



**RESUMEN – TESIS DE GRADO**

**AUTORES:**

NOMBRE(S): WILMAR APELLIDO (S): ESTUPIÑAN CORREA

NOMBRE(S): FELIPE ANDRÉS APELLIDO (S): FRANCO RUEDA

FACULTAD: INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

**DIRECTOR:**

NOMBRE (S): FAUSTINO APELLIDO (S): MORENO GAMBOA

**TITULO DE LA TESIS:** DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO, ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DE UN MOTOR DIESEL MONO CILÍNDRICO, PARA EFECTUAR SU FUNCIONAMIENTO CON AIRE ENRIQUECIDO CON PRODUCTOS DE LA HIDROLISIS DEL AGUA.

**RESUMEN:**

A continuación se muestran los procesos de desarrollo y las pruebas realizadas para determinar y comparar el funcionamiento de un motor Diesel mono-cilindro trabajando solo con Diesel y trabajando con Diesel + gas HHO. El gas HHO es el producto de la hidrolisis del agua destilada; el cual se obtiene en un equipo de hidrogeno vehicular y que fue inyectado a la admisión de aire del motor. Para el desarrollo del proyecto fue necesario el diseño y construcción del banco de pruebas que consta de los siguientes elementos: Un dinamómetro hidráulico con capacidad para motores de hasta 100hp, un circuito hidráulico, una estructura, sensores para la toma de datos y el equipo de hidrogeno vehicular. Se realizaron pruebas de consumo de combustible y de emisiones de gases de escape y se hizo las respectivas comparaciones.

PALABRAS CLAVE: Hidrolisis, dinamómetro, par motor, gases escape, RPM, celda de carga, encoder, toroide, impulsor, estator, gas HHO.

**CARACTERÍSTICAS:**

PAGINAS: 317 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 207 CD-ROM: 1

DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO, ENERGÉTICO Y  
AMBIENTAL DE UN MOTOR DIESEL MONO CILÍNDRICO, PARA EFECTUAR  
SU FUNCIONAMIENTO CON AIRE ENRIQUECIDO CON PRODUCTOS DE LA  
HIDROLISIS DEL AGUA.

WILMAR ESTUPIÑAN CORREA  
FELIPE ANDRÉS FRANCO RUEDA

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

DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO, ENERGÉTICO Y  
AMBIENTAL DE UN MOTOR DIESEL MONO CILÍNDRICO, PARA EFECTUAR  
SU FUNCIONAMIENTO CON AIRE ENRIQUECIDO DE PRODUCTOS DE LA  
HIDROLISIS DEL AGUA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
Ingeniero Mecánico

Director:  
FAUSTINO MORENO GAMBOA  
Ingeniero Mecánico

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, 12 DE DICIEMBRE DEL 2014

HORA: 10:00 a.m.

LUGAR: LABORATORIO TERMICAS SP-119

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA MECANICA

Título de la Tesis: "DETERMINACION DEL DESEMPEÑO MECANICO, ENERGETICO Y AMBIENTAL DE UN MOTOR DIESEL MONOCILINDRICO PARA EFECTUAR SU FUNCIONAMIENTO CON AIRE ENRIQUECIDO CON PRODUCTOS DE LA HIDROLISIS DEL AGUA"

Jurados:

Ing. RAFAEL EUGENIO LOPEZ  
Ing. ORLANDO GUTIERREZ LOPEZ  
Lic. ADOLFO IBARRA ROMERO

Director: Ing. FAUSTINO MORENO GAMBOA

Nombre de los estudiantes	Código	Calificación	
		Letra	Número
WILMAR ESTUPIÑAN CORREA	1120184	Cinco, cero	5.0
FELIPE ANDRES FRANCO RUEDA	1120072	Cinco, cero	5.0

**LAUREADA**

Ing. RAFAEL EUGENIO LOPEZ

Ing. ORLANDO GUTIERREZ LOPEZ

Lic. ADOLFO IBARRA ROMERO

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

A mis papas Emérita y Oscar, que siempre confiaron en mis capacidades y fortalezas, me apoyaron en todo momento y nunca me dejaron solo en esta etapa tan importante de mi vida. Han sido y serán una fuente de inspiración para seguir adelante con mis proyectos, me siento muy afortunado y orgulloso de ellos. Gracias infinitas.

A mis hermanos Oscar, Cesar, Mauricio y Alexandra; que siempre me han apoyado en todo y han tenido tanta paciencia. Son una fuente de alegría, energía y amor incondicional; siempre creyeron en mí y son un orgullo que siempre mostrare al mundo.

