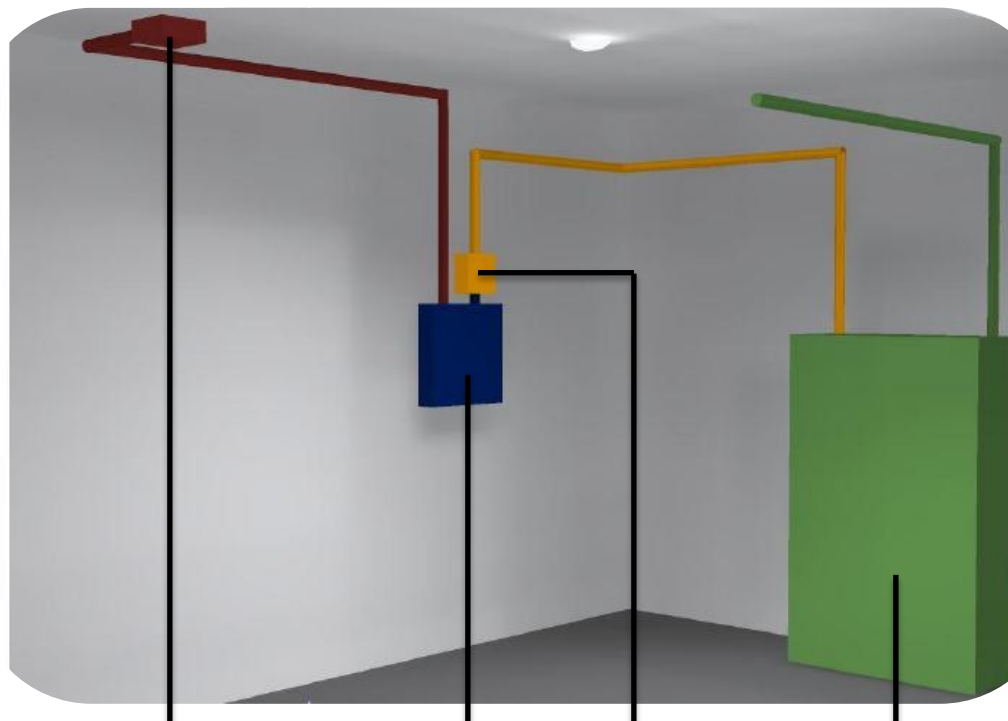


Fig. 3. Tableros y gabinetes que forman parte de la alimentación del banco “Compresor de Flujo Axial”.

↓  
Tablero. 1.

↓  
Tablero. 2.

↓  
Tablero. 3.

↓  
Gabinete eléctrico.

Una vez especificada la forma como estaba constituida la alimentación antes del gabinete, se procedió a describir las conexiones y la estructura de los equipos que en él se encontraban.

El gabinete del banco Compresor de Flujo Axial está conformado por cuatro puertas, dos ubicadas en la parte delantera las cuales dan acceso a todas las conexiones y equipos de control y dos puertas en la parte trasera que dan acceso a los cables empleados para la alimentación que se realiza a través de un orificio ubicado en la parte superior derecha. El gabinete está conformado por máquinas de fuerza (motor de inducción y generador de corriente continua), así como por todos los

dispositivos de protección y control instalados para el buen funcionamiento del sistema de fuerza.

Sistema de fuerza Fig. 4: Sistema constituido por un motor de inducción acoplado a un generador de corriente continua. El funcionamiento de este sistema consiste en alimentar a través de un contactor el motor de inducción, el cual permite convertir energía eléctrica AC en energía mecánica en su eje, la cual por medio del acople con el generador es transformada en energía eléctrica DC a través, energía necesaria para la alimentación del motor DC empleado para surtir de energía mecánica la turbomáquina.

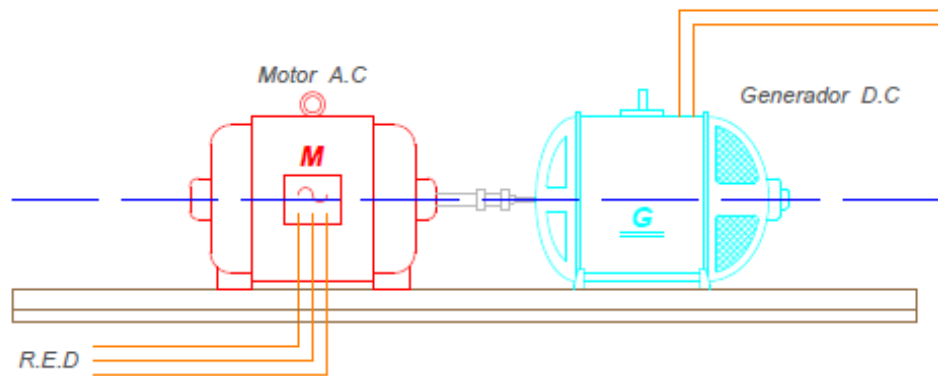


Fig. 4. Sistema de fuerza instalado dentro del gabinete del banco C.A.



