

INDICE

ANEXOS:

A. MOTOR BASICO:	1
B. TABLA DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA GASOLINA.....	4
C. TABLA DE CALOR ESPECIFICO MOLAR MEDIO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN A VOLUMEN CONSTANTE	4
D. TABLA DE CALOR ESPECIFICO DE LOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN EN (KJ/KMOL°C)	5
E. TABLA DE ENERGÍA INTERNA DE LOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN MJ/KMOL	5
F. ENSAYOS REALIZADOS	6
G. NORMAS INTERNACIONALES PARA REALIZACION DE ENSAYO	8
1. <i>DEFINICIONES</i>	8
2. <i>CONDICIONES DE REFERENCIA Y CORRECCIONES</i>	9
3. <i>EQUIPO DE LABORATORIO</i> :.....	12
4. <i>EQUIPO DEL MOTOR</i>	13
5. <i>PARAMETROS DE LA PRUEBA</i>	13
6. <i>PRESENTACION DE RESULTADOS</i>	15
7. <i>METODO DE OPERACIÓN TRANSITORIO</i> :.....	18
H. METODOLOGIA PROPUESTA.....	20
I. CUADROS Y DIAGRAMAS RESUMENES A DIFERENTES RPM	34

ANEXOS

A. MOTOR BASICO:

N °	Sistema	Requerimiento	Comentarios
1	Sistema de aire de ingreso	Opcional	Ver definiciones 10.1
1.1	Conductos de aire	Opcional	
1.2	Limpiador de aire	Opcional	
1.3	Calentador de aire	NO	
2	Presión del sistema de carga	Si	Para todos aquellos motores equipados con impulso variable en función a la velocidad, carga, combustible, octanaje, etc. Estos controles deben ser programados para reflejar las intenciones de la operación en servicio del motor.
2.1	Opciones de control de impulso	Según especificación del fabricante	
3	Sistema de carga de aire de refrigeración	Si	Si es aplicable
3.1	Carga de aire refrigerante	Si	Si son aplicables sistemas auxiliares de enfriamiento
3.2	Bomba o ventilador de enfriamiento	Condicional	No son requeridos si pueden demostrar que se usan menos del 20 % del tiempo de operación a condiciones de referencia en la prueba
4	Sistema eléctrico	Si	Ver definiciones 10.5
4.1	Sistema de ignición	Si	
4.2	Arrancador	No	
4.3	Generador o alternador	Condicional	Se requiere solo si se necesita para operar el motor básico de manera auto-sustentable sin una fuente de energía externa. En este caso el generador deberá operar solo lo suficiente para alimentar a los componentes requeridos (bombas eléctricas, inyectores de combustible, etc.)

4.4	Opciones de control de Ignición y sincronización	Según especificación del fabricante	Motor equipado con controles electrónicos y sensores de golpeteo, la sincronización de la chispa deberá ser programada para reflejar el proceso de la operación en servicio
5	Sistemas de control	Opcional	Si es usado todos los controles deberán ser programados para reflejar el proceso de la operación en servicio
6	Controles de RFI/EMI (radio frecuencia y electromagnetic interference)	Según especificación del fabricante	Los ajustes de los controles deberán reflejar el proceso de la operación en servicio
7	Sistema de abastecimiento de combustible	Si	--
7.1	Filtros y pre filtros	Opcional	Ver definiciones 10.3
7.2	Bomba de abastecimiento de combustible	Si	O carga eléctrica equivalente si es aplicable
7.3	Bomba de inyección/carburador u opciones de medición de combustible	Según especificación del fabricante	Si es usado todos los controles deberán ser programados para reflejar el proceso de la operación en servicio
8	Sistema líquido de enfriamiento del motor	Si	--
8.1	Bomba de enfriamiento	Si	--
8.2	Radiador	Opcional	Se requiere un sistema de laboratorio equivalente con la misma funcionalidad
8.3	Termostato	Opcional	Si no se usa entonces la temperatura y el flujo deberán ser regulados de acuerdo a los niveles de operación en servicio
8.4	Ventilador de enfriamiento	No	Si es usado, la potencia absorbida deberá ser calculada y agregada a la potencia bruta al freno
8.5	Sistema de enfriamiento del motor por aire	Si	--

