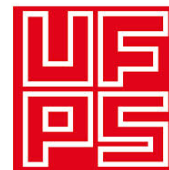




UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



## RESUMEN DE TESIS DE GRADO

**AUTOR(ES):**  
**NOMBRE(S):** ZULMA **APELLIDOS:** TORRES VELÁSQUEZ

**FACULTAD:** INGENIERÍA

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERÍA MECÁNICA

**DIRECTOR:**  
**NOMBRE(S):** ORLANDO **APELLIDOS:** GUTIERREZ LÓPEZ

**TÍTULO DE LA TESIS:** DISEÑO DE UNA TOBERA SUB-SÓNICA PARA EL LABORATORIO DE TURBOMAQUINAS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER (UFPS) SAN JOSÉ DE CÚCUTA

### RESUMEN:

En el presente proyecto se calculó y diseñó el cuerpo de una tobera sub-sónica con el que se estudiaron las propiedades de los gases mediante la variación de la presión, determinando el comportamiento del número de Mach, velocidad del fluido, velocidad sónica, temperatura y densidad, por medio del modelamiento matemático teniendo como condiciones iniciales las propiedades a la salida de la turbina del turbocargador ubicado en el laboratorio de turbomáquinas de la U.F.P.S. Por último se validaron los resultados mediante la simulación numérica del flujo dentro de la tobera.

Palabras clave: tobera, flujo sub-sónico, número de Mach, propiedades críticas, presión.

### CARACTERÍSTICAS:

**PÁGINAS:** 94 **PLANOS:**        **ILUSTRACIONES:**        **CD-ROM:** 1

DISEÑO DE UNA TOBERA SUB-SÓNICA PARA EL LABORATORIO DE TURBO  
MÁQUINAS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
(UFPS) SAN JOSÉ DE CÚCUTA

ZULMA TORRES VELÁSQUEZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA  
2014

DISEÑO DE UNA TOBERA SUB-SÓNICA PARA EL LABORATORIO DE TURBO  
MÁQUINAS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
(UFPS) SAN JOSÉ DE CÚCUTA

ZULMA TORRES VELÁSQUEZ

Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Mecánico

Director  
ORLANDO GUTIERREZ LÓPEZ  
Ingeniero Mecánico

Codirector  
JOSE RICARDO BERMUDEZ SANTAELLA  
Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA  
2014

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: CÚCUTA, 06 DE JUNIO 2014  
HORA: 2:00 p.m.  
LUGAR: DEPARTAMENTO DE FLUIDOS Y TERMICAS  
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA MECANICA

Título de la Tesis: "DISEÑO DE UNA TOBERA SUB-SONICA PARA EL LABORATORIO DE TURBOMAQUINAS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER (UFPS) SAN JOSE DE CUCUTA"

Jurados: Ing. EMILIO VERA DUARTE  
Ing. RAFAEL EUGENIO LOPEZ  
Lic. ALBERTO SARMIENTO CASTRO

Director: ING. ORLANDO GUTIERREZ LOPEZ

| Nombre de los estudiantes | Código  | Calificación   |        |
|---------------------------|---------|----------------|--------|
|                           |         | Letra          | Número |
| ZULMA TORRES VELASQUEZ    | 1120206 | Cuatro, Cuatro | 4.4    |

**APROBADA**

Ing. EMILIO VERA DUARTE

Ing. RAFAEL EUGENIO LOPEZ

Lic. ALBERTO SARMIENTO CASTRO

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

A mis padres Luis Eduardo Torres Hernandez y Zoraida Velásquez por su apoyo y motivación en este proceso de aprendizaje y preparación profesional.

Zulma Torres Velásquez

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

A Orlando Gutierrez López ME en Ingeniería Mecánica, docente de la Universidad Francisco de Paula Santander, Director del proyecto, por los conocimientos y el apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A Ricardo Bermudez MsC en Automatización e Instrumentación, docente de la Universidad Francisco de Paula Santander, Codirector del proyecto.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron con la realización del presente trabajo.

## CONTENIDO

|  | pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN   | 15   |
| 1. PROBLEMA  | 16   |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                                     | 16   |
| 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA                                       | 16   |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN  | 17   |
| 1.4 OBJETIVOS  | 17   |
| 1.4.1 Objetivo general   | 17   |
| 1.4.2 Objetivos específicos  | 17   |
| 1.5 DELIMITACIONES   | 18   |
| 1.5.1 Delimitaciones espaciales                                    | 18   |
| 1.5.2 Delimitación temporal  | 18   |
| 1.5.3 Delimitación conceptual                                      | 18   |
| 2. MARCO REFERENCIAL   | 19   |
| 2.1 ANTECEDENTES   | 19   |
| 2.2 MARCO TEÓRICOY CONCEPTUAL                                      | 21   |
| 2.2.1 Tobera   | 21   |
| 2.2.2 Flujo en un conducto de área de sección transversal variable | 22   |
| 2.2.3 Tobera de Laval  | 24   |
| 2.2.4 Ondas de choque  | 25   |
| 2.2.5 Propiedades de estancamiento                                 | 26   |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.6 Velocidad de sonido                                  | 28 |
| 2.2.7 Número de mach                                       | 30 |
| 2.2.8 Propiedades críticas                                 | 32 |
| 2.2.9 Eficiencia Isentrópica                               | 34 |
| 2.3 MARCO LEGAL  | 36 |
| <br>   |    |
| 3. DISEÑO METODOLÓGICO                                     | 37 |
| 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN                                  | 37 |
| 3.1.1 Formulación de hipótesis                             | 37 |
| 3.2 UNIVERSO Y MUESTRA                                     | 37 |
| 3.2.1 Universo   | 37 |
| 3.2.1. Muestra   | 38 |
| 3.3 INSTRUMENTOS   | 38 |
| 3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN              | 38 |
| 3.5 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN                    | 38 |
| <br>   |    |
| 4. RECOPIACIÓN DE DATOS EN EL TURBOCARGADOR                | 39 |
| <br>   |    |
| 5. MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA TOBERA | 40 |
| 5.1 PROCEDIMIENTO PARA EL MODELO MATEMÁTICO                | 40 |
| 5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MODELAMIENTO            | 49 |
| <br>   |    |
| 6. GEOMETRÍA DE LA TOBERA                                  | 53 |
| 6.1 ESPESOR  | 53 |
| 6.2 LARGO  | 55 |
| 6.3 MATERIAL   | 55 |



|   |    |
|---|----|
| 6.4 AJUSTE  | 57 |
| 7. ANSYS CFX 14.5                                     | 59 |
| 7.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE ANSYS CFX                  | 59 |
| 7.2 ESTRUCTURA DE ANSYS CFX                           | 60 |
| 7.3 CFX-PRE   | 61 |
| 7.4 CFX-SOLVER  | 61 |
| 7.5 CFX-SOLVER ADMINISTRADOR                          | 61 |
| 7.6 CFD POST  | 62 |
| 8. SIMULACIÓN DEL FLUJO EN LA TOBERA                  | 63 |
| 8.1 GEOMETRÍA   | 63 |
| 8.2 ENMALLADO   | 65 |
| 8.3 PRE-PROCESO                                       | 66 |
| 8.4 SOLUCIÓN  | 68 |
| 8.5 POST-PROCESO O RESULTADOS                         | 69 |
| 8.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ANSYS CFX | 78 |
| 9. CONCLUSIONES                                       | 80 |
| 10. RECOMENDACIONES                                   | 82 |
| BIBLIOGRAFÍA  | 83 |
| ANEXOS  | 85 |