Foto. 25. Gabinete asociado a las conexiones eléctricas del sistema de fuerza, control y protección.



Foto. 26. Botones de accionamiento y parada para el proceso de conversión de AC a DC.



Foto. 27. Conexiones y equipos en la parte interna del gabinete.



Foto. 28. Cables de alimentación al contactor del motor de inducción.



Foto. 29. Contactor asociado al motor de inducción.



Foto. 30. Cables de alimentación del motor de inducción.





Foto. 31. Motor de inducción del sistema de fuerza.



Foto. 32. Generador DC del sistema de fuerza.

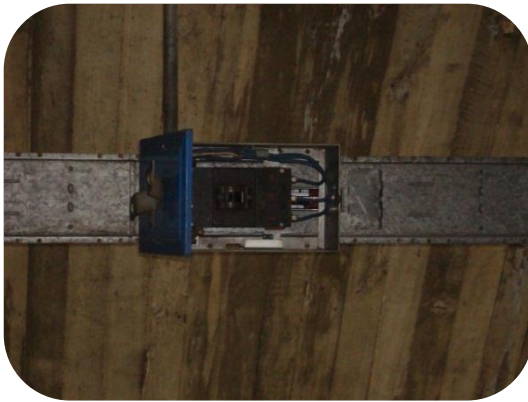


Foto. 33. Tablero 1.

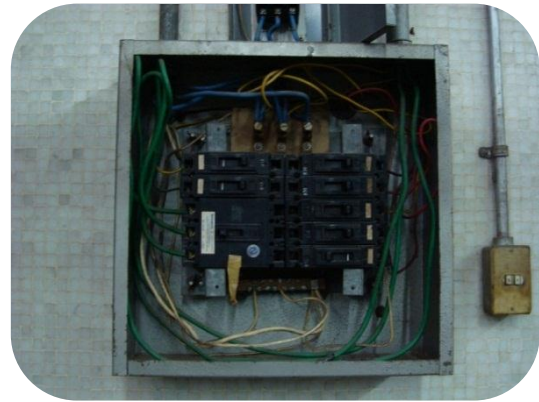


Foto. 34. Tablero2.

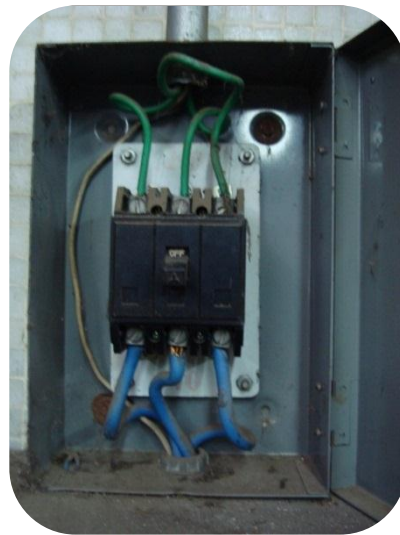


Foto. 35. Tablero 3.

## Levantamiento del sistema de control de velocidad instalado para operar el motor del banco “Compresor de Flujo Axial”

La velocidad de giro de la máquina eléctrica se realiza a través de un reóstato conectado en serie con el generador DC dispuesto para alimentar el motor del banco “Compresor de Flujo Axial”.

Dicho proceso de regulación consiste en variar el reóstato conectado en serie con el generador DC produciendo una variación en la tensión de entrada del motor la cual efectúa modificaciones de la corriente de campo del motor y ésta a su vez conlleva a aumentos o reducciones de la velocidad en la máquina.

La Figura. 5 es una representación gráfica del circuito eléctrico del sistema de control de velocidad del banco.

