

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO.**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO INTERNO DE UN  
MOTOR 4 TIEMPOS ENCENDIDO POR CHISPA (Ech), AL  
APLICARLE UN RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO  
MEDIANTE LA TÉCNICA DE TERMO-ROCIADO POR  
PLASMA.**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por los Bachilleres:  
**BRAVO ROJAS RODOLFO D.**  
**DÍAZ SPADEA DIEGO E.**  
Para optar al Título de Ingeniero  
Mecánico.

**Caracas, 2005.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO.**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO INTERNO DE UN  
MOTOR 4 TIEMPOS ENCENDIDO POR CHISPA (Ech), AL  
APLICARLE UN RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO  
MEDIANTE LA TÉCNICA DE TERMO-ROCIADO POR  
PLASMA.**

TUTOR ACADÉMICO: Ing. Andrea Scagni

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por los Bachilleres:  
**BRAVO ROJAS RODOLFO D.**  
**DÍAZ SPADEA DIEGO E.**  
Para optar al Título de Ingeniero  
Mecánico.

**Caracas, 2005.**

Caracas, abril de 2005.

**ACTA.**

Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres: Bravo R.; Rodolfo D. y Díaz S.; Diego E.

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO INTERNO DE UN  
MOTOR 4 TIEMPOS ENCENDIDO POR CHISPA (Ech), AL  
APLICARLE UN RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO  
MEDIANTE LA TÉCNICA DE TERMO-ROCIADO POR  
PLASMA.**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero Mecánico.



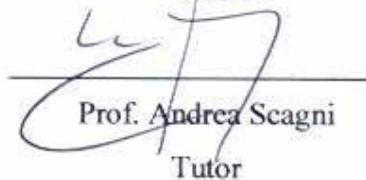
Prof. Frank Pietersz

Jurado



Prof. José Di Marco

Jurado



Prof. Andrea Scagni  
Tutor



---

---

**Bravo Rojas Rodolfo D.  
Díaz Spadea Diego E.**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO INTERNO DE UN MOTOR 4  
TIEMPOS ENCENDIDO POR CHISPA (Ech), AL APLICARLE UN  
RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO MEDIANTE LA TÉCNICA  
DE TERMO-ROCIADO POR PLASMA.**

**Tutor Académico: Prof. Andrea Scagni. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de  
Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2005**

**Termo-rociado, Motor, Plasma y Oxido de Zirconio.**

El avance en la Industria Automotriz, requiere de estudios e investigaciones para desarrollar nuevas tecnologías, este trabajo apunta hacia uno de los tantos caminos a tomar para encontrar nuevas innovaciones, como fue la aplicación de un recubrimiento de Oxido de Zirconio mediante la técnica del termo-rociado por plasma a los elementos involucrados en el proceso de combustión de la mezcla aire-combustible presente en la cámara de combustión de un motor 4 tiempos encendido por chispa (Ech), la cual brinda la capacidad de reparación de las piezas originales, sin comprometer el comportamiento para el cual han sido diseñados y construidos.

De esta manera, se le aplicó el recubrimiento a los elementos o piezas: Pistón, Camisa, Cámara de Combustión y Válvulas de Admisión y Escape del motor, involucradas en el comportamiento interno de éste, y de esta manera se encontraron que aportes o mejoras le proporcionaron este recubrimiento aplicado mediante la técnica antes mencionada.

Se determinaron dichos aportes o mejoras, realizándole una serie de pruebas y ensayos a las partes en estudio como conjunto las cuales fueron: un análisis donde se obtienen sus curvas características de potencia al freno, torque y consumo específico de combustible Vs. revoluciones por minutos (rpm), además obtener las temperaturas de los gases de escape y del agua de refrigeración, como también obtener la composición de los gases de escape producto de la combustión a través del Ensayo Orsat.

Luego, fueron comparados con las curvas características del comportamiento interno del motor, al igual todos los datos de temperatura y composición de los gases de escape, pero sin haber trabajado los elementos en estudio y determinar si estas mejoras que han sufrido los elementos de máquina son aceptables.

## **DEDICATORIA.**

**A mi Madre (Zulayda Spadea Salerno)**, por todo su amor y paciencia, por permanecer siempre a mi lado, dándome apoyo, optimismo y esperanza, por su esfuerzo y dedicación, esto es una demostración de agradecimiento por todo el esfuerzo realizado. “Te quiero y eres orgullo para mí”.

**A la memoria de mi Padre (Melchor Díaz Tarazón)**, por todo su amor y apoyo, por ser mi guía en el camino de mis metas. Por ser un ejemplo a seguir. Esto es un agradecimiento por tu vida “Te quiero y eres orgullo para mí”.

**A la memoria de mi Nonna (Gaetana Salerno de Spadea)**, por todo el amor y apoyo que me dio. Esto es un agradecimiento por tu vida “Te quiero y eres orgullo para mí”.

**A mis Hermanas (Melyluz y Mellany)**, porque siempre han estado y estarán conmigo a lo largo de mi vida. Las quiero.

**A mis Tíos, Tías, Primas y Primo.**

**A toda mi familia.**

**Díaz Spadea Diego Enrique.**

## **DEDICATORIA.**

**A mi madre**, por haberme apoyado y alentado durante el transcurso de mi carrera.

**A mi padre**, por darme todo su apoyo.

**A mi hermana Maria Susana**, por apoyarme, alentarme y ayudarme de una manera incondicional e incansable a lo largo de mis estudios.

**A mí cuñado**, Manchito.

**A mis sobrinos**, Luís Adolfo y Germán Rodolfo.

**A mis hermanos**, Nacho, Beba y Mariana.

**A la familia Sánchez Hurtado**, por tenerme presente en sus oraciones.

**A mis amigos**, Frederic y Guiseppe por estar prestos a ayudarme

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma contribuyeron en la realización de este trabajo

A todos ellos un millón de Gracias

**Bravo Rojas Rodolfo Daniel**

## **AGRADECIMIENTOS.**

A Dios todopoderoso y eterno.

A nuestros Padres, por darnos el ser, sus apoyos y enseñarnos a culminar nuestras metas.

A la Empresa Plasmatec Ingenieros C.A., por permitirnos desarrollar parte de este proyecto.

.  
Al Ing. Andrea Scagni, por ayudarnos, darnos su apoyo y amistad; y por colaborar con el logro de esta meta.

A todos los profesores de Universidad Central de Venezuela, por todo el tiempo dedicado.

A todos nuestros amigos y compañeros.

A toda nuestra familia.

Gracias.



---

---

## ÍNDICE.

<b>RESUMEN</b> .....	<b>i</b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	<b>xviii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>xix</b>
<b>Objetivo General</b> .....	<b>xxi</b>
<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>xxi</b>
<b>CAPÍTULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>2</b>
<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1.- CARACTERÍSTICAS DEL RECUBRIMIENTO (OXIDO DE ZIRCONIO)</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1.1.- PROPIEDADES DEL OXIDO DE ZIRCONIO</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1.2.- TEMPERATURA DE FUSIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1.3.- COEFICIENTE DE EXPANSIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1.4.- PROPIEDADES MORFOLÓGICAS</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1.4.1.- MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1.5.- CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1.6.- ESPESOR DE DEPOSICIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>1.2.- APLICACIONES</b> .....	<b>8</b>
<b>1.3.- ESTUDIOS PREVIOS</b> .....	<b>9</b>
<b>1.4.- REFERENTE A LOS MOTORES</b> .....	<b>9</b>
<b>1.4.1.- MOTOR</b> .....	<b>9</b>





---

---

1.4.2.- POTENCIA BRUTA O DE SALIDA.....	10
1.4.2.1.- Potencia Observada .....	10
1.4.2.2.- Potencia Neta.....	10
1.4.2.3.- Potencia al Freno .....	10
1.4.2.4.- Potencia Máxima al Freno .....	10
1.4.2.5.- Potencia Pico al Freno .....	11
1.4.2.6.- Potencia Intermitente al Freno.....	11
1.4.2.7.- Potencia Continua al Freno .....	11
1.4.3.- PÉRDIDAS EN EL MOTOR .....	11
1.4.4.- CALOR DE COMBUSTIÓN.....	12
1.5.- PROCESOS DE ROCIADO TÉRMICO - ANTECEDENTES .....	13
1.5.1.- TÉCNICA DE TERMO-ROCIADO POR PLASMA PARA LA OBTENCIÓN DE RECUBRIMIENTOS .....	17
1.5.1.1- TEORÍA DE OPERACIÓN.....	17
CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	20
2.1.- NORMAS PARA PRUEBAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA .....	20
2.1.1.- Normas SAE J816.....	20
2.2.- EQUIPOS .....	21
2.2.1.- BANCO DE PRUEBAS.....	21
2.2.2.- BALANCEO DEL DINAMÓMETRO, CALIBRACIÓN Y SENSIBILIDAD.....	22
2.2.3.- VELOCIDAD .....	23
2.2.4.- TIEMPO .....	23
2.2.5.- COMBUSTIBLE.....	23
2.2.6.- TEMPERATURAS.....	24
2.2.7.- CONDICIONES ATMOSFÉRICAS .....	24
2.3.- OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS .....	25

---

---



---

---

<b>2.4.- PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR LAS PRUEBAS .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.- PROCEDIMIENTO EJECUTADO PARA CADA PRUEBA .....</b>	<b>27</b>
<b>2.6.- IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR .....</b>	<b>27</b>
<b>2.7.- ESPECIFICACIONES DE PUESTA A PUNTO.....</b>	<b>28</b>
<b>2.7.1.- ESPECIFICACIONES DE LAS VÁLVULAS .....</b>	<b>28</b>
<b>2.7.2.- ESPECIFICACIONES DE LAS MUÑEQUILLAS DE LOS     COJINETES DEL CIGÜEÑAL .....</b>	<b>29</b>
<b>2.7.3.- ESPECIFICACIONES DE LOS PISTONES Y SEGMENTOS .....</b>	<b>29</b>
<b>2.7.4.- ESPECIFICACIONES DEL PAR DE APRIETE .....</b>	<b>29</b>
<b>2.8.- MECÁNICA DEL MOTOR .....</b>	<b>30</b>
<b>2.8.1.- MOTOR: DESMONTAJE Y MONTAJE (140 pulgadas cúbicas) ...</b>	<b>30</b>
<b>2.8.1.a.- Desmontaje del motor.....</b>	<b>30</b>
<b>2.8.1.b.- Montaje del motor .....</b>	<b>31</b>
<b>2.8.2.- COLECTOR DE ADMISIÓN: DESMONTAJE Y MONTAJE (140     pulgadas cúbicas) .....</b>	<b>32</b>
<b>2.8.2.a.- Desmontaje del colector de admisión .....</b>	<b>32</b>
<b>2.8.2.b.- Montaje del colector de admisión .....</b>	<b>33</b>
<b>2.8.3.- COLECTOR DE ESCAPE: DESMONTAJE Y MONTAJE (140     pulgadas cúbicas) .....</b>	<b>34</b>
<b>2.8.3.a.- Desmontaje del colector de escape .....</b>	<b>34</b>
<b>2.8.3.b.- Montaje del colector de escape .....</b>	<b>34</b>
<b>2.8.4.- CULATA: DESMONTAJE Y MONTAJE (140 pulgadas cúbicas)...</b>	<b>35</b>
<b>2.8.4.a.- Desmontaje de la culata.....</b>	<b>35</b>
<b>2.8.4.b.- Montaje de la culata .....</b>	<b>35</b>
<b>2.8.5.- TAPA DE DISTRIBUCIÓN DE VÁLVULAS Y CORREA:     DESMONTAJE Y MONTAJE (140 pulgadas cúbicas) .....</b>	<b>36</b>
<b>2.8.5.a.- Desmontaje de la tapa de distribución de válvulas y correa.....</b>	<b>37</b>
<b>2.8.5.b.- Montaje de la tapa de distribución de válvulas y correa .....</b>	<b>37</b>

---

---



---

---

2.8.6.- ÁRBOL DE LEVAS: DESMONTAJE Y MONTAJE (140 pulgadas cúbicas).....	38
2.8.6.a.- Desmontaje del árbol de levas .....	38
2.8.6.b.- Montaje del árbol de levas .....	39
2.9.- PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO.....	40
2.10.- PROCEDIMIENTO EFECTUADO PARA LA OBTENCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE .....	41
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.- ENSAYOS REALIZADOS AL MOTOR 4T Ech, SIN LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO .....</b>	<b>43</b>
ENSAYO N° 1.....	43
ENSAYO N° 2.....	45
ENSAYO N° 3.....	47
ENSAYO N° 4.....	49
ENSAYO N° 5.....	51
ENSAYO N° 6.....	53
ENSAYO N° 7.....	55
ENSAYO N° 8.....	57
ENSAYO N° 9.....	59
ENSAYO N° 10.....	61
<b>3.2.- ENSAYOS PROMEDIO REALIZADOS AL MOTOR 4T Ech, SIN LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO .....</b>	<b>63</b>
TORQUE PROMEDIO .....	64
CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE PROMEDIO.....	66
POTENCIA AL FRENO PROMEDIO.....	68
<b>3.3.- ENSAYOS REALIZADOS AL MOTOR 4T Ech, CON LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO .....</b>	<b>70</b>

---

---



---

---

<b>ENSAYO N° 11</b> .....	<b>70</b>
<b>ENSAYO N° 12</b> .....	<b>72</b>
<b>ENSAYO N° 13</b> .....	<b>74</b>
<b>ENSAYO N° 14</b> .....	<b>76</b>
<b>ENSAYO N° 15</b> .....	<b>78</b>
<b>ENSAYO N° 16</b> .....	<b>80</b>
<b>ENSAYO N° 17</b> .....	<b>82</b>
<b>ENSAYO N° 18</b> .....	<b>84</b>
<b>ENSAYO N° 19</b> .....	<b>86</b>
<b>ENSAYO N° 20</b> .....	<b>88</b>
<b>3.4.- ENSAYOS PROMEDIO REALIZADOS AL MOTOR 4T Ech, CON LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO</b> .....	<b>90</b>
<b>TORQUE PROMEDIO</b> .....	<b>91</b>
<b>CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE PROMEDIO</b> .....	<b>93</b>
<b>POTENCIA AL FRENO PROMEDIO</b> .....	<b>95</b>
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>101</b>
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES</b> .....	<b>104</b>
<b>CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES</b> .....	<b>107</b>
<b>CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>109</b>
<b>ANEXOS:</b> .....	<b>112</b>

---

---



---

---

## LISTA DE FIGURAS.

<b>Figura 1:</b> Microfotografía (2720X) correspondiente al óxido de zirconio puro .....	7
<b>Figura 2:</b> Microfotografía (1360X).....	7
<b>Figura 3:</b> Microfotografía (1850X), con cristales de zirconio sulfatado con textura fibrosa sin un patrón de ordenamiento definido.....	7
<b>Figura 4:</b> Microfotografía (4780X), con cristales alargados con textura entrecruzada .....	7
<b>Figura 5:</b> Representación esquemática de la formación del recubrimiento en los procesos de termo-rociado .....	13
<b>Figura 6:</b> Clasificación de las Técnicas de Termo-rociado.....	14
<b>Figuraa 7:</b> Representación esquemática de las variables temperatura de la llama y velocidad de deposición en los procesos de termo-rociado .....	16
<b>Figura 8:</b> Representación esquemática de los diferentes componentes que conforman el proceso de termo-rociado por plasma. ....	18
<b>Figura 9:</b> Orden de apriete de los tornillos del colector de admisión .....	33
<b>Figura 10:</b> Orden de apriete de los tornillos del colector de escape .....	34
<b>Figura 11:</b> Secuencia de apriete de los tornillos de la culata del motor.....	36
<b>Figura 12:</b> Alineación de las marcas del motor .....	38
<b>Figura 13:</b> Desmontaje/Montaje del árbol de levas del motor.....	40



---

---

## LISTA DE TABLAS.

<b>Tabla 1:</b> Propiedades típicas de recubrimientos de polvos por proceso de termo- rociado por plasma. ....	<b>5</b>
<b>Tabla 2:</b> Propiedades de la gasolina. ....	<b>12</b>
<b>Tabla 3:</b> Características mas relevantes de las técnicas de termo-rociado. ....	<b>15</b>
<b>Tabla 4:</b> Especificaciones de las válvulas. ....	<b>28</b>
<b>Tabla 5:</b> Especificaciones de las muñequillas de los cojinetes del cigüeñal. ....	<b>29</b>
<b>Tabla 6:</b> Especificaciones de los pistones y segmentos. ....	<b>29</b>
<b>Tabla 7:</b> Especificaciones del par de apriete. ....	<b>29</b>
<b>Tabla 8:</b> Ensayo N°1 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>43</b>
<b>Tabla 9:</b> Ensayo N°2 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>45</b>
<b>Tabla 10:</b> Ensayo N°3 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>47</b>
<b>Tabla 11:</b> Ensayo N°4 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>49</b>
<b>Tabla 12:</b> Ensayo N°5 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>51</b>
<b>Tabla 13:</b> Ensayo N°6 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>53</b>
<b>Tabla 14:</b> Ensayo N°7 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>55</b>
<b>Tabla 15:</b> Ensayo N°8 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>57</b>
<b>Tabla 16:</b> Ensayo N°9 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>59</b>
<b>Tabla 17:</b> Ensayo N°10 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>61</b>
<b>Tabla 18:</b> Composición química en parte por millón de los elementos productos de la combustión para los ensayos al motor 4T Ech sin la aplicación del recubrimiento ...	<b>63</b>
<b>Tabla 19:</b> Valores promedios del Torque correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>64</b>
<b>Tabla 20:</b> Desviación Estándar de los valores promedios del Torque correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio) .....	<b>64</b>
<b>Tabla 21:</b> Valores promedios de Consumo Específico de Combustible correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>66</b>



---

---

<b>Tabla 22:</b> Desviación Estándar de los valores promedios de Consumo Específico de Combustible correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio) .....	<b>66</b>
<b>Tabla 23:</b> Valores promedios de Potencia al Freno correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>68</b>
<b>Tabla 24:</b> Desviación Estándar de los valores promedios de Potencia al Freno correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio).....	<b>68</b>
<b>Tabla 25:</b> Ensayo N°11 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>70</b>
<b>Tabla 26:</b> Ensayo N°12 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>72</b>
<b>Tabla 27:</b> Ensayo N°13 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>74</b>
<b>Tabla 28:</b> Ensayo N°14 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>76</b>
<b>Tabla 29:</b> Ensayo N°15 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>78</b>
<b>Tabla 30:</b> Ensayo N°16 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>80</b>
<b>Tabla 31:</b> Ensayo N°17 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>82</b>
<b>Tabla 32:</b> Ensayo N°18 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>84</b>
<b>Tabla 33:</b> Ensayo N°19 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>86</b>
<b>Tabla 34:</b> Ensayo N°20 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>88</b>
<b>Tabla 35:</b> Composición química en parte por millón de los elementos productos de la combustión para los ensayos al motor 4T Ech con la aplicación del recubrimiento ..	<b>90</b>

---

---



<b>Tabla 36:</b> Valores promedios del Torque correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>91</b>
<b>Tabla 37:</b> Desviación Estándar de los valores promedios del Torque correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio) .....	<b>91</b>
<b>Tabla 38:</b> Valores promedios de Consumo Específico de Combustible correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio .....	<b>93</b>
<b>Tabla 39:</b> Desviación Estándar de los valores promedios de Consumo Específico de Combustible correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio) .....	<b>93</b>
<b>Tabla 40:</b> Valores promedios de Potencia al Freno correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>95</b>
<b>Tabla 41:</b> Desviación Estándar de los valores promedios de Potencia al Freno correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio).....	<b>95</b>





---

---

## LISTA DE GRÁFICOS.

<b>Gráfico N°1:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°1 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>44</b>
<b>Gráfico N°2:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°2 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>46</b>
<b>Gráfico N°3:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°3 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>48</b>
<b>Gráfico N°4:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°4 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>50</b>
<b>Gráfico N°5:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°5 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>52</b>
<b>Gráfico N°6:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°6 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>54</b>
<b>Gráfico N°7:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°7 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>56</b>
<b>Gráfico N°8:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°8 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>58</b>
<b>Gráfico N°9:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°9 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>60</b>



---

<b>Gráfico N°10:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°10 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>62</b>
<b>Gráfico N°11:</b> Torque Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>65</b>
<b>Gráfico N°12:</b> Consumo Específico de Combustible Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>67</b>
<b>Gráfico N°13:</b> Potencia al Freno Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio .....	<b>69</b>
<b>Gráfico N°14:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°11 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>71</b>
<b>Gráfico N°15:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°12 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>73</b>
<b>Gráfico N°16:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°13 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>75</b>
<b>Gráfico N°17:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°14 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>77</b>
<b>Gráfico N°18:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°15 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>79</b>

---



---

---

<b>Gráfico N°19:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°16 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>81</b>
<b>Gráfico N°20:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°17 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>83</b>
<b>Gráfico N°21:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°18 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>85</b>
<b>Gráfico N°22:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°19 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>87</b>
<b>Gráfico N°23:</b> Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°20 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>89</b>
<b>Gráfico N°24:</b> Torque Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio. ....	<b>92</b>
<b>Gráfico N°25:</b> Consumo Específico de Combustible Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.....	<b>94</b>
<b>Gráfico N°26:</b> Potencia al Freno Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio .....	<b>96</b>
<b>Gráfico N°27:</b> Comparación de los valores de Torque Promedio Vs. Revoluciones, antes y después de la aplicación del Oxido de Zirconio, correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio .....	<b>97</b>

---

---



**Gráfico N°28:** Comparación de los valores de Consumo Específico de Combustible Promedio Vs. Revoluciones, antes y después de la aplicación del Oxido de Zirconio, correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio ..... **98**

**Gráfico N°29:** Comparación de los valores de Potencia al Freno Promedio Vs. Revoluciones, antes y después de la aplicación del Oxido de Zirconio, correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio ..... **99**



---

---

## LISTA DE ANEXOS.

<b>Anexo A:</b> Vista Frontal, lateral derecha y lateral izquierda del motor 4T Ech, utilizado para la realización del proyecto.....	<b>112</b>
<b>Anexo B: Tabla Comparativa de Procesos de Termorociado</b> (Equivalentes aproximados de escalas Rockwell C para materiales duros) .....	<b>113</b>
<b>Anexo C-1:</b> Banco de Pruebas marca G. CUSSONS L. T .D. utilizado en los Ensayos .....	<b>114</b>
<b>Anexo C-2:</b> Freno Eléctrico y Dinamómetro utilizado en los Ensayos .....	<b>115</b>
<b>Anexo D:</b> Maquinado Orbital .....	<b>116</b>



---

## **INTRODUCCIÓN.**

En la actualidad el avance y desarrollo de nuevas tecnologías se ha volcado al estudio de soluciones que de una u otra manera son empleadas para satisfacer nuevas demandas y necesidades.

De esta manera podemos hablar del desarrollo en la industria automotriz, el cual involucra una amplia gama de maquinarias y elementos de máquinas, los cuales son de gran importancia para el óptimo desempeño de los motores, de ahí que el deterioro de componentes vitales que lo conforman signifique su paralización, reparación o su bajo nivel de comportamiento para el cual ha sido diseñado y construido.

Además, la situación de Venezuela en los últimos años ha llevado a que se dé una importancia creciente a la ingeniería de mantenimiento y en los actuales momentos parece más adecuado dirigir esfuerzos hacia la prolongación de la vida útil de los elementos de máquinas, antes que a la fabricación intensiva de piezas de reposición.

Para ello y sobre la base de estudios realizados se pueden efectuar comparaciones cuantitativas sobre máquinas conformadas por una serie de elementos o piezas y datos sobre su desempeño, para así determinar los procesos y técnicas que se aplicarán, para realizar las mejoras a los elementos ó piezas. A partir de los años 70 comenzó a tomar fuerza el proceso de rociado térmico como procedimiento para reducir el desgaste y mejorar las propiedades superficiales de estas piezas y elementos de máquina sometidos a este fenómeno. Publicaciones científicas han calificado al Rociado Térmico como método que dependiendo del material a rociar puede proveer una excelente respuesta a la erosión, abrasión, corrosión, fatiga, otras propiedades metalúrgicas y mejoras de propiedades mecánicas.



---

El termo-rociado a pesar de haber comenzado a aplicarse como proceso de recuperación de piezas desde hace casi un siglo, su reciente desarrollo se debe principalmente al énfasis que se le ha dado a dos líneas de investigación, la primera, se refiere básicamente a la optimización de las diversas técnicas de deposición que permiten mejorar sustancialmente la calidad de los recubrimientos, y la segunda, al desarrollo de materiales novedosos que responden satisfactoriamente a las diversas necesidades de la industria. Del primer enfoque el método que será objeto de nuestra investigación. El proceso de termo-rociado por Plasma es un sistema muy flexible debido a que desarrolla suficiente energía para fundir cualquier material. Utiliza polvo como material de aporte. Durante este punto de recombinación, las temperaturas llegan a los 16,600 °C, lo cual excede la temperatura superficial del sol, en este momento se inyecta el material de aporte (polvo), el cual es fundido y disparado a alta velocidad mediante la inyección de aire comprimido. Un aspecto importante de mencionar es que a pesar de las altas temperaturas de este proceso, el componente a reconstruir eleva su temperatura solamente de 38 °C a 260 °C. y del segundo enfoque lo novedoso de este recubrimiento es las ventajas que aporta al material base, como por ejemplo: 1) bajo coeficiente de fricción, 2) buena resistencia al impacto térmico, 3) alta resistencia al rayado del material, 4) buena maquinabilidad mecánica y 5) propiedades del recubrimiento consistente, entre otras.

Por esto, es nuestra inquietud el estudio de los elementos ó piezas de un motor, para luego ser mejorado. Estos estudios comprenden: análisis de las curvas características como potencia al freno, torque y consumo específico de combustible Vs. Revoluciones por minuto; análisis de la duración de los componentes mediante la técnica de abrasión.

Estas comparaciones se realizaran en un motor, en igualdad de dimensiones, primero estándar y posteriormente aplicándole el recubrimiento mediante la técnica de termo-rociado por plasma.



---

Por estas razones y en vista de la necesidad de mejorar, optimizar e introducir soluciones, es muy importante la realización de este trabajo para poder así ampliar los conocimientos actualmente existentes y ofrecer respuestas al problema planteado.

Se puede decir que la técnica de termo-rociado, es una opción que prolonga la vida útil de los elementos de máquinas y así disminuir gastos por concepto de reparación y/o sustitución de un elemento, producto del desgaste. Esta técnica de termo-rociado, se encuentra actualmente en un creciente desarrollo, y es de nuestro interés, ya que en Venezuela es poco utilizada.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Analizar el comportamiento interno de un motor 4 tiempos de encendido por chispa (Ech), al aplicarle un recubrimiento de óxido de zirconio mediante la técnica de termo-rociado por plasma.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Analizar el comportamiento interno de un motor, mediante las curvas características (potencia al freno, torque y consumo específico de combustible Vs. revoluciones por minuto) obtenidas en un banco de prueba.
- Analizar el comportamiento interno de un motor recubiertos sus elementos en estudio, con óxido de zirconio aplicado mediante la técnica de termo-rociado por plasma, a través de las curvas características (potencia al freno, torque y consumo específico de combustible Vs. revoluciones por minuto) obtenidas en un banco de prueba.





- 
- Realizar la aplicación del recubrimiento a los elementos de máquina en estudio mediante el proceso de termo-rociado por plasma.
  - Comparar los resultados obtenidos de las diversas pruebas realizadas al motor sin recubrimiento, con los obtenidos de las diferentes pruebas realizadas al mismo motor con sus elementos en estudio, recubiertos con óxido de zirconio mediante la técnica de termo-rociado por plasma.

## **CAPÍTULO I**

---

---



---

## 1. FUNDAMENTO TEÓRICO

### GENERALIDADES:

Una nueva generación de motores para automóviles particulares está siendo construidos de aleaciones de aluminio silicio, por razones de costo y de peso. Los bloques son diseñados de tal manera que la inserción de camisas de hierro colado no es a menudo posible.

Por esta razón las superficies de los cilindros, son usualmente recubiertas utilizando aplicaciones galvánicas de nikasil (un material que contiene níquel). Sin embargo, los procesos galvánicos son altamente contaminantes, por lo que se están desarrollando nuevas tecnologías.

Una alternativa es el termo-rociado por plasma. Los requerimientos para este recubrimiento son distancias cortas de rociado para cilindros entre 70 a 100 mm de diámetro y un rociado rotativo del plasma, por lo que el bloque no tendrá que dar vueltas durante el proceso de recubrimiento.

Algunas ventajas que nos ofrece el termo-rociado por plasma de oxido de zirconio, sobre los métodos tradicionales de recuperación de motores son:

- Bajo coeficiente de fricción, bajo las condiciones de operación extremas.
- Buena resistencia contra los choques térmicos.
- Mínima tendencia al desgaste.
- Buena maquinabilidad.
- Consistentes propiedades del recubrimiento sobre el sustrato.
- Modulo elástico cercano al del sustrato.



---

En ensayos realizados por industrias Sulzer Metco y un fabricante europeo de vehículos, en pruebas a motores de gasolina y motores diesel, observaron que el desgaste de las piezas recubiertas era menor, al igual que el consumo de aceite. Como resultado de esto los fabricantes ordenaron una planta piloto de rotoplasma para el recubrimiento de los motores.

Estos resultados arrojaron a corto plazo un ahorro potencial para los fabricantes y comerciantes, dado que, los costos para el rociado por plasma son notablemente menores que los de los recubrimientos galvánicos.

### **1.1.- CARACTERÍSTICAS DEL RECUBRIMIENTO (OXIDO DE ZIRCONIO):**

Teniendo en cuenta la flexibilidad del termo-rociado por plasma, así como todos los materiales en que puede ser aplicado, se distribuye en forma de polvo para su comercialización, el cual puede ser derretido. El usuario tiene la posibilidad de utilizarlo de diversas formas, obteniendo fácilmente excelentes resultados a bajos costos de operación.

De esta manera, se pueden desarrollar soluciones específicas del recubrimiento para cada tipo de motor. El rango de materiales posible donde se puede aplicar el recubrimiento va desde aleaciones de hierro, a composiciones metal-metal ó metal cerámica. Esto nos da un alto grado de libertad en la escogencia de los materiales.

Otro punto muy importante, es que el proceso de termo-rociado puede ser adaptado con facilidad en el proceso de producción automático.



---

### 1.1.1- PROPIEDADES DEL ÓXIDO DE ZIRCONIO:

El Óxido de Zirconio está compuesto en un 67% de Óxido de Aluminio, la restante proporción está constituida por Óxido de Zirconio Tetragonal, y la proporción de la fase de vidrio infiltrada supone aproximadamente el 20-25% del conjunto global, la fase de vidrio aporta una excelente penetración de los cristales hasta los canales y poros más pequeños, esto nos lleva a una elevada dureza del material, y al aumento de la tenacidad de rotura. (La tenacidad de rotura es una característica de los materiales que nos indica la resistencia de dicho material frente a la progresión de grietas).

Otra característica importante del Óxido de Zirconio es el llamado Refuerzo de transformación. (Refuerzo de transformación es la propiedad de transformarse que posee un material cuando le aplicamos una sobrecarga). Gracias a la transformación tetragonal / monoclina, (aproximadamente un 3% de aumento del volumen), del Óxido de Zirconio se reduce tanto la energía de la grieta, que se interrumpe la expansión de la misma.

En la Tabla 1 se muestran las propiedades típicas de recubrimientos de polvos que se pueden emplear en el por proceso de termo-rociado por plasma.



Categoría de recubrimiento para alambre por combustión	Rango de Adherencia (psi)	Rango de Densidad (% Mat.Sólido)	Rango Dureza Macro
<b>Base Hierro, Níquel y Cobalto</b> Acero inoxidable Acero carbono Un solo paso	3000-7000	90%	C20-50
	3000-7000	90%	C20-50
	5000-8000	90%	B75-85
<b>No Férricos</b> Bronce Cobre Níquel	3000-5000	90%	B50-80
	2000-2500	90%	H40-90
	2000-4000	90%	B50-70
<b>Recubrimientos Fundidos</b> Níquel Cromo Carburo de Tungsteno Cobalto	> 10.000	100%	C50-60
	> 10.000	100%	C45-60
<b>Óxidos Cerámicos</b>	4000-7000	90%	C60-74
<b>Carburos de Tungsteno</b>	5000-10000	90%	C60-70

**Tabla 1:** Propiedades típicas de recubrimientos de polvos por proceso de termo-rociado por plasma.

### 1.1.2- TEMPERATURA DE FUSIÓN:

El óxido de zirconio, tiene una temperatura de fusión de  $5000 \pm 150$  °F y son reconocidos por su habilidad para soportar severos choques térmicos y altas temperaturas.

