

	<b>GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>	<b>Código</b>	FO-SB-12/v0
	<b>ESQUEMA HOJA DE RESUMEN</b>	<b>Página</b>	<b>1/1</b>

**RESUMEN TRABAJO DE GRADO**

**AUTOR(ES):**

**NOMBRE(S):** FREDDY ALEJANDRO      **APELLIDOS:** PORTILLO MORALES

**NOMBRE(S):** \_\_\_\_\_      **APELLIDOS:** \_\_\_\_\_

**FACULTAD:** \_\_\_\_\_ INGENIERÍA

**PLAN DE ESTUDIOS:** \_\_\_\_\_ INGENIERÍA MECÁNICA

**DIRECTOR:**

**NOMBRE(S):** \_\_\_\_\_ ORLANDO      **APELLIDOS:** GUTIÉRREZ LÓPEZ

**TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS):** CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y DIGITALIZACIÓN 3-D DEL IMPELLER (RODETE) DE UN TURBOCOMPRESOR CENTRÍFUGO DE AIRE.

**RESUMEN**

En este trabajo se demuestra la capacidad que tiene la fotogrametría digital como método alternativo de digitalización 3D e ingeniería inversa aplicado sobre un impeller, elemento usado en turbocargadores, en este caso un Garrett TV7701, la geometría de este impeller es considerada compleja y no se poseen datos exactos sobre la elaboración y diseño del mismo. La fotogrametría permite tomar datos de coordenadas, en este caso, de puntos sobre la curva de los álabes principales y secundarios de impeller, además se usaron técnicas de contacto y de no contacto, es decir la fotogrametría digital (no contacto) apoyada con la metrología (contacto) usando un calibrador digital. Además este trabajo permite conocer los métodos de regresión de curvas en Matlab y de digitalización 3D en Solidworks. Los datos obtenidos y la digitalización realizada fueron comparados físicamente a través de la impresión 3D del modelo digitalizado

**PALABRAS CLAVE:** Calculo geométrico, Impeller, turbocompresor de aire, programa CAD.

**CARACTERÍSTICAS:**

**PÁGINAS:** 100      **PLANOS:** \_\_\_\_\_      **ILUSTRACIONES:** \_\_\_\_\_      **CD ROOM:** 1

<b>Elaboró</b>		<b>Revisó</b>		<b>Aprobó</b>	
Equipo Operativo del Proceso		Comité de Calidad		Comité de Calidad	
<b>Fecha</b>	24/10/2014	<b>Fecha</b>	05/12/2014	<b>Fecha</b>	05/12/2014

CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y DIGITALIZACIÓN 3-D DEL IMPELLER  
(RODETE) DE UN TURBOCOMPRESOR CENTRÍFUGO DE AIRE.

FREDDY ALEJANDRO PORTILLO MORALES

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2016

CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y DIGITALIZACIÓN 3-D DEL IMPELLER  
(RODETE) DE UN TURBOCOMPRESOR CENTRÍFUGO DE AIRE.

FREDDY ALEJANDRO PORTILLO MORALES

Trabajo de grado presentado para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico

Director:

M.Eng. ORLANDO GUTIÉRREZ LÓPEZ

Ingeniero mecánico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2016



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

**FECHA:** CÚCUTA, 26 DE ABRIL DEL 2016  
**HORA:** 4:00 p.m.  
**LUGAR:** SALA DE AUDIENCIAS DE DERECHO -UFPS.  
**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERIA MECANICA

**Título de la Tesis:** "CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y DIGITALIZACIÓN 3-D DEL IMPELLER (RODETE), DE UN TURBO COMPRESOR CENTRÍFUGO DE AIRE".

**Jurados:**

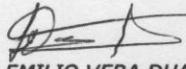
Ing. PEDRO PEREZ ANAYA  
Ing. LUIS EMILIO VERA DUARTE  
Esp. JUAN CARLOS RAMIREZ BERMUDEZ

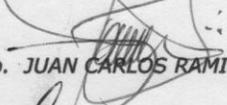
**Director:** ING. ORLANDO GUTIERREZ LOPEZ.