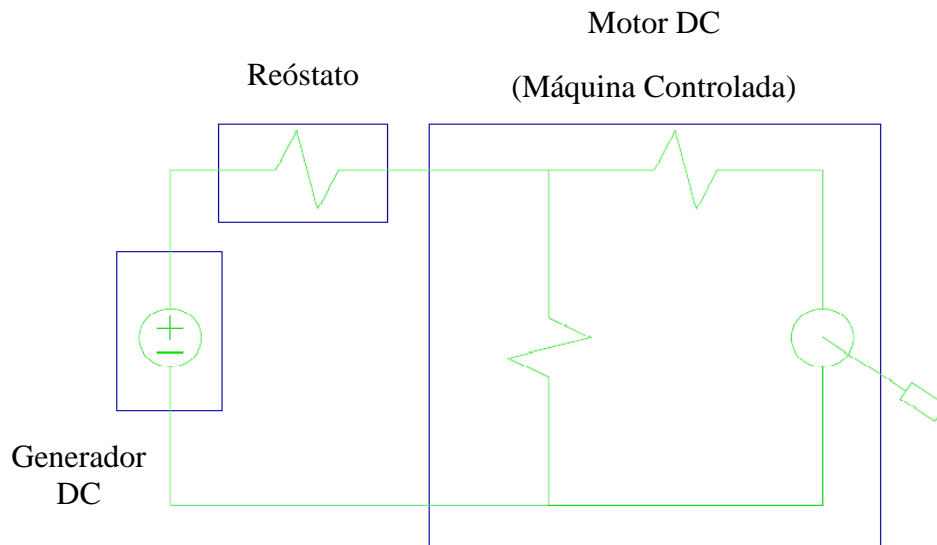


Figura. 5. Representación gráfica del sistema de control de velocidad del banco C.A.

## **CAPÍTULO V**

### **CRITERIOS PARA EL DESARROLLO DE LAS PROPUESTAS**

Los criterios considerados para el desarrollo de la propuesta están sustentados en el levantamiento técnico-fotográfico y estudio de los bancos T.F., B.C. y C.A. buscando con ello presentar una mejora en el funcionamiento y obtener un mayor rendimiento en cada uno de los elementos por los cuales están conformados.

Considerando que uno de los principales problemas observados en los bancos de estudio es el sistema empleado para el control de velocidad que conlleva a retrasos en la ejecución de las prácticas se imprecisiones en los resultados, actividad que se evidenció en el funcionamiento del banco C.A, surge la necesidad de presentar un equipo que de manera automática realice el ajuste de velocidad de la máquina eléctrica ante variaciones de carga, logrando así que las prácticas se lleven a cabo en menor tiempo, modernizando los bancos y familiarizando a los estudiantes con equipos y tecnologías actuales.

Otro aspecto importante es la instalación de equipos que registren los valores de las variables eléctricas durante el funcionamiento del banco, permitiendo tener un monitoreo en tiempo real del comportamiento eléctrico de la máquina.

Adicionalmente se presenta un generador sincrónico a ser acoplado a la Turbina Francis con el fin de simular a pequeña escala lo que sería el funcionamiento de una central hidroeléctrica logrando que no solo los estudiantes de las escuela de mecánica se familiaricen con el proceso de generación de electricidad sino que también podría beneficiar a los estudiantes de la escuela de eléctrica.

En este capítulo se presentan los equipos seleccionados para optimizar el funcionamiento de los bancos, así como todos los elementos y dispositivos necesarios

para su instalación y puesta en marcha. Todo basado en las normas COVENIN correspondientes y ajustándose a los lineamientos del Código Eléctrico Nacional, garantizando la seguridad del proyecto y el correcto funcionamiento de equipos y partes que lo conforman.

Antes de especificar en detalle cada uno de los elementos y equipos necesarios para la mejora del funcionamiento de los bancos de pruebas Turbina Francis, Bomba Centrífuga y Compresor de Flujo Axial, se presenta una descripción detallada de las herramientas, metodología de cálculo y criterios de selección empleados para el desarrollo de la propuesta.

### **Selección del equipo variador de velocidad para las máquinas de corriente continua (SIMOREG DC MASTER).**

Previo a la selección de este equipo se realizó un análisis de las características de operación de cada una de las máquinas de los distintos bancos, esto con el propósito de que el variador se ajustara al funcionamiento y requerimiento de cada motor. Para la selección de cada unidad es necesario conocer los datos de operación nominal de cada uno de los motores a controlar entre los que destacan: corriente, tensión y potencia nominal.

Una vez identificados los datos de operación se realizó una búsqueda y documentación de compañías y empresas que comercializan estos equipos eléctricos en el país.