8.6	Soplador	Condicional	Requerido si no es desconectable .En velocidades variables el ventilador podrá ser desconectado si se demuestra que opera menos del 20% del tiempo de operación durante la operación en servicio a condiciones referenciadas.
9	Sistema de lubricación	Si	Se usa el sistema de lubricación cerrado para un motor base. El llenado del aceite será al nivel que el fabricante recomiende. La temperatura del aceite deberá reflejar los niveles de las condiciones de referencia del ensayo durante la operación en servicio
10	Sistema a expulsión	Opcional	Ver definiciones 10.2
11	Accionamientos auxiliares	--	--
11.1	Potencia de la bomba de dirección	No	--
11.2	Compresor de freón	No	--
11.3	Bombas de vacío	Condicional	Requerido solo si es necesario manejar otros sistemas requeridos y que sus funciones en esa capacidad sean mayores al 20% del tiempo de funcionamiento del motor durante la operación
11.4	Compresores de aire	Condicional	Requerido solo si es necesario manejar otros sistemas requeridos y que sus funciones en esa capacidad sean mayores al 20% del tiempo de funcionamiento del motor durante la operación

Fuente: Norma J1349-201109, Engine Power Test Code-Spark Ignition and Compression IGNITION –As Installed Net Power Rating

B. Tabla de composición química de la gasolina

Parámetros	Gasolina
Composición másica elemental en kmol	
C(Carbono)	0,855
H(Hidrogeno)	0,145
O ₂ (Oxigeno)	0
P _c del combustible (MJ/kg)	44
Masa molecular media(μ _c)	110-120
P _c de la mezcla , para α=1	83,9
Cantidad de aire teórico necesario para quemar 1 kg de combustible (Lo)	0,516

Fuente: Ismael Rivera Olin, Análisis Exergético a un motor de combustión interna Otto, Fuente electrónica .En línea, 18-09-2012

C. Tabla de calor específico molar medio de los gases de combustión a Volumen constante

Temperatura °C	Aire	O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	CO
0	20.758	20.959	20.704	27.545	25.184	20.808
100	20.838	21.223	20.733	29.797	25.426	20.863
200	20.984	21.616	20.800	31.744	25.803	20.988
300	21.206	22.085	20.972	33.440	26.260	21.202
400	21.474	22.563	21.185	34.935	26.765	21.474
500	21.780	23.019	21.449	36.258	27.315	21.184
600	22.090	23.446	21.729	37.448	27.880	22.110
700	22.403	23.834	22.027	38.498	28.474	22.437
800	22.713	24.187	22.320	39.448	29.077	22.755
900	23.006	24.510	22.609	40.302	29.693	23.061
1000	23.283	24.803	22.881	41.077	30.304	23.350
1100	23.547	25.071	23.140	41.184	30.901	23.622
1200	23.794	25.318	23.392	42.425	31.510	23.877
1300	24.018	25.548	23.626	43.007	32.092	24.112
1400	24.250	25.761	23.848	43.543	32.666	24.338
1500	24.459	25.967	24.057	44.033	33.210	24.543
1600	24.652	26.159	24.250	44.485	33.741	24.736
1700	24.863	26.343	24.434	44.903	34.261	24.916
1800	25.003	26.519	24.602	45.299	34.755	25.187
1900	25.167	26.691	24.764	45.644	35.224	25.246
2000	25.326	26.854	24.916	45.975	35.680	25.393
2100	25.474	27.013	25.052	46.281	36.120	25.535
2200	25.611	27.168	25.200	46.566	36.538	25.665
2300	25.749	27.319	25.326	46.829	36.940	25.791
2400	25.780	27.440	25.447	47.766	37.330	25.908
2500	25.992	27.612	25.560	47.312	37.702	26.021

Fuente: Ismael Rivera Olin, Análisis Exergético a un motor de combustión interna Otto, Fuente electrónica .En línea, 18-09-2012