### 1.1.3- COEFICIENTE DE EXPANSIÓN:

Otra propiedad del óxido de zirconio es el bajo coeficiente de expansión térmico. Este valor está reportado en  $4.16 \cdot 10^{-6}$  in \* in<sup>-2</sup> \* F<sup>-1</sup>, sobre el rango de temperaturas que va desde los 80 hasta los 800 F, lo que cubre la mayoría de las



---

aplicaciones a motores (tanto diesel como a gasolina). Pero la diferencia radical de este valor esta al compararla con el coeficiente de expansión térmica del hierro colado  $509 \cdot 10^{-6} \text{ in} \cdot \text{in}^{-2} \cdot \text{F}^{-1}$ , ó el aluminio  $(13.2-13.7) \cdot 10^{-6} \text{ in} \cdot \text{in}^{-2} \cdot \text{F}^{-1}$ .

#### **1.1.4- PROPIEDADES MORFOLÓGICAS:**

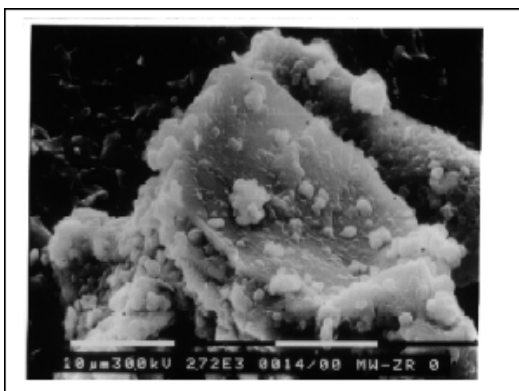
Un examen microscópico <sup>(1)</sup> revela cerca de un 10% de porosidad (valor óptimo) y una multitud de microcraks. Esto resalta su dureza como la requerida para los componentes cíclicos sobre los rangos de temperatura óptimos de funcionamiento.

##### **1.1.4.1.- MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM):**

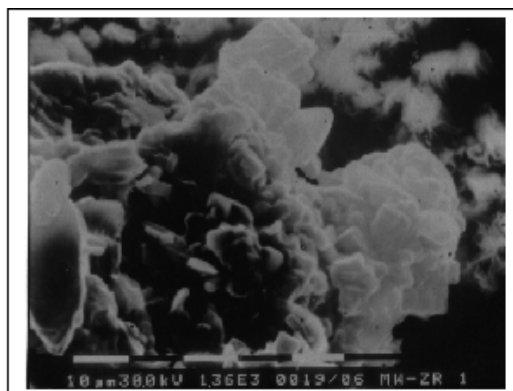
La microfotografía de la Figura 1 (2720X) correspondiente al óxido de zirconio puro. Se muestra la formación de cristales subhedrales con la disposición de aglomerados esféricos (ver esquina inferior izquierda).

Los resultados mostraron diferencias apreciables en la morfología (forma y tamaño del grano) del material a una escala de 178X (ver microfotografías de Fig. 1 y 4) y de igual manera a escalas menores. Las microfotografías de las Figuras 2, 3 y 4 evidencian la existencia de diferentes tipos de cristales.

En la microfotografía de la Figura 2 (1360X), se pueden observar la formación de aglomerados de cristales subhedrales; obsérvese la textura tipo flor de los mismos.



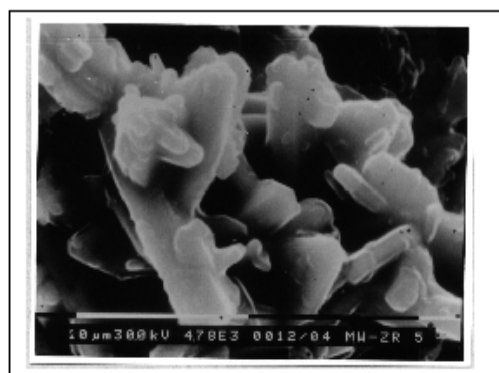
**Figura 1:** Oxido de Zirconio



**Figura 2:** Oxido de Zirconio



**Figura 3:** Oxido de Zirconio



**Figura 4:** Oxido de Zirconio

Muy diferentes se presentan los cristales en la microfotografía Figura 3 (1850X), con cristales de zirconio sulfatado con textura fibrosa sin un patrón de ordenamiento definido.

Los cristales de la figura 4 (4780X), se muestran alargados con textura entrecruzada.

Se evidencia en las microfotografías la diferencia entre el espaciado que al interior del catalizador se genera debido a las diferentes configuraciones cristalinas formadas.





---

---

### **1.1.5- CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:**

La conductividad térmica del óxido de zirconio ha sido ampliamente estudiada por otros investigadores, y se ha fijado en un valor de  $0.56 \text{ BTU} \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{ft}^{-1} \cdot \text{F}^{-1}$ .

### **1.1.6- ESPESOR DE DEPOSICIÓN:**

El rango de deposición del óxido de zirconio va de 0.0005 in a 0.25 in, para motores diesel va de 0.030 in a 0.60 in, para motores a gasolina va de 0.08 in a 0.12 in. Nuestro estudio está desarrollado con la escogencia de un espesor de 0.12 in.

### **1.2- APLICACIONES:**

En general los principios de aplicación de esta tecnología, es empleada en recubrimiento de turbinas y motores de 4 y 6 cilindros. Sin embargo, hay que tener presente que la tecnología a madurado a tal punto que muchos componentes de las turbinas son diseñados teniendo en mente el uso del termo-rociado.

Para la aplicación y uso en motores de combustión interna, el uso es igual, los científicos e ingenieros han extrapolado la tecnología de turbinas con mucho éxito y muy rápidamente.

Otra aplicación de esta tecnología es en motores diesel desarrollados para la industria agropecuaria, en la industria aeroespacial, y en los motores de gasolina y alcohol de alto desempeño.



---

### **1.3- ESTUDIOS PREVIOS:**

Algunos estudios fueron llevados a cabo, pero uno de los que llamo nuestra atención fue la aplicación de esta tecnología en un motor Cosworth y sus equipos periféricos. Los beneficios fueron obtenidos de inmediato a través de la aplicación del recubrimiento en el sistema de escape y turbo cargador del mismo. Manteniendo la temperatura de los gases de escape altas, elevadas velocidades y el uso del turbo cargador, se observó una ganancia de potencia neta de 30 a 40 Hp, mientras que sin el uso del recubrimiento no se le podía exigir todo lo que podía entregar el motor (pues ya habían roto un par de motores), la ganancia de potencia neta usando el turbo cargador fue de 25 a 30 Hp.

Un problema eliminado en los motores de alto desempeño, fue el ocasionado por los gases calientes y la flama de erosión. Esto se logro aplicando el recubrimiento al múltiple de escape y sistema de escape completo; antes se eliminaba este fenómeno usando tubos de mayor calibre, lo que traía como consecuencia incremento del peso.

Dado que mucha de esta data es incompleta, pareciera que no hay bases adecuadas para concluir que el termo-rociado por plasma puede ser beneficioso para el desempeño de motores. Cuando los investigadores de dichos experimentos examinaron todo el conjunto, encontraron evidencias de que este recubrimiento puede sobrevivir y alarga la vida útil de los motores, aunque no pudieron determinar con exactitud cual será el tiempo de vida útil del equipo.

### **1.4- REFERENTE A LOS MOTORES:**

#### **1.4.1.- MOTOR:**

Es una máquina que transforma la energía producto de la oxidación de una mezcla aire-combustible, en energía mecánica, que está equipada



---

solamente con los accesorios esenciales para su operación: bomba da aceite, bomba de agua de enfriamiento, sistema de admisión de aire, encendido y equipo de control de emisiones que le pertenezca. El generador o alternador se incluye solamente para abastecer de energía al acumulador o batería (ver Anexo A).

#### **1.4.2.- POTENCIA BRUTA O DE SALIDA:**

La potencia de salida en un motor debe ser expresada en unidades de Hp (Horse-Power) equivalente a 550 lbf-pie/seg o en kilovatio que equivale a 1000 Joule/seg.

**1.4.2.1.- Potencia Observada:** Es la potencia desarrollada por el motor bajo las condiciones atmosféricas existentes durante las pruebas.

**1.4.2.2.- Potencia Neta:** Es la potencia de salida de un motor “completamente equipado”.

**1.4.2.3.- Potencia al Freno:** Es la potencia disponible en la salida, cuando el motor se encuentra acoplado a un freno eléctrico, el cual mediante un campo magnético reduce la velocidad (rpm) del mismo. La fórmula de Potencia al Freno a usar por nosotros es:

$$\text{Potencia al Freno} = \frac{RPM * \text{Torque}}{4000}$$

**1.4.2.4.- Potencia máxima al Freno:** Es la potencia más alta desarrollada a una velocidad dada.



---

**1.4.2.5.- Potencia Pico al Freno:** Es la potencia más alta desarrollada dentro de un rango de velocidad del motor.

**1.4.2.6.- Potencia Intermitente al Freno:** Es la potencia más alta recomendada por el fabricante para operar satisfactoriamente dentro de condiciones especificadas de carga, velocidad y período de trabajo.

**1.4.2.7.- Potencia Continua al Freno:** Es la potencia recomendada por el Fabricante para operar satisfactoriamente dentro de las condiciones especificadas por él para régimen de trabajo continuo, acoplado el motor a un freno eléctrico .

### **1.4.3.- PÉRDIDAS EN EL MOTOR:**

Existen varias perdidas que desvían la potencia que debería entregar el motor, de la que entrega en realidad. Estas perdidas, tomado en consideración una relación de aire combustible estequiométrica, y en términos de trabajo ideal, por cada 100 BTU de energía son:

- Tiempo y variación de combustión, 1 BTU
- Distribución, 1 BTU
- Transferencia de calor, 4 BTU
- Bombeo, 0.5 BTU
- Combustión incompleta, 2BTU

Lo que nos da un total de trabajo perdido de aproximadamente 8.5 BTU.



#### 1.4.4.- CALOR DE COMBUSTIÓN:

En toda reacción química donde se consuma combustible en presencia de oxígeno, libera calor. Este calor puede ser clasificado como Calor Latente ( $Q_H$ ) y Calor Especifico ( $Q_L$ ).

La cantidad de calor que se necesita para romper la unión entre el carbono y el hidrógeno se llama Calor Latente, mientras que el Calor Especifico es el máximo calor que se puede utilizar.

En calculo, la eficiencia térmica de un motor de combustión interna, lógicamente puede ser determinado con el valor mínimo de calor ( $Q_L$ ) proveniente de la máxima temperatura de los gases de escape. Sin embargo, la ASME en los Códigos de Pruebas de Poder (Power Test Code), especifica el uso de los máximos valores de calor ( $Q_H$ ).

Luego para la gasolina, tenemos que:

FQ	$C_8H_{18}$
PM	$114 \frac{g}{mol}$
$T_{ebu}$	256 F @ 14.7 psia
$Q_H$	20750 BTU
$Q_L$	19250 BTU

**Tabla 2:** Propiedades de la gasolina.

Donde: FQ es la formula química, PM es el peso molecular,  $T_{ebu}$  es la temperatura de ebullición,  $Q_H$  es el calor latente y  $Q_L$  es el calor especifico.



## 1.5.- PROCESOS DE ROCIADO TÉRMICO – ANTECEDENTES:

El termo-rociado se puede definir como un proceso que agrupa un gran número de técnicas en los cuales un material metálico, cerámico o algunos polímeros en forma de polvos o alambre, son atomizados y depositados en un estado fundido o semihundido sobre una superficie preparada para formar un revestimiento<sup>(2)</sup>.

Cuando estos materiales en forma de gotas semihundidas chocan con la superficie se forma un “splat” que es resultado de este impacto, los choques sucesivos de las partículas vienen a formar el revestimiento. En la Figura 5 se ilustra de forma esquemática la formación del recubrimiento. Desafortunadamente, estos tipos de recubrimientos consisten de diferentes componentes tales como: óxidos, poros y partículas no fundidas<sup>(3)</sup>.

Durante el crecimiento del recubrimiento hacia arriba queda gas atrapado entre los “splats” adyacentes, entre los valles que se forman o entre el “splat” y la superficie del sustrato, formándose microporos al solidificar<sup>(4)</sup>.



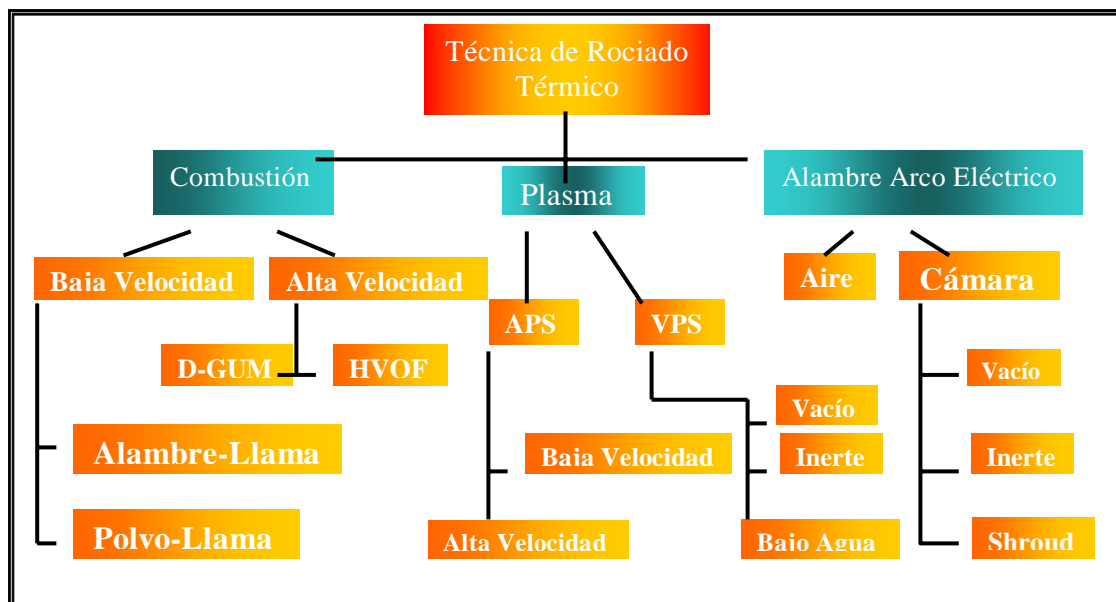
**Figura 5:** Representación esquemática de la formación del recubrimiento en los procesos de termo-rociado.



Según S.E. Hardfield – Wunsch y colaboradores<sup>(4)</sup> los óxidos presentes en el recubrimiento se deben a que las partículas son oxidadas por la llama. El contenido de óxido puede ser mayor a 10 % para los recubrimientos de alta velocidad oxígeno-combustible (HVOF) y mayor a 20 % para los recubrimientos obtenidos por plasma. El contenido de óxidos puede ser menor si el rociado se hace al vacío o utilizando un gas inerte como protector.

Debido a las altas temperaturas de calentamiento, estos procesos tienen relativamente altas tasas de deposición y amplios rangos de composición comparados con otros procesos. El espesor de deposición total del recubrimiento es usualmente generado por múltiples pases para la formación de capas consecutivas<sup>(2)</sup>. En el Anexo B se muestra una tabla comparativa de los diferentes procesos de termo-rociado.

La Figura 6 presenta los diversos tipos de técnicas del proceso de termo-rociado, mientras la Tabla 3 indica las características propias de cada una de las técnicas.



**Figura 6:** Clasificación de las Técnicas de Termo-rociado.



Características	LLama	HVOF	D-Gun	Alambre-Arco	Plasma en Aire	Plasma en Vacío
<b>FLUJO</b>						
T del Jet (K)	3500	5500	5500	>25000	15000	12000
V (m/s)	50-100	500-1200	>1000	50-100	300-1000	200-600
<b>Partícula</b>						
T (K)	2500	3300	N/A	>3800	>3800	>3800
V (m/s)	50-100	250-1000	N/A	50-100	200-800	20-50
<b>Recubrimiento</b>						
Densidad	85-90	>95	>95	80-95	90-95	80-99
Oxidos	Altos	Moderado	Pocos	Mod.-Alto	Moderado	Ninguno

**Tabla 3:** Características más relevantes de las técnicas de termo-rociado.

El primer proceso inventado de rociado térmico se le atribuye a M.U. Scoop of Switzerland en 1911 y se conoce hoy día como termo-rociado por combustión. Los otros procesos de termo-rociado, como el de arco eléctrico y pistola de detonación (D-GUN) fueron introducidos por R.M. Poorman, H.B. Sargent y H. Lamprey en 1955, respectivamente. El termo-rociado vía plasma fue desarrollado por R.M. Gage, O.H. Nestor y D.M. Yenni en 1962, mientras que la técnica de High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) fue inventada en 1958 por G.H. Smith, J.F. Pelton y R.C. Eschenbach<sup>(2)</sup>.

La mayor ventaja de los procesos de termo-rociado es la amplia variedad de materiales que pueden ser usados como recubrimiento, siempre que cumple con el requisito de que debe fundirse sin descomponerse. La segunda gran ventaja es la capacidad de la mayoría de los procesos de termo-rociado es de poder aplicar recubrimientos sin llegar a calentar significativamente el sustrato, de este modo, materiales con alto punto de fusión pueden ser aplicados<sup>(2)</sup>.

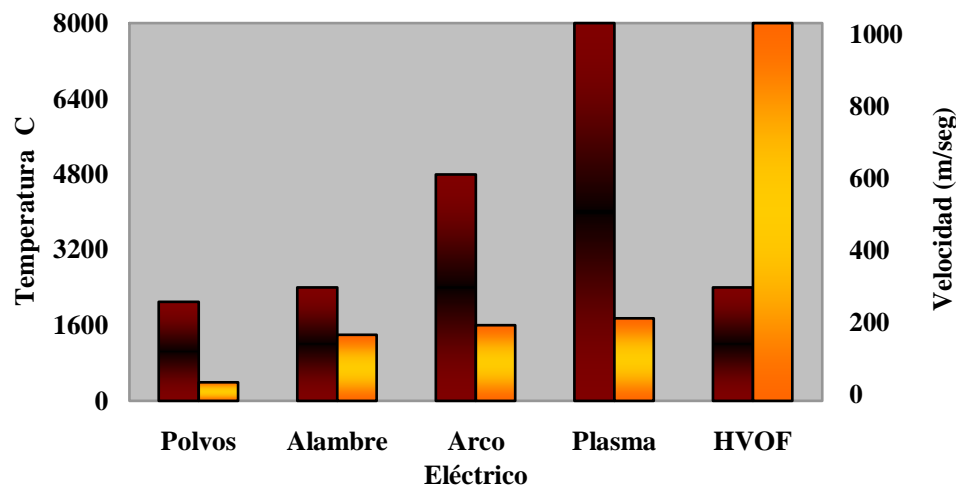




Efectivamente la mayoría de los recubrimientos termo-rociados requieren una rugosidad del substrato para una adecuada adhesión. Además, los procesos de deposición pueden cambiar sustancialmente la composición así como la estructura de los materiales a ser depositados. Como consecuencia, la microestructura y propiedades de los recubrimientos pueden ser extremadamente variados<sup>(2)</sup>.

Los recubrimientos termo-rociados se aplican con el fin de mejorar la resistencia a la corrosión y al desgaste de una superficie. Otras aplicaciones comprenden el uso para la restauración dimensional de piezas desgastadas, barreras térmicas, conductor térmico, conductores eléctricos o resistencia, protección electromagnética, incremento o retraso de radiación. Estos recubrimientos son esencialmente usados por muchas industrias, incluyendo la aeroespacial, implementos de agricultura, automóviles, industrias primarias de metales, minería, papel, refinerías, químicas y biomédicas.

La Figura 7 se ilustra esquemáticamente las variables temperatura y velocidad en los procesos de termo-rociado.



**Figura 7:** Representación esquemática de las variables temperatura de la llama y velocidad de deposición en los procesos de termo-rociado.



---

Como se puede observar en la figura anterior con el proceso de termo-rociado por plasma se puede alcanzar altas temperaturas de llama y una relativa velocidad de deposición comparada con el proceso de HVOF.

### **1.5.1.- TÉCNICA DE TERMO-ROCIADO POR PLASMA PARA LA OBTENCIÓN DE RECUBRIMIENTOS:**

#### **1.5.1.1- TEORÍA DE OPERACIÓN:**

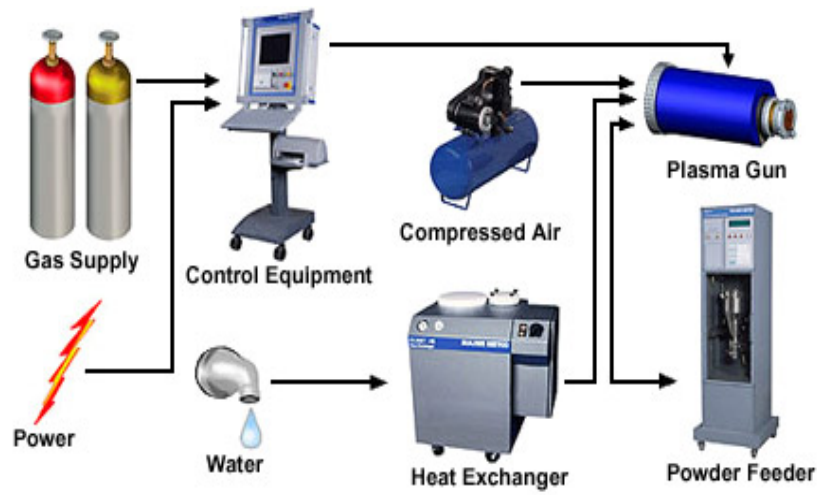
El sistema de termo-rociado por Plasma es un sistema muy flexible debido a que desarrolla suficiente energía para fundir cualquier material. Utiliza polvo como material de aporte.

El sistema de plasma incorpora un cátodo y un ánodo separados por una pequeña distancia dentro de una cámara. Corriente continua es aplicada al cátodo formando un arco con el ánodo, al mismo tiempo que los gases pasan por la cámara.

El arco eléctrico generado es tan potente que separa los gases en electrones a un estado de materia conocido como "**plasma**". Mientras el plasma inestable se recombina de nuevo a su estado gaseoso, energía térmica es liberada.

Durante este punto de recombinación, las temperaturas llegan a los 16,600 °C, lo cual excede la temperatura superficial del sol, en este momento se inyecta el material de aporte (polvo) en la cámara de gas, el cual es fundido y disparado a alta velocidad mediante la inyección de aire comprimido. Un aspecto importante de mencionar es que a pesar de las altas temperaturas de este proceso, el componente a reconstruir eleva su temperatura solamente de 38 °C a 260 °C (100 °F a 500 °F).

La Figura 8 ilustra esquemáticamente los diferentes componentes que conforman el proceso de termo-rociado por plasma.



**Figura 8:** Representación esquemática de los diferentes componentes que conforman el proceso de termo-rociado por plasma.

## **CAPÍTULO II**

---

---



---

## **2.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.**

### **2.1.- NORMAS PARA PRUEBAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

#### **2.1.1.- Normas SAE J816:**

Este nuevo código de pruebas, estándar, ha sido adoptado por la SAE para motores no sobrealimentados de encendido por chispa y Diesel.

Esta nueva normalización ha sido producto de la evolución de códigos y de los siguientes documentos antiguos SAE:

SAE Gasoline Engine Test Code. Adoptado en 1917, SAE Diesel Engine Test Code adoptado en 1931, y la publicación de 1963 designado como SAE J606 que menciona estos dos códigos en una sola publicación.

El propósito de este código es proveer un procedimiento estándar en el laboratorio que cubre dinamómetro, conjunto de métodos que determinan la realización de las características de Diesel y motores de encendido por chispa. Es aplicable a motores Diesel de cuatro y dos carreras, de aspiración natural, mecánicamente sobrealimentados, con o sin carga de aire fresco. Es también aplicable a motores de encendido por chispa, excepto los que están sobrealimentados cuyos datos de corrección para la potencia definitiva son escasos. No se tiene por objeto un manual de Laboratorio, o un método para establecer potencia nominal o para reducir la capacidad normal por altura.



---

Este código está compuesto de las siguientes secciones:

- 1) Definición de la terminología.
- 2) Equipos requeridos para los ensayos.
- 3) Procedimientos en los Ensayos.
- 4) Cálculos.
- 5) Presentación de los resultados.

## **2.2.- EQUIPOS:**

### **2.2.1.- BANCO DE PRUEBAS**

El banco de pruebas marca G. CUSSONS L. T .D. sirve para efectuar ensayos en motores Otto, Diesel y Wankel, ya que posee freno eléctrico (ver Anexo C-2), capaz de absorber potencias de hasta 150 Hp (110 kW). El motor a ensayar va acoplado al dinamómetro por un cardan corto, mediante dos juntas universales, que están colocadas de manera tal que no permitan problemas de alineación y/o vibración.

El banco de pruebas posee un tablero de instrumentos que posee un medidor de combustible, el indicador de presión de aceite, tacómetro, el interruptor de encendido y un cronómetro (ver Anexo C-1).

El banco de pruebas está equipado con los siguientes servicios:

- ✘ Sistema completo de enfriamiento con tanque de expansión, tubería de trabajo y válvulas de control de caudal de agua.
- ✘ Sistema externo de enfriamiento para el aceite, utilizando un intercambiador de calor, lo que permite que la máquina opere continuamente a carga máxima.



- 
- ✘ Sistema de combustible con tanque de almacenamiento para 60 litros con alimentación por gravedad.
  - ✘ Sistema de escape de gases producto de la combustión.
  - ✘ Sistema eléctrico completo.

La instrumentación del banco de pruebas tiene como equipo básico un freno eléctrico para la medición del torque, un tacómetro, un medidor de flujo de combustible, termómetros a la entrada y salida del sistema de enfriamiento, y un medidor de presión de aceite.

El banco de pruebas permite el análisis de varios aspectos del rendimiento de motores de combustión interna.

Algunos de los ensayos que se pueden efectuar en el banco de pruebas son:

- ✘ Medición de máximo torque y máxima potencia efectiva.
- ✘ Determinación de la presión media efectiva.
- ✘ Análisis del rango de carga, en curva a velocidad constante.
- ✘ Análisis de las curvas características, como son torque, potencia, consumo específico de combustible Vs. velocidad (rpm).
- ✘ Determinación de consumo específico al freno.
- ✘ Determinación de las pérdidas por fricción y eficiencia mecánica.

### **2.2.2.- BALANCEO DEL DINAMÓMETRO, CALIBRACIÓN Y SENSIBILIDAD:**

La escala debe ser verificada para el cero de la escala, estando el dinamómetro sin funcionar.



---

La Calibración del dinamómetro (ver Anexo C-2) con el motor en marcha, de acuerdo con la misma carga fijada en la balanza, 100 lb puede ser chequeada por la adición de un peso de 100 lb en el lado opuesto, que regresa la balanza a cero. Esto será hecho para diferentes cargas dentro del rango de operación esperado, y ser repetido bajo condiciones estáticas. El resultado obtenido de esta manera será aproximado dentro de  $\pm 1/2\%$  de la lectura observada a plena carga.

La sensibilidad del dinamómetro y la escala será chequeada por adición de pequeños pasos hasta que la aguja se mueva una cantidad apreciable. La magnitud de este peso, que es la sensibilidad, no debe exceder de  $1/4\%$  de la lectura observada a plena carga. Debe ser chequeado para diferentes puntos dentro del rango de operación.

### **2.2.3.- VELOCIDAD:**

El tacómetro tendrá una aproximación del valor observado de  $\pm 1/2\%$ , si la lectura es usada para cálculo.

### **2.2.4.- TIEMPO:**

El instrumento para medir el tiempo tendrá una aproximación de la lectura observada dentro de  $\pm 1/10\%$ .

### **2.2.5.- COMBUSTIBLE:**

El combustible para el motor usado en los experimentos debe respetar las especificaciones del fabricante.





---

Los instrumentos para la medición del consumo de combustible (masa o volumen) deben tener una aproximación de la lectura observada dentro de  $\pm 1 \%$ .

#### **2.2.6.- TEMPERATURAS:**

Las temperaturas deben ser medidas en grados Fahrenheit si se usan unidades inglesas o grados Celsius si se usan unidades métricas.

La apreciación de los instrumentos para medir temperaturas de 400 F (200 °C) o menos sería  $\pm 2$  F (1 °C), y para temperaturas superiores a 400 F será  $\pm 10$  F ( $\pm 5,5$  °C).

La medición de las temperaturas necesarias y sus sitios de localización correspondientes es como sigue:

- ✘ Temperatura del agua de refrigeración: La temperatura del líquido que enfría el motor debe ser medida en la entrada y en la salida. La temperatura en motores enfriados por aire ser medida en los puntos especificados por el fabricante, como bujías de encendido y aletas de la culata del cilindro.

#### **2.2.7.- CONDICIONES ATMOSFÉRICAS:**

Presión Barométrica: Aneroide o barómetro de mercurio, corregidos para diferentes temperaturas (precisión  $\pm 0,02$  pulgadas de mercurio ó 0,51 mm de mercurio).



---

### **2.3.- OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS**

1. **AGUA Y ACEITE:** verifique que el grado del aceite del motor sea el recomendado por el fabricante, seguidamente al verter el lubricante en la unidad vea que el nivel de aceite sea el adecuado (esto es con la varilla destinada para tal fin). Llene el tanque del sistema de expansión del sistema de enfriamiento con agua limpia. Previamente las válvulas que controlan el flujo a través del sistema de enfriamiento deberán permanecer cerradas, hasta que el motor alcance la temperatura de funcionamiento.
2. **MOTOR ENCENDIDO POR CHISPA:** el acelerador (que es una palanca colocada en el panel de instrumentos) se ajusta para escoger la velocidad. El switch de ignición esta cerca del botón de arranque sobre el panel de control.
3. **COMBUSTIBLE:** verifique que la llave de paso de combustible del banco este cerrada. Asegúrese que el combustible a utilizar sea el apropiado y prosiga a llenar el tanque destinado para tal fin. El nivel de combustible puede ser observado en el tubo vertical sobre el medidor de flujo de combustible, el cual actúa mediante el principio de vasos comunicantes. Abrir la llave de combustible, luego coloque el switch de ignición sobre la posición de encendido, y encienda con el acelerador. Inmediatamente después que el motor ha sido arrancado, chequear que el agua de enfriamiento este circulando, mediante inspección del flujo de agua en el tanque de expansión; proseguir a chequear la presión de aceite.
4. **CONTROL DE TEMPERATURA:** debido al funcionamiento del motor este aumenta su temperatura, los circuitos de enfriamiento del aceite y agua del motor, pueden ser controlados abriendo y/o cerrando las válvulas destinadas para tal fin. Se debe mantener la temperatura óptima de funcionamiento.
5. **CARGA:** la carga del dinamómetro es controlada por el volante sobre la carcasa del dinamómetro y medida por una balanza de resorte. Es importante que a la lectura le sean adicionados los valores de los pesos añadidos en el



cargador de pesas. La máquina deberá ser arrancada con el volante del dinamómetro guiado totalmente en sentido antihorario, para no tener cargas externas. Durante la operación, gire el gire el volante en sentido horario para aplicar la carga requerida, y proceda a chequear en el dinamómetro su nivel cerca del resorte.

#### **2.4.- PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR LAS PRUEBAS**

1. Se arranca la bomba para hacer circular el agua de refrigeración a través del motor; se abre la válvula de paso de la tubería vertical.
2. Abrir las válvulas de regulación del agua de enfriamiento del motor, así como la del tanque de expansión.
3. Cierre las válvulas del tanque de expansión.
4. Regule el flujo de agua para cada equipo, con el objeto de trabajar en el rango de temperatura óptimo, mediante una regulación directa (calibración manual) de las llaves de paso de los intercambiadores de calor, tanto del sistema de agua como de aceite.
5. Se energiza el sistema eléctrico de los instrumentos.
6. Se abre la válvula de paso del combustible, se acciona el switch de encendido, y luego se pulsa el botón de arranque (se debe esperar a que el motor se estabilice).
7. Se chequean las conexiones y se encienden los instrumentos.
8. Se abre la mariposa del carburador a la posición deseada y se coloca carga al freno eléctrico, con el fin de impedir que el motor sobrepase la velocidad máxima deseada (esto se logra variando la acción del freno).
9. Se toman los datos correspondientes en dicho régimen, una vez estabilizado, y se procede análogamente para otros puntos de trabajo, al ir aumentando las revoluciones del motor.