Luego de una búsqueda en el área de variadores de velocidad para motores DC, en la que se presentaron algunas complicaciones debido a que actualmente no se dispone de una gran diversidad de equipos que cumplan con esta función, se encontró que la única empresa que cuenta con este tipo de dispositivo y que facilitó información técnica sobre el mismo fue la SIEMENS; aspecto que surge como limitante debido a que se reduce el rango de posibilidades y variedad de alternativas

para la propuesta. Sin embargo durante el estudio del funcionamiento del convertidor SIMOREG DC MASTER equipo presentado por dicha compañía para la ejecución del trabajo requerido, se apreció que su operación es amplia y que éste es capaz de ajustarse a las necesidades requeridas por cada motor, presentándose como propuesta final del proyecto.

Para el funcionamiento óptimo de este equipo es necesaria la instalación de otros elementos entre los que se encuentran: bobinas de conmutación y filtro antiparasitaje radioeléctrico que se describe a continuación.

### **Bobinas de conmutación**

Es importante enfatizar que para garantizar el correcto funcionamiento del equipo SIMOREG DC MASTER se necesitan de una serie de elementos que hay que interconectar a él; entre ellos tenemos la bobina de conmutación la cual se conecta entre el filtro antiparasitario y la entrada del equipo (ver Anexo.2 ítems 1 y 2) y cuyo propósito es desacoplar los circuitos de protección RC y los condensadores X.

Para el dimensionamiento de este elemento del sistema nos basamos en el catálogo del variador en su sección 6 (conexiones) y que estipula:

- Para el dimensionamiento de la bobina de conmutación del circuito de excitación se debe emplear el catalogo LV60 (ver Anexo.3) de la compañía SIEMENS y considerando que la selección de la misma se hace para la corriente asignada de excitación del motor.
- Para el dimensionamiento de la bobina de conmutación del circuito de inducido se debe emplear el catalogo LV60 (ver Anexo.4) de la compañía SIEMENS y considerando que la selección de la misma se hace para la corriente asignada del motor en el inducido.

### **Filtro de antiparasitaje radioelétrico.**

Al igual que las bobinas de conmutación, el filtro antiparasitario es un elemento necesario para el adecuado funcionamiento del equipo SIMOREG DC MASTER y su finalidad es garantizar que las perturbaciones emitidas queden por debajo del valor límite “A1”.

Para el dimensionamiento de este elemento del sistema nos basamos en el catalogo del variador en su sección 6 (conexiones) y la cual estipula que:

- Para el dimensionamiento del filtro antiparasitario del circuito de inducido se debe emplear el catalogo EPCOS (ver Anexo.5) y considerando que la selección de este se hace para la corriente nominal del motor en el inducido.

### **Transformador de alimentación**

La necesidad de incorporar un transformador al sistema de control de velocidad radica en que la tensión de acometida con la que se va a trabajar es de 416 V, nivel de tensión del laboratorio. Este nivel de tensión trae como consecuencia la implementación de un transformador de potencia capaz de reducir la tensión de acometida a la tensión de alimentación de cada motor asociado a su respectivo banco.

Considerando que los motores en estudio son de características nominales distintas, se realizará el dimensionamiento respectivo de cada transformador a utilizar. Para el dimensionamiento y especificación de las características nominales de cada transformador asociado a los distintos bancos se procedió de la siguiente manera:

1. Conociendo el nivel de tensión de operación nominal de cada motor, y el tipo de rectificador utilizado por el variador SIMOREG DC MASTER, se procedió a calcular el valor de tensión alterna requerido a la entrada del

variador, para alcanzar el valor de tensión DC del motor se hizo uso de la ecuación (2).

2. Realizado el paso anterior, el cual permitió conocer el valor de tensión en el secundario de cada transformador de los distintos bancos y conociendo las características de los variadores seleccionados se procedió a especificar la potencia nominal del transformador.

### **Método de cálculo:**

#### *Ejemplo de cálculo para la Bomba Centrifuga*

Tensión nominal de operación según placa del motor:

$$V_{DC} = 210V$$

Considerando que el equipo SIMOREG DC MASTER tiene como puente rectificador trifásico una unidad de tipo *B6C*, y modulo que se rige por medio de la ecuación (2) para el cálculo de la tensión de DC. En este caso en vez de calcular la tensión DC se realizará el proceso inverso y se calcula la tensión AC, la cual representa el valor de alimentación del variador y según la ecuación (2) se refiera a la tensión pico ( $V_m$ ).

$$V_m = \frac{210 * \pi}{3 * \sqrt{3}} = 126,96V$$

En este caso el valor  $V_m$  calculado representa el valor pico máximo por fase de la onda alterna de tensión en el secundario del transformador, para determinar el valor RMS se procede:

$$V_{rms} = \frac{126,9659}{\sqrt{2}} = 89,7784$$

La tensión rms calculada anteriormente representa el valor por fase a consecuencia de las características de la ecuación de rectificación de onda completa, por ello para obtener la tensión de línea se debe multiplicar el resultado obtenido por raíz de tres.

$$V_{rms_{L_{promedio}}} = \sqrt{3} * 89,7784 = 155,38 \approx 156V$$

En conclusión la tensión de línea en el secundario del transformador trifásico debe ser del valor presentando anteriormente para obtener la alimentación requerida por el motor asociado al banco de la Bomba Centrífuga.