A mis sobrinos Laura, Alejandra, Tomas, Isaac y Mateo, por robarme tantas sonrisas y momentos inolvidables; por motivarme a seguir adelante, los amo. A mis cuñados Francia, Sonia y Dave, gracias por los consejos que me han dado.

A toda mi familia, que siempre me han dado tanta alegría y momentos inolvidables. Sus consejos siempre los tendré en cuenta.

A mi novia Alexandra, siempre ha sido un gran apoyo a lo largo de toda la carrera. Nunca me dejó rendir y me inspira a seguir con mis proyectos de vida. Gracias por tantos momentos alegres que hemos pasado, gracias por ser mi amiga y confidente.

A mis amigos y compañeros que conocí a lo largo de esta etapa, gracias por tantas risas, estudio y apoyo.

A mi compañero y gran amigo Wilmar, que se aguantó tantos meses de arduo trabajo. A pesar de todas las dificultades estuvo firme con la meta siempre clara.

FELIPE ANDRÉS FRANCO RUEDA

A Dios por darme la vida, la fortaleza y sabiduría necesaria para lograr mis metas, A mis padres Benito y Alix Estupiñan por el apoyo brindado en la vida, especialmente en esta etapa universitaria y porque son mi motor por quienes lucho y entrego lo mejor día tras día. a mis padrinos y primos cercanos por su amorosa paciencia y apoyo incondicional. Y a mis hermanos por esas acciones y palabras de aliento cuando parecía que me iba a rendir. A los pocos amigos y profesores que me acompañaron en esta difícil etapa. También a todos aquellos que no creyeron en mí, que esperaban mi fracaso en cada paso hacia la terminación de mis estudios, a los que nunca esperaban que lograra terminar la carrera y que me rendiría fácilmente.

A todos ellos les agradezco eternamente, para todos ellos hago esta dedicatoria.

WILMAR ESTUPIÑAN CORREA



## **AGRADECIMIENTOS**

Al departamento de Fluidos y Térmicas (FLUTER) y sus docentes por sus buenos consejos y apoyo en todo lo que necesitamos.

A Alirio y becas trabajo por facilitarnos los laboratorios y equipos que necesitamos.

Al Ingeniero Jesús Pedroza, por su ayuda y valiosos consejos a los problemas que tuvimos a lo largo del proyecto.

Al profesor y encargado del taller de máquinas y herramientas, David. Por permitirnos usar los equipos y aconsejarnos en la construcción de algunas piezas mecánicas.

A Guillermo, del departamento de Química, por prestarnos el desecador y aclarar algunas dudas.

Al Ingeniero y compañero de Electrónica Jaime Arturo Dulce, por ayudarnos y darnos asesorías en sensores y programación.

Al FINÚ, por financiar el proyecto.

Al Ingeniero y director del proyecto Faustino Moreno, por los consejos y tener tanta paciencia con el desarrollo del proyecto; por ayudarnos a conseguir equipos y materiales.

A los Ingenieros Orlando Gutiérrez y Rafael Eugenio, por estar pendientes del proyecto y aconsejarnos en las dificultades que se nos presentaron.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	19
INTRODUCCIÓN	20
1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	22
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.2 JUSTIFICACIÓN	24
1.3 OBJETIVOS:	26
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	26
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
1.4 DELIMITACIONES	27
2.MARCO REFERENCIAL	28
2.1 ANTECEDENTES	28
2.2 MARCO TEÓRICO	31
2.3 MARCO CONCEPTUAL	52
2.4 MARCO CONTEXTUAL	54
2.5 MARCO LEGAL	54
3.DISEÑO METODOLÓGICO	57
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	57
3.2 HIPÓTESIS	57
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	57
3.4 INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	58
3.5 VARIABLES	58
3.6 FASES DE LA INVESTIGACIÓN	58
3.7 TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	63
4.ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO	64
4.1 RECURSOS HUMANOS	64
4.2 RECURSOS INSTITUCIONALES	64
4.3 RECURSOS FINANCIEROS	64
5. SELECCIÓN Y ADQUISICIÓN DE LOS SENSORES QUE HACEN PARTE DEL BANCO DE PRUEBAS.	66