---

## 2.5.- PROCEDIMIENTO EJECUTADO PARA CADA PRUEBA

- ✘ El motor fue puesto en funcionamiento usando el banco de pruebas, y se chequeó que las temperaturas del agua y aceite estuviesen dentro del rango óptimo de funcionamiento.
- ✘ Previa selección de las condiciones de la prueba, se selecciona el porcentaje de apertura de la válvula mariposa.
- ✘ Se controlaron las revoluciones por segundo (rps) del motor usando el freno dinamométrico para darle carga al motor.
- ✘ Se midió el consumo de combustible, cerrando el suministro del tanque, y con un cronómetro se determinó el tiempo en segundos, de una cantidad dada de combustible previamente seleccionada.
- ✘ Para cada punto de velocidad seleccionado, se esperó no menos de 2 minutos antes de realizar las lecturas (esto con el fin de que se estabilizara el motor en dicho régimen).
- ✘ Para cada velocidad el valor del torque fue medido llevando el brazo del torque a una posición balanceada, se añadieron los pesos y se logró un buen ajuste mediante el desplazamiento de la balanza del resorte.
- ✘ Al completarse la prueba, se redujo la velocidad del motor, y posteriormente, mediante el sistema de ignición se apagó el motor.

## 2.6.- IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR

El motor utilizado es un Ford de cuatro cilindros en línea, de 140 pulgadas cúbicas de desplazamiento (2.3 litros), las especificaciones generales son:

- Cilindrada del motor: 140 pulgadas cúbicas.
- Año: 1983 – 1986.
- Diámetro x carrera: 3.78 x 3.13.
- Orden de encendido: 1 – 3 – 4 – 2.



- Caballos de potencia desarrollados: 79 hp @ 3800 rpm.
- Par motor: 124 lb.pie @ 2400 rpm.
- Relación de compresión: 9.0:1
- Carburador: 2 V.
- Presión normal del aceite: 40 - 60 lbs.pulg<sup>3</sup>.

## 2.7.- ESPECIFICACIONES DE PUESTA A PUNTO.

Para las especificaciones de puesta a punto, se utilizaron las tablas del Chilton, Manual de mantenimiento, conjuntamente con la información dada en el reglamento.

### 2.7.1.- ESPECIFICACIONES DE LAS VÁLVULAS.

Juego caliente (pulgadas)		Ángulo (grados)		Diámetro vástago (pulgadas)		Holgura vástago (pulgadas)		Muelle de válvulas (libras @ pulgadas)	
Adm.	Escape	Cara	Asiento	Adm.	Escape	Adm.	Escape	Abierto	Cerrado
Cero		44°	45°	0.3416	0.3411	0.010 a 0.0027	0.015 a 0.032	(1)	ND

**Tabla 4:** Especificaciones de las válvulas.

(1): Admisión: 71 – 79 libras @ 1,52 pulgadas.

Escape: 142 – 175 libras @ 1,16 pulgadas.



### 2.7.2.- ESPECIFICACIONES DE LAS MUÑEQUILLAS DE LOS COJINETES DEL CIGÜEÑAL.

Todas las medidas dadas en pulgadas.

Cojinete principal muñequillas			Apoyo de empuje en el número	Bielas Cojinetes de las muñequillas		
Diámetro de muñequillas	Holgura para el aceite	Juego axial del árbol		Diámetro de muñequillas	Holgura máxima para el aceite	Holgura lateral
2,3982	0,0008	0,004	3	2,0472	0,0008	0,0035
a	7a	a			a	a
2,3990	0,0015	0,008			0,0015	0,0105

**Tabla 5:** Especificaciones de las muñequillas de los cojinetes del cigüeñal.

### 2.7.3.- ESPECIFICACIONES DE LOS PISTONES Y SEGMENTOS.

Todas las medidas dadas en pulgadas.

Holgura entre pistón y cilindro	Holgura lateral del segmento			Abertura de los extremos de los segmentos		
	Superior de compresión	Inferior de compresión	De engrase	Superior de compresión	Inferior de compresión	De engrase
0,0014	0,0020	0,0020	adaptado	0,0100	0,0100	0,015
a	a	a		a	a	a
0,0022	0,0040	0,0040		0,0200	0,0200	0,055

**Tabla 6:** Especificaciones de los pistones y segmentos.

### 2.7.4.- ESPECIFICACIONES DEL PAR DE APRIETE.

Todas las medidas en libras-pie.

Pernos de la culata	Pernos de los cojinetes de biela	Pernos de los cojinetes principales	Tornillo de la polea del cigüeñal	Tornillo del volante del cigüeñal	Colector	
					Admisión	Escape
(1)	(2)	(1)	100-120	56-64	14-21 (3)	16-23 (3)

**Tabla 7:** Especificaciones del par de apriete.



(1): Aplique a los tornillos el par de apriete en dos pasos;

Paso 1: 50 – 60 libras-pie.

Paso 2: 80 – 90 libras-pie.

(2): Aplique a las tuercas el par de apriete en dos pasos;

Paso 1: 25 – 30 libras-pie.

Paso 2: 30 – 36 libras-pie.

(3): Aplique el par de apriete en etapas, vuelva a comprobarlos después de que el motor esté caliente.

## **2.8.- MECANICA DEL MOTOR**

### **2.8.1.- MOTOR: DESMONTAJE Y MONTAJE (140 pulgadas cúbicas)**

#### **2.8.1.a.- Desmontaje del motor:**

1. Drene el sistema de refrigeración (agua). Desmonte el conjunto del filtro del aire y conjunto.
2. Desconecte el cable de masa de la batería desde el motor y desconecte el cable positivo de la batería desde ésta dejándolos a un lado.
3. Desmonte la tapa de llenado de aceite.
4. Desconecte el hilo de conexión de la bobina primaria desde la bobina. Desconecte los hilos de conexión de los sensores de la presión del aceite y de la temperatura del agua desde dichos sensores.
5. Desconecte el conductor del alternador desde el mismo, el cable del motor de arranque desde el motor y el cable de mando del acelerador desde el carburador. Si lo lleva como equipo, desconecte también el vástago de la transmisión desde el kick down retardador.
6. Desconecte el manguito de vacío del servo freno. Desconecte el conducto de combustible desde la bomba de suministro de combustible.
7. Vacíe el aceite del motor del cárter. Desmonte el motor de arranque.



- 
8. Desconecte el tubo de entrada del escape al silenciador desde el colector del escape.
  9. Desmonte los tornillos de sujeción de la tapa inferior del alojamiento del volante.
  10. Desmonte las tuercas y tornillos de fijación del motor a las bases que lo sostienen.
  11. Enganche los soportes de elevación del motor a las eslingas del aparato elevador del que se disponga. Con cuidado, de modo que no se dañe ningún componente, eleve el motor y sáquelo del banco de pruebas.

#### **2.8.1.b.- Montaje del motor:**

1. Con cuidado, introduzca el motor en el compartimiento destinado del banco de pruebas. Monte los tornillos de sujeción de la tapa inferior del alojamiento del volante.
2. Coloque y apriete las tuercas y tornillos de fijación del motor a las bases que lo sostienen a 65 – 85 libras-pie. Proceda a retirar los soportes de elevación de las bragas del aparejo elevador.
3. Conecte el tubo de salida del escape al colector de escape.
4. Monte el motor de arranque y conéctele los cables.
5. Conecte la canalización del combustible a la bomba de suministro del mismo. Conecte el manguito de vacío del servo freno.
6. Conecte el cableado del alternador al mismo, y conecte el cable del acelerador al carburador. Conecte la varilla de transmisión del kick down.
7. Conecte el cableado de la bobina primaria a la bobina. Conecte los cables de los sensores de presión del aceite y temperatura del agua.
8. Coloque el tapón de llenado de aceite.
9. Monte el conjunto del filtro del aire junto con su conducto. Llene y sangre el sistema de refrigeración.
10. Llene el cárter del cigüeñal con el aceite especificado. Conecte el cable de masa de la batería al motor y el cable positivo de la batería al terminal correspondiente.





---

11. Ponga en marcha el motor y compruebe si existe alguna pérdida de fluidos.

## **2.8.2.- COLECTOR DE ADMISIÓN: DESMONTAJE Y MONTAJE (140 pulgadas cúbicas)**

### **2.8.2.a.- Desmontaje del colector de admisión:**

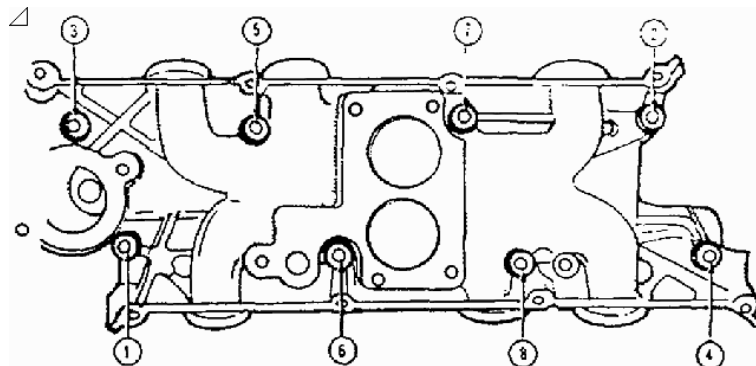
1. Drene el sistema de refrigeración. Desmonte el conjunto del filtro de aire y su conducto. Desconecte el cable negativo de la batería.
2. Desconecte el cable del acelerador, manguitos de vacío (si es preciso) y el manguito del agua caliente en la toma del colector. Asegúrese de identificarlos todos al objeto de volver a montarlos correctamente.
3. Desmonte el tubo de control de nivel de aceite del motor. Desconecte el tubo caliente de la válvula EGP (recirculación de gases de escape). Desconecte el conducto de combustible de la toma del carburador.
4. Desmonte el tornillo de retención del tubo de control del nivel del aceite del colector de admisión.
5. Desconecte y desmonte el PCV en el motor y el colector de admisión.
6. Desmonte la tapa del distribuidor y coloque la tapa y los cables apartados a un lado, después de desmontar el enchufe de conexión, de plástico, de la tapa de válvulas.
7. Desmonte los tornillos de retención del colector de admisión. Desmonte el colector de admisión del motor.
8. Limpie todas las superficies de montaje de las juntas de cierre.

### **2.8.2.b.- Montaje del colector de admisión:**

1. Monte una nueva junta de montaje (empaquetadura) y el colector de admisión en el motor. Apriete los tornillos aplicando la secuencia prescrita.



2. Monte la tapa del distribuidor y coloque los cables, luego montar el enchufe de conexión, de plástico, de la tapa de válvulas.
3. Monte y conecte el PCV en el motor y el colector de admisión.
4. Monte el tornillo de retención del tubo de control del nivel del aceite del colector de admisión.
5. Conecte el conducto de combustible de la toma del carburador. Conecte el tubo caliente de la válvula EGP (recirculación de gases de escape). Monte el tubo de control de nivel de aceite del motor.
6. Conecte el cable del acelerador, manguitos de vacío (si es preciso) y el manguito del agua caliente en la toma del colector. Asegúrese de seguir el orden de todos al objeto de volver a montarlos correctamente.
7. Conecte el cable negativo de la batería. Monte el conjunto del filtro de aire y su conducto. Renueve el sistema de refrigeración



**Figura 9:** Orden de apriete de los tornillos del colector de admisión

### **2.8.3.- COLECTOR DE ESCAPE: DESMONTAJE Y MONTAJE (140 pulgadas cúbicas)**

#### **2.8.3.a.- Desmontaje del colector de escape:**

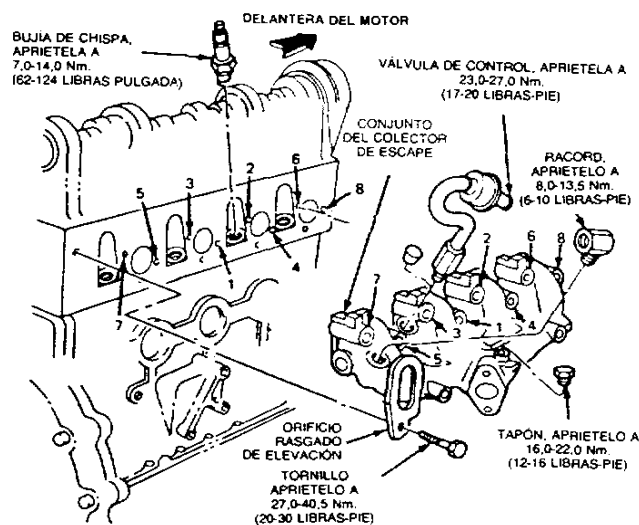
1. Desmonte conjuntamente el filtro el aire y el conducto. Desconecte el cable negativo de la batería.



2. Desmonte la conducción del EGR por el colector de escape. Afloje el tubo del EGR. Desmonte la válvula de control en el colector de escape y después conecte el manguito del extremo de la válvula de bypass de aire.
3. Desmonte las abrazaderas que unen los manguitos del calefactor a la tapa de válvulas. Desconecte el tubo de escape del colector.
4. Desmonte los tornillos y tuercas del colector de escape y proceda a retirarlo.
5. Limpie todas las superficies de montaje de las juntas de cierre.

### 2.8.3.b.- Montaje del colector de escape:

1. Monte una nueva junta de montaje (empaquetadura) y el colector de escape del motor y apriete los tornillos aplicando la secuencia prescrita.
2. Conecte el tubo de escape del colector. Monte las abrazaderas que unen los manguitos del calefactor a la tapa de válvulas.
3. Monte la válvula de control en el colector de escape y después conecte el manguito del extremo de la válvula de bypass de aire. Apriete el tubo del EGR. Monte la conducción del EGR por el colector de escape.
4. Conecte el cable negativo de la batería. Monte conjuntamente el filtro el aire y el conducto.



**Figura 10:** Orden de apriete de los tornillos del colector de escape



---

## **2.8.4.- CULATA: DESMONTAJE Y MONTAJE (140 pulgadas cúbicas)**

### **2.8.4.a.- Desmontaje de la culata:**

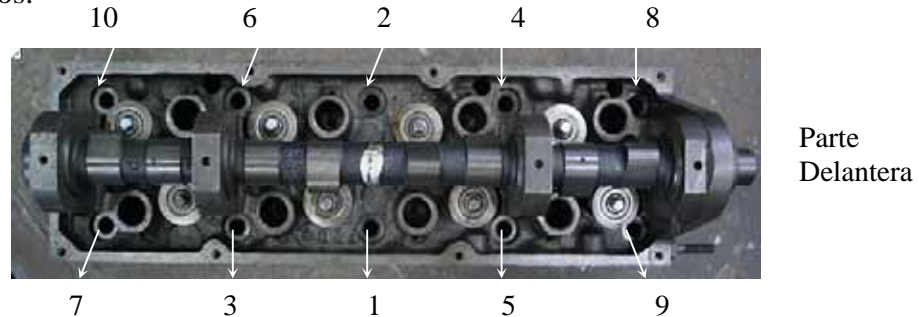
1. Drene el sistema de refrigeración. Desconecte el cable negativo de la batería.
2. Desmonte el filtro de aire.
3. Desmonte la tapa de válvulas.
4. Desmonte de la culata los colectores de admisión y escape.
5. Desmonte la tapa de la correa de mando del árbol de leva. Tome nota de los tornillos de unión de la tapa de la correa que tienen ojetes metálicos con refuerzo de goma.
6. Afloje el tensor de la correa de mando y desmonte el tornillo tensor.
7. Desmonte el codo de salida del agua de la culata con el maguito acoplado.
8. Desmonte los tornillos de unión de la culata.
9. Desmonte la culata del motor.
10. Limpie todo el material de junta y carbonilla de la parte superior del bloque de cilindros y pistones así como del fondo de la culata.

### **2.8.4.b.- Montaje de la culata:**

1. Coloque una nueva junta de culata en el motor y coloque la culata sobre el motor.
2. Con una llave de torsión dinamométrica, apriete los tornillos de la culata en la secuencia mostrada en la Figura 11.
3. Monte la correa de mando de la correa de leva.
4. Monte los tornillos de sujeción y la tapa de la correa de mando del árbol de leva. Cerciórese que las arandelas metálicas con refuerzos de caucho sean montados en sus tornillos. Apriete los tornillo a 6 – 13 libras.pie.
5. Monte el codo de salida del agua y la junta nueva en el motor y apriete los tronillos de unión a 12 – 15 libras.pie.
6. Monte los colectores de admisión y escape.



7. Monte el resto de los componentes en orden inverso a como fueron desmontados.



**Figura 11:** Secuencia de apriete de los tornillos de la culata del motor.

### **2.8.5.- TAPA DE DISTRIBUCIÓN DE VÁLVULAS Y CORREA: DESMONTAJE Y MONTAJE (140 pulgadas cúbicas)**

El montaje y ajuste correcto de la correa de mando del árbol de levas es imprescindible si se quiere que el motor marche bien. El árbol de levas controla la apertura de las válvulas del motor a través de la coordinación del movimiento del árbol de levas y del cigüeñal. Cuando el pistón determinado está en su carrera de admisión la válvula de admisión correspondiente debe abrirse para admitir la mezcla aire-combustible dentro del cilindro. Cuando el mismo pistón está en las carreras de compresión y trabajo, ambas válvulas deben estar cerradas en ese cilindro. Cuando el pistón este en su carrera de escape, la válvula de escape debe estar abierta. Si la apertura y cierre de las válvulas no está coordinada con el movimiento de los pistones, el motor marchará mal, si es que marcha.

La correa de mando del árbol de levas también hace girar el árbol auxiliar del motor. El distribuidor esta mandado por el árbol auxiliador. Puesto que el distribuidor controla el tiempo de encendido, el árbol auxiliar debe estar también coordinado con el árbol de levas y el cigüeñal.



---

Debido a esta compleja interrelación entre el árbol de levas, el cigüeñal y el árbol auxiliar, las poleas dentadas de cada uno de dichos árboles deben estar alineadas cuando se monte la correa de mando dentada sobre ambos árboles. Para comprobar visualmente la puesta a punto correcta de la distribución del cigüeñal, árbol auxiliar y árbol de levas hay previsto un tapón de acceso en la tapa de la correa de mando de la distribución que permite controlar la distribución del árbol de levas sin desmontar la tapa de la correa de mando.

#### **2.8.5.a.- Desmontaje de tapa de distribución de válvulas y correa:**

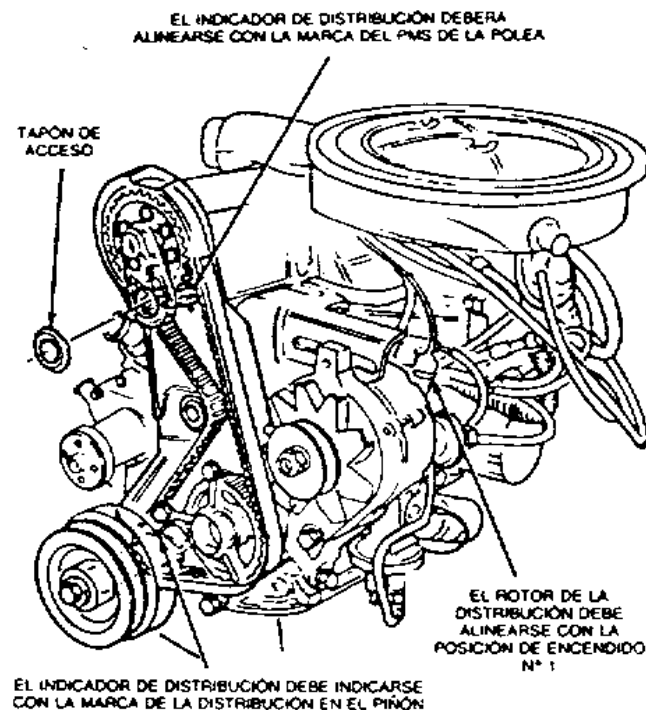
1. Desmonte el tapón de acceso.
2. Gire el cigüeñal hasta que las marcas de distribución del mismo señalen el PMS.
3. Asegúrese de que la marca de distribución que hay en la rueda dentada de mando del árbol de leva este alineada con el indicador que hay en el interior de la tapa de la correa. Además, el rotor del distribuidor debe alinearse con la posición de encendido del cilindro 1.
4. Afloje los tornillos de ajuste del alternador y accesorios, y desmonte las correas de mando.
5. Desmonte la tapa exterior de la correa.
6. Desmonte la tapa de distribuidor.
7. Afloje los tornillos del ajustador de tensión de la correa y el pivote.
8. Desmonte el tormillo y la polea del cigüeñal.
9. Desmonte la correa de mando del árbol de leva.

#### **2.8.5.b.- Montaje de tapa de distribución de válvulas y correa:**

1. Monte la correa nueva sobre la polea del cigüeñal y luego en sentido contrario a las agujas del reloj sobre las poleas dentadas del árbol auxiliar y el de levas. Ajuste la correa moviéndola adelante y atrás de modo que quede centrada sobre las poleas dentadas.



2. Afloje el tornillo del ajuste del tensor, permitiendo el muelle que lo empuje hacia atrás contra la correa.
3. Desmonte las bujías y gire el cigüeñal dos vueltas completas en el sentido normal de giro para eliminar cualquier irregularidad en la tensión de la correa, como zonas flojas y tensas. Gire el cigüeñal hasta que las marcas de control de la distribución estén alineadas arriba. Si la distribución se ha deslizado, desmonte la correa y repita el proceso.
4. apriete el tornillo de ajuste del tensor a 14 – 21 libras.pie, y el del pivote a 28 – 40 libras.pie.
5. Vuelva a monta en su sitio la guía de la correa y polea del cigüeñal, tapa del distribuidor, tapa exterior de la correa, correas de mando y accesorios. Ajuste el accesorio de la tensión de la correa de mando. Ponga el motor el marcha y controle la distribución del encendido.



**Figura 12:** Alineación de las marcas del motor



---

## **2.8.6.- ÁRBOL DE LEVAS: DESMONTAJE Y MONTAJE (140 pulgadas cúbicas)**

### **2.8.6.a.- Desmontaje del árbol de levas:**

Si la culata fue desmontada antes, el desmontaje del árbol de levas se rige de la siguiente manera:

1. Desmunte los balancines.
2. Desmunte el piñón de mando del árbol de levas y la guía de la correa utilizando un extractor adecuado. Desmunte el reten de aceite delantero con un tornillo de rosca para plancha metálica aplicando un esfuerzo deslizante.
3. Desmunte la retención del árbol de levas localizada en el dispositivo de montaje posterior, desenroscando los dos tornillos.
4. Desmunte el árbol de levas retirándolo con cuidado hacia la parte delantera del motor. No dañar los cojinetes, levas y muñequillas.

### **2.8.6.b.- Montaje del árbol de levas:**

1. Cubra el árbol de levas con aceite antes de deslizarlo dentro de la culata de cilindros.
2. Monte un reten delantero nuevo. Aplique una capa de sellador o cinta de teflón al tornillo del piñón de mando del árbol de levas antes de su montaje.
3. El montaje de las levas se efectúa en el orden al del desmontaje.
4. Sumerja los balancines totalmente en aceite y luego suéltelo. Esto debe hacerlo antes de que gire el árbol de levas.





## 2.9.- PROCEDIMIENTO EFECTUADO PARA LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO:

1. Lavado con solvente desengrasante de las piezas a aplicar el recubrimiento (cilindros, pistones, válvulas y cámara de combustión).
2. Baño abrasivo con  $Al_2O_3$  malla # 24 – 36.
3. Capa de enlace ó adición Yttria (NiCrAlY), de 0,15 a 0,20 mm de espesor.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CAPA DE ENLACE	
<b>METCO 204NS</b>	<b>PROPIEDADES</b>
NiCrAlY	
450-600	Textura (micropulgadas AA)
$R_C 30 \pm 5$	Microdureza
10	Porosidad (% volumen)
5,2	Densidad ( $gr/cm^3$ )
10	Expansión térmica (pulg/pulg. $\times 10^{-6}$ )
1,3	Conductividad térmica (Watts/mK)

4. Capa cerámica de Oxido Zirconio de 0,30 a 0,35 mm de espesor.
5. Maquinado orbital para el acabado superficial de las piezas termo-rociadas por plasma (ver Anexo D).
6. Parámetros del termo-rociado por plasma del Oxido de Zirconio con capa de adherencia Yttria (NiCrAlY).

METCO 204NS (Yttria)					
Tipo de pistola	Boquilla	Salida del polvo	Presión del gas primario	Presión del gas secundario	Flujo primario
7MB/9MB	G/730A	2	50 psi	75 psi	75

Flujo secundario	Amperaje	Voltaje	Distancia de rociado	Rata de recubrimiento	Cobertura $pie^2/H/0,001pulg$	Polvo requerido $lb/H/0,001pulg$
15	500 A	74-80 V	3-5 pulg	6 lb/H	135	0,044



---

---

## **2.10.- PROCEDIMIENTO EFECTUADO PARA LA OBTENCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE:**

El análisis de los gases producto de la combustión es realizado por la Empresa BOCGASES C.A., de la siguiente manera:

- 1.- Se prepara el tubo de ensayo el cual debe estar libre de impurezas, seco y con su respectivo tapón de goma.
- 2.- Con el motor en funcionamiento, al momento en que este entrega el máximo torque, se procede para tomar la muestra respectiva.
- 3.- Se coloca el tubo de ensayo a la salida del tubo de escape, se mantiene durante 20 segundos, y sin retirarlo se le coloca el tapón. Esto para garantizar la correcta obtención de la muestra.
- 4.- Se identifica el tubo con los datos de fecha, hora, temperatura y presión atmosférica durante la toma de la muestra.

## **CAPÍTULO III**

---

---



### **3.1.- ENSAYOS REALIZADOS AL MOTOR 4T Ech, SIN LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO:**

Se presentan a continuación los diez (10) ensayos realizados al motor 4T Ech, sin la aplicación del recubrimiento de oxido de zirconio, para la obtención de las curvas características del mismo (Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Velocidad (rpm)), para diferentes valores de velocidad (rpm) establecidos y condiciones ambientales con un mínimo de error como los siguientes:

- Presión atmosférica: Presión (mm-Hg)  $\pm$  0,5 mm-Hg
- Temperatura ambiental: Temperatura ( $^{\circ}$ C)  $\pm$  2  $^{\circ}$ C

#### **✘ ENSAYO N<sup>o</sup> 1:**

Presión atmosférica = 692,2 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 26  $^{\circ}$ C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape ( $^{\circ}$ C)	Temp. Agua ( $^{\circ}$ C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	93	126,08	96,6	451,0	54,89	20,81	27,90
1440	94,5	128,12	67,1	458,2	60,49	25,37	34,02
1680	108	146,42	56,1	465,7	65,35	33,82	45,36
1920	118	159,98	54,1	481,3	67,68	42,24	56,64
2160	123	166,76	51,8	506,0	72,92	49,53	66,42
2400	127	172,18	47,8	524,8	74,87	56,82	76,20
2640	124	168,11	41,0	539,1	78,55	61,03	81,84
2880	116	157,27	35,0	573,0	81,35	62,28	83,52
3120	104	141,00	40,1	610,7	84,10	60,49	81,12
3360	95,5	129,47	29,2	637,0	84,79	59,82	80,22
3600	88,5	119,98	27,9	663,9	88,46	59,40	79,65
3840	81	109,82	26,7	688,4	90,06	57,99	77,76
4080	74,5	101,00	25,9	702,2	91,42	56,67	75,99
4320	67,5	91,51	24,5	741,5	92,42	54,36	72,90
4660	58	78,63	23,5	773,9	94,04	50,39	67,57
4800	52,5	71,18	23,1	813,7	95,46	46,98	63,00

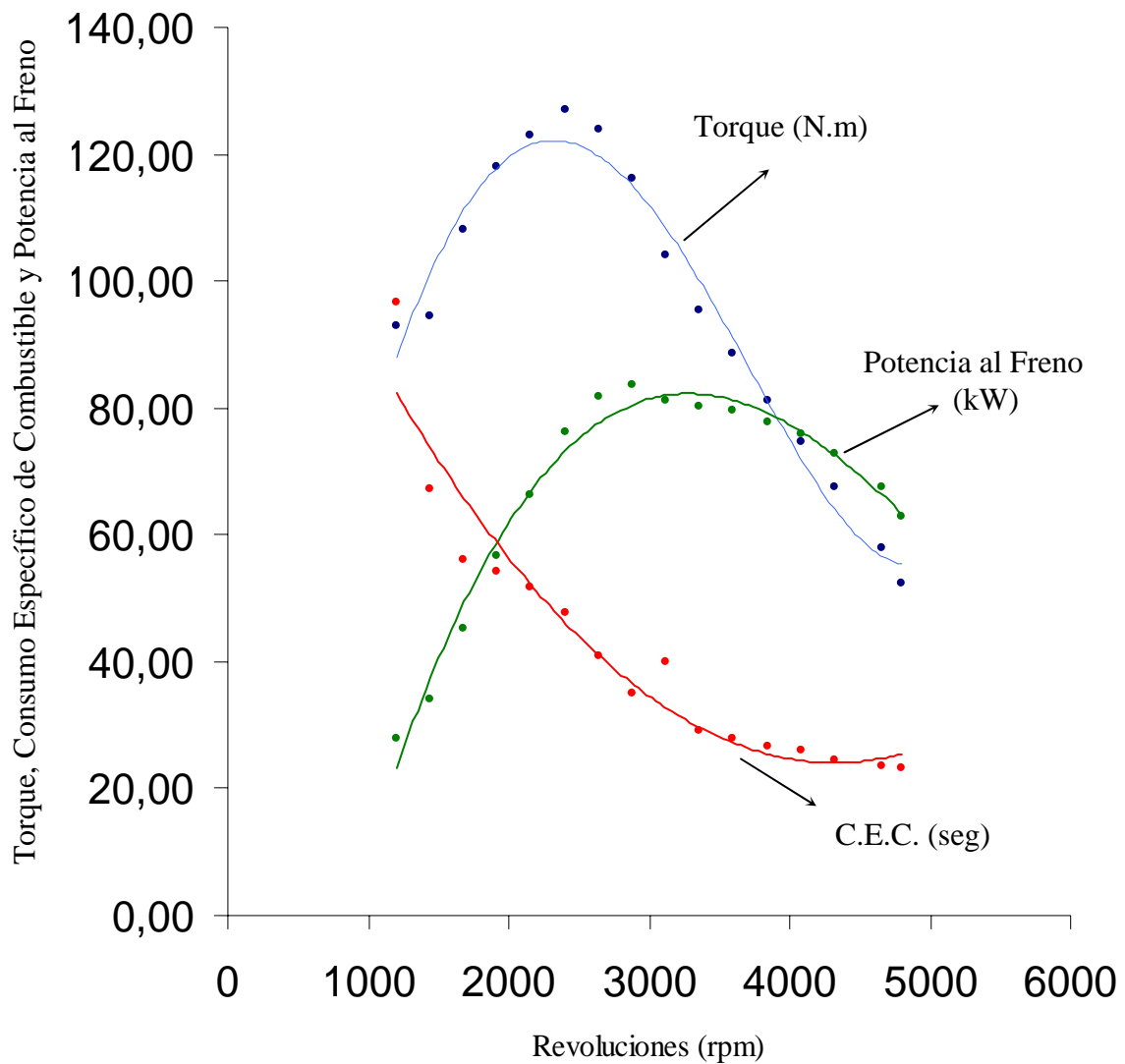
**Tabla 8:** Ensayo N<sup>o</sup>1 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



Los resultados obtenidos del Ensayo N°1 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 8, son representados gráficamente (Gráfico N°1), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.