Luego de haber especificado la tensión del primario y secundario del transformador y conociendo las características del variador de velocidad seleccionado (Anexo. 1), en el que se puede observar que la máxima corriente de red que maneja el equipo es de 25 A y con la relación del transformador se calcula la corriente en el primario, la cual junto con la tensión de esta zona nos permite especifica la potencia nominal del transformador.

$$S_{Nominal} = \sqrt{3} * 416 * \frac{25}{\frac{416}{156}} = 6733,3866VA$$

De esta forma se especificaron las características nominales de los transformadores requeridos para cada banco.



## **Interrupidores**

El dimensionamiento de los interruptores del circuito ramal de los motores del proyecto fue sustentado en la Tabla 430.52 del CEN, la cual estipula que para motores de corriente continua el ajuste de la corriente en interruptores se realiza de la siguiente forma:

$$I_{Ajuste} = 2,5 * I_n \text{ (10)}$$

Una vez obtenido este valor nos vamos a tabla de los interruptores y seleccionamos la protección adecuada.

## **Fusibles**

El dimensionamiento de los fusibles de los motores del proyecto fue sustentado en la Tabla 430.52 del CEN, la cual estipula que para motores de corriente continua el ajuste de la corriente en fusibles se realiza de la siguiente forma:

$$I_{Ajuste} = 1,5 * I_n \text{ (11)}$$

Una vez obtenido este valor nos vamos a tabla de los fusibles y seleccionamos la protección adecuada.

## **Conductores**

El dimensionamiento de los conductores asociados a la armadura y excitación de los motores se realizó siguiendo las normativas del CEN en su sección 430 norma 430.24 y la cual hace referencia a que los conductores que alimentan motores tendrán una ampacidad no menor que el 125% de la corriente a plena carga.

En esta etapa del proyecto también se tomaron en cuenta los aspectos mencionados en la tabla 310.15 (B)(2)(a) y en la cual se hace referencia al factor de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cables. Una vez seleccionado el conductor para las características descritas se verificó que el número seleccionado cumpliera con la caída de tensión y el nivel de corto circuito.

### **Tuberías**

Para el dimensionamiento de las tuberías se considero la información suministrada por las tablas 2 y 4, en la que se estipula que si la cantidad de conductores en una tubería es superior a dos, el dimensionamiento de esta se debe realizar de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^n S_{C_i} \leq S_t * 0,4 \quad (12)$$

Donde:

$S_{C_i}$  : Sección transversal de los conductores en la tubería.

$S_t$  : Sección transversal de la tubería seleccionada.

### **Generador**

Para la selección del generador que se instalará en el banco Turbina Francis es indispensable conocer la potencia nominal de entrada del generador y cuales son las características de operación nominal del banco de resistencias que se alimentará.

La potencia de entrada se toma de la placa característica de la turbina Francis o de la caracterización realizada por los estudiantes a este elemento durante la ejecución de las prácticas cuando el banco estuvo en funcionamiento. De la carga eléctrica se debe conocer la tensión y la potencia, valores que se toman de la información suministrada por el fabricante; conocidos estos elementos se puede realizar una selección del generador con mayor precisión.

## 1. Controlador de velocidad

### Propuesta Banco Turbina Francis

- Equipos seleccionados

a) Sistema de control de velocidad

Modelo	SIMOREG DC MASTER
Serie	6RA7018-6DS22
Marca	SIEMENS
Otras especificaciones	Primer cuadrante

b) Bobina de Conmutación de excitación

Modelo	Reactor SIDAC Monofásico
Serie	4EM46 05-4CB00
Marca	SIEMENS
Inductancia en (mH)	5,6

c) Bobina de Conmutación del inducido

Modelo	Reactor SIDAC Trifásico
Serie	4EP37 01-6DS00
Marca	SIEMENS
Inductancia en (mH)	0,789