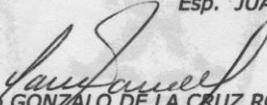
Nombre del estudiante	Código	Calificación	
		Letra	Número
FREDDY ALEJANDRO PORTILLO MORALES	1120068	Cuatro, Ocho	4.8

### MERITORIA

  
Ing. PEDRO PEREZ ANAYA

  
Ing. LUIS EMILIO VERA DUARTE

  
Esp. JUAN CARLOS RAMIREZ BERMUDEZ

  
Vo.Bo GONZALO DE LA CRUZ ROMERO GARCIA  
Coordinador Comité Curricular  
Ingeniería Mecánica

## **Dedicatorias**

A mis padres Esperanza Morales y Freddy Portillo que me apoyaron desde el inicio en este proyecto investigativo, no sólo con ayuda financiera sino también moral, gracias a sus esfuerzos todo esto se ha materializado de forma positiva, infinitas gracias a ellos.

A toda mi familia y amigos, mis hermanos, primos y tíos que se involucraron de forma directa o indirecta en este proceso.

A mis compañeros de estudio, todos ellos pusieron un granito de arena para la edificación de una educación más justa para todos y cada uno de los colombianos.

Finalmente a la ACEU (asociación Colombiana de Estudiantes Universitarios) y a la JUCO por formar a este investigador y cualificarlo para la transformación del país, por sembrar en mí ese pensamiento crítico que hoy nos llama a investigar por la transformación social para la construcción de una paz con justicia social. A ellos gracias por todo lo que me han enseñado y por tantos momentos compartidos.

“Si ustedes los jóvenes no asumen la dirección de su propio país, nadie va a venir a salvárselo... ¡Nadie!” Jaime Garzón 1960 – 1999

“La Pedagogía del oprimido, deja de ser del oprimido y pasa a ser la pedagogía de los hombres en proceso de permanente liberación” Paulo Freire

## **Agradecimientos**

Agradezco a todos los profesores que han hecho parte de mi vida universitaria, inculcando así lo mejor de sus conocimientos, lo cual fue indispensable para lograr los objetivos deseados de forma eficaz, gracias por todo el tiempo y el esfuerzo dedicado, su profesión; la docencia, es imprescindible para el desarrollo social, económico y político del país, por eso ámenla, quieranla y úsenla de la mejor manera, para construir el país que todos los colombianos queremos.

Agradezco inmensamente al GIDPI (Grupo de Investigación de Desarrollo en Procesos Industriales) quien desde el primer momento que pudimos coordinar me extendió la mano con espacios para la realización de mi tesis y con un apoyo moral incondicional, qué grandioso trabajar con cada uno de ustedes y sentirlos como mi familia.

Especial agradecimiento a los ingenieros Miguel Armando Briceño, Orlando Gutiérrez López, Jesús Pedroza y Camilo Flórez, por tomarse en serio el papel de la docencia, entendiendo la capacidad transformadora y crítica que tienen los docentes en sus manos, a ustedes por acompañarnos en nuestras marchas estudiantiles por la reivindicación de la Universidad Pública Colombiana y por estar del lado de los estudiantes de a pie, a todos ustedes no sólo yo se los agradezco, sino también todo un país que necesitan más personas como ustedes.

Especial agradecimiento al ingeniero José Ricardo Bermúdez, director del GIDPI, por su gran fuerza motivadora y ganas de sacar adelante a esta universidad, por su espíritu combativo, que lucha día a día contra las injusticias dentro y fuera de la universidad, por ayudarnos a tantos a abrir nuestros horizontes a otros países y pensar que la investigación es un deber histórico que tenemos los estudiantes, Infinitas gracias.