5.1	CELDA DE CARGA:	66
5.2	ADAPTADOR DE SEÑAL DE LA CELDA DE CARGA:	66
5.3	FUENTE DE ENERGÍA PARA LA CELDA DE CARGA Y ADAPTADOR DE SEÑAL.	67
5.4	ENCODER PARA LA TOMA DE RPM DEL MOTOR.	68
5.5	SENSOR DE DISTANCIA POR ULTRASONIDO.	69
6.	CIRCUITO ELÉCTRICO, CAJA DE ELECTRÓNICA, INDICADORES Y PUERTO DE CONEXIÓN	70
6.1	CONEXIÓN ENTRE LOS ELEMENTOS ELECTRÓNICOS.	70
6.2	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO ELÉCTRICO.	71
6.3	CAJA ELECTRÓNICA.	76
6.4	PUERTO DB-15	77
7.	DISEÑO DE LA INTERFAZ GRAFICA.	79
7.1	TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS DAQ 6009.	81
7.2	ARDUINO.	82
8.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA	85
9.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DINAMÓMETRO HIDRÁULICO Y SUS COMPONENTES	94
9.1	ECUACIÓN DE ENERGÍA DEL DINAMÓMETRO	94
9.2	CAPACIDAD DEL DINAMÓMETRO	96
9.3	GEOMETRÍA DEL TOROIDE	96
9.4	DIAGRAMA DE VELOCIDADES Y ÁNGULO DE LAS ASPAS.	99
9.5	FLUJO EN LOS TOROIDES	100
9.6	ECUACIÓN DE CONTINUIDAD	101
9.7	ECUACIÓN DE CONSERVACIÓN DE MOMENTO ANGULAR	101
9.8	ECUACIÓN DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA	102
9.9	FACTOR DE SEGURIDAD	104
9.10	PRESIÓN DINÁMICA	105
9.11	CALCULO DE LAS PAREDES DEL DINAMÓMETRO.	105
9.12	RESULTADOS DEL DISEÑO DEL DINAMÓMETRO	107
9.13	DISEÑO DEL EJE O FLECHA DE TRANSMISIÓN	110
9.14	CALCULO DE RODAMIENTOS.	120

9.15	SELECCIÓN DE ANILLOS DE RETENCIÓN	124
9.16	SELECCIÓN DE SELLOS MECÁNICOS	125
9.17	SELECCIÓN DEL O´RING PARA LAS CARCASAS.	127
9.18	SELECCIÓN DE PERNOS DE SUJECCIÓN DE LAS CARCASAS.	127
9.19	CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DEL DINAMÓMETRO	139
10.	EQUIPO DE HIDROGENO VEHICULAR.	142
10.1	FORMULA ELECTROLÍTICA Y PRODUCCIÓN DE HHO	144
10.2	MONTAJE DEL EQUIPO DE HIDROGENO VEHICULAR.	145
11.	MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS CON SUS RESPECTIVOS SISTEMAS Y DISPOSITIVOS.	150
11.1	CALCULO DE VIBRACIONES	150
11.2	CIRCUITO HIDRÁULICO	158
11.3	CONSTRUCCIÓN DE LOS ACOPLES, POLEAS Y TENSOR.	162
11.4	MANTENIMIENTO AL MOTOR.	165
11.5	ACONDICIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.	167
11.6	MONTAJE DEL CONTRAPESO	169
11.7	INSTALACIÓN DE LOS SENSORES, EL EQUIPO DE HIDROGENO VEHICULAR Y SISTEMA DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE.	170
11.8	BANCO DE PRUEBAS	175
12.	DESARROLLO DE LAS PRUEBAS	177
12.1	ENCENDIDO DEL MOTOR Y PUESTA EN MARCHA DEL DINAMÓMETRO.	177
12.2	CONSUMO DE AIRE	183
12.3	RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO	191
12.4	PRUEBAS DE MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (PM)	193
12.5	PRUEBAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	207
12.6	PRUEBAS DE POTENCIA	208
12.7	PRUEBAS DE ANÁLISIS DE GASES.	213
13.	RESULTADOS.	218
13.1	CONSUMO DE AIRE.	218
13.2	MATERIAL PARTICULADO	220
13.3	CONSUMO DE COMBUSTIBLE	223

13.4 POTENCIA Y TORQUE	227
13.5 ANÁLISIS DE GASES	229
14. EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS COSTOS DE LA UTILIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS Y CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL COMBUSTIBLE	245
15.COSTOS DEL PROYECTO	252
16.CONCLUSIONES	257
17.RECOMENDACIONES	259
18.PROPOSTA PARA LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA PARA LA INSTALACIÓN DE EQUIPO DE HIDROGENO VEHICULAR.	261
BIBLIOGRAFÍA	266
ANEXOS	270
ARTICULO	306