d) Filtro del circuito de inducido

Modelo	Filtro Antiparasitario Trifásico
Serie	B84143G0036R110
Marca	EPCOS

e) Filtro del circuito de excitación

Modelo	Filtro Antiparasitario Trifásico
Serie	B84143G0020R110
Marca	EPCOS

f) Filtro del circuito para la electrónica

Modelo	Filtro Antiparasitario Trifásico
Serie	B84143G0020R110
Marca	EPCOS

g) Transformador de alimentación

Características	416V:185V	10kVA
-----------------	-----------	-------

• Dispositivos de protección

h) Interruptor del circuito ramal

Modelo	S2X 80 (IEC 947-4)
Marca	ABB
In(A)	60
Ue(V)	690

i) Fusibles del circuito ramal para el inducido

Modelo	3NE8003-1
Marca	SIEMENS
In(A)	35

j) Fusibles del circuito ramal para la excitación

Modelo	FRN-R-8
Marca	FUSETRON
In(A)	8

k) Fusible de la alimentación del motor

Modelo	FRN-R-40
Marca	FUSETRON

• Canalización hacia el equipo SIMOREG

l) Conductores

Circuito de inducido	THW #6
Circuito de excitación	THW #12
Circuito de electrónica	THW #16

m) Tuberías

Características	Metálico (EMT) de 3/4''
-----------------	-------------------------

• Canalización hacia del motor

n) Conductores

Circuito de inducido	THW #6
Circuito de excitación	THW #12

o) Tubería

Características	No metálico (LNFC-A) de 3/8''
-----------------	-------------------------------

## Propuesta Banco Bomba Centrífuga

- Equipos seleccionados

a) Sistema de control de velocidad

Modelo	SIMOREG DC MASTER
Serie	6RA7018-6DS22
Marca	SIEMENS
Otras especificaciones	Primer cuadrante

b) Bobina de Conmutación de excitación

Modelo	Reactor SIDAC Monofásico
Serie	4EM46 05-4CB00
Marca	SIEMENS
Inductancia en (mH)	5,6

c) Bobina de Conmutación del inducido

Modelo	Reactor SIDAC Trifásico
Serie	4EP36 01-3DS00
Marca	SIEMENS
Inductancia en (mH)	1,4

d) Filtro del circuito de inducido

Modelo	Filtro Antiparasitario Trifásico
Serie	B84143G0020R110
Marca	EPCOS

e) Filtro del circuito de excitación

Modelo	Filtro Antiparasitario Trifásico
Serie	B84143G008R110
Marca	EPCOS

f) Filtro del circuito para la electrónica

Modelo	Filtro Antiparasitario Trifásico
Serie	B84143G008R110
Marca	EPCOS

Para el caso de los filtros necesarios para el circuito de la electrónica y de excitación solo se conectan la fase y el neutro, queda una terminal sin utilizar, esto según especificaciones del fabricante.

g) Transformador de alimentación

Características	416V:156V	8kVA
-----------------	-----------	------

- Dispositivos de protección

h) Interruptor del circuito ramal

Modelo	S2X 80 (IEC 947-4)
Marca	ABB
In(A)	20
Ue(V)	690



i) Fusibles del circuito ramal para el inducido

Modelo	FRN-R-15
Marca	FUSETRON
In(A)	15

j) Fusibles del circuito ramal para la excitación

Modelo	FWP-5B
Marca	BUSSMANN
In(A)	5

k) Fusible de la alimentación del motor

Modelo	FRN-R-15
Marca	FUSETRON

• Canalización hacia el equipo SIMOREG

l) Conductores

Circuito de inducido	THW #12
Circuito de excitación	THW #14
Circuito de electrónica	THW #16

m) Tubería

Características	Metálico (EMT) de 1/2"
-----------------	------------------------

• Canalización hacia del motor

n) Conductores

Circuito de inducido	THW #12
Circuito de excitación	THW #14

o) Tubería

Características

No metálico (LNFC-A) de 3/8''

### **Propuesta Banco Compresor de Flujo Axial**

- Equipos seleccionados

a) Sistema de control de velocidad

Modelo	SIMOREG DC MASTER
Serie	6RA7018-6DS22
Marca	SIEMENS
Otras especificaciones	Primer cuadrante

b) Bobina de Conmutación de excitación

Modelo	Reactor SIDAC Monofásico
Serie	4EM46 05-4CB00
Marca	SIEMENS
Inductancia en (mH)	5,6

c) Bobina de Conmutación del inducido

Modelo	Reactor SIDAC Trifásico
Serie	4EP37 01-6DS00
Marca	SIEMENS
Inductancia en (mH)	0,789

d) Filtro del circuito de inducido

Modelo	Filtro Antiparasitario Trifásico
Serie	B84143G0036R110
Marca	EPCOS

e) Filtro del circuito de excitación

Modelo	Filtro Antiparasitario Trifásico
Serie	B84143G0020R110
Marca	EPCOS

f) Filtro del circuito para la electrónica

Modelo	Filtro Antiparasitario Trifásico
Serie	B84143G0020R110
Marca	EPCOS

Para el caso de los filtros necesarios para el circuito de la electrónica y de excitación solo se conectan la fase y el neutro, queda una terminal sin utilizar, esto según especificaciones del fabricante.