### Curvas Características del Ensayo 1



**Gráfico N°1:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°1 al Motor 4T Ech, sin termo-rocado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ **ENSAYO N° 2:**

Presión atmosférica = 692,1 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 27 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	92	124,73	95	452,1	55,64	20,58	27,60
1440	94	127,44	69	462,4	58,89	25,23	33,84
1680	106,5	144,39	53	466,3	65,64	33,36	44,73
1920	120	162,69	51	480,5	68,27	42,95	57,60
2160	123	166,76	48	508,8	72,44	49,53	66,42
2400	129	174,89	44	522,8	74,40	57,72	77,40
2640	122	165,40	37	542,9	75,90	60,04	80,52
2880	114,5	155,23	32	572,6	81,01	61,48	82,44
3120	105	142,35	27	608,9	83,07	61,07	81,90
3360	96,5	130,83	24	639,1	85,26	60,45	81,06
3600	86	116,59	23	667,0	87,59	57,72	77,40
3840	80	108,46	22,9	694,2	90,18	57,27	76,80
4080	73,5	99,65	22,8	708,1	91,05	55,91	74,97
4320	65,5	88,80	22,2	738,9	91,92	52,75	70,74
4660	56	75,92	20,5	770,7	93,29	48,65	65,24
4800	54	73,21	19,1	817,0	95,14	48,32	64,80

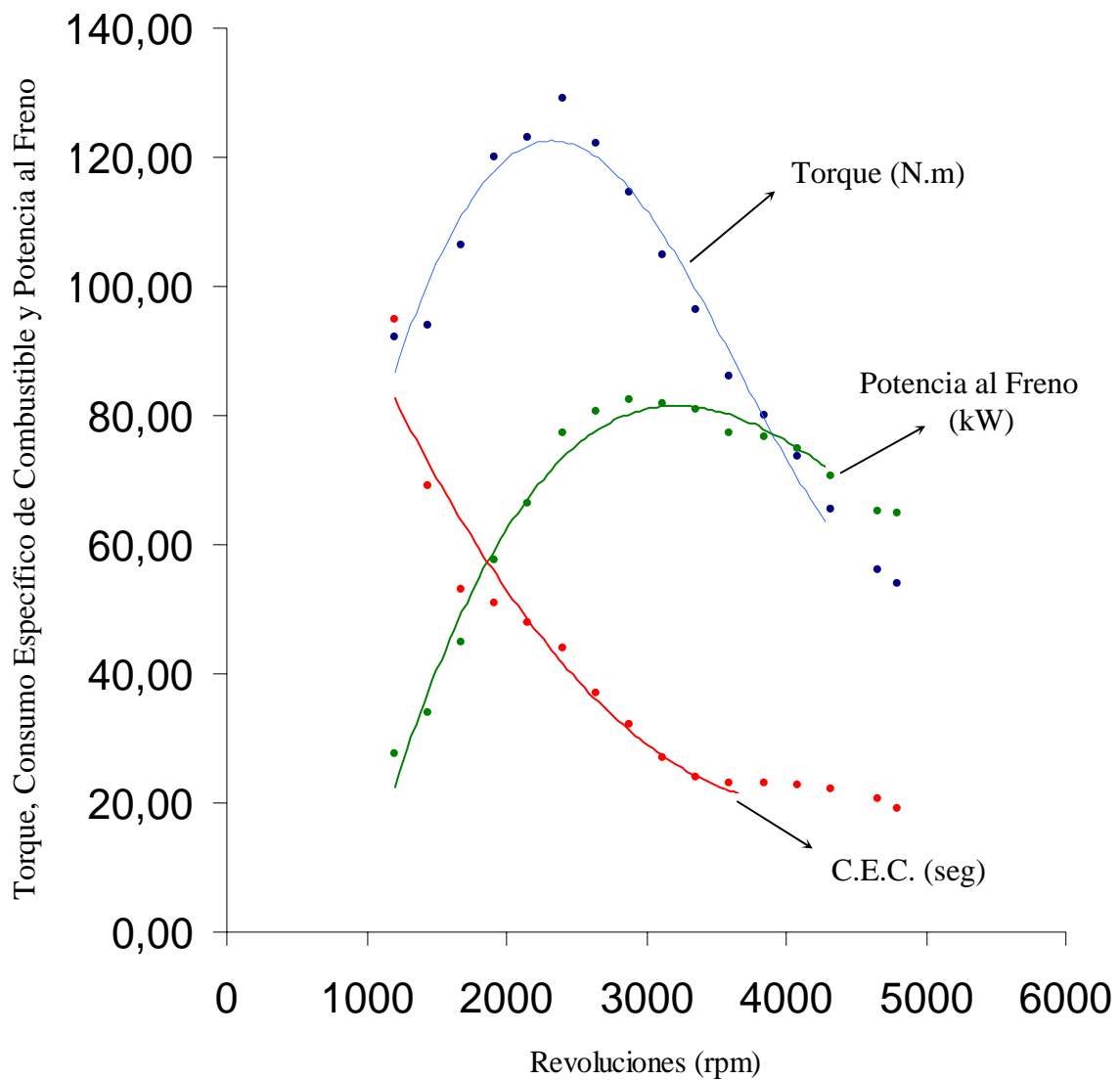
**Tabla 9:** Ensayo N°2 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°2 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 9, son representados gráficamente (Gráfico N°2), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



## Curvas Características del Ensayo 2



**Gráfico N°2:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°2 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ ENSAYO N° 3:

Presión atmosférica = 692,4 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 25 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	92	124,73	95	455,8	55,72	20,58	27,60
1440	96	130,15	69	459,7	57,68	25,77	34,56
1680	106,5	144,39	53	464,4	63,48	33,36	44,73
1920	120	162,69	51	481,3	68,92	42,95	57,60
2160	123	166,76	48	506,0	71,47	49,53	66,42
2400	129	174,89	44	519,5	74,32	57,72	77,40
2640	126,5	171,50	37	541,1	75,29	62,26	83,49
2880	118	159,98	32	571,4	80,84	63,35	84,96
3120	105,5	143,03	27	605,7	82,79	61,36	82,29
3360	96	130,15	24	636,5	85,02	60,13	80,64
3600	88	119,31	23	665,8	87,45	59,06	79,20
3840	82	111,17	22,9	692,1	89,66	58,70	78,72
4080	74	100,33	22,8	703,9	90,51	56,29	75,48
4320	69	93,55	22,2	739,0	91,22	55,57	74,52
4660	61	82,70	20,5	776,1	93,12	53,00	71,07
4800	56	75,92	19,1	814,3	94,35	50,11	67,20

**Tabla 10:** Ensayo N°3 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

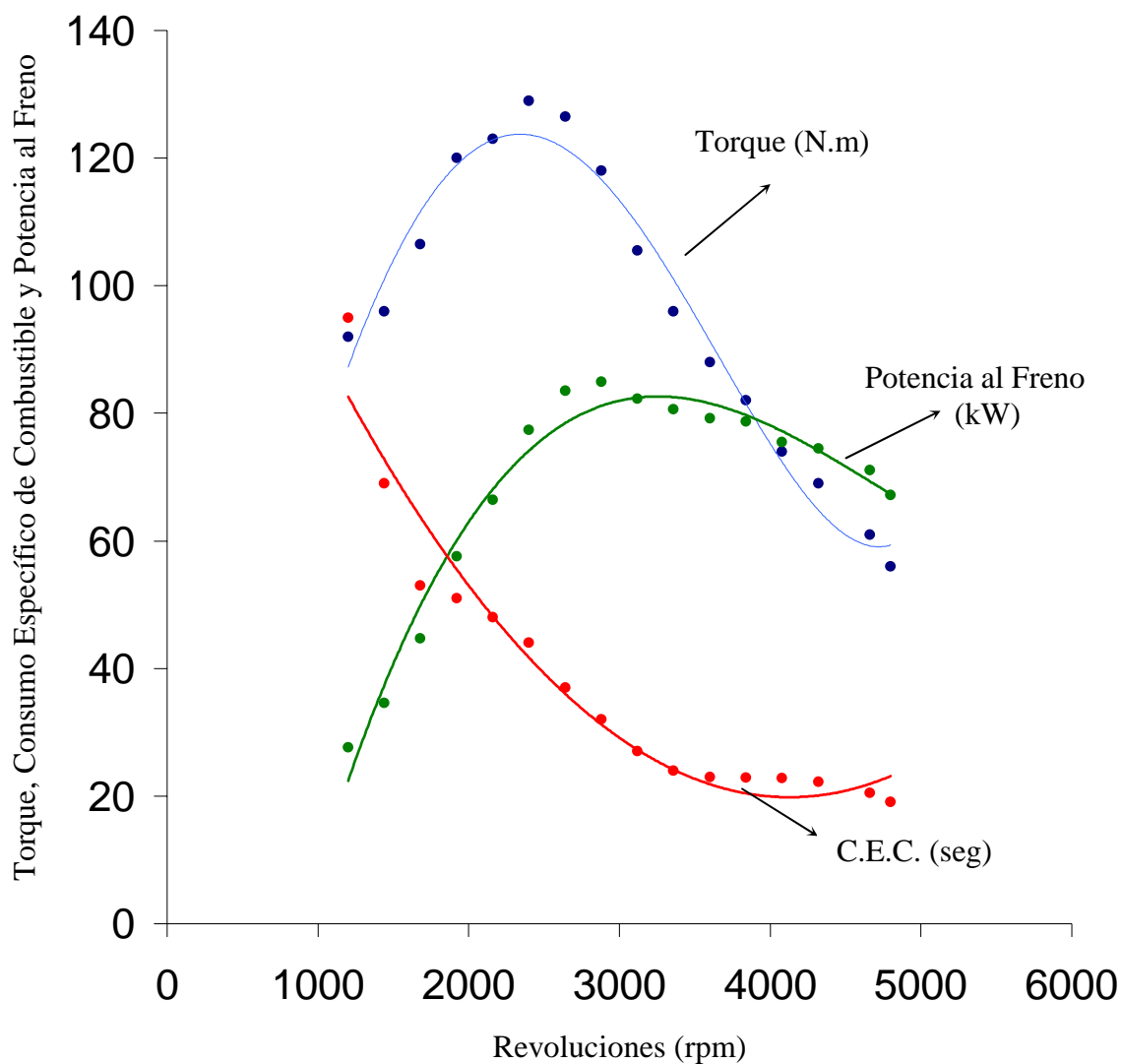
**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°3 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 10, son representados gráficamente (Gráfico N°3), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.





### Curvas Características del Ensayo 3



**Gráfico N°3:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°3 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



#### ✘ **ENSAYO N° 4:**

Presión atmosférica = 692 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 26 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	91	123,37	92,5	451,2	54,89	20,36	27,30
1440	94	127,44	65,2	456,4	58,89	25,23	33,84
1680	106	143,71	53,4	462,8	63,66	33,20	44,52
1920	113	153,20	48,5	482,4	65,93	40,45	54,24
2160	112	151,84	47,8	502,7	71,95	45,10	60,48
2400	124	168,11	43,0	522,8	74,62	55,48	74,40
2640	127,5	172,86	35,0	545,3	76,71	62,75	84,15
2880	115,5	156,59	29,9	574,0	80,49	62,01	83,16
3120	102,5	138,96	25,9	606,1	82,38	59,62	79,95
3360	93,5	126,76	23,2	639,9	84,78	58,57	78,54
3600	85,5	115,92	21,2	662,2	86,85	57,38	76,95
3840	78,5	106,43	21,26	697,4	89,33	56,20	75,36
4080	71	96,26	20,5	701,7	90,42	54,00	72,42
4320	66	89,48	27,7	741,3	91,67	53,15	71,28
4660	59	79,99	18,9	775,6	92,42	51,26	68,74
4800	53	71,85	17,55	821,0	94,53	47,43	63,60

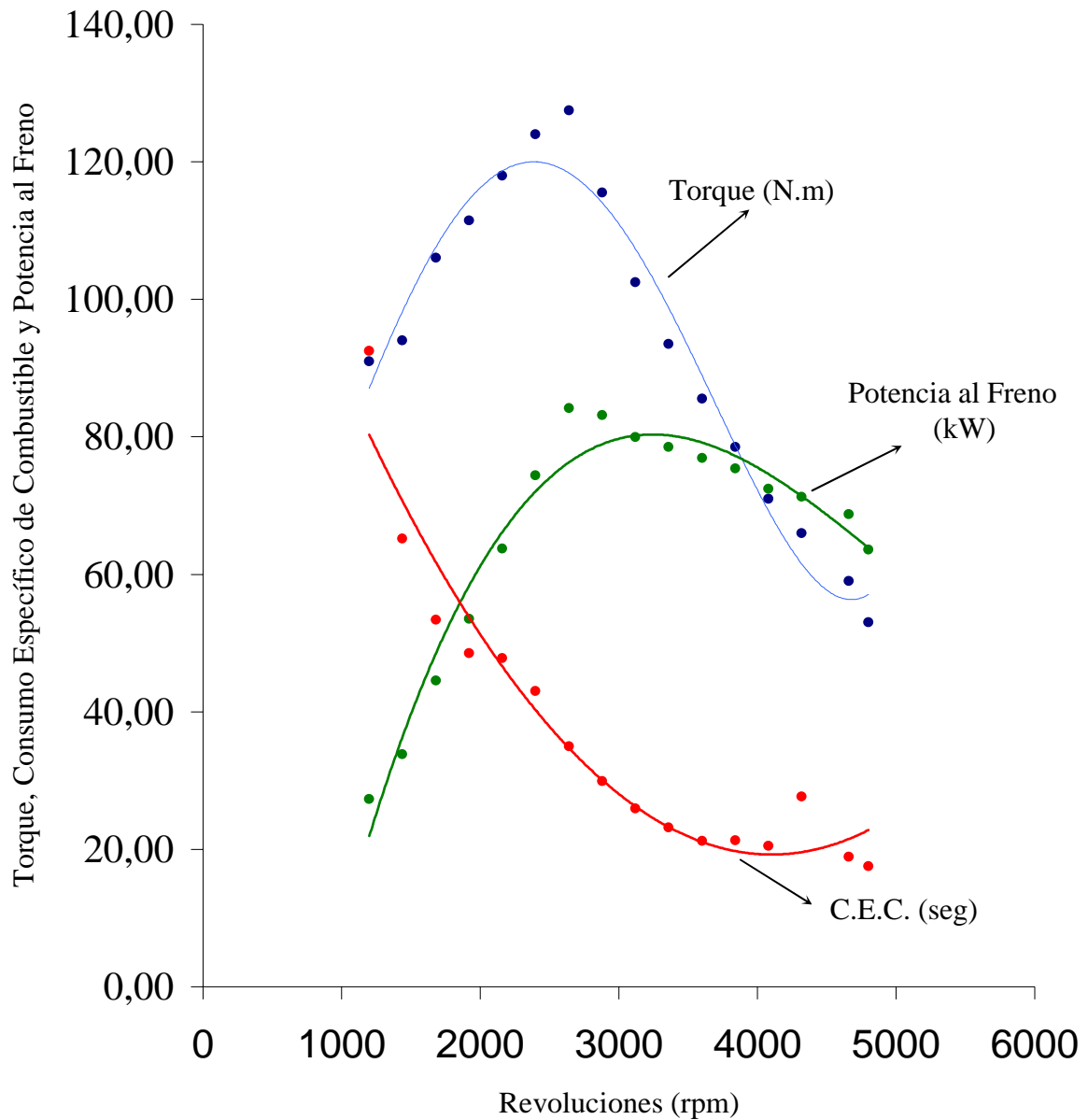
**Tabla 11:** Ensayo N°4 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°4 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 11, son representados gráficamente (Gráfico N°4), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



### Curvas Características del Ensayo 4



**Gráfico N°4:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°4 al Motor 4T Ech, sin termo-rocido de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ ENSAYO N° 5:

Presión atmosférica = 692,6 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 25 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	92	124,73	92,5	454,5	55,63	20,58	27,60
1440	95	128,80	65,2	459,4	58,88	25,50	34,20
1680	110	149,13	53,4	460,2	63,66	34,45	46,20
1920	115	155,91	48,5	486,3	65,93	41,16	55,20
2160	122	165,40	48,5	507,9	71,95	49,13	65,88
2400	126,5	171,50	46,8	517,4	74,62	56,60	75,90
2640	123,5	167,44	35	541,0	76,71	60,78	81,51
2880	116,5	157,94	29,9	578,5	80,49	62,55	83,88
3120	103	139,64	25,9	611,2	82,38	59,91	80,34
3360	94	127,44	24,3	643,0	84,78	58,88	78,96
3600	86,5	117,27	23,2	663,4	87,58	58,05	77,85
3840	78	105,75	21,2	693,8	89,33	55,84	74,88
4080	72	97,61	20,8	707,7	90,55	54,76	73,44
4320	66,5	90,16	18,9	736,6	91,67	53,56	71,82
4660	58,5	79,31	17,5	769,9	92,42	50,82	68,15
4800	54	73,21	14,9	811,8	96,95	48,32	64,80

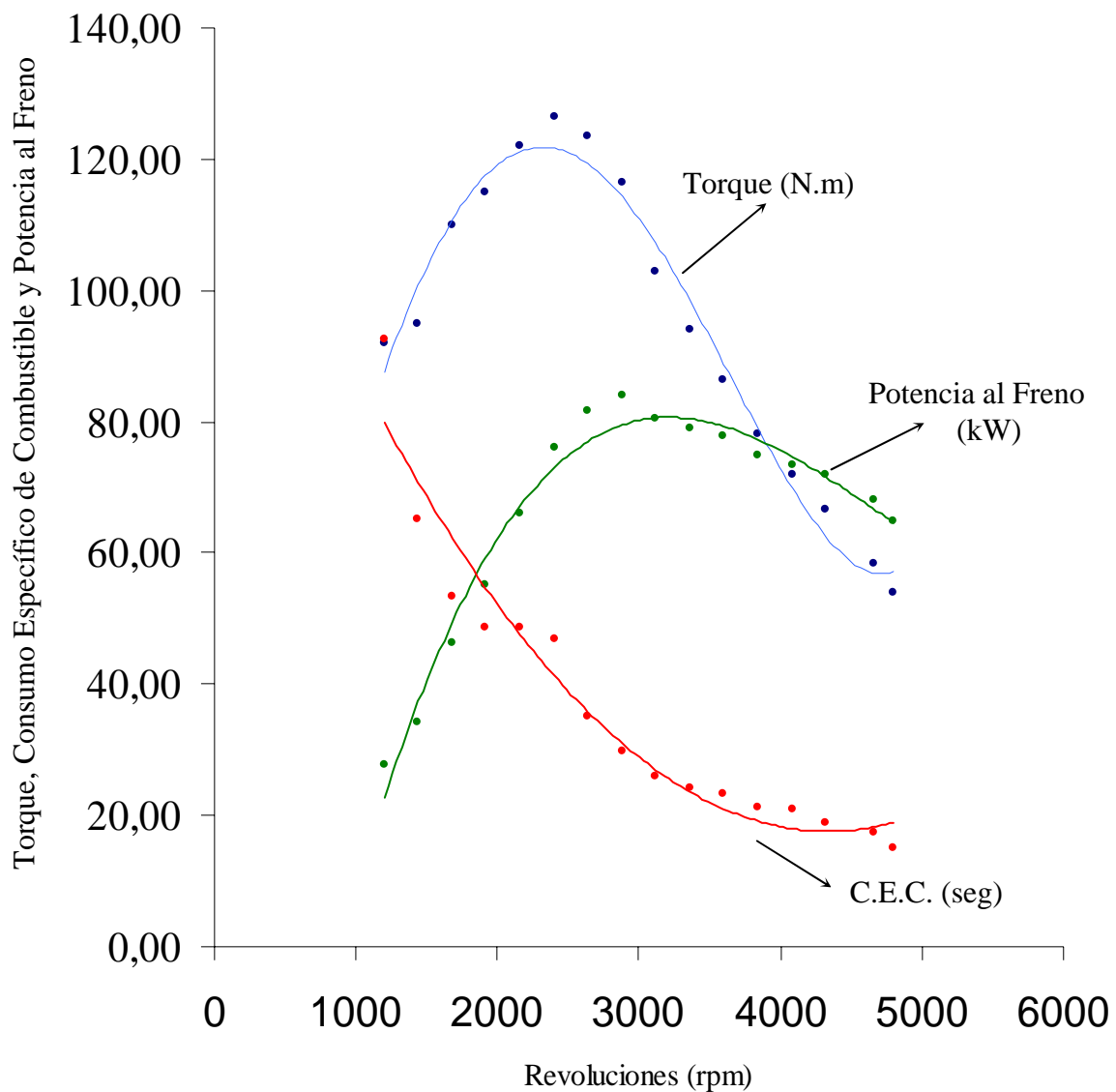
**Tabla 12:** Ensayo N°5 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°5 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 12, son representados gráficamente (Gráfico N°5), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



### Curvas Características del Ensayo 5



**Gráfico N°5:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°5 al Motor 4T Ech, sin termo-rocido de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ **ENSAYO N° 6:**

Presión atmosférica = 692 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 26 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	97	131,51	90,5	450,9	55,63	21,70	29,10
1440	102,5	138,96	62,2	460,1	59,31	27,52	36,90
1680	115	155,91	51,8	467,3	64,01	36,02	48,30
1920	123	166,76	43,5	489,5	66,22	44,03	59,04
2160	125	169,47	33,9	510,2	72,43	50,33	67,50
2400	128,5	174,21	32,8	519,4	75,29	57,49	77,10
2640	123,5	167,44	29,1	538,9	77,32	60,78	81,51
2880	115,5	156,59	28,9	573,3	81,35	62,01	83,16
3120	105	142,35	28,7	606,2	82,89	61,07	81,90
3360	96	130,15	26,3	639,7	86,13	60,13	80,64
3600	86	116,59	22,7	657,4	88,31	57,72	77,40
3840	80	108,46	19,8	683,9	89,92	57,27	76,80
4080	74	100,33	19,3	701,3	91,54	56,29	75,48
4320	66,5	90,16	17,8	729,1	92,29	53,56	71,82
4660	60,5	82,02	17,4	771,5	93,29	52,56	70,48
4800	53,5	72,53	16,9	818,7	98,77	47,87	64,20

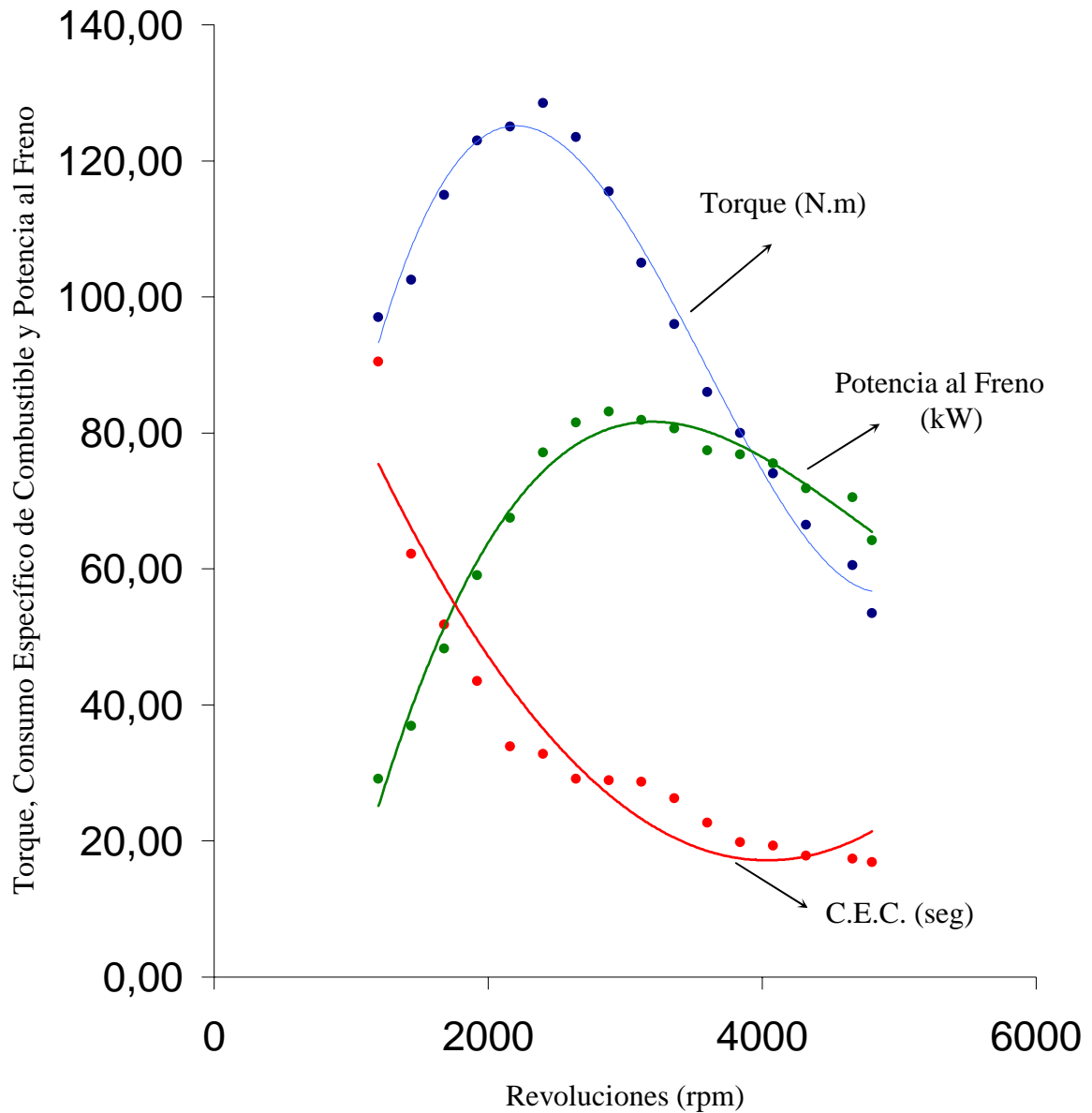
**Tabla 13:** Ensayo N°6 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°6 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 13, son representados gráficamente (Gráfico N°6), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



### Curvas Características del Ensayo 6



**Gráfico N°6:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°6 al Motor 4T Ech, sin termo-rocado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ ENSAYO N° 7:

Presión atmosférica = 692,4 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 25 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	98	132,86	93	453,8	54,89	21,92	29,40
1440	101	136,93	65	457,2	58,45	27,11	36,36
1680	113	153,20	54	470,4	63,31	35,39	47,46
1920	120	162,69	49,1	491,3	65,35	42,95	57,60
2160	128,5	174,21	47,7	512,0	72,19	51,74	69,39
2400	130	176,25	43,7	524,2	74,13	58,16	78,00
2640	124	168,11	36,4	543,9	76,71	61,03	81,84
2880	112,5	152,52	28,9	565,7	80,32	60,40	81,00
3120	104,5	141,68	25,9	599,6	82,21	60,78	81,51
3360	96,5	130,83	22,6	633,4	83,92	60,45	81,06
3600	87	117,95	21,1	651,8	86,42	58,39	78,30
3840	81	109,82	20,8	680,2	89,92	57,99	77,76
4080	73	98,97	19	713,0	91,79	55,52	74,46
4320	67,5	91,51	18,8	731,1	94,28	54,36	72,90
4660	58,5	79,31	17,3	766,4	96,53	50,82	68,15
4800	53	71,85	14,4	811,7	99,73	47,43	63,60

**Tabla 14:** Ensayo N°7 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

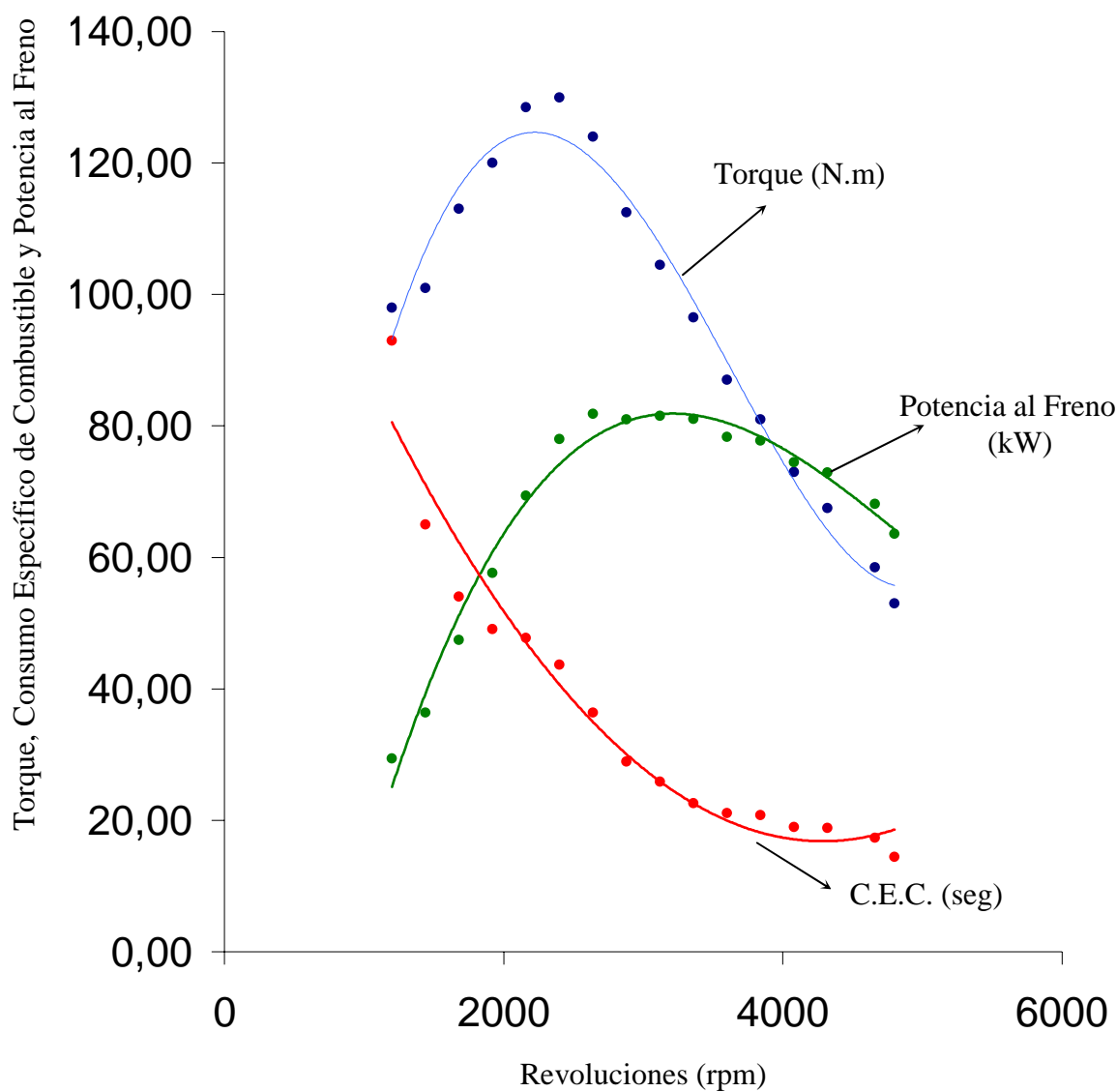
**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°7 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 14, son representados gráficamente (Gráfico N°7), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.