D. Tabla de calor específico de los productos de combustión en (kJ/kmol°C)

Temperatura	Gasolina, siendo α igual a:			
	1	0.9	0.8	0.7
0	22.1849	22.0451	21.8810	21.6845
100	22.5304	22.3556	22.1502	21.9040
200	22.8830	22.6752	22.4434	22.1426
300	23.2899	23.0552	22.7790	22.4480
400	23.7203	23.4605	23.1459	22.7807
500	24.4147	23.8772	23.5376	23.1426
600	24.5828	24.2931	23.9316	23.5095
700	25.0191	24.7126	24.3315	23.5899
800	25.4382	25.1173	24.7190	24.2530
900	25.8439	25.5088	25.0967	24.6122
1000	26.2261	25.8806	25.4548	24.9524
1100	26.5899	26.2355	25.7948	25.2698
1200	26.9370	26.5726	26.1230	25.5950
1300	27.2636	26.8896	26.4306	25.8912
1400	27.5722	27.1808	26.7275	26.1738
1500	27.7840	27.4646	26.9993	26.4402
1600	28.1340	27.7300	27.2578	26.6905
1700	28.3928	27.9833	27.5047	26.9295
1800	28.6314	28.2180	27.7337	27.1518
1900	28.8604	28.4420	27.9527	27.3647
2000	29.0752	28.6526	28.1587	27.5049
2100	29.2812	28.8546	28.3564	27.7548
2200	29.4755	29.0455	28.5422	27.9386
2300	29.6555	29.2299	28.7173	28.1099
2400	29.8284	29.3930	28.8845	28.2732
2500	29.9905	29.5528	29.0415	28.4271

Fuente: Ismael Rivera Olin, Análisis Exergético a un motor de combustión interna Otto, Fuente electrónica .En línea, 18-09-2012

E. Tabla de energía interna de los productos de combustión MJ/kmol

Temperatura	Gasolina, siendo α igual a:			
	1	0.9	0.8	0.7
0	0	0	0	0
100	2.2530	2.2045	2.1881	2.1685
200	4.5766	4.5332	4.4867	4.4285
300	6.3969	6.9165	6.8637	6.7344
400	9.4881	9.3842	9.2584	9.1123
500	12.0740	11.9386	11.7688	11.5713
600	14.7500	14.5759	14.3590	14.1057
700	17.5130	17.2989	17.0422	16.7202
800	20.3090	20.0938	18.7753	19.4024
900	23.2600	22.9688	22.5870	22.1510
1000	26.2262	25.8806	25.4548	24.9534
1100	29.2490	28.8509	28.3743	27.6968
1200	32.3250	31.8871	31.3476	30.7140
1300	35.4430	34.6595	34.3598	33.6585
1400	38.6010	38.0531	37.4199	36.6436
1500	41.6760	41.1969	40.4990	39.6603
1600	45.0140	44.3680	43.6725	42.7048
1700	48.2680	47.5716	46.7580	45.7802
1800	51.5370	50.7924	49.9207	48.0632
1900	54.7835	55.0398	53.1102	51.9929
2000	58.1500	57.3552	56.7154	55.1298
2100	61.4910	60.5947	59.5484	58.2851
2200	64.1840	63.9001	62.7955	61.4671
2300	68.2880	67.2127	66.0498	64.6528
2400	71.2880	70.5432	69.3228	67.8557
2500	74.9760	73.8820	72.6038	71.0678

Fuente: Ismael Rivera Olin, Análisis Exergético a un motor de combustión interna Otto, Fuente electrónica .En línea, 18-09-2012

F. ENSAYOS REALIZADOS

- **Primer Ensayo:**

n	RPM	4000	3800	3600	3400	3200	3000
Tq	N-m	6	9	13	15	20	23
G	m3	0.016	0.0157	0.0154	0.015	0.0148	0.0146
Ca	mmH2O	197	196	192	189	186	184
Tg	K	557	554	556	549	535	526
Tac	°C	105	104	106	108	105	105
Tae	°C	69	70	72	71.5	70	70.8
Tas	°C	77	80	81	81.8	82	83
Pr	Mpa	0.121	0.122	0.117	0.115	0.112	0.11
Tr	K	865	870	883	881	878	871
Vac	dm3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Vcom	cm3	50	50	50	50	50	50
t	s	28	29	31	32	31.5	31.7

n	RPM	3000	2800	2600	2400	2200	2000
Tq	N-m	6	9	13	18	24	30
Ga	m3	0.0149	0.014	0.0127	0.011	0.0096	0.009
Ca	mmH2O	103	102	100.5	100.5	100	98
Tg	K	489	478	473	464	454	445
Tac	°C	104	103	100	96	94	92
Tae	°C	68	66	64	63	62	62
Tas	°C	78.1	77.15	74.25	74.1	72.8	71.65
Pr	Mpa	0.111	0.111	0.111	0.105	0.099	0.098
Tr	K	828	823	815	809	808	809
Vac	dm3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Vcom	cm3	50	50	50	50	50	50
t	s	44.05	44.55	43.28	44.65	45.45	47.22

