



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



**RESUMEN DE TESIS DE GRADO**

**AUTOR:** JUAN JOSÉ GARCIA PABÓN

**FACULTAD:** INGENIERÍAS

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**DIRECTOR:** IE Msc. JOSE RICARDO BERMUDEZ SANTAELLA

**TÍTULO DE LA TESIS:** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRIFUGAS SOPORTADO EN EL SOFTWARE LABVIEW PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE DESARROLLO DE PROCESOS INDUSTRIALES “GIDPI”.

**RESUMEN**

El proyecto muestra el diseño de un prototipo que permite la obtención de curvas características de una bomba centrífuga trifásica de baja potencia utilizando una válvula de control y un variador de velocidad para controlar el sistema, así como transmisores de presión de 4 a 20mA para captar las variables. En primer lugar se desarrolló y simuló el modelo matemático del sistema con el fin de obtener las curvas teóricas. Posteriormente se generaron los planos 3D, físicos y de instrumentación del conjunto. Lo anterior dio como resultado la implementación de un prototipo que se utilizará para realizar investigaciones en el área del control y la instrumentación, utilizando la herramienta LabVIEW® como software flexible para la adquisición y visualización de la información.

**PALABRAS CLAVES:** BOMBA CENTRÍFUGA, DISEÑO, MODELAMIENTO MATEMÁTICO, MOTOR, PLANOS P&ID.

**PÁGINAS:** 156

**PLANOS:** 0

**ILUSTRACIONES:** 70

**CD-ROM:** 1



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

## ACTA DE SUSTENTACION DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: 06 DE NOVIEMBRE DE 2012 HORA: 10:00 A.M.

LUGAR: SALON DE CONFERENCIAS FU 408

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TITULO DE LA TESIS: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS SOPORTADO EN EL SOFTWARE LABVIEW, PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE DESARROLLO DE PROCESOS INDUSTRIALES "GIDPI".

JURADOS: ING. FAUSTINO MORENO  
ING. MARLON HERNANDEZ


DIRECTOR: IE MSC. JOSÉ RICARDO BERMUDEZ.

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
JUAN JOSÉ GARCÍA PABON	1090082	4,8	CUATRO, OCHO

# APROBADA

FIRMA DE LOS JURADOS:

  
\_\_\_\_\_  
ING. FAUSTINO MORENO

  
\_\_\_\_\_  
ING. MARLON HERNANDEZ

Vo. Bo.   
\_\_\_\_\_  
ING. FRANCISCO ERNESTO MORENO GARCIA  
Coordinador Comité Curricular

Yorley A.

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
BOMBAS CENTRIFUGAS SOPORTADO EN EL SOFTWARE  
LABVIEW PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE  
DESARROLLO DE PROCESOS INDUSTRIALES “GIDPI”**

JUAN JOSE GARCIA PABON

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
SAN JOSE DE CÚCUTA  
2012

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
BOMBAS CENTRIFUGAS SOPORTADO EN EL SOFTWARE  
LABVIEW PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE  
DESARROLLO DE PROCESOS INDUSTRIALES “GIDPI”**

JUAN JOSE GARCIA PABON

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD  
FRANCISCO DE PAULA SANTANDER PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

Director

Msc. Ing. JOSE RICARDO BERMUDEZ SANTAELLA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
SAN JOSE CÚCUTA  
2012

## **Dedicatoria**

A mis amados padres Juan Garcia Eugenio y Norely Pabon Villamil, por ese apoyo y amor incondicional. A ustedes les dedico y comparto este logro, seguiremos con esa lucha incansable por mejorar en nuestras vidas juntos. Gracias por su fe en mi.

Para mi hermano menor Brandon, quien siempre cree en mi, que este logro lo tome como un ejemplo a seguir, y que en un futuro sea un buen y exitoso profesional.

De manera muy especial dedico la culminación de esta etapa de crecimiento profesional a mis tíos y abuelos mas allegados quien durante todo momento han demostrado estar orgullosos de mi, nunca los defraudaré.

Finalmente a mi hermosa novia Karina Leal quien ha sido una fuente de motivación, gracias por tu amor, paciencia, comprensión y por apoyarme en los momentos más difíciles. Pase lo que pase siempre te llevaré en mi corazón.

**Juan José Garcia Pabon**

## **Agradecimiento**

A mis padres por darme la oportunidad de una carrera para mi futuro, todo esto se lo debo a ustedes. Sus consejos, valores y motivación constante me han permitido ser una persona de bien.

Al Ing. Ricardo Bermudez Santaella por dirigir este proyecto de grado y confiar desde el inicio en mí. Agradezco su alto empeño, dedicación y consejos. Gracias a su exigencia y rigurosidad he logrado avanzar profesional y personalmente para sentir que salgo al mundo muy bien preparado.

A todos los profesores del plan de estudios de ingeniería electromecánica de la UFPS por todo lo enseñado y el excelente trato recibido.

Al Departamento de Fluidos y Térmicas de la UFPS por su colaboración y el préstamo de equipos necesarios para lograr con éxito la finalización del proyecto.

A mis grandes amigos, los integrantes del grupo GIDPI, por los intercambios de opiniones, sugerencias y ayudas dadas para este trabajo. Muchas gracias y éxitos para Oscar Sandoval, Elena Peñaranda, Carlos Castilla, Abdul Cardenas, Maryely Rizo y Wilmer Lopez.

**Juan José Garcia Pabon**

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	18
INTRODUCCIÓN .....	19
INGENIERÍA CONCEPTUAL .....	20
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.1 TÍTULO .....	21
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	22
1.3.1 Beneficios científicos .....	22
1.3.2 Beneficios tecnológicos .....	22
1.3.3 Beneficios institucionales.....	22
1.3.4 Beneficios empresariales.....	23
1.3.5 Impacto esperado .....	23
1.4 OBJETIVOS .....	23
1.4.1 Objetivo general.....	23
1.4.2 Objetivo específicos .....	23
2. MARCO REFERENCIAL .....	25
2.1 ANTECEDENTES .....	25
2.2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	28
2.2.1 Propiedades de los fluidos.....	28
2.2.2 Definición de flujo.....	29
2.2.3 Ecuación de continuidad .....	29
2.2.4 Ecuación general de la energía .....	30

2.2.5 Pérdidas de energía .....	31
2.2.6 Bombas hidráulicas .....	33
2.2.7 Partes de la bomba centrífuga .....	34
2.2.8 Caracterización de bombas centrífugas .....	35
2.2.9 Métodos de control de caudal .....	36
2.2.10 Transmisores .....	37
2.2.11 Válvula de control .....	37
2.2.12 Motor paso a paso .....	37
2.2.13 Medidor de flujo (Placa orificio).....	39
2.2.14 DAQ 6009 .....	39
2.2.15 Software .....	39
3. REGLAMENTACIÓN .....	43
4. DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR .....	45
4.1 TIPO DE PROYECTO .....	45
4.2 LIMITACIONES .....	45
4.3 ACTIVIDADES Y METODOLOGÍAS .....	46
5. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA .....	48
INGENIERÍA BÁSICA .....	50
6. MODELO DEL SISTEMA .....	51
6.1 MODELO ELÉCTRICO DEL MOTOR TRIFÁSICO .....	51
6.1.1 Modelo de ecuaciones del motor en coordenadas[abc] .....	52
6.1.2 Transformación de Clarke .....	52
6.1.3 Transformación de Park .....	53
6.1.4 Transformación inversa de Clarke .....	55
6.1.5 Ecuación para el torque eléctrico .....	55



6.2 MODELO ELÉCTRICO DEL MOTOR MONOFÁSICO .....	55
6.2.1 Transformada de Park para el motor monofásico .....	57
6.2.2 Salidas del modelo del motor monofásico .....	57
6.3 MODELO MECÁNICO DE LA BOMBA .....	58
6.4 MODELO HIDRÁULICO DE LA BOMBA .....	58
6.4.1 El principio de la dinámica de la bomba centrífuga .....	58
6.4.2 Expresión del torque .....	59
6.4.3 Ecuación de la cabeza de presión .....	63
6.5 MODELADO DE LA APLICACIÓN HIDRÁULICA .....	64
6.5.1 Modelo de una válvula de control .....	65
7. DISEÑO DEL BANCO .....	68
7.1 SELECCIÓN DE LA TUBERÍA .....	68
7.2 CAUDAL DE DISEÑO .....	69
7.3 PERDIDAS DE CARGA A CAUDAL DE DISEÑO .....	70
7.3.1 Perdidas en la sección succión .....	70
7.3.2 Perdidas en la sección descarga .....	71
7.3.3 Pérdidas dinámicas totales en el sistema .....	72
7.4 SELECCIÓN DE LA BOMBA .....	72
7.4.1 Cabeza de altura de la bomba .....	72
7.4.2 Potencia requerida por la bomba .....	73
7.4.3 NPSH disponible .....	73
7.4.4 Criterios de selección de la bomba .....	74
7.5 DISEÑO PLACA ORIFICIO .....	74
7.6 DISEÑO ELECTRÓNICO .....	77
7.6.1 Acondicionadores de señal de sensores .....	77

7.6.2 Válvula de control .....	79
7.6.3 Fuente de alimentación de instrumentos .....	81
7.6.4 Accionamiento de la bomba .....	82
8. SIMULACIÓN .....	84
8.1 PARTE ELÉCTRICA DEL MOTOR TRIFÁSICO .....	84
8.1.1 Transformada de Clarke en motor trifásico .....	84
8.1.2 Transformada de Park en motor trifásico .....	85
8.1.3 Transformada inversa de Clarke en motor trifásico.....	86
8.2 PARTE ELÉCTRICA DEL MOTOR MONOFÁSICO.....	86
8.3 PARTE MECÁNICA .....	87
8.4 PARTE HIDRÁULICA .....	88
8.4.1 Cabeza de altura de la bomba.....	88
8.4.2 Torque de carga.....	89
8.5 APLICACIÓN HIDRÁULICA .....	89
8.6 RESPUESTA DEL MODELO .....	90
8.6.1 Motor trifásico.....	90
8.6.2 Motor monofásico.....	91
8.6.3 Parte hidráulica de la bomba.....	94
8.6.4 Aplicación hidráulica .....	95
9 MANUAL DE USUARIO .....	97
INGENIERÍA DE DETALLE .....	98
10 PLANO ARQUITECTÓNICO .....	99
11 PLANO DE INSTRUMENTACIÓN .....	100
12 PLANO ELÉCTRICO .....	101
13 PLANO DE ELEMENTOS FINITOS .....	102
14 MONITOREO .....	103

14.1 REGLAS PARA EL DISEÑO DE INTERFACES .....	103
14.2 FLUJOGRAMA.....	104
14.3 HMI EN EL SOFTWARE LABVIEW.....	105
14.3.1 Movimiento del motor PAP .....	106
14.3.2 Lectura de la presión .....	107
14.3.3 Lectura de la corriente consumida.....	108
14.3.4 Punto de referencia .....	108
14.3.5 Secuencia completa de adquisición de datos .....	109
14.3.6 Prueba completa.....	109
14.3.7 Presentación de los resultados.....	109
14.3.8 Guardar datos capturados .....	111
14.3.9 Panel de control HMI.....	111
15 SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN .....	114
15.1 SELECCIÓN DE SENSORES DE PRESIÓN .....	114
15.2 SELECCIÓN DEL SENSOR DE CORRIENTE.....	117
15.2.1 Aplicación de software .....	117
16 PROPUESTA .....	120
17 PUBLICACIONES .....	122
18 RESULTADOS.....	124
19 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	128
BIBLIOGRAFÍA.....	130
ANEXOS .....	134