### Curvas Características del Ensayo 1 7



**Gráfico N°7:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°7 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ **ENSAYO N° 8:**

Presión atmosférica = 691,5 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 26 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	96,5	130,83	91,5	455,2	54,89	21,59	28,95
1440	99	134,22	63,9	462,7	58,88	26,58	35,64
1680	113	153,20	63,8	474,2	63,66	35,39	47,46
1920	120	162,69	53,6	496,6	65,35	42,95	57,60
2160	126	170,82	46,2	514,3	72,19	50,74	68,04
2400	129	174,89	41,1	527,2	77,73	57,72	77,40
2640	121,5	164,72	34,1	548,6	78,14	59,80	80,19
2880	114	154,56	27,6	568,7	80,83	61,21	82,08
3120	101,5	137,61	24,6	591,0	82,89	59,04	79,17
3360	93,5	126,76	21,6	626,5	84,44	58,57	78,54
3600	84,5	114,56	20,7	650,1	89,48	56,71	76,05
3840	78,5	106,43	17,5	677,4	91,79	56,20	75,36
4080	71,5	96,94	15,7	704,5	92,70	54,38	72,93
4320	66	89,48	14,7	728,8	94,90	53,15	71,28
4660	57,5	77,96	13,8	759,3	96,85	49,95	66,99
4800	51	69,14	13,1	822,7	99,73	45,64	61,20

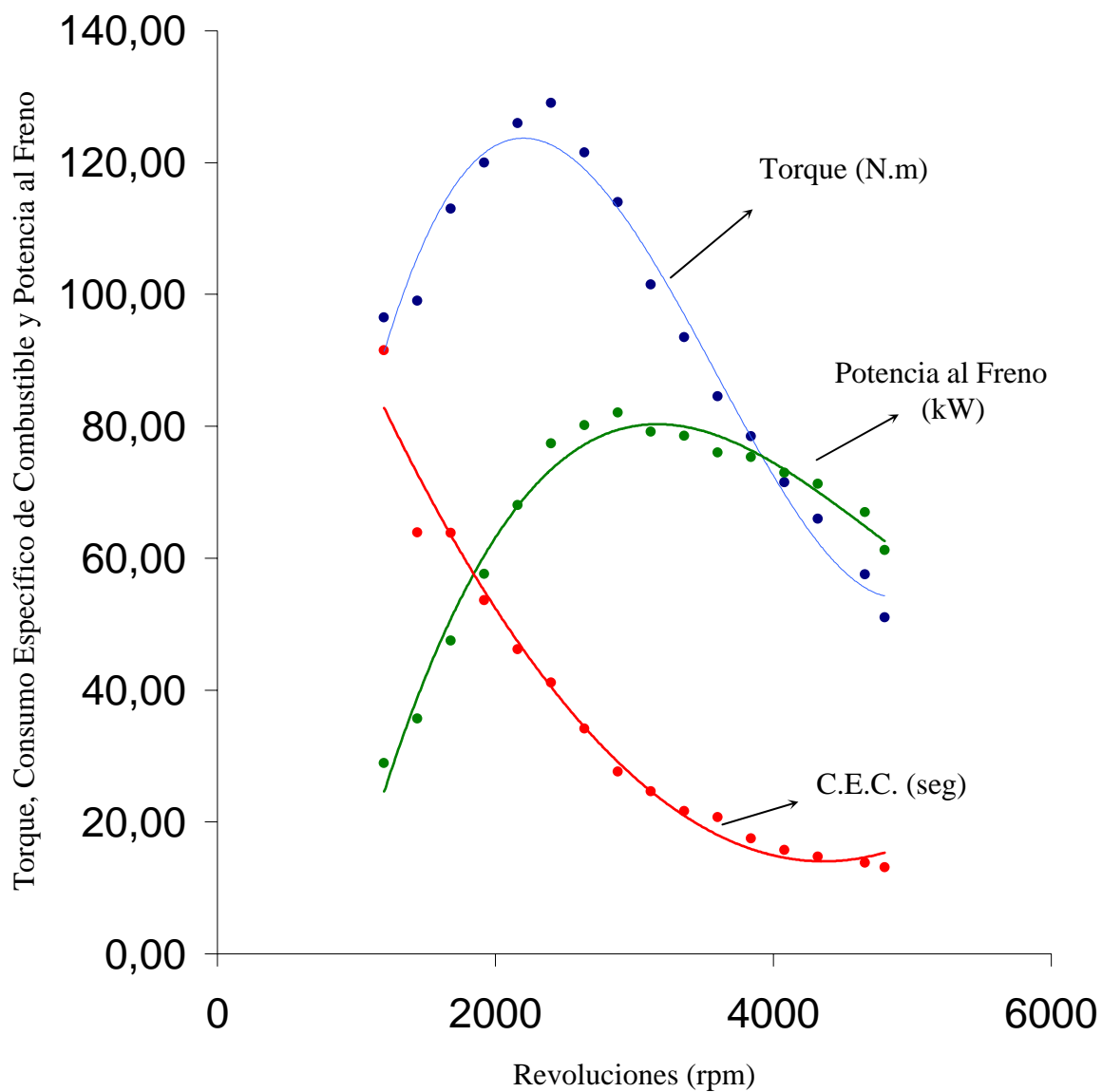
**Tabla 15:** Ensayo N°8 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°8 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 15, son representados gráficamente (Gráfico N°8), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



### Curvas Características del Ensayo 8



**Gráfico N°8:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°8 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ **ENSAYO N° 9:**

Presión atmosférica = 691,9 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 25 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	101	136,93	96,7	452,7	56,38	22,59	30,30
1440	104	141,00	70,8	460,1	60,14	27,92	37,44
1680	119	161,33	56,7	471,8	65,35	37,27	49,98
1920	125	169,47	52,8	497,7	67,68	44,74	60,00
2160	128,5	174,21	51,1	511,1	73,40	51,74	69,39
2400	131	177,60	46,7	530,5	75,29	58,61	78,60
2640	123	166,76	39,7	544,2	77,73	60,54	81,18
2880	113,5	153,88	33,8	563,5	81,69	60,94	81,72
3120	102	138,29	29,2	589,7	84,27	59,33	79,56
3360	94	127,44	28	621,3	88,17	58,88	78,96
3600	85,5	115,92	26,7	649,9	90,05	57,38	76,95
3840	79,5	107,78	25,9	678,3	91,30	56,91	76,32
4080	72	97,61	23,1	709,6	92,66	54,76	73,44
4320	65,5	88,80	18,9	726,8	93,78	52,75	70,74
4660	59	79,99	18	764,4	95,24	51,26	68,74
4800	52,5	71,18	15	820,5	98,23	46,98	63,00

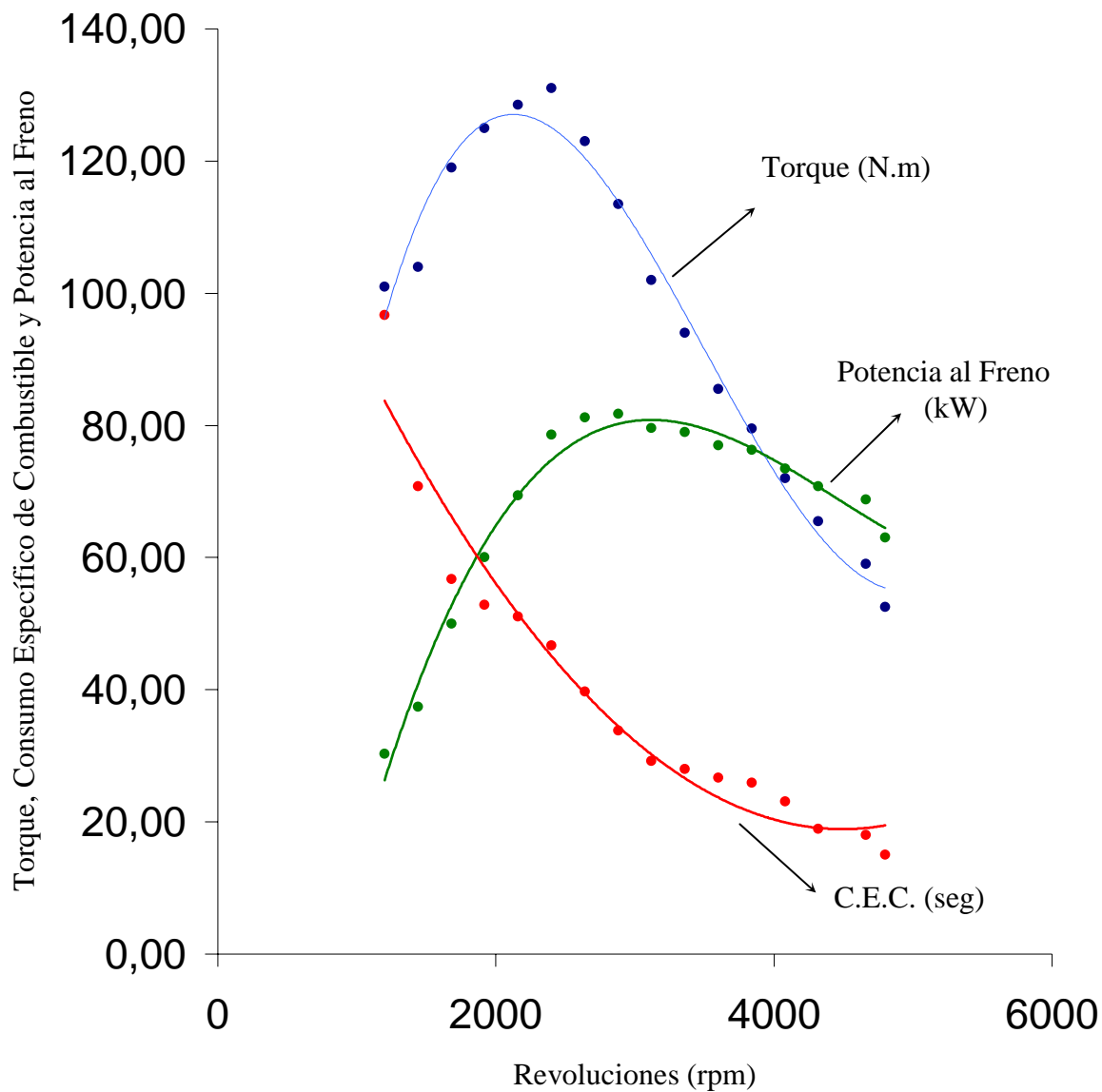
**Tabla 16:** Ensayo N°9 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°9 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 16, son representados gráficamente (Gráfico N°9), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



### Curvas Características del Ensayo 9



**Gráfico N°9:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°9 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ **ENSAYO N° 10:**

Presión atmosférica = 692,3 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 26 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	99	134,22	93,2	454,6	55,56	22,15	29,70
1440	103	139,64	69,0	464,2	59,43	27,65	37,08
1680	117,5	159,30	52,3	475,8	65,64	36,80	49,35
1920	124,5	168,79	51,1	493,2	67,97	44,56	59,76
2160	127,5	172,86	47,0	513,7	72,43	51,34	68,85
2400	130,5	176,93	46,5	528,5	74,86	58,39	78,30
2640	125	169,47	33,4	547,1	77,12	61,52	82,50
2880	116	157,27	31,8	568,3	81,18	62,28	83,52
3120	104	141,00	28,8	595,3	84,27	60,49	81,12
3360	95	128,80	26,2	617,9	88,89	59,51	79,80
3600	86	116,59	25,3	651,9	90,18	57,72	77,40
3840	79	107,10	21,9	673,8	91,67	56,55	75,84
4080	73	98,97	19,7	706,9	93,16	55,52	74,46
4320	67	90,84	17,9	728,6	94,41	53,96	72,36
4660	58	78,63	16,8	769,2	95,67	50,39	67,57
4800	55,5	75,24	13,9	814,9	99,41	49,66	66,60

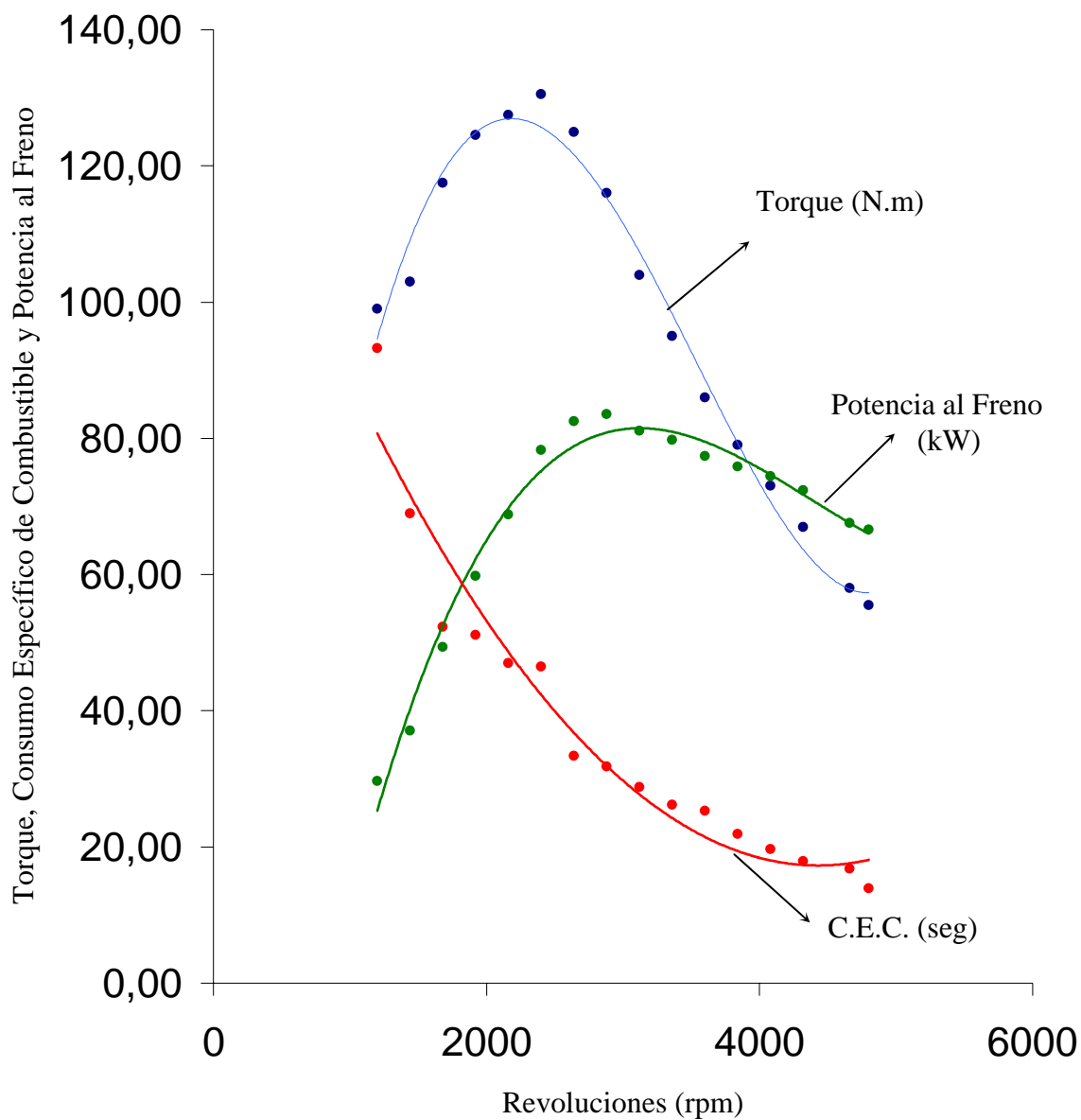
**Tabla 17:** Ensayo N°10 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°10 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 17, son representados gráficamente (Gráfico N°10), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



## Curvas Características del Ensayo 10



**Gráfico N°10:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°10 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### **3.2.- ENSAYOS PROMEDIO REALIZADOS AL MOTOR 4T Ech, SIN LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO:**

Luego de haber realizado los diez (10) ensayos al Motor 4T Ech sin la aplicación del termo-rociado, se procedió a la obtención del valor promedio del Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno, para cada valor diferente de velocidad (rpm) estipulado. A su vez, se realizaron las curvas características (Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. velocidad (rpm)) del motor.

Los resultados se muestran a continuación en las Tablas: N°18, 19 y 20, al igual los valores promedios de cada prueba (Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno) se encuentran en los Gráficos: N°11, N°12 y N°13, respectivamente.

Valores promedios de las condiciones ambientales que se presentaron al momento de la realización de los diversos ensayos:

- Presión atmosférica promedio = 692,14 mm-Hg.
- Volumen de Combustible = 0,250 Lts.
- Temperatura ambiental promedio = 25,6 °C
- Gasolina o Combustible = 91 Octanos

Ensayos	Porcentaje (%)						ppm
	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>
1	9,01	8,17	0,04	82,54	0,05	9,20	1200
4	9,00	8,18	0,05	82,53	0,03	9,19	1150
8	9,02	8,17	0,04	82,52	0,04	9,18	1195

**Tabla 18:** Composición química en parte por millón de los elementos productos de la combustión para los ensayos al motor 4T Ech sin la aplicación del recubrimiento.

**Fuente:** Los Autores.





✘ **TORQUE PROMEDIO (N.m):**

rpm	Ensayos										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1200	126,08	124,73	124,73	123,37	124,73	131,51	132,86	130,83	136,93	134,22	129,00
1440	128,12	127,44	130,15	127,44	128,8	138,96	136,93	134,22	141	139,64	133,27
1680	146,42	144,39	144,39	143,71	149,13	155,91	153,2	153,2	161,33	159,3	151,10
1920	159,98	162,69	162,69	153,2	155,91	166,76	162,69	162,69	169,47	168,79	162,49
2160	166,76	166,76	166,76	151,84	165,4	169,47	174,21	170,82	174,21	172,86	167,91
2400	172,18	174,89	174,89	168,11	171,5	174,21	176,25	174,89	177,6	176,93	174,15
2640	168,11	165,4	171,5	172,86	167,44	167,44	168,11	164,72	166,76	169,47	168,18
2880	157,27	155,23	159,98	156,59	157,94	156,59	152,52	154,56	153,88	157,27	156,18
3120	141	142,35	143,03	138,96	139,64	142,35	141,68	137,61	138,29	141	140,59
3360	129,47	130,83	130,15	126,76	127,44	130,15	130,83	126,76	127,44	128,8	128,86
3600	119,98	116,59	119,31	115,92	117,27	116,59	117,95	114,56	115,92	116,59	117,07
3840	109,82	108,46	111,17	106,43	105,75	108,46	109,82	106,43	107,78	107,1	108,12
4080	101	99,65	100,33	96,26	97,61	100,33	98,97	96,94	97,61	98,97	98,77
4320	91,51	88,8	93,55	89,48	90,16	90,16	91,51	89,48	88,8	90,84	90,43
4660	78,63	75,92	82,7	79,99	79,31	82,02	79,31	77,96	79,99	78,63	79,45
4800	71,18	73,21	75,92	71,85	73,21	72,53	71,85	69,14	71,18	75,24	72,53

**Tabla 19:** Valores promedios del Torque correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

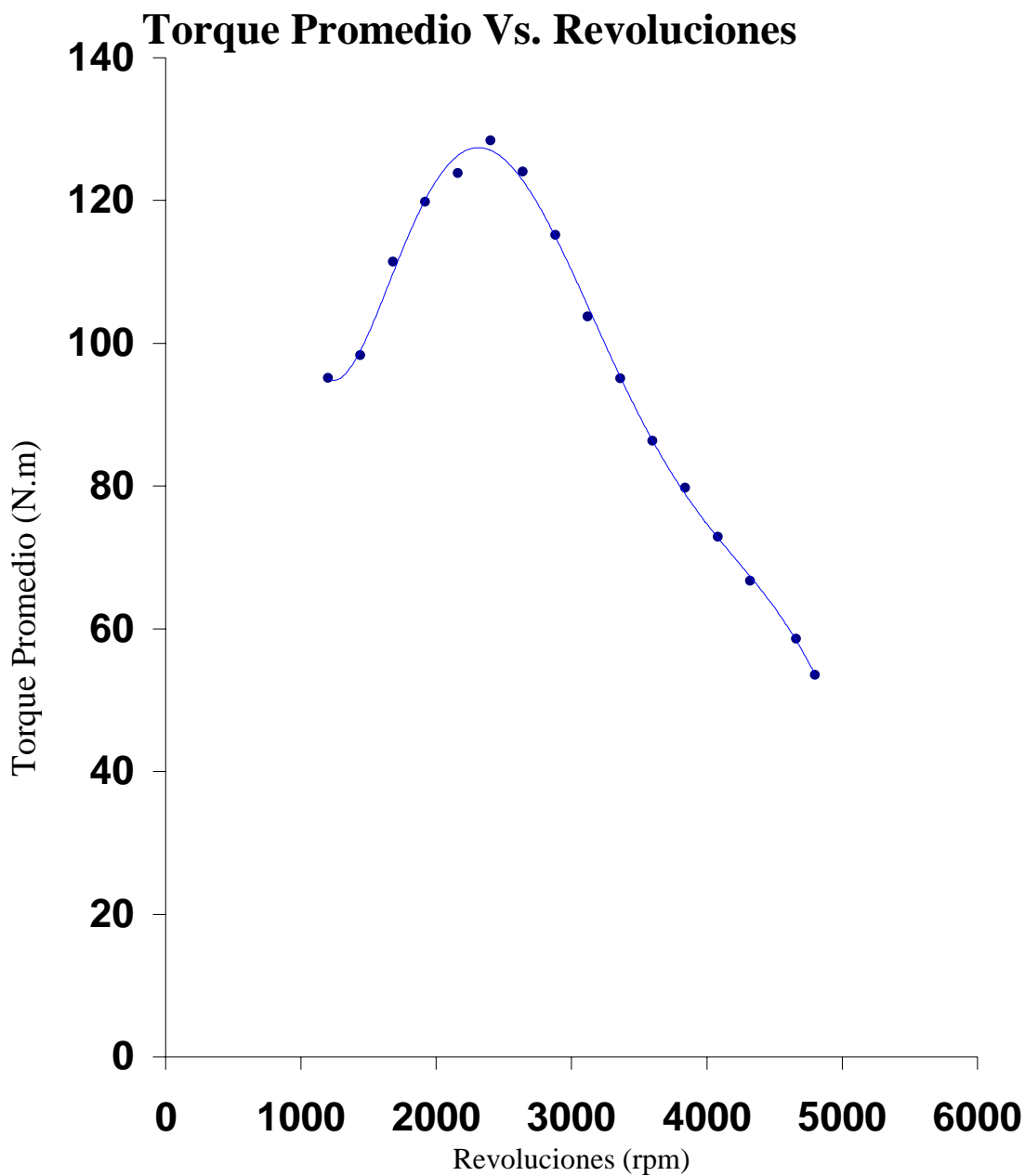
**Fuente:** Los Autores.

rpm	1200	1440	1680	1920	2160	2400	2640	2880	3120
Desviación Estándar	4,83	5,49	6,45	5,19	6,53	2,85	2,53	2,17	1,87

3360	3600	3840	4080	4320	4560	4800
1,64	1,63	1,76	1,60	1,47	1,94	2,00

**Tabla 20:** Desviación Estándar de los valores promedios del Torque correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio).

**Fuente:** Los Autores.



**Gráfico N°11:** Torque Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



✘ **CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE PROMEDIO (seg):**

rpm	Ensayos										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1200	96,6	95	96,5	92,5	92,5	90,5	93	91,5	96,7	93,2	93,8
1440	67,1	69	67,2	65,2	65,2	62,2	65	63,9	70,8	69	66,46
1680	56,1	53	55,6	53,4	53,4	51,8	54	63,8	56,7	52,3	55,01
1920	54,1	51	54,2	48,5	48,5	43,5	49,1	53,6	52,8	51,1	50,64
2160	51,8	48	51,7	47,8	48,5	33,9	47,7	46,2	51,1	47	47,37
2400	47,8	44	48,7	43	46,8	32,8	43,7	41,1	46,7	46,5	44,11
2640	41	37	41,3	35	35	29,1	36,4	34,1	39,7	33,4	36,2
2880	35	32	36,6	29,9	29,9	28,9	28,9	27,6	33,8	31,8	31,44
3120	40,1	27	40,1	25,9	25,9	28,7	25,9	24,6	29,2	28,8	29,62
3360	29,2	24	29,3	23,2	24,3	26,3	22,6	21,6	28	26,2	25,47
3600	27,9	23	27,7	21,2	23,2	22,7	21,1	20,7	26,7	25,3	23,95
3840	26,7	22,9	26,5	21,26	21,2	19,8	20,8	17,5	25,9	21,9	22,446
4080	25,9	22,8	25,9	20,5	20,8	19,3	19	15,7	23,1	19,7	21,27
4320	24,5	22,2	24	27,7	18,9	17,8	18,8	14,7	18,9	17,9	20,54
4660	23,5	20,5	23,1	18,9	17,5	17,4	17,3	13,8	18	16,8	18,68
4800	23,1	19,1	22	17,55	14,9	16,9	14,4	13,1	15	13,9	16,995

**Tabla 21:** Valores promedios de Consumo Específico de Combustible correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

rpm	1200	1440	1680	1920	2160	2400	2640	2880	3120
Desviación Estándar	2,25	2,64	3,49	3,35	5,13	4,63	3,76	2,94	5,72

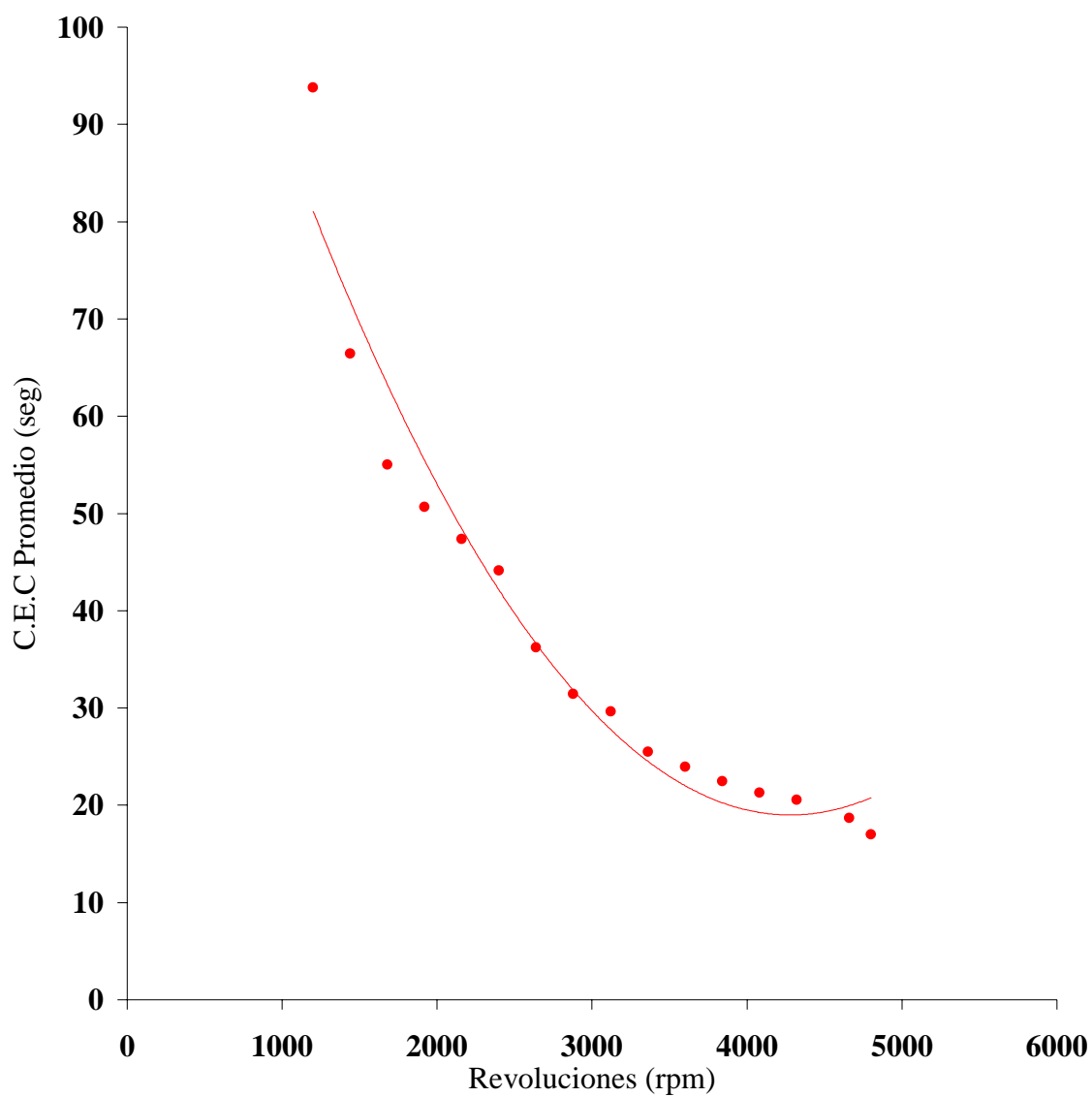
3360	3600	3840	4080	4320	4560	4800
2,75	2,76	3,06	3,20	3,93	2,96	3,45

**Tabla 22:** Desviación Estándar de los valores promedios de Consumo Específico de Combustible correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio).

**Fuente:** Los Autores.



## C.E.C Promedio Vs. Revoluciones



**Gráfico N°12:** Consumo Específico de Combustible Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



✘ **POTENCIA AL FRENO PROMEDIO (kW):**

rpm	Ensayos										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1200	20,81	20,58	20,58	20,36	20,58	21,7	21,92	21,59	22,59	22,15	21,29
1440	25,37	25,23	25,77	25,23	25,5	27,52	27,11	26,58	27,92	27,65	26,39
1680	33,82	33,36	33,36	33,2	34,45	36,02	35,39	35,39	37,27	36,8	34,91
1920	42,24	42,95	42,95	40,45	41,16	44,03	42,95	42,95	44,74	44,56	42,90
2160	49,53	49,53	49,53	45,1	49,13	50,33	51,74	50,74	51,74	51,34	49,87
2400	56,82	57,72	57,72	55,48	56,6	57,49	58,16	57,72	58,61	58,39	57,47
2640	61,03	60,04	62,26	62,75	60,78	60,78	61,03	59,8	60,54	61,52	61,05
2880	62,28	61,48	63,35	62,01	62,55	62,01	60,4	61,21	60,94	62,28	61,85
3120	60,49	61,07	61,36	59,62	59,91	61,07	60,78	59,04	59,33	60,49	60,32
3360	59,82	60,45	60,13	58,57	58,88	60,13	60,45	58,57	58,88	59,51	59,54
3600	59,4	57,72	59,06	57,38	58,05	57,72	58,39	56,71	57,38	57,72	57,95
3840	57,99	57,27	58,7	56,2	55,84	57,27	57,99	56,2	56,91	56,55	57,09
4080	56,67	55,91	56,29	54	54,76	56,29	55,52	54,38	54,76	55,52	55,41
4320	54,36	52,75	55,57	53,15	53,56	53,56	54,36	53,15	52,75	53,96	53,72
4660	50,39	48,65	53	51,26	50,82	52,56	50,82	49,95	51,26	50,39	50,91
4800	46,98	48,32	50,11	47,43	48,32	47,87	47,43	45,64	46,98	49,66	47,87

**Tabla 23:** Valores promedios de Potencia al Freno correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

rpm	1200	1440	1680	1920	2160	2400	2640	2880	3120
Desviación Estándar	0,80	1,09	1,49	1,37	1,94	0,94	0,92	0,86	0,80

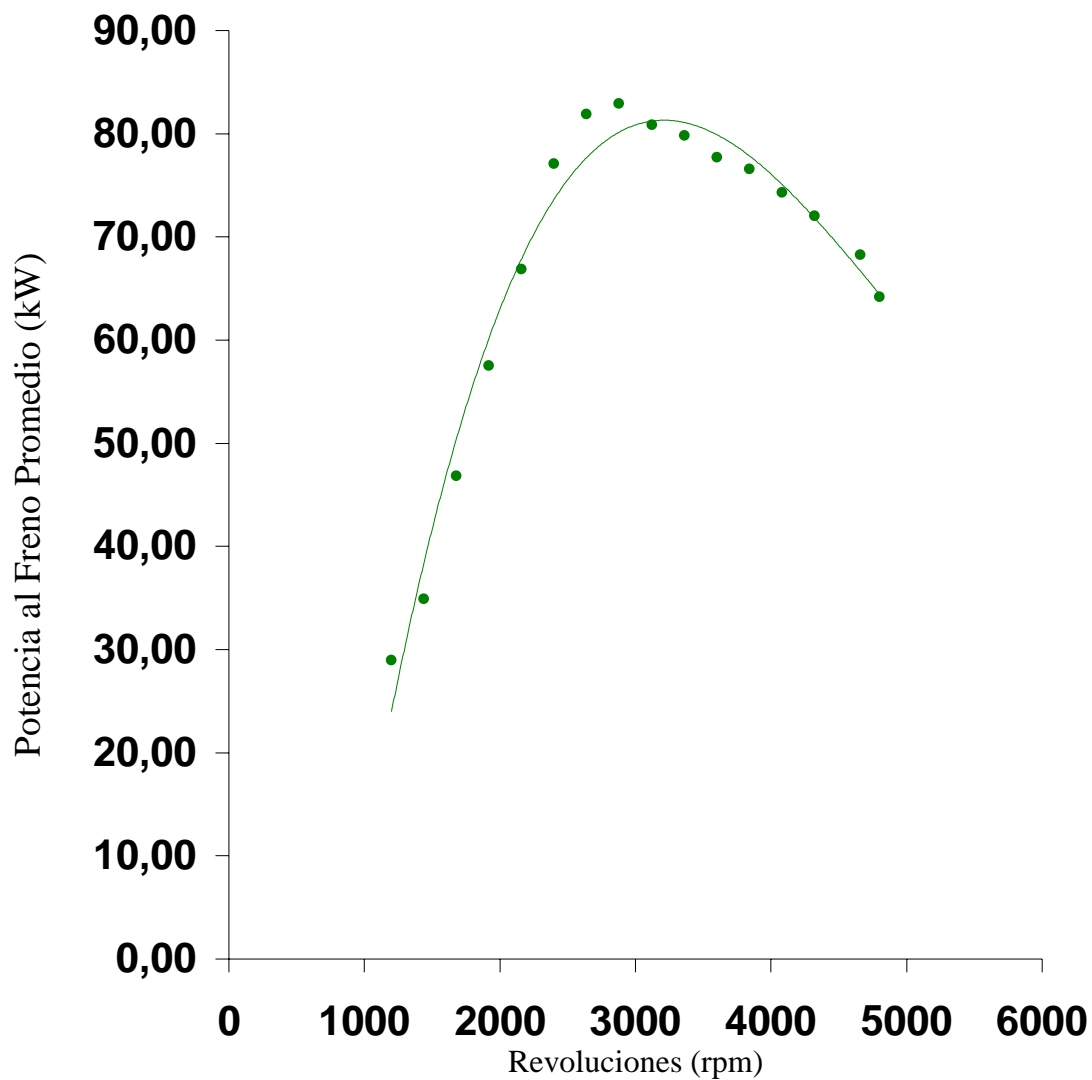
3360	3600	3840	4080	4320	4560	4800
0,76	0,81	0,93	0,90	0,87	1,24	1,32

**Tabla 24:** Desviación Estándar de los valores promedios de Potencia al Freno correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio).