- **Segundo Ensayo:**

n	RPM	4000	3800	3600	3400	3200	3000
Tq	N-m	5	7	13	15	20	22
G	m3	0.016	0.0157	0.0154	0.015	0.0148	0.0146
Ca	mmH2O	197	196	192	189	186	184
Tg	K	557	554	556	549	535	526
Tac	°C	105	104	106	108	105	105
Tae	°C	69	70	72	71.5	70	70.8

Tas	°C	77	80	81	81.8	82	83
Pr	Mpa	0.121	0.122	0.117	0.115	0.112	0.11
Tr	K	865	870	883	881	878	871
Vac	dm3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Vcom	cm3	50	50	50	50	50	50
t	s	29	30	32	33	31	30

n	RPM	3000	2800	2600	2400	2200	2000
Tq	N-m	6	9	13	17	24	30
Ga	m3	0.015	0.0145	0.013	0.0115	0.0099	0.01
Ca	mmH2O	103	102	100	100	100	99
Tg	K	489	480	475	466	455	446
Tac	°C	105	103	99	95	92	89
Tae	°C	68	65	63	62	60	61
Tas	°C	79	78.7	74	74	72	70
Pr	Mpa	0.111	0.11	0.11	0.099	0.099	0.097
Tr	K	827	824	815	810	809	807
Vac	dm3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Vcom	cm3	50	50	50	50	50	50
t	s	44.7	44.2	43	45	46	47.22

- **Tercer Ensayo:**

n	RPM	4000	3800	3600	3400	3200	3000
Tq	N-m	6	9	12	17	20	24
G	m3	0.016	0.0154	0.0156	0.015	0.0148	0.0147
Ca	mmH2O	195	194	193	192	192	186
Tg	K	558	554	550	535	526	512
Tac	°C	100	105	106	109	106	109
Tae	°C	65	70	72	70	71	71
Tas	°C	77	81.802	82	85	78	80
Pr	Mpa	0.124	0.123	0.12	0.115	0.115	0.11
Tr	K	860	873	880	880	875	873
Vac	dm3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Vcom	cm3	50	50	50	50	50	50
t	s	29	29.32	31.56	31.65	31.6	31.77

n	RPM	3000	2800	2600	2400	2200	2000
Tq	N-m	6	9	13	17	24	30
Ga	m3	0.0150	0.0143	0.0128	0.0113	0.0097	0.0095
Ca	mmH2O	103	102	100.25	100.25	100	98.5
Tg	K	489	479	474	465	455	446

Tac	°C	105	103	99	96	93	90
Tae	°C	68	65	63	63	61	61
Tas	°C	78.6	77.9	74.1	74.1	72.4	70.8
Pr	Mpa	0.111	0.110	0.110	0.102	0.099	0.097
Tr	K	828	824	815	810	809	808
Vac	dm3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Vcom	cm3	50	50	50	50	50	50
t	s	44.38	44.38	43.14	44.82	45.73	47.22

Nota: Los datos utilizados para realizar los cálculos fueron los promedios de los tres ensayos realizados en el Laboratorio de Energía.

G. NORMAS INTERNACIONALES PARA REALIZACION DE ENSAYO

Tomando como referencia la norma SAE J1995 y la norma SAE J1349 que consisten en la clasificación de la potencia bruta y neta respectivamente para un motor de encendido a chispa, se planteará la metodología tentativa que se seguirá en el ensayo para determinar los flujos de la Exergía.