g) Transformador de alimentación

Características	416:178	10kVA
-----------------	---------	-------

- Dispositivos de protección

h) Interruptor principal

Modelo	S2X 80 (IEC 947-4)
Marca	ABB
In(A)	60
Ue(V)	690

i) Fusibles del circuito ramal para el inducido

Modelo	3NE8003-1
Marca	SIEMENS
In(A)	35

j) Fusibles del circuito ramal para la excitación

Modelo	FRN-R-8
Marca	FUSETRON
In(A)	8

k) Fusible de la alimentación del motor

Modelo	FRN-R-45
Marca	FUSETRON

• Canalización hacia el equipo SIMOREG

l) Conductores

Circuito de inducido	THW #6
Circuito de excitación	THW #12
Circuito de electrónica	THW #16

m) Tubería

Características	Metálico (EMT) de ¾"
-----------------	----------------------

• Canalización hacia del motor

n) Conductores

Circuito de inducido	THW #6
Circuito de excitación	THW #12

o) Tubería

Características No metálico (LNFC-A) de 3/8''

## 2. Generador Sincrónico Trifásico

Modelo	Carcasa 400
Marca	WEG
Número de Terminales	12
Número de Polos	8
Nivel de Tensión (Y/YY)	480/240
Frecuencia	60Hz
Potencia kVA	603

## 3. Banco de Carga Resistivo

Modelo	ET1519
Marca	COUDOINT
Nivel de Tensión	240
Conexión	Y o D
Potencia kW	4

Cabe resaltar que cada equipo SIMOREG DC MASTER seleccionado para el control de velocidad del motor de los respectivos bancos de pruebas son capaces de censar las variables eléctricas de trabajo (tensión y corriente); razón por la cual no se proponen equipos adicionales que realicen esta función.

### **Sistema empleado para medir el par de los motores eléctricos de los bancos.**

Se realizó una búsqueda de mecanismos y sistemas empleados en la actualidad para medir el par mecánico en máquinas eléctricas de los cuales se encontraron una gran variedad de sensores de par, estos consisten en un transductor que convierte la torsión mecánica de entrada en una señal eléctrica a la salida que es visualizada mediante un computador. Sin embargo dicho sistema presenta inconvenientes para ser empleado en los bancos en estudio dado que no existe espacio suficiente en el eje para su adecuada instalación por lo que se descarta este sistema para la lectura del par en las máquinas, adaptando el sistema que está actualmente instalado en cada banco, en los cuales es necesario realizar sus respectivos ajustes de piezas y calibración de los equipos dispuestos para medir la fuerza (dinamómetros).

## CONCLUSIONES

En este proyecto se desarrollaron una gran variedad de objetivos, los cuales permitieron desplegar los conocimientos adquiridos con los años de estudios en el área de ingeniería eléctrica, los cuales se aplicaron para presentar una propuesta de mejora del funcionamiento de los banco de pruebas Turbina Francis, Bomba Centrifuga y Compresor de Flujo Axial, instalados en el laboratorio de Termomáquinas de la escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV.

El levantamiento técnico realizado y la presencia en los bancos de prueba durante la ejecución de las prácticas permitieron tener una perspectiva clara de las realidades y necesidades a las que se ajusta cada sistema evaluado, sin embargo hubo aspectos en común para los bancos y es que con el pasar de los años a ninguno se actualizó en cuanto a los sistemas de regulación de velocidad, por lo que se presentó un equipo que a pesar de las limitantes en cuanto a variedad para su selección, es capaz de realizar un ajuste automático mediante ciclos de optimación que se realizan una vez que es variada la carga mecánica, ésto reduce de manera significativa lo que sería el error humano en cuanto al ajuste de la velocidad inicial de la práctica, aspecto importante a considerar pues de no llevar la máquina a su velocidad inicial estarían obteniéndose puntos de distintas curvas en cuanto a la caracterización de los elementos mecánicos estudiados. Se destaca que el equipo SIMOREG DC MASTER se puede emplear para cumplir con otras funciones durante el accionamiento eléctrico y es que no solo cumple el propósito de regular la velocidad del motor sino que permite tener un monitoreo en tiempo real de las variables eléctricas tensión y corriente de la máquina aspecto importante de conocer durante todo proceso de conversión de energía y que nos permite identificar si la máquina esta o no sobrecargada.