**Fuente:** Los Autores.



## Potencia al Freno Promedio Vs. Revoluciones



**Gráfico N°13:** Potencia al Freno Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### **3.3.- ENSAYOS REALIZADOS AL MOTOR 4T Ech, CON LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO:**

Se presentan a continuación los diez (10) ensayos realizados al motor 4T Ech, con la aplicación del recubrimiento de oxido de zirconio, para la obtención de las curvas características del mismo (Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. velocidad(rpm)), para diferentes valores de velocidad (rpm) establecidos y condiciones ambientales con un mínimo de error como los siguientes:

#### **✘ ENSAYO N° 11:**

Presión atmosférica = 692,4 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 25,4 °C

Gasolina o Combustible = 91

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	93,47	126,72	95,1	477,2	53,40	20,91	28,04
1440	95,67	129,70	68,8	495,4	59,44	25,68	34,44
1680	113,40	153,74	53,3	503,8	64,77	35,52	47,63
1920	121,54	164,78	51,1	516,4	65,93	43,50	58,34
2160	129,77	175,94	47,9	528,7	71,23	52,25	70,07
2400	135,89	184,23	44,0	538,8	74,07	60,80	81,53
2640	131,19	177,86	37,0	563,3	77,74	64,57	86,59
2880	122,03	165,44	32,2	590,0	80,49	65,52	87,86
3120	109,10	147,91	27,1	618,1	83,07	63,45	85,09
3360	99,42	134,79	23,8	656,9	84,09	62,27	83,51
3600	90,09	122,14	23,0	685,2	87,88	60,46	81,08
3840	82,22	111,47	22,9	706,4	89,93	58,86	78,93
4080	75,47	102,32	22,8	733,7	90,55	57,40	76,98
4320	68,04	92,25	22,2	782,3	91,55	54,79	73,48
4660	58,29	79,03	20,5	805,6	93,42	50,64	67,91
4800	52,71	71,46	19,1	850,0	95,14	47,17	63,25

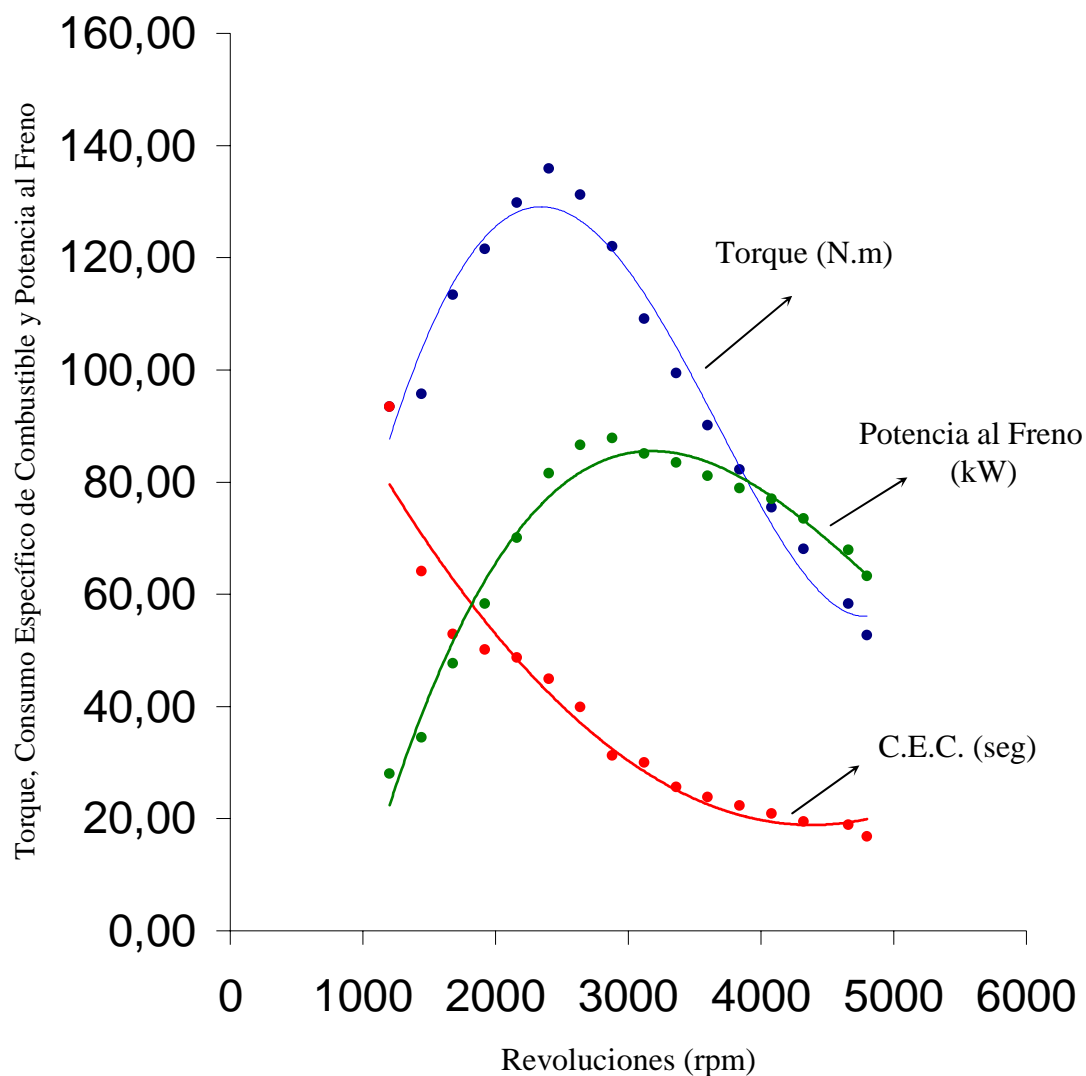
**Tabla 25:** Ensayo N°11 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



Los resultados obtenidos del Ensayo N°11 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 25, son representados gráficamente (Gráfico N°14), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.

### Curvas Características del Ensayo 11



**Gráfico N°14:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°11 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.





### ✘ **ENSAYO N° 12:**

Presión atmosférica = 692 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 26 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	92,92	125,98	92,1	474,8	55,64	20,79	27,88
1440	95,03	128,84	65,2	497,2	58,89	25,51	34,21
1680	109,38	148,29	53,2	508,4	65,64	34,26	45,94
1920	126,48	171,48	48,5	519,3	68,27	45,27	60,71
2160	131,86	178,77	48,3	526,0	72,44	53,09	71,20
2400	137,39	186,27	46,6	539,2	74,38	61,47	82,43
2640	127,25	172,52	35,1	566,9	75,90	62,62	83,98
2880	118,74	160,98	29,9	593,7	81,01	63,75	85,49
3120	107,94	146,34	25,9	613,6	83,07	62,78	84,19
3360	98,82	133,98	24,3	653,4	85,26	61,90	83,01
3600	87,63	118,80	23,3	688,8	87,59	58,81	78,87
3840	81,28	110,20	21,0	707,2	90,18	58,19	78,03
4080	74,38	100,84	20,9	731,0	91,05	56,58	75,87
4320	66,02	89,51	18,9	779,1	91,92	53,18	71,31
4660	56,29	76,32	17,5	801,4	93,29	48,90	65,57
4800	54,16	73,43	14,9	844,7	95,14	48,46	64,99

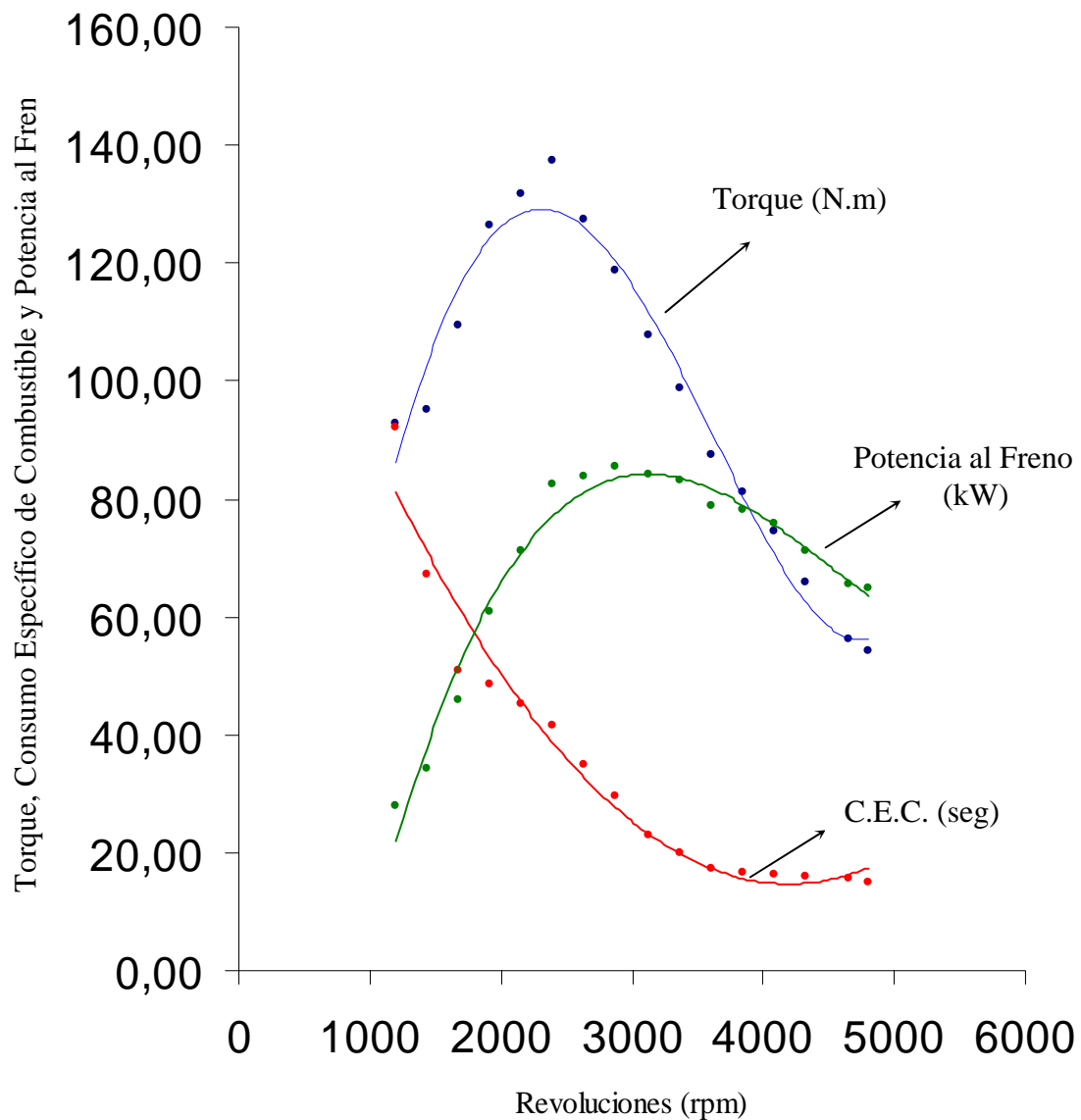
**Tabla 26:** Ensayo N°12 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°12 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 26, son representados gráficamente (Gráfico N°15), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



## Curvas Características del Ensayo 12



**Gráfico N°15:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°12 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ **ENSAYO N° 13:**

Presión atmosférica = 692,1 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 25,7 °C

Gasolina o Combustible = 91

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	92,83	125,85	93,2	475,2	55,64	20,77	27,85
1440	96,86	131,32	65,1	492,7	58,89	26,00	34,87
1680	110,01	149,15	54,1	511,2	65,64	34,46	46,21
1920	126,00	170,82	49,2	521,6	68,27	45,10	60,48
2160	131,61	178,43	47,8	531,3	72,44	53,00	71,07
2400	138,68	188,02	43,5	543,2	74,38	62,05	83,21
2640	133,96	181,62	36,4	569,6	75,90	65,93	88,42
2880	123,07	166,85	28,9	590,7	81,01	66,08	88,61
3120	110,56	149,89	25,7	611,0	83,07	64,31	86,24
3360	100,22	135,87	22,6	651,5	85,26	62,78	84,19
3600	89,94	121,94	21,2	685,1	87,59	60,36	80,94
3840	82,74	112,17	20,8	703,4	90,18	59,23	79,43
4080	74,67	101,23	19,3	734,5	91,05	56,79	76,16
4320	69,45	94,16	18,8	776,8	91,92	55,93	75,00
4660	61,18	82,94	17,3	812,3	93,29	53,15	71,28
4800	56,11	76,07	14,2	846,7	95,14	50,21	67,33

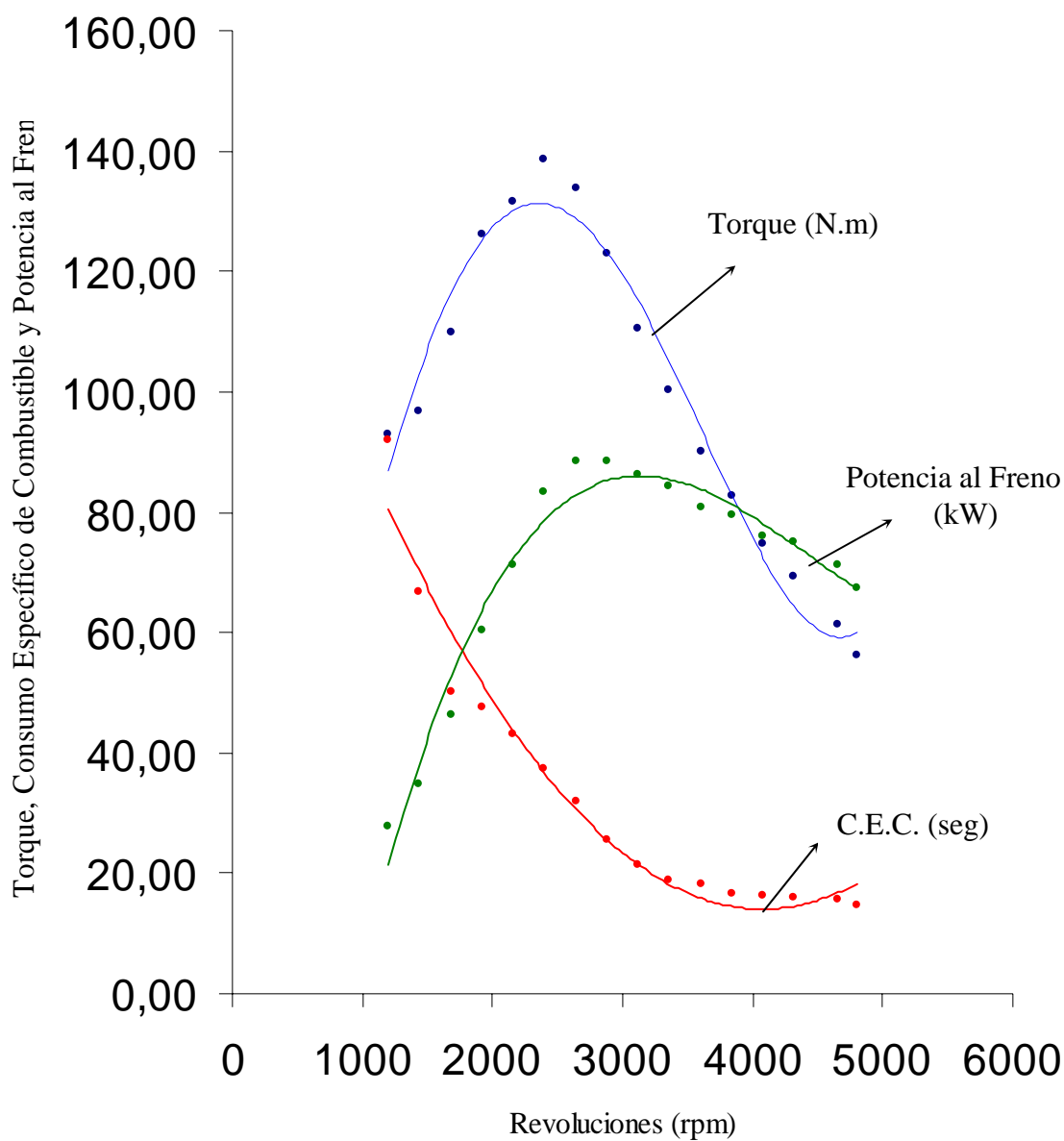
**Tabla 27:** Ensayo N°13 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°13 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 27, son representados gráficamente (Gráfico N°16), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



### Curvas Características del Ensayo 13



**Gráfico N°16:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°13 al Motor 4T Ech, sin termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ **ENSAYO N° 14:**

Presión atmosférica = 692,6 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 27 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	92,09	124,85	96,4	470,3	52,46	20,60	27,63
1440	95,41	129,35	67,3	497,6	57,68	25,61	34,35
1680	108,23	146,73	56,0	503,2	62,44	33,89	45,45
1920	115,18	156,16	54,1	517,7	64,48	41,23	55,29
2160	123,66	167,65	51,8	536,1	70,50	49,80	66,78
2400	133,05	180,38	47,9	548,2	73,26	59,53	79,83
2640	133,24	180,64	41,2	572,5	75,29	65,58	87,94
2880	120,24	163,02	35,0	598,1	79,46	64,56	86,57
3120	107,22	145,36	40,2	614,2	81,01	62,36	83,63
3360	97,61	132,33	29,0	647,3	83,80	61,15	82,00
3600	87,30	118,36	28,0	687,4	85,84	58,59	78,57
3840	79,36	107,59	26,7	707,7	88,81	56,81	76,19
4080	71,64	97,13	25,9	729,4	89,56	54,49	73,07
4320	66,40	90,02	24,5	768,9	90,68	53,47	71,71
4660	59,18	80,23	23,4	805,3	91,55	51,41	68,94
4800	53,11	72,00	23,1	841,8	94,07	47,52	63,73

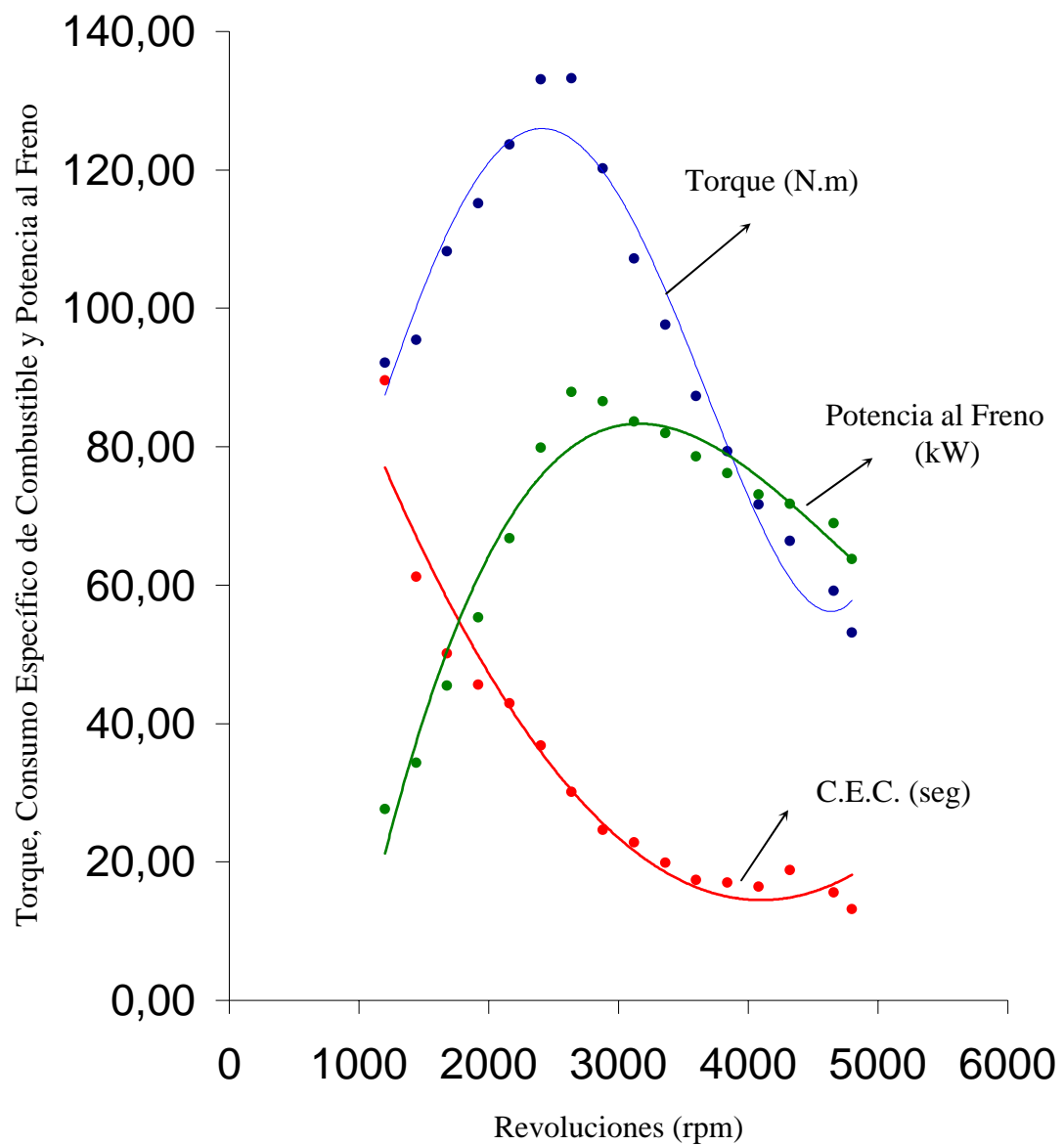
**Tabla 28:** Ensayo N°14 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°14 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 28, son representados gráficamente (Gráfico N°17), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



## Curvas Características del Ensayo 14



**Gráfico N°17:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°14 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



✘ **ENSAYO N° 15:**

Presión atmosférica = 691,6 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 25 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

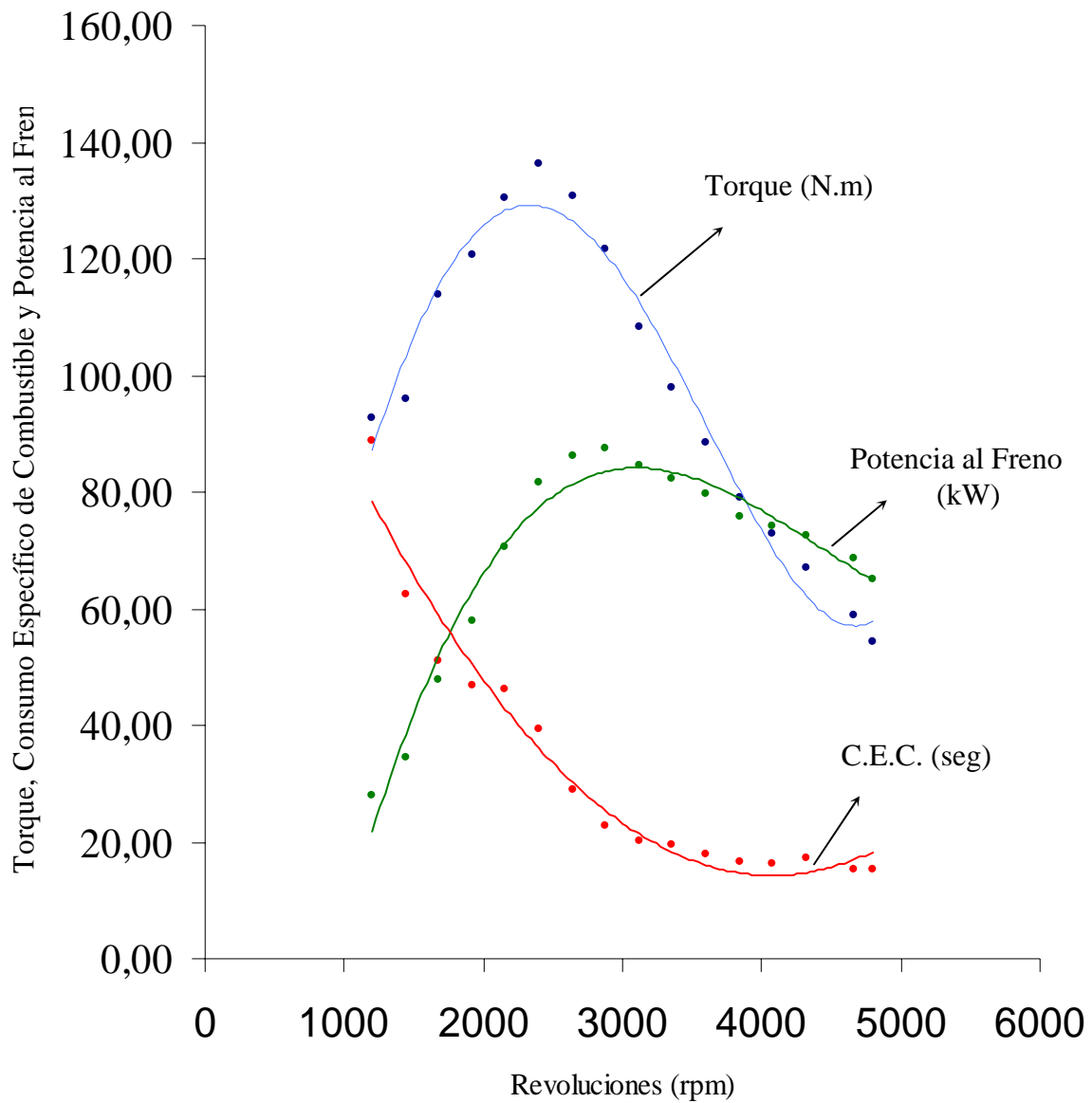
rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	92,79	125,80	96,4	478,2	54,89	20,76	27,84
1440	95,86	129,96	70,8	499,3	58,38	25,73	34,51
1680	113,74	154,20	56,9	507,5	62,73	35,62	47,77
1920	120,64	163,56	52,9	520,7	64,19	43,18	57,90
2160	130,42	176,82	51,1	541,4	70,50	52,52	70,43
2400	136,11	184,53	46,7	553,6	73,06	60,90	81,67
2640	130,66	177,14	39,6	577,4	74,68	64,31	86,24
2880	121,63	164,90	33,8	601,6	79,46	65,30	87,57
3120	108,25	146,76	29,2	618,9	81,52	62,97	84,44
3360	97,95	132,80	28	646,5	83,94	61,36	82,28
3600	88,49	119,97	26,7	689,7	86,57	59,39	79,64
3840	79,01	107,12	25,8	710,7	88,44	56,56	75,85
4080	72,70	98,56	23,1	733,5	89,56	55,29	74,15
4320	67,11	90,98	19,0	764,8	90,68	54,05	72,48
4660	59,00	79,99	18,0	803,5	91,42	51,25	68,73
4800	54,16	73,43	15,4	848,1	96,31	48,46	64,99

**Tabla 29:** Ensayo N°15 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.  
**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°15 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 29, son representados gráficamente (Gráfico N°18), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



### Curvas Características del Ensayo 15



**Gráfico N°18:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°15 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.