1. DEFINICIONES

- **Potencia bruta de frenado:**
Es la potencia de un motor cuando tiene una configuración básica probado y corregido de acuerdo a esta norma.
- **Potencia bruta Nominal:**
Potencia bruta obtenida a velocidad nominal según indicaciones del fabricante
- **Velocidad nominal:**
Velocidad a la cual se obtiene la potencia bruta del motor según indicaciones del fabricante
- **Motor básico:**
Es un motor configurado con solo los accesorios necesarios para su auto-sustentación en la operación, no tiene accesorios que estén destinados para aumentar su performance en su calidad de servicio o su potencia para sistemas auxiliares. Sin embargo, si estos accesorios están involucrados de alguna manera en las pruebas se puede calcular la potencia que consumen y agregarlas a la potencia bruta de frenado.
- **Condiciones de referencia de la prueba:**

Son las referencias estándar de las condiciones de ingreso del suministro de aire y del combustible para las cuales todas las condiciones de potencia están hechas.

- **Potencia de fricción :**

Es la potencia requerida para llevar el motor solo como equipado para la prueba. Este valor es necesitado para la corrección de potencia o para los motores de Otto. Se calcula de dos maneras:

- Si la medición del torque de fricción no está disponible se asume el 85% de la eficiencia mecánica, y se deberá notificar en el reporte que los resultados fueron corregidos asumiendo esta posibilidad.
- Fricción de automovilismo caliente: Registrar los datos de torque de fricción en la máxima aceleración en cada serie de velocidad. Todos los datos deberán ser tomados a la misma temperatura del refrigerante y del aceite ± 3 °C.

- **Potencia indicada:**

Es la potencia desarrollada en los cilindros o también es la suma de la potencia al freno y la potencia por fricción para esta norma.

2. CONDICIONES DE REFERENCIA Y CORRECCIONES:

Esta sección tiene referencias y especificaciones de ingreso de aire y combustible, rangos recomendables para la prueba y aplicación de las correcciones a los procedimientos posteriormente mencionados.

a. Condiciones de referencia atmosférica:

	Condiciones estándares	Rango límite de la prueba
Presión de Aire de ingreso	100 kPa	--
Presión de Aire seco	99 kPa	90 - 105 kPa
Temperatura de Aire de ingreso	25 °C	15 - 40 °C

Tabla 3.1: Condiciones de referencia atmosférica

Fuente: Norma SAE J1995

b. Especificaciones de referencia del combustible de un SI:

Estas referencias son necesarias para todos los motores de encendido a chispa equipados con sensores de golpeteo u otros dispositivos que controlan el avance de la chispa en función del golpeteo. Para los motores encendidos por chispa se puede utilizar cualquier combustible con el suficiente octanaje para prevenir el golpeteo.

	Combustible regular	Combustible Premium
Numero de Octanaje buscado	92 ± 0.5	97 ± 0.5
Numero de Octanaje del motor	83 ± 0.5	87 ± 0.5
Valores mínimos de calor	43.3 ± 0.1 MJ/kg	43.1 ± 0.1 MJ/kg

Tabla 3.2: Especificaciones del combustible
Fuente: Norma SAE J1995

c. Correcciones de la potencia obtenida:

La eficiencia de los motores de encendido a chispa está afectada por la densidad del aire de combustión y por las características del combustible. Por lo tanto con el fin de brindar un método de comparación se debe aplicar factores de corrección a la potencia bruta obtenida considerando las diferencias entre las referencias y los datos obtenidos en el ensayo.

- Todas las correcciones de la potencia para el aire atmosférico están basados a las condiciones que se encuentran inmediatamente anterior a los sistemas de alimentación del motor y deben estar dentro de los límites de la tabla 3.1.
- En cualquier motor que controla automáticamente la salida de potencia según los cambios producidos en las condiciones del aire y del combustible no debe aplicarse los factores de corrección.
- La magnitud de la corrección de potencia no debe exceder el 5 % para el caso del ingreso de aire y del 3% para el caso del combustible .Si esto ocurre se debe tomar nota según la norma.

d. Corrección de la formulas aplicadas:

Estas fórmulas están diseñadas para la corrección de la potencia bruta al freno cuando la aceleración es máxima y no consideran la reducción de potencia por la altitud. Las siguientes formulas están basadas en la norma internacional “ **J1349-201109, Engine Power Test Code-Spark Ignition and Compression IGNITION – As Installed Net Power Rating**”

$$bp_c = CA \times bp_o \quad (\text{Ec.3.4a})$$

Donde la corrección atmosférica asumiendo el 85% de la eficiencia mecánica se presenta:

$$CA = 1.18 \left[\left(\frac{99}{B_{do}} \right) \left(\frac{t_0 + 273}{298} \right)^{0.5} \right] - 0.18 \quad (\text{Ec. 3.4b})$$

La potencia de fricción es medida según:

$$bp_c = ip_c - fp_o \quad (\text{Ec. 3.4c})$$

De donde:

$$ip_c = ip_o \left(\frac{99}{B_{do}} \right) \left(\frac{t + 273}{298} \right)^{0.5} \quad (\text{Ec. 3.4d})$$

$$ip_o = fp_o + bp_o \quad (\text{Ec. 3.4e})$$

Nota: Estas fórmulas son aplicables solo para cuando el sistema funciona a máxima velocidad (WOT, wide open throttle). En caso de existir un cagar auxiliar de aire de refrigeración adicional al definido en el método estándar de prueba, no se deben efectuar correcciones a la temperatura de entrada por lo que el exponente de la ecuación pasa de 0.5 a 0.

Factor de corrección de combustible:

$$CF = fd \times fv \quad (\text{Ec. 3.4f})$$

Dónde:

$$fd = 1 + 0.70 \left(\frac{SG_r - SG_o}{SG_o} \right) = 1 + 0.70 \left(\frac{0.850 - SG_o}{SG_o} \right) \quad (\text{Ec. 3.4g})$$

Y

$$fv = \frac{1 + S/V_o}{1 + S/V_r} = \frac{1 + S/V_o}{1 + S/2.6} \quad (\text{Ec. 3.4h})$$

Las ecuaciones anteriores corrigen la potencia observada de acuerdo a los niveles de densidad y viscosidad, en donde se coloca un coeficiente de 0.7 antes del factor de densidad para compensar los cambios típicos en los valores de calor bajo a diferentes niveles de densidad, esto se basa en la relación empírica de LHV-SG. Los valores de S son determinados por las especificaciones del fabricante, caso contrario se pueden tomar los siguientes valores:

- ✓ Bomba, lineal y sistemas de boquillas – 0.15
- ✓ Unidad de inyectores – 0.0

Si se desea determinar el consumo específico de combustible se emplea la siguiente ecuación:

$$F_c = (SG_r/SG_o \times fv)F_o \quad (\text{Ec.3.4i})$$

3. **EQUIPO DE LABORATORIO:**

Se requiere el siguiente equipo para la prueba de potencia bruta.

i. Sistema de alimentación :

Cualquier sistema que proporcione un suministro de aire que inicia en el punto donde el aire entra desde la fuente y termina cuando va a entrar al cuerpo de aceleración, múltiple de entrada, o la entrada de turbocargador en los motores correspondientes.

ii. Sistema de expulsión :

Cualquier sistema que permita expulsar los gases de combustión del motor básico, el sistema inicia a la salida del múltiple de escape o de la salida de la turbina en los motores que la tengan equipado.

iii. Sistema de abastecimiento de combustible:

Cualquier sistema que proporcione de un abastecimiento de combustible, el sistema tendrá que ser capaz de no exceder las restricciones máximas del fabricante.

iv. Carga de aire de refrigeración:

Este sistema tiene un impacto significativo en el rendimiento del motor, por tal motivo la temperatura y la presión del aire de salida del enfriador debe ser controlada de acuerdo a las condiciones estándares de la norma. Para los motores con carga refrigerada será necesario un enfriador adicional para realizar esta prueba a cuyos procedimientos se le aplicará un factor de corrección.

a. Método Estándar:

Es el que pretende simular la restricción del ingreso del aire de refrigeración y la temperatura durante el paso por el múltiple de admisión como si el ambiente estuviera a 25 °C.

b. Método Opcional:

Este método pretende duplicar la restricción del ingreso del aire de refrigeración y la temperatura que se obtendría durante el servicio del motor.

v. Abastecimiento de potencia adicional:

Los componentes operados eléctricamente que son parte de un motor básico pueden ser abastecidos por una fuente externa de potencia. En este caso la potencia será calculada y sustraída de la potencia bruta al freno