El acoplamiento de un generador síncrono a la turbina Francis permite sacarle mayor provecho a este banco al igual que es beneficioso para la formación de los estudiantes, incluso más allá de ayudar a los estudiante de mecánica, se podrían planificar visitas desde la escuela de eléctrica y permitir que sus alumnos puedan observar lo que es el funcionamiento de una central hidroeléctrica.

Se presenta entonces y siguiendo las normativas COVENIN y con la ayuda del CEN un esquema y dimensionamiento de todos los elementos necesarios para la instalación y correcto funcionamiento del sistema propuesto, cabe resaltar que para esta etapa también se consideraron las recomendaciones y reglamentos estipulados por el fabricante de cada equipo a utilizar.

En relación a la problemática observada en el laboratorio respecto al desconocimiento y falta de personal calificado en el área de electricidad para la correcta operación de los interruptores que permite alimentar los motores de los bancos en estudio, se presentó de manera detallada y en un orden secuencial los interruptores que deben de estar en condición de ON para el arranque de los distintos motores.



## **RECOMENDACIONES**

Como recomendación principal se plantea poner el funcionamiento lo antes posible los bancos Turbina Francis y Bomba Centrífuga.

Realizar un estudio detallado de lo que sería el material y tipo de base empleada como soporte del generador sincrónico a acoplarse a la Turbina Francis, en vista de que no se tiene dominio en la materia y el fabricante no suministra información al respecto, además de llevar a cabo un estudio de todas las piezas mecánicas necesarias para ejecutar el acople turbina-generador

Se recomienda aumentar la frecuencia en el mantenimiento de las instalaciones del laboratorio, así como brindar mayor apoyo técnico al personal que allí trabaja en el área de electricidad, todo esto con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del banco y evitar que ocurra algún daño material o humano.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Claudio Mataix. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, 2da. Ed. Oxford University Press México, S.A. de C.V., pág. 355.

[2] Jesús Fraile Mora. Máquinas Eléctricas, 5ta. Ed. España: McGraw-Hill/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U. 2003, pág. 87.

[3] Claudio Mataix. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, 2da. Ed. Oxford University Press México, S.A. de C.V., pág. 369.

[4] Jesús Fraile Mora. Máquinas Eléctricas, 5ta. Ed. España: McGraw-Hill/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U. 2003, pág. 88.

[5] [http://es.wikipedia.org/wiki/Variador\\_de\\_velocidad](http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_velocidad).

[6] Jesús Fraile Mora. Máquinas Eléctricas, 5ta. Ed. España: McGraw-Hill/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U. 2003, pág. 604.

[7] Fondonorma (200:2009) Código Eléctrico Nacional. Sección 110 Requisitos Para Instalaciones Eléctricas. — Caracas: Fondo para la normalización y certificación de calidad. Comité de electricidad, pág. 11.

## BIBLIOGRAFÍAS

### Libros.

José Manuel Aller. Máquinas Eléctricas Rotativas: Introducción a la Teoría General, Venezuela: Editorial Equinoccio Universidad Simón Bolívar 2008.

### Internet.

<<https://www.automation.siemens.com/mcms/large-drives/en/converters/dc-converters/simoreg-dc-master/Pages/simoreg-dc-master.aspx>> [Consulta: 2013]

<[http://www.cooperindustries.com/content/public/en/bussmann/electrical/resources/product\\_information/energy\\_efficient\\_fusetron\\_fuses.html](http://www.cooperindustries.com/content/public/en/bussmann/electrical/resources/product_information/energy_efficient_fusetron_fuses.html)> [Consulta: 2013]

<<http://www.abb.com/product/es/9AAC100085.aspx?country=US>> [Consulta: 2013]

<<http://www.weg.net/ve/Productos-y-Servicios/Generacion-Transmision-y-Distribucion-de-Energia/Generadores/Alternadores-para-Grupos-Electrogenos>> [Consulta: 2013]

<[http://ecatalog.weg.net/TEC\\_CAT/tech\\_alter\\_sel\\_web.asp#](http://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_alter_sel_web.asp#)> [Consulta: 2013]

<[http://es.wikipedia.org/wiki/Variador\\_de\\_velocidad](http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_velocidad)> [Consulta: 2013]

<<http://www.directindustry.com/prod/coudoint-sas/cemented-wire-wound-resistors-64090-416818.html>>[Consulta:2013]