### ✘ **ENSAYO N° 16:**

Presión atmosférica = 692,3 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 25 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	97,87	132,69	93,1	473,8	54,89	21,89	29,36
1440	103,63	140,50	69,3	493,9	57,68	27,82	37,31
1680	118,68	160,90	52,4	505,2	57,73	37,17	49,85
1920	129,52	175,60	51,2	518,5	64,48	46,36	62,17
2160	133,63	181,17	47,0	538,8	70,98	53,81	72,16
2400	138,52	187,80	46,3	556,3	73,87	61,98	83,11
2640	130,42	176,82	33,4	574,7	76,52	64,18	86,07
2880	120,93	163,95	31,9	606,1	80,49	64,93	87,07
3120	110,25	149,47	28,6	615,7	82,55	64,13	86,00
3360	100,32	136,01	26,2	641,3	85,55	62,84	84,27
3600	88,41	119,86	25,5	682,7	87,73	59,34	79,57
3840	81,04	109,87	21,9	707,0	90,81	58,02	77,80
4080	74,73	101,32	19,8	729,5	90,68	56,84	76,23
4320	67,11	90,98	17,9	768,4	91,67	54,05	72,48
4660	61,01	82,71	16,7	807,3	92,67	53,00	71,07
4800	53,80	72,94	14,0	843,1	97,92	48,14	64,56

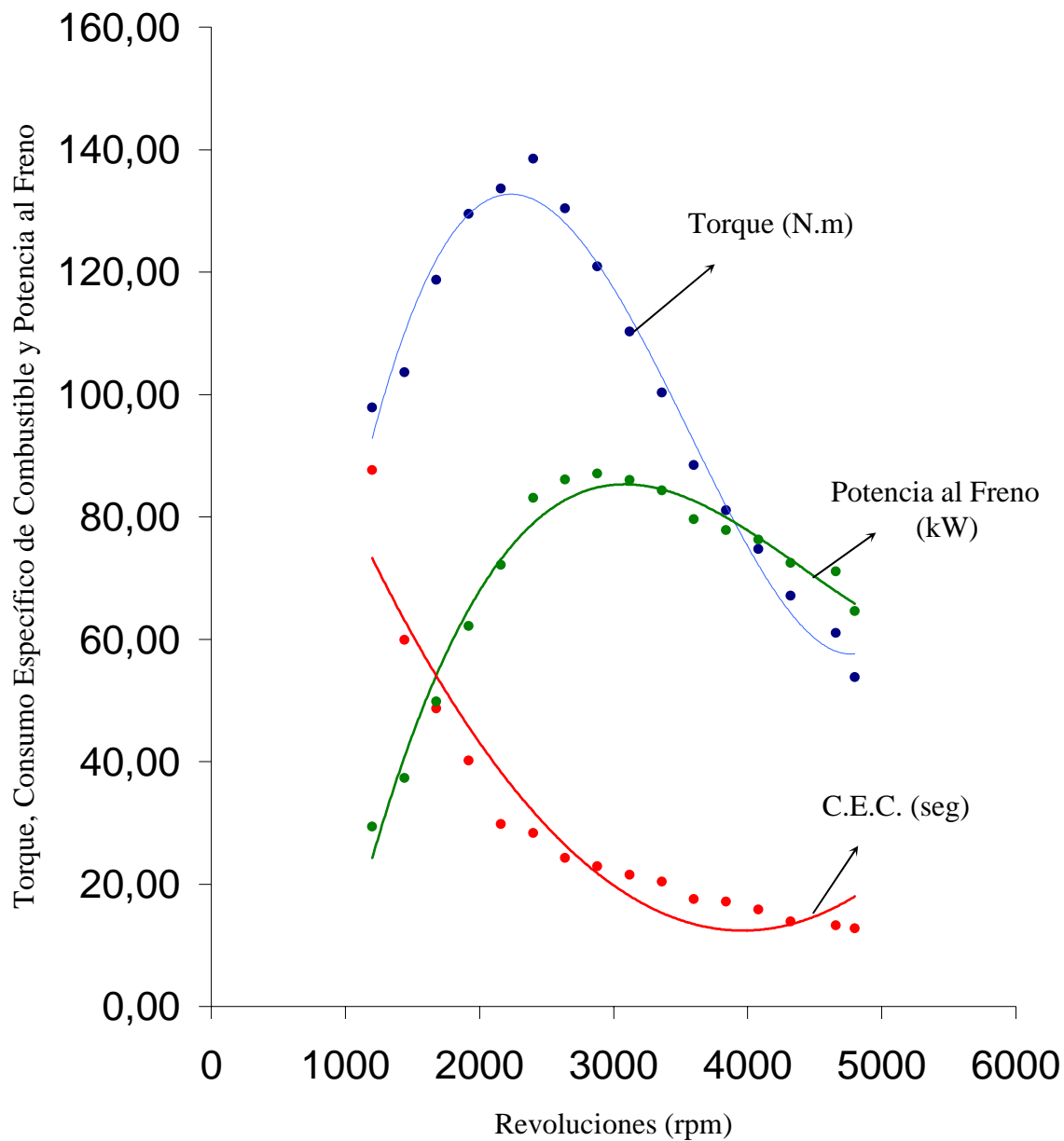
**Tabla 30:** Ensayo N°16 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°16 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 30, son representados gráficamente (Gráfico N°19), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



## Curvas Características del Ensayo 16



**Gráfico N°19:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°16 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ **ENSAYO N° 17:**

Presión atmosférica = 692,4 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 26,1 °C

Gasolina o Combustible = 91

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	98,98	134,19	95,1	473,4	52,88	22,14	29,69
1440	102,31	138,71	69,0	492,7	56,97	27,46	36,83
1680	116,16	157,48	52,9	504,7	61,86	36,38	48,79
1920	125,88	170,66	51,0	513,5	63,90	45,06	60,42
2160	137,11	185,89	48,0	520,6	71,47	55,21	74,04
2400	139,88	189,64	44,2	532,9	73,26	62,59	83,93
2640	131,44	178,20	37,1	569,6	75,09	64,69	86,75
2880	119,03	161,37	32,3	597,3	79,46	63,91	85,70
3120	108,37	146,92	26,9	616,2	80,84	63,03	84,53
3360	99,49	134,88	23,8	655,8	83,36	62,32	83,57
3600	89,44	121,26	23,1	684,6	85,26	60,02	80,49
3840	81,69	110,75	22,9	703,7	89,31	58,48	78,42
4080	73,66	99,86	22,8	733,1	91,05	56,02	75,13
4320	68,11	92,34	22,3	782,2	93,74	54,85	73,56
4660	58,76	79,66	20,5	804,5	96,10	51,05	68,46
4800	53,21	72,14	19,1	851,7	99,11	47,61	63,85

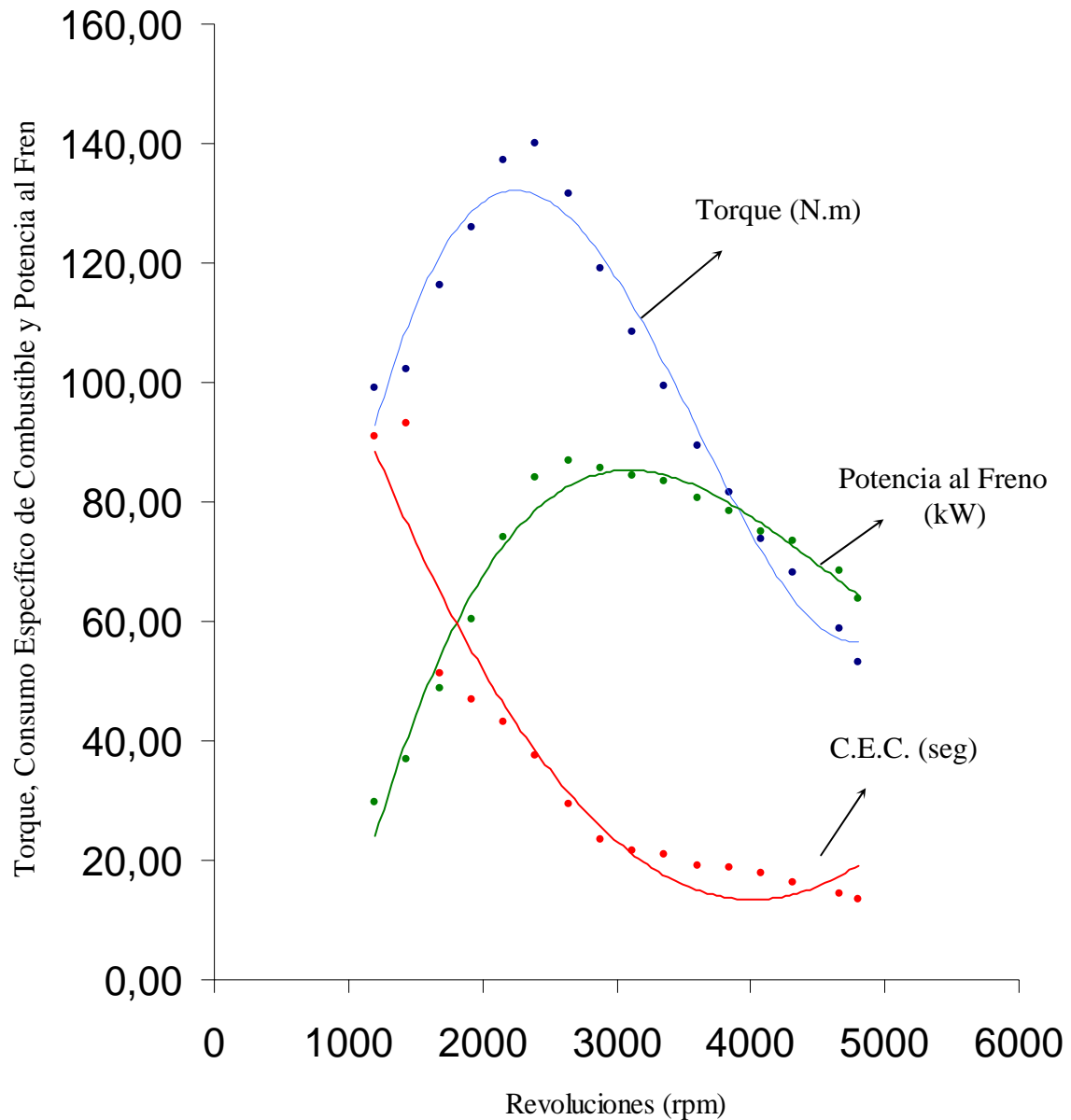
**Tabla 31:** Ensayo N°17 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°17 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 31, son representados gráficamente (Gráfico N°20), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



### Curvas Características del Ensayo 17



**Gráfico N°20:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°17 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ **ENSAYO N° 18:**

Presión atmosférica = 692,5 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 27 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	96,5	130,83	92,5	473,7	52,46	21,59	28,95
1440	99	134,22	65,2	496,3	57,32	26,58	35,64
1680	113	153,20	53,4	512,9	62,26	35,39	47,46
1920	120	162,69	48,5	524,7	63,60	42,95	57,60
2160	126	170,82	47,8	533,1	70,25	50,74	68,04
2400	129	174,89	43,0	542,5	76,92	57,72	77,40
2640	121,5	164,72	35,0	567,8	77,33	59,80	80,19
2880	114	154,56	29,9	597,1	80,15	61,21	82,08
3120	101,5	137,61	25,9	610,3	81,70	59,04	79,17
3360	93,5	126,76	23,2	655,3	83,94	58,57	78,54
3600	84,5	114,56	21,2	681,6	88,81	56,71	76,05
3840	78,5	106,43	21,26	705,2	90,68	56,20	75,36
4080	71,5	96,94	20,5	736,4	91,92	54,38	72,93
4320	66	89,48	27,7	778,5	94,28	53,15	71,28
4660	57,5	77,96	18,9	815,2	96,32	49,95	66,99
4800	51	69,14	17,55	843,9	98,90	45,64	61,20

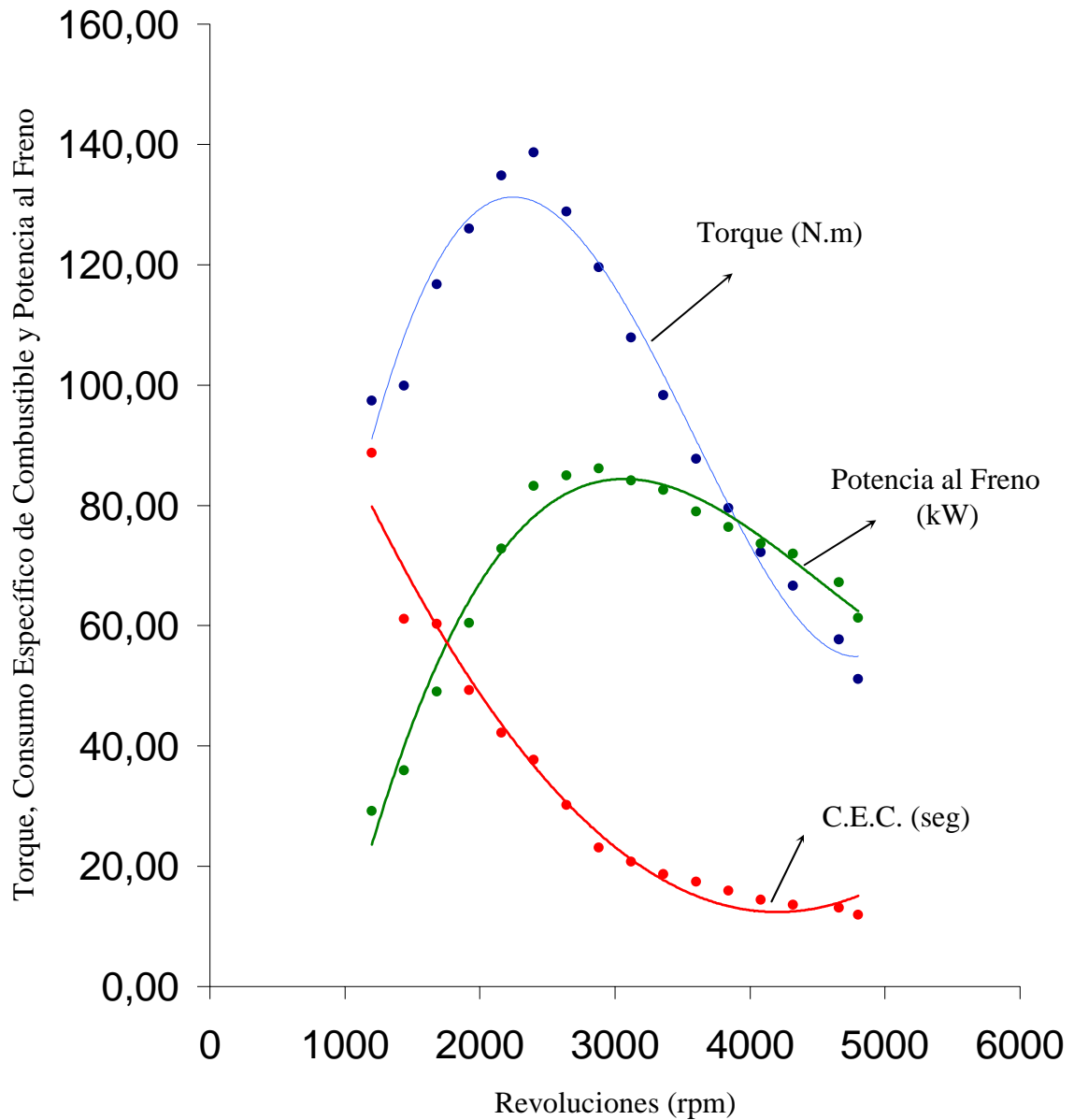
**Tabla 32:** Ensayo N°18 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°18 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 32, son representados gráficamente (Gráfico N°21), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



### Curvas Características del Ensayo 18



**Gráfico N°21:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°18 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### ✘ **ENSAYO N° 19:**

Presión atmosférica = 691,9 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 25,2 °C

Gasolina o Combustible = 91

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	101	136,93	91,4	479,2	54,89	22,59	30,30
1440	104	141,00	63,8	491,6	57,68	27,92	37,44
1680	119	161,33	63,8	508,4	63,90	37,27	49,98
1920	125	169,47	53,7	514,6	65,35	44,74	60,00
2160	128,5	174,21	46,2	525,8	72,44	51,74	69,39
2400	131	177,60	41,4	538,5	73,06	58,61	78,60
2640	123	166,76	34,1	561,8	76,92	60,54	81,18
2880	113,5	153,88	27,3	594,7	80,84	60,94	81,72
3120	102	138,29	24,6	615,5	83,65	59,33	79,56
3360	94	127,44	21,3	659,6	87,15	58,88	78,96
3600	85,5	115,92	20,7	682,5	89,43	57,38	76,95
3840	79,5	107,78	17,6	704,7	90,43	56,91	76,32
4080	72	97,61	15,7	736,8	91,55	54,76	73,44
4320	65,5	88,80	14,5	780,3	92,88	52,75	70,74
4660	59	79,99	13,9	804,5	94,06	51,26	68,74
4800	52,5	71,18	13,1	841,0	97,07	46,98	63,00

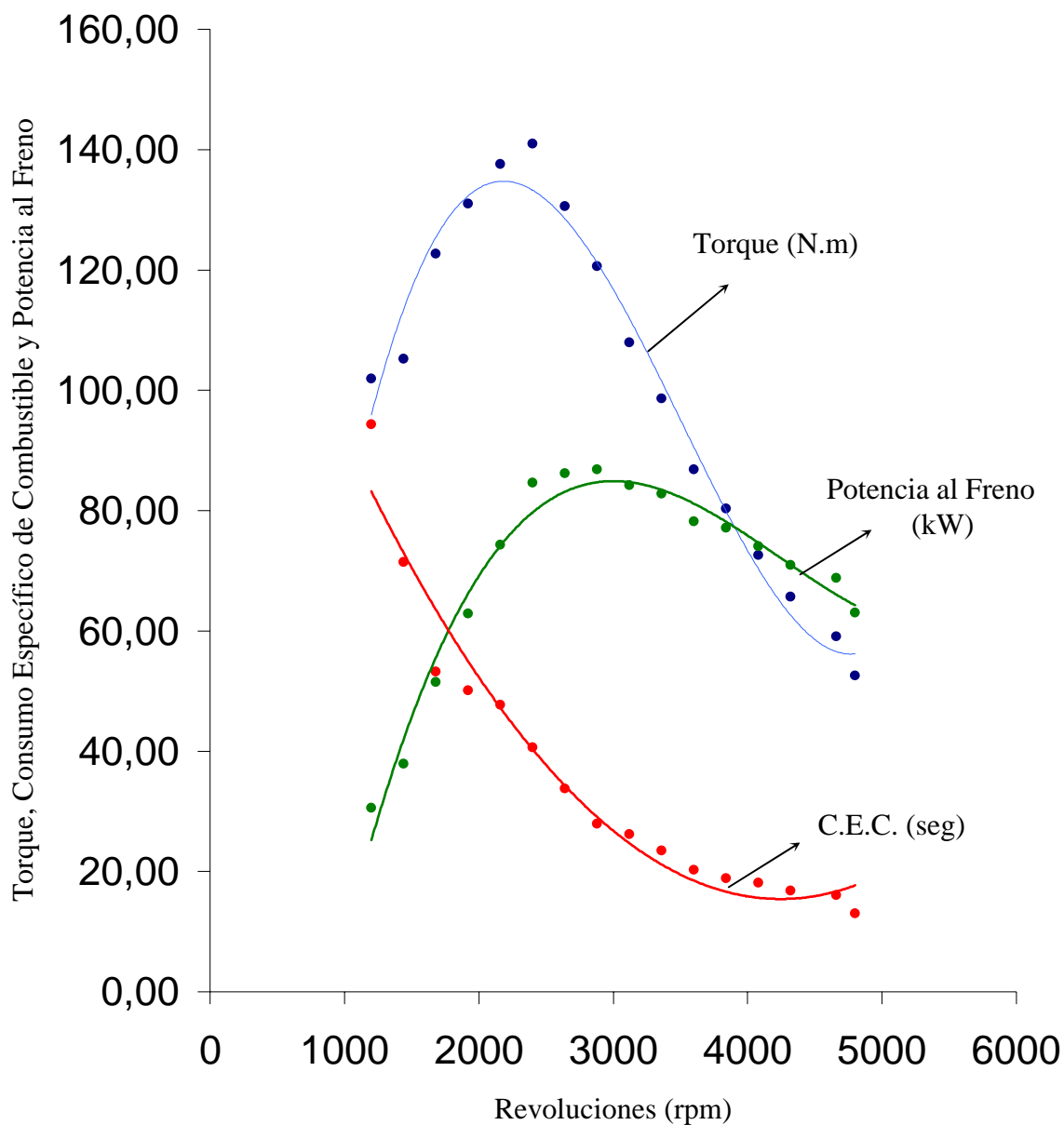
**Tabla 33:** Ensayo N°19 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°19 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 33, son representados gráficamente (Gráfico N°22), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



### Curvas Características del Ensayo 19



**Gráfico N°22:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°19 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.





### ✘ **ENSAYO N° 20:**

Presión atmosférica = 692,3 mm-Hg

Volumen de Combustible = 0,250 Lts.

Temperatura ambiental = 26 °C

Gasolina o Combustible = 91 Octanos

rpm	Torque (lb.pie)	Torque (N.m)	Tiempo (seg)	Temp. Gases Escape (°C)	Temp. Agua (°C)	Potencia (kW)	Potencia (Hp)
1200	99	134,22	90,5	473,5	54,86	22,15	29,70
1440	103	139,64	62,2	491,9	57,32	27,65	37,08
1680	117,5	159,30	51,8	507,3	64,77	36,80	49,35
1920	124,5	168,79	43,5	517,5	66,23	44,56	59,76
2160	127,5	172,86	33,9	535,9	70,50	51,34	68,85
2400	130,5	176,93	32,8	558,2	73,67	58,39	78,30
2640	125	169,47	29,1	577,4	76,31	61,52	82,50
2880	116	157,27	28,9	601,4	79,98	62,28	83,52
3120	104	141,00	28,7	617,6	83,65	60,49	81,12
3360	95	128,80	26,3	643,4	87,59	59,51	79,80
3600	86	116,59	22,7	687,3	89,31	57,72	77,40
3840	79	107,10	19,8	700,6	90,31	56,55	75,84
4080	73	98,97	19,3	725,8	92,05	55,52	74,46
4320	67	90,84	17,8	769,9	93,52	53,96	72,36
4660	58	78,63	17,4	811,5	95,03	50,39	67,57
4800	55,5	75,24	16,9	844,8	98,36	49,66	66,60

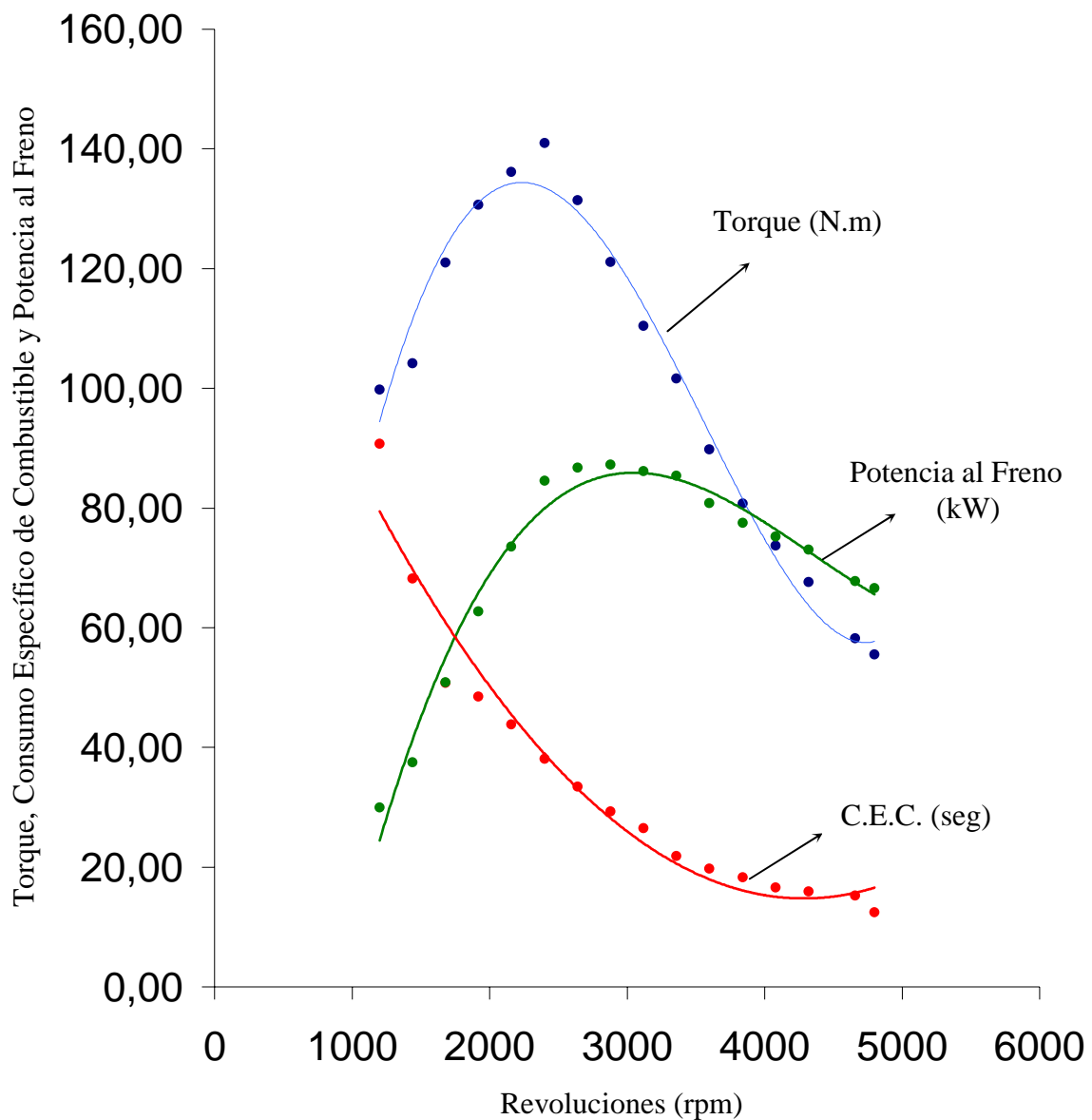
**Tabla 34:** Ensayo N°20 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

Los resultados obtenidos del Ensayo N°20 al Motor 4T Ech que se muestran en la Tabla 34, son representados gráficamente (Gráfico N°23), obteniendo así las curvas características del motor en este ensayo.



## Curvas Características del Ensayo 20



**Gráfico N°23:** Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. Revoluciones del Ensayo N°20 al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



### **3.4.- ENSAYOS PROMEDIO REALIZADOS AL MOTOR 4T Ech, CON LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE OXIDO DE ZIRCONIO:**

Luego de haber realizado los diez (10) ensayos al Motor 4T Ech con la aplicación del termo-rociado, se procedió a la obtención del valor promedio del Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno, para cada valor diferente de velocidad (rpm) estipulado. A su vez, se realizaron las curvas características (Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno Vs. velocidad (rpm)) del motor.

Los resultados se muestran a continuación en las Tablas: N°36, 38 y 40, al igual los valores promedios de cada prueba (Torque, Consumo Específico de Combustible y Potencia al Freno) se encuentran en los Gráficos: N°24, N°25 y N°26, respectivamente.

Valores promedios de las condiciones ambientales que se presentaron al momento de la realización de los diversos ensayos:

- Presión atmosférica promedio = 692,21 mm-Hg.
- Volumen de Combustible = 0,250 Lts.
- Temperatura ambiental promedio = 26,02 °C
- Gasolina o Combustible = 91 Octanos

Ensayos	Porcentaje (%)						ppm
	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>
1	9,00	8,17	0,04	82,50	0,04	9,18	1190
4	9,05	8,15	0,06	82,49	0,03	9,20	1145
8	8,59	8,14	0,06	82,36	0,03	8,90	1180

**Tabla 35:** Composición química en parte por millón de los elementos productos de la combustión para los ensayos al motor 4T Ech con la aplicación del recubrimiento.

**Fuente:** Los Autores.



✘ **TORQUE PROMEDIO (N.m):**

rpm	Ensayos										Promedio
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1200	126,72	125,98	125,85	124,85	125,8	132,69	134,19	130,83	136,93	134,22	129,81
1440	129,7	128,84	131,32	129,35	129,96	140,5	138,71	134,22	141	139,64	134,32
1680	153,74	148,29	149,15	146,73	154,2	160,9	157,48	153,2	161,33	159,3	154,43
1920	164,78	171,48	170,82	156,16	163,56	175,6	170,66	162,69	169,47	168,79	167,40
2160	175,94	178,77	178,43	167,65	176,82	181,17	185,89	170,82	174,21	172,86	176,26
2400	184,23	186,27	188,02	180,38	184,53	187,8	189,64	174,89	177,6	176,93	183,03
2640	177,86	172,52	181,62	180,64	177,14	176,82	178,2	164,72	166,76	169,47	174,58
2880	165,44	160,98	166,85	163,02	164,9	163,95	161,37	154,56	153,88	157,27	161,22
3120	147,91	146,34	149,89	145,36	146,76	149,47	146,92	137,61	138,29	141	144,96
3360	134,79	133,98	135,87	132,33	132,8	136,01	134,88	126,76	127,44	128,8	132,37
3600	122,14	118,8	121,94	118,36	119,97	119,86	121,26	114,56	115,92	116,59	118,94
3840	111,47	110,2	112,17	107,59	107,12	109,87	110,75	106,43	107,78	107,1	109,05
4080	102,32	100,84	101,23	97,13	98,56	101,32	99,86	96,94	97,61	98,97	99,48
4320	92,25	89,51	94,16	90,02	90,98	90,98	92,34	89,48	88,8	90,84	90,94
4660	79,03	76,32	82,94	80,23	79,99	82,71	79,66	77,96	79,99	78,63	79,75
4800	71,46	73,43	76,07	72	73,43	72,94	72,14	69,14	71,18	75,24	72,70

**Tabla 36:** Valores promedios del Torque correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

rpm	1200	1440	1680	1920	2160	2400	2640	2880	3120
Desviación Estándar	4,46	5,10	5,26	5,60	5,25	5,22	5,87	4,57	4,43

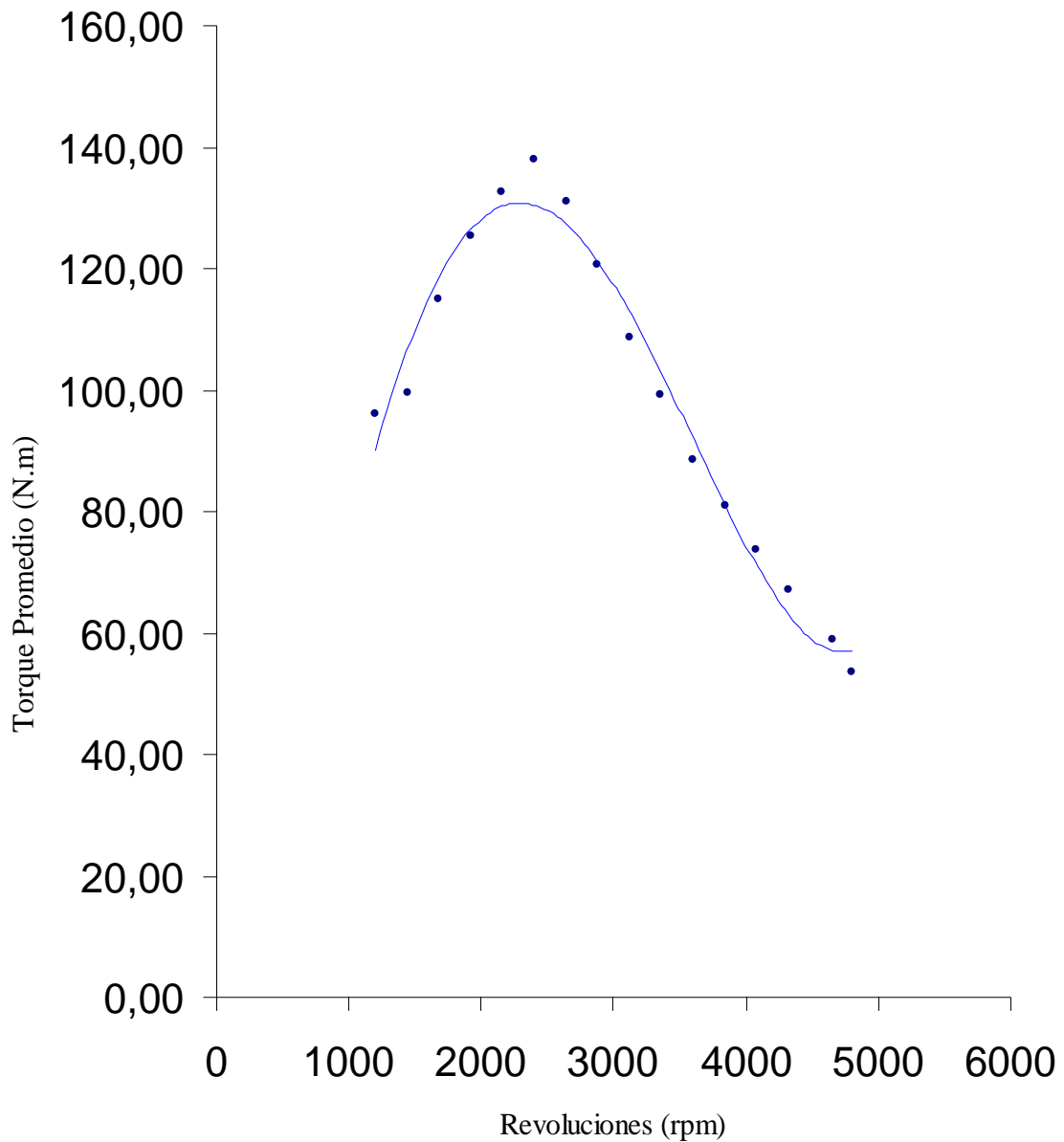
3360	3600	3840	4080	4320	4560	4800
3,48	2,60	2,07	1,92	1,62	2,00	2,01

**Tabla 37:** Desviación Estándar de los valores promedios del Torque correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio).

**Fuente:** Los Autores.



### Torque Promedio Vs. Revoluciones



**Gráfico N°24:** Torque Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



✘ **CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE PROMEDIO (seg):**

rpm	Ensayos										Promedio
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1200	95,1	92,1	93,2	96,4	96,4	93,1	95,1	92,5	91,4	90,5	93,58
1440	68,8	65,2	65,1	67,3	70,8	69,3	69,0	65,2	63,8	62,2	66,67
1680	53,3	53,2	54,1	56,0	56,9	52,4	52,9	53,4	63,8	51,8	54,78
1920	51,1	48,5	49,2	54,1	52,9	51,2	51,0	48,5	53,7	43,5	50,37
2160	47,9	48,3	47,8	51,8	51,1	47,0	48,0	47,8	46,2	33,9	46,98
2400	44,0	46,6	43,5	47,9	46,7	46,3	44,2	43,0	41,4	32,8	43,64
2640	37,0	35,1	36,4	41,2	39,6	33,4	37,1	35,0	34,1	29,1	35,80
2880	32,2	29,9	28,9	35,0	33,8	31,9	32,3	29,9	27,3	28,9	31,01
3120	27,1	25,9	25,7	40,2	29,2	28,6	26,9	25,9	24,6	28,7	28,28
3360	23,8	24,3	22,6	29,0	28,0	26,2	23,8	23,2	21,3	26,3	24,85
3600	23,0	23,3	21,2	28,0	26,7	25,5	23,1	21,2	20,7	22,7	23,54
3840	22,9	21,0	20,8	26,7	25,8	21,9	22,9	21,26	17,6	19,8	22,07
4080	22,8	20,9	19,3	25,9	23,1	19,8	22,8	20,5	15,7	19,3	21,01
4320	22,2	18,9	18,8	24,5	19,0	17,9	22,3	27,7	14,5	17,8	20,36
4660	20,5	17,5	17,3	23,4	18,0	16,7	20,5	18,9	13,9	17,4	18,41
4800	19,1	14,9	14,2	23,1	15,4	14,0	19,1	17,55	13,1	16,9	16,74

**Tabla 38:** Valores promedios de Consumo Específico de Combustible correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

rpm	1200	1440	1680	1920	2160	2400	2640	2880	3120
Desviación Estándar	2,07	2,78	3,54	3,14	4,91	4,30	3,36	2,42	2,45

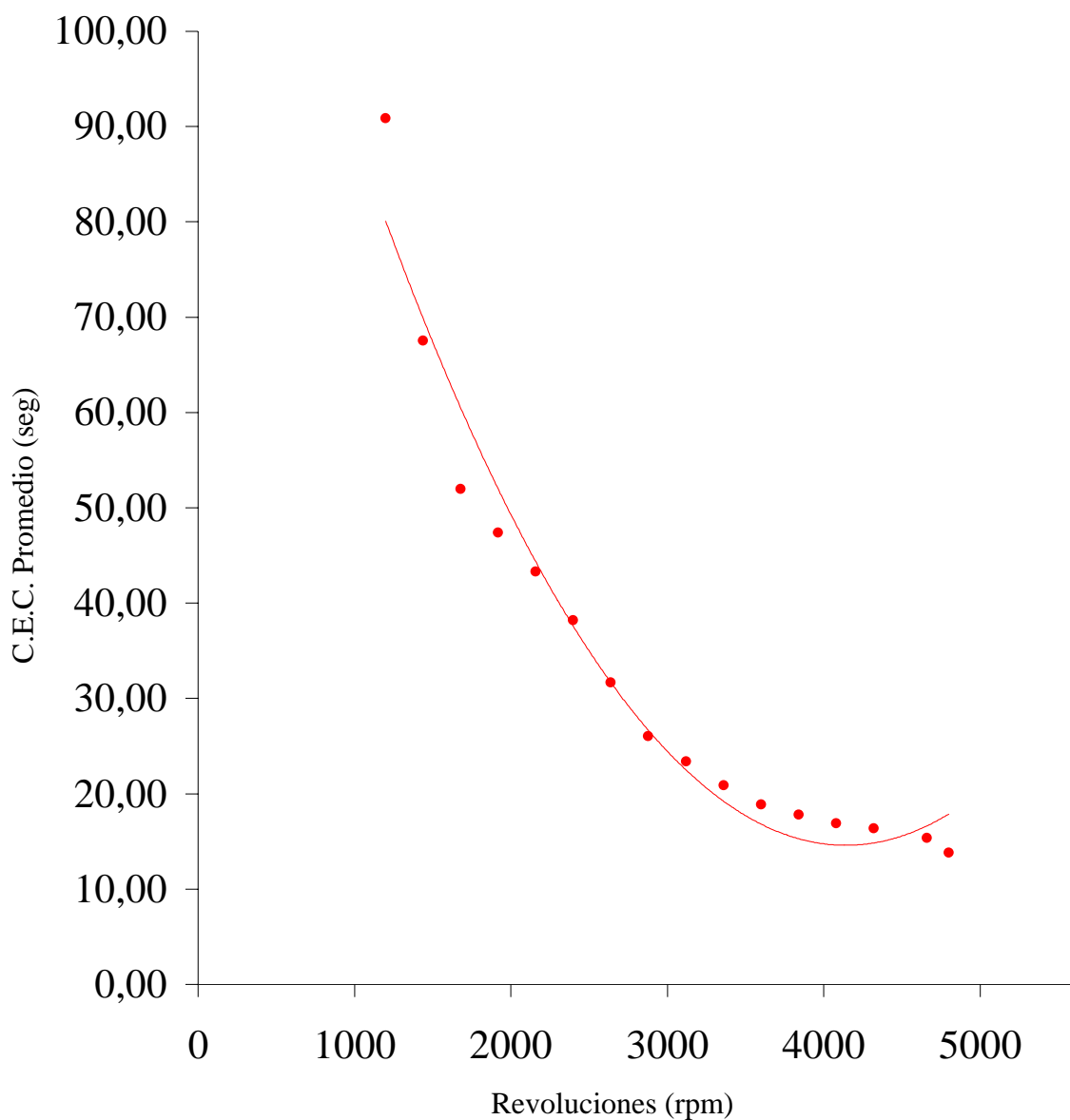
3360	3600	3840	4080	4320	4560	4800
2,45	2,45	2,69	2,80	3,82	2,59	3,07

**Tabla 39:** Desviación Estándar de los valores promedios de Consumo Específico de Combustible correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio).

**Fuente:** Los Autores.



### C.E.C. Promedio Vs. Revoluciones



**Gráfico N°25:** Consumo Específico de Combustible Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



✘ **POTENCIA AL FRENO PROMEDIO:**

rpm	Ensayos										Promedio
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1200	20,91	20,79	20,77	20,6	20,76	21,89	22,14	21,59	22,59	22,15	21,42
1440	25,68	25,51	26	25,61	25,73	27,82	27,46	26,58	27,92	27,65	26,60
1680	35,52	34,26	34,46	33,89	35,62	37,17	36,38	35,39	37,27	36,8	35,68
1920	43,5	45,27	45,1	41,23	43,18	46,36	45,06	42,95	44,74	44,56	44,20
2160	52,25	53,09	53	49,8	52,52	53,81	55,21	50,74	51,74	51,34	52,35
2400	60,8	61,47	62,05	59,53	60,9	61,98	62,59	57,72	58,61	58,39	60,40
2640	64,57	62,62	65,93	65,58	64,31	64,18	64,69	59,8	60,54	61,52	63,37
2880	65,52	63,75	66,08	64,56	65,3	64,93	63,91	61,21	60,94	62,28	63,85
3120	63,45	62,78	64,31	62,36	62,97	64,13	63,03	59,04	59,33	60,49	62,19
3360	62,27	61,9	62,78	61,15	61,36	62,84	62,32	58,57	58,88	59,51	61,16
3600	60,46	58,81	60,36	58,59	59,39	59,34	60,02	56,71	57,38	57,72	58,88
3840	58,86	58,19	59,23	56,81	56,56	58,02	58,48	56,2	56,91	56,55	57,58
4080	57,4	56,58	56,79	54,49	55,29	56,84	56,02	54,38	54,76	55,52	55,81
4320	54,79	53,18	55,93	53,47	54,05	54,05	54,85	53,15	52,75	53,96	54,02
4660	50,64	48,9	53,15	51,41	51,25	53	51,05	49,95	51,26	50,39	51,10
4800	47,17	48,46	50,21	47,52	48,46	48,14	47,61	45,64	46,98	49,66	47,99

**Tabla 40:** Valores promedios de Potencia al Freno correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

rpm	1200	1440	1680	1920	2160	2400	2640	2880	3120
Desviación Estándar	0,73	1,01	1,22	1,48	1,56	1,72	2,13	1,81	1,90

3360	3600	3840	4080	4320	4560	4800
1,61	1,28	1,09	1,08	0,96	1,28	1,32

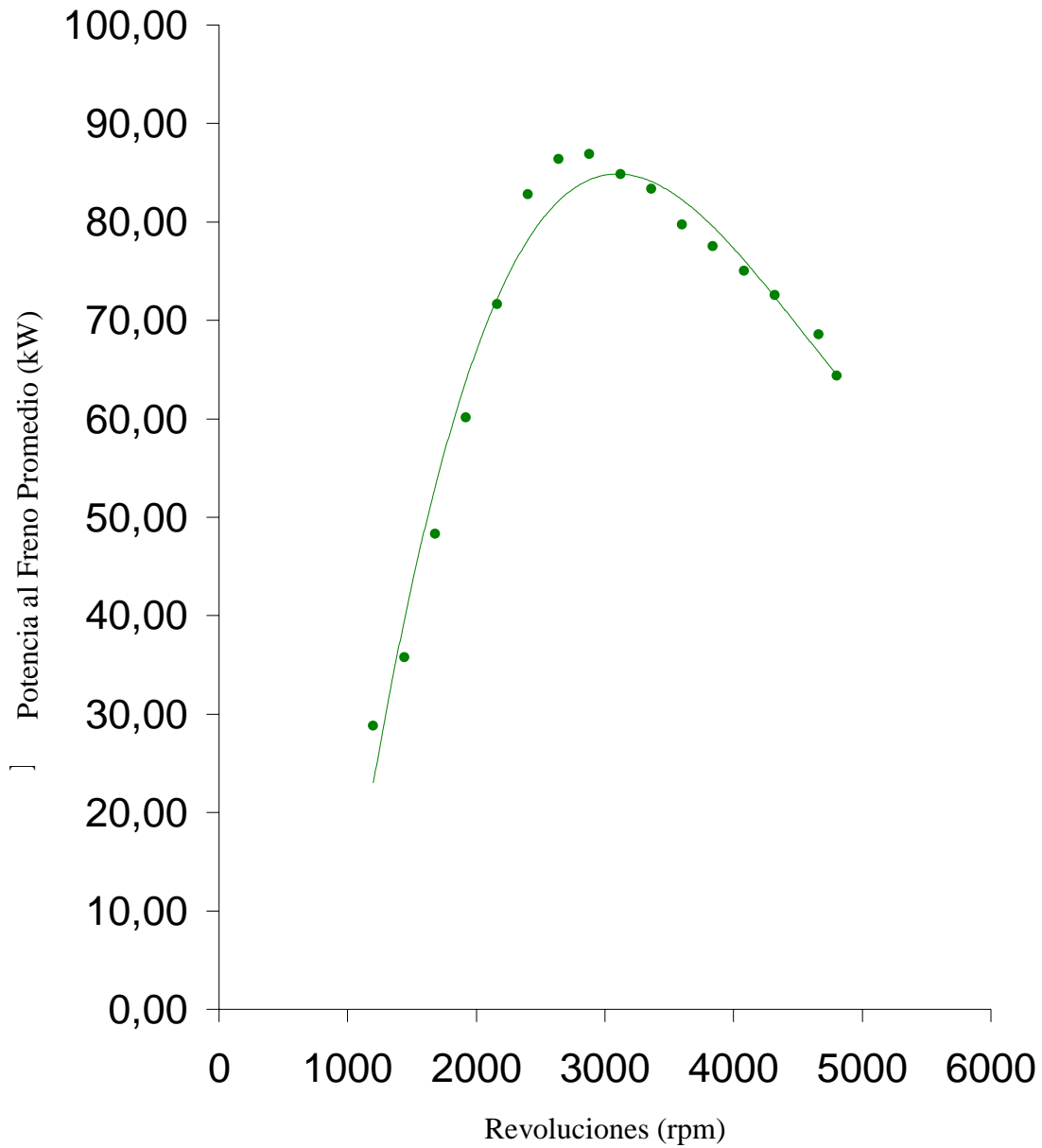
**Tabla 41:** Desviación Estándar de los valores promedios de Potencia al Freno correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio).

**Fuente:** Los Autores.





### Potencia al Freno Promedio Vs. Revoluciones

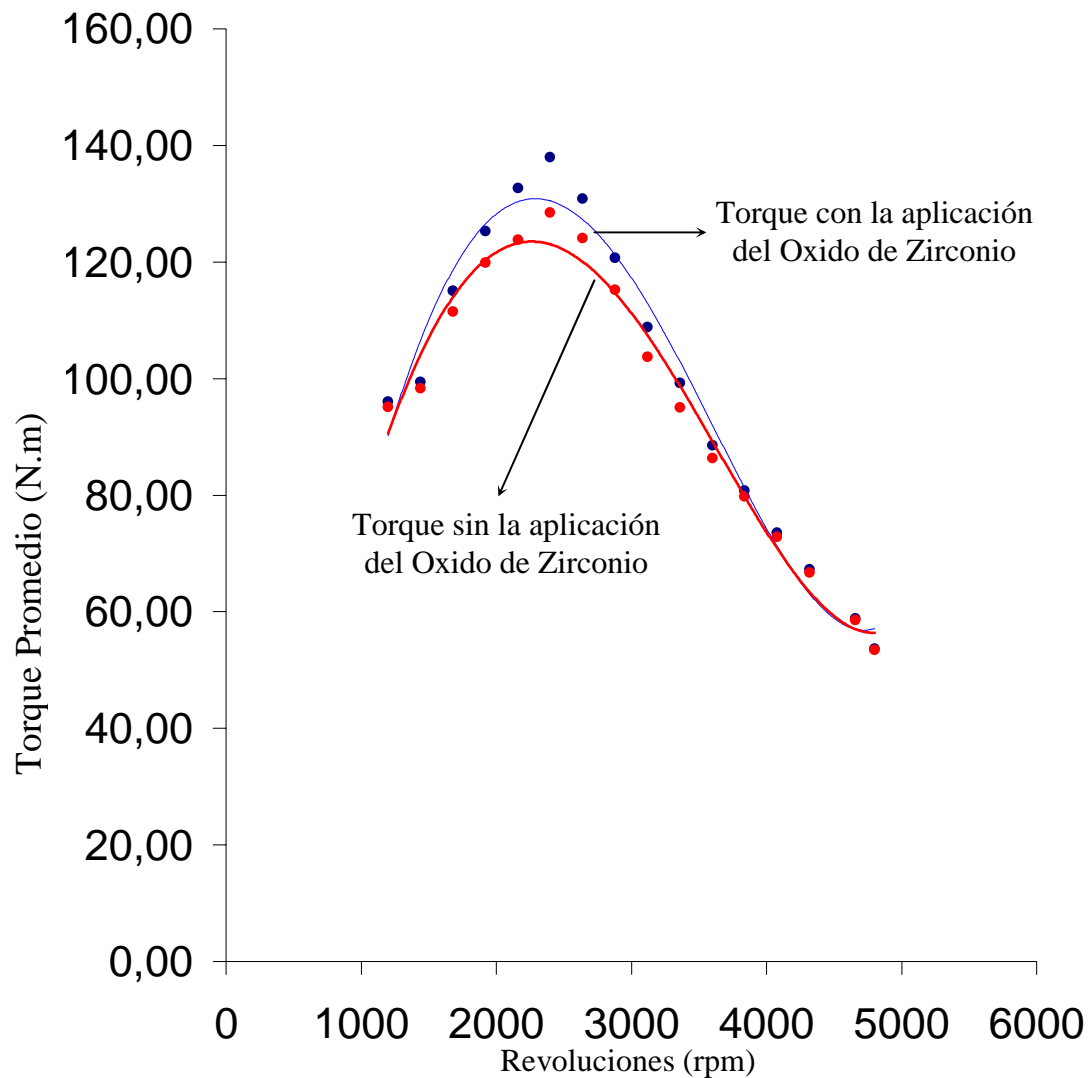


**Gráfico N°26:** Potencia al Freno Promedio Vs. Revoluciones correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



## Torque Promedio Vs. Revoluciones

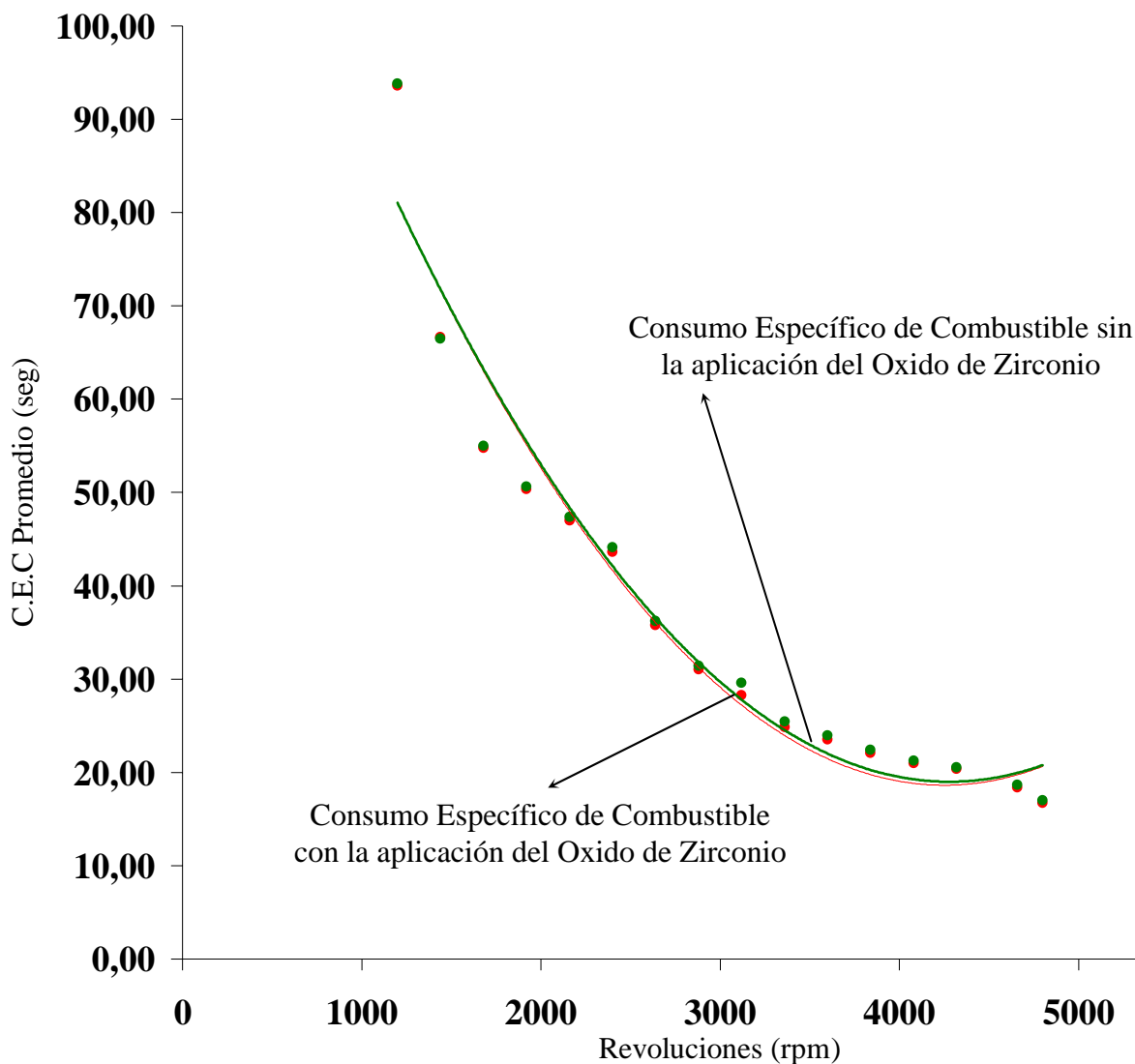


**Gráfico N°27:** Comparación de los valores de Torque Promedio Vs. Revoluciones, antes y después de la aplicación del Oxido de Zirconio, correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



## C.E.C Promedio Vs. Revoluciones

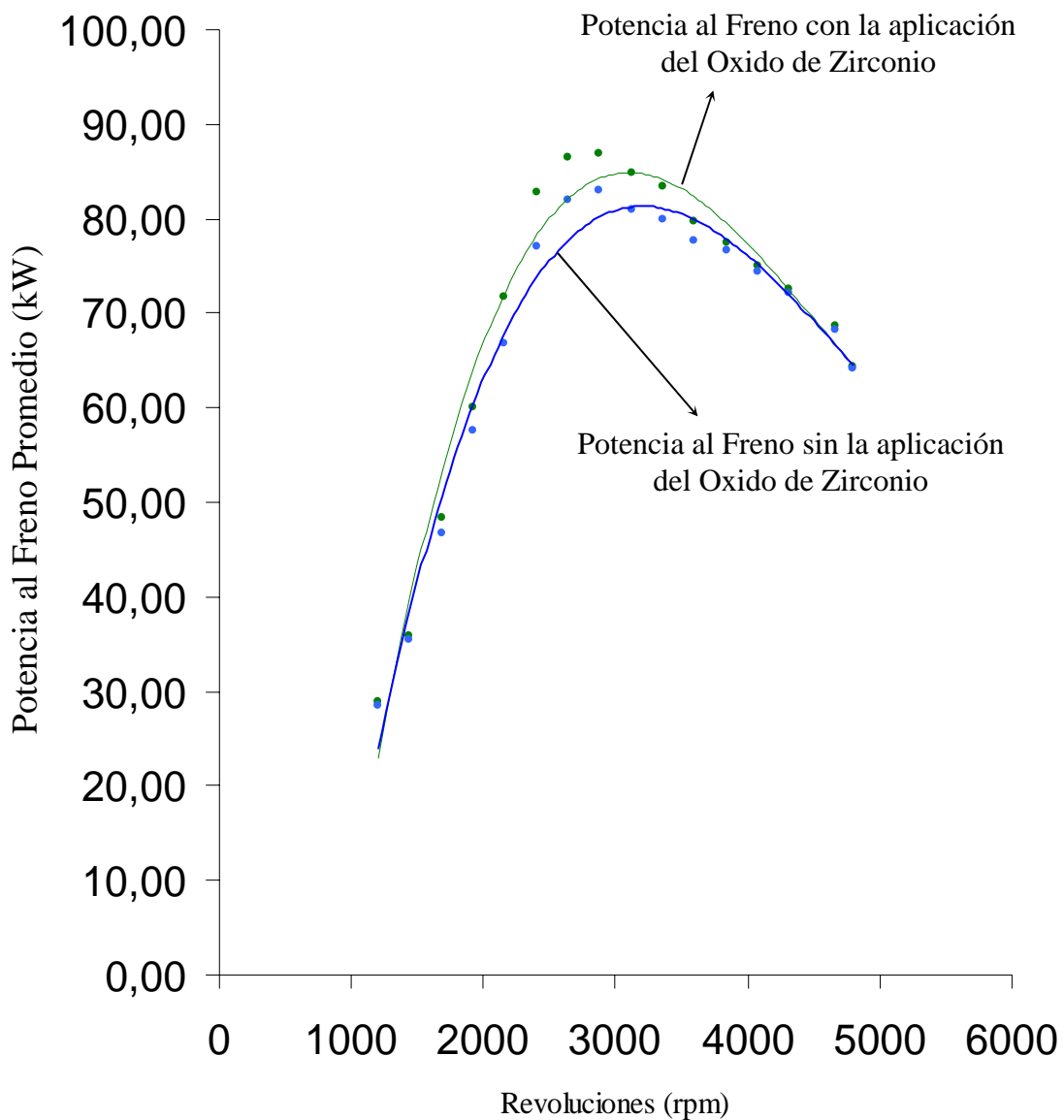


**Gráfico N°28:** Comparación de los valores de Consumo Específico de Combustible Promedio Vs. Revoluciones, antes y después de la aplicación del Oxido de Zirconio, correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.



## Potencia al Freno Promedio Vs. Revoluciones



**Gráfico N°29:** Comparación de los valores de Potencia al Freno Promedio Vs. Revoluciones, antes y después de la aplicación del Oxido de Zirconio, correspondiente a cada revolución diferente (Ensayo Promedio), al Motor 4T Ech, con termo-rociado de Oxido de Zirconio.

**Fuente:** Los Autores.

## **CAPÍTULO IV**

---

---



---

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Haciendo una comparación del Gráfico N°24 con el recubrimiento ya aplicado al motor y el Gráfico N°11 sin la aplicación del recubrimiento (Torque vs. Revoluciones), se observó un aumento del 6,926%, lo que significa un Torque de 138,01 @ 2400 RPM, en comparación de los 128,45 @ 2400 RPM obtenidos sin el recubrimiento.

Del Gráfico N°12, sin la aplicación del recubrimiento y el Gráfico N°25 con el recubrimiento ya aplicado (Consumo Especifico de Combustible vs. Revoluciones), se observó que no hubo una variación significativa en los tiempos, lo que quiere decir que el motor no consume más combustible después de aplicarle el recubrimiento, se puede apreciar en el Gráfico N°28, con esto podemos decir que la ganancia obtenida en la potencia al freno después de la aplicación del recubrimiento de Oxido de Zirconio no se debe al aumento de la relación aire-combustible, sino a las mejoras obtenidas por el recubrimiento.

Del Gráfico N° 13 sin la aplicación del recubrimiento y el Gráfico N°26 con el recubrimiento de Oxido de Zirconio ya aplicado (Potencia al Freno vs. Revoluciones), se observó que después de aplicarle el recubrimiento de oxido de zirconio, el motor evidenció una ganancia considerablemente grande en los rangos medios de velocidades de operación (un 6,926 %), lo que se ve reflejado en los 5,43 Hp ganados a las 2400 RPM (82,81 Hp @ 2400 RPM con recubrimiento y 77,07 Hp @ 2400 RPM sin recubrimiento en el motor), esta mejora en la potencia se evidencia desde las 1920 RPM y hasta las 3360 RPM, con los valores obtenidos de 60,14 Hp @ 1920 RPM y 83,36 Hp @ 3360 RPM con el recubrimiento en el motor, y de 57,53 Hp @ 1920 RPM y 79,84 Hp @ 3360 RPM sin el recubrimiento de Oxido de Zirconio aplicado en el motor, lo que evidencia una ganancia de 4% a 6% dentro de este rango



---

de velocidades; por consiguiente, se evidencia también un aumento de la potencia máxima de 4,557% después de aplicarle el recubrimiento de Oxido de Zirconio al motor, lo que se evidencia al comparar los resultados obtenidos con el recubrimiento el cual es 86,9 Hp @ 2880 RPM y la potencia máxima obtenida sin el recubrimiento 82,94 Hp @ 2880 RPM.

En cuanto a la temperatura de funcionamiento del motor, podemos apreciar que este puede operar a mayores temperaturas sin miedo y/o riesgo de fundir el bloque, debido a que el oxido de zirconio posee la capacidad de resistir impactos térmicos y altas temperaturas.

Con respecto a los gases producto de la combustión, tenemos que no se aprecia una variación significativa en la composición de los mismos antes y después del recubrimiento, por lo que podemos afirmar que con el recubrimiento de oxido de zirconio no habrá más contaminación.

Además, la temperatura de los gases producto de la combustión aumenta, esto se debido a la baja conductividad térmica del oxido de zirconio, aunado al aumento en la potencia generada por el motor y la concentración del calor dentro de la cámara de combustión y el mayor porcentaje de este calor es liberado por medio de los gases de escape.

## **CAPÍTULO V**

---

---





---

## CONCLUSIONES

Se observó un aumento del torque entregado por el motor después de la aplicación del recubrimiento de Oxido de Zirconio a las piezas o elementos en estudio.

Se observó un aumento de la potencia al freno entregada por el motor luego de habersele aplicado el recubrimiento de Oxido de Zirconio.

No se obtuvo un aumento de consumo de combustible luego de la aplicación del recubrimiento de Oxido de Zirconio a las piezas o elementos en estudio

Se obtuvo un aumento en la temperatura de los gases productos de la combustión después de la aplicación del recubrimiento del Oxido de Zirconio a las piezas o elementos en estudio.

Se obtuvo una disminución en la temperatura del agua de refrigeración luego de la aplicación del recubrimiento de Oxido de Zirconio.

En general podemos decir que la aplicación de recubrimientos de oxido de zirconio mediante la técnica del termo-rociado por plasma es beneficiosa, pues obtenemos mejores prestaciones del motor, además la relación costo durabilidad tiempo de entrega, hace que la recuperación de motores y elementos de maquina mediante este método sea una opción a considerar. Todo esto sumado a todas las investigaciones que se están llevando a cabo en la actualidad por la industria automotriz norteamericana, y los resultados obtenidos por nosotros en la realización de este trabajo nos indica que debemos dar un salto hacia el futuro y comerciar la aplicación de este tipo de recubrimientos a gran escala.





---

## RECOMENDACIONES

- ✘ La adquisición o reparación de herramientas y equipos que permitan desempeñar los trabajos a realizar de una manera más fácil y eficiente.
- ✘ Contratación de personal técnico calificado y dispuesto a prestar cualquier ayuda o accesoria a los estudiantes, pasantes y tesisistas pertenecientes a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela.
- ✘ Realizarle un estudio más profundo abarcando más elementos que conforman al motor antes estudiado, para que aunado a las mejoras obtenidas en este proyecto sean adicionadas a obtener mayores prestaciones en el rendimiento del motor.
- ✘ Realizarle un análisis más profundo a la composición de los gases producto de la combustión, para conocer si este recubrimiento crea variaciones en los compuestos obtenidos de la combustión.
- ✘ Implementación de un sistema de seguridad dentro de las instalaciones del taller, para evitar el extravío de herramientas y equipos existentes para la realización de los trabajos y laboratorios.
- ✘ Se recomienda que sean realizados estudios en cuanto a la determinación práctica de la dureza y durabilidad del recubrimiento de óxido de zirconio, ya sea mediante el ensayo pin on disc o mediante el ensayo ring on block, esto para verificar lo que dice la teoría concerniente al desgaste Vs. tiempo.
- ✘ Eventualmente deberían explorarse diseños que estén basados en el uso de esta tecnología, para que tanto el desempeño como costo de implementación puedan alcanzar las metas propuestas y ,la tecnología este al alcance de la mano de todos los consumidores y no de una minoría que sabe de su existencia.

## **CAPÍTULO VII**

---

---



---

## BIBLIOGRAFÍAS

- (1).-“Engineering property Data on selected Ceramics”. Vol. 3, singles oxides, Batelle Columbus labs. MCIC Report / july 1981.
- (2).-Tucker, Robert C. Jr., “Thermal Spray Coating” , ASM Handbook, Vol 5, Surface Engineering, ASM International, 1992. P 497-590.
- (3).-Nicoll, A. R., Bachmann, A., Moens, J. R. and Loewe, G., “The Application of High Velocity Combustion Spraying”, Proceeding of the International Thermal Spray Conference & Exposition, Orlando, Florida, USA, 1992. P 149-152
- (4).-Harfield-Wünsch, S. E. and Tung, S. C., “The Effect of Microstructure on the Wear Behavior of Thermal Spray Coating”, Proceeding of the 7<sup>th</sup> National Thermal Spray Conference. Edit. ASM International. 1994 P 19-24.
- (5).-Ahmed, R., and Hadfield, M.,. “Wear of High-Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Coated Cones in Rolling Contact”, Wear 203-204, 1997 P 98-106.
- (6).-Stecura, S., Optimization of the NiCrAl-Y / ZrO<sub>2</sub> – Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Thermal Barrier System, NASA Tech Memorandum 86905.
- (7).-Miller, R. A., “Current Status of Thermal Barrier Coatings – An Overview”. Presented at International Conference on Metallurgical Coatings, San Diego, April 10, 1986.
- (8).-Carlson, N. and Stone, B., “Thermal Barrier Coatings on High Temperature Gas Turbine Engines”, NASA CR – 135147. United technologies Corporation, Hartford, CT Feb.1977.
- (9).-Levine, S. and Clark, J., “Thermal Barrier Coatings – A New Term High Payoff Technology”, NASA TM-X-73586 1977.
- (10).- Helms, H. E. and Johnson, R. A., “Avanced Gas Turbine technology Development: AGT 100 System and Components”, Proc. 20<sup>th</sup> Automotive Tech. Development Contractor’s Coordiation Meeting, April 1983.



- 
- (11).- Kamo, R., Wood, M., Geary, W., “Ceramics for Adiabatic Diesel Engines”, Proc. Of 4<sup>th</sup> Int’l Meeting of Modern Ceramic Technology, pp 468-87, Amsterdam, 1980.
  - (12).- Levy, A. and MacAdam, S., “The Behavior of Ceramic Thermal Barrier Coatings on Gas Engine Combustion Zone Components”, presented Int’l Conf. Met. Coatings ’86, San Diego, April 10, 1986.
  - (13).- \_\_\_\_\_ “Evaluation of Short Term Engine Performance With Ceramic Piston Crown Coating”, technical Report, Repco Engine Technical Center Ply Ltd., Victoria, Australia.
  - (14).- Sheppard, L. M., “Reliable Ceramics for Heat Engines, Advanced Materials and Processes”, Oct. 1986, pp 54-66.
  - (15).- Gitzhofer, F., “Thermophysical Properties of Zirconia Coatings stabilized with Calcia or Yttria: Influences of Spraying Parameters and Heat Treatment”, Advances in Thermal Spraying, (Welding Inst. Can.) Pergamon Press, 1986.
  - (16).- \_\_\_\_\_ “An Engineering Guide to Coating Performance and Application”. METCO 204NS and 204B-NS.
  - (17).- “Yttria (8%) Stabilized Zirconia for Thermal Barrier Coating Systems”. METCO,1999.