Por último, a mi alma máter, a quien amo y respeto desde lo más profundo de mi ser, ha sido ella quien me ha preparado para la vida, gracias a ella y a todos los estudiantes que están comprometidos con su desarrollo y transformación. ¡A ESTUDIAR Y A LUCHAR!

## Contenido

	<b>pág.</b>
Introducción	19
1. Problema	20
1.1 Título	20
1.2 Planteamiento del Problema	20
1.3 Descripción del Problema	20
1.4 Justificación	21
1.5 Objetivos	22
1.5.1 Objetivo general	22
1.5.2 Objetivos específicos	22
1.6 Alcances	22
1.7 Delimitaciones	23
2. Marco Referencial	24
2.1 Antecedentes	24
2.2 Marco Teórico	26
2.2.1 Compresores centrífugos	26
2.2.2 Principio de operación de un compresor centrífugo	28
2.2.3 Impeller o rodete	28
2.2.4 Forma de los álabes	29
2.2.5 Diagramas de velocidad	29
2.2.6 Ingeniería inversa	30
2.2.7 Procedimiento de la ingeniería inversa	31
2.2.8 Regresión no lineal	32

2.3 Marco Conceptual	34
2.4 Marco Contextual	35
2.5 Marco Legal	36
2.5.1 Norma ISO 128	36
2.5.2 Norma técnica colombiana NTC 4490 referencias documentales para fuentes de información electrónicas	36
2.5.3 NTC 1000	36
3. Metodología	37
3.1 Tipo de Investigación	37
3.2 Universo	37
3.3 Instrumentos para la Recolección de la Información	37
3.4 Variables	37
3.5 Fases de la Investigación	38
3.5.1 Recopilar y analizar la información referente al diseño de compresores centrífugos y sus componentes	38
3.5.2 Realizar el cálculo geométrico del impeller	38
3.5.3 Digitalizar el impeller en programa CAD	38
4. Desarrollo del Proyecto	39
4.1 Selección de Impeller a Estudiar	39
4.1.1 BorgWarner K14	40
4.1.2 Garrett GT4094R	42
4.1.3 Garrett Modelo TV7701 - 465498-0015	44
4.1.4 Despiece del turbocargador Garrett TV7701	46
4.1.4.1 Beneficios	47

4.1.4.2 Características	47
4.1.4.3 Opciones	48
4.2 Digitalización 3D	48
4.2.1 Selección de programa CAD	48
4.2.2 Solidworks	49
4.2.3 Metodología para la digitalización 3D	49
4.2.4 Instrumentos usados en la digitalización	49
4.2.4.1 Fotogrametría digital	49
4.2.4.2 Calibrador pie de rey digital	51
4.2.4.3 Toma de fotografías	51
4.2.5 Fotogrametría	54
4.2.6 Digitalización	54
4.2.6.1 Resultado final de la digitalización 3D	61
4.2.6.2 Caracterización geométrica	62
4.2.7 Ángulo del inicio del álabe	62
4.2.8 Ángulo de salida del álabe	63
4.2.9 Volumen	63
4.2.10 Espesor del álabe	64
4.2.11 Trim del impeller	64
4.2.12 Ecuación que describe la curva guía de los álabes	65
4.2.12.1 Coordenadas de los puntos sobre la curva del álabe principal	66
4.2.12.2 Coordenadas de los puntos sobre la curva guía del álabe secundario	69
4.2.12.3 Ajuste de curvas	71
4.2.12.4 Álabe principal	72

4.2.12.5 Álabe secundario	76
4.2.12.6 Ecuaciones paramétricas de las curvas	80
4.2.12.7 Ecuaciones paramétricas del álabe principal	81
4.2.12.8 Ecuaciones paramétricas del álabe secundario	83
4.3 Comparación del Modelo Obtenido con el Modelo Original del Impeller	85
5. Trabajos Adelantados	91
6. Conclusiones	92
7. Recomendaciones	94
Referencias Bibliográficas	95
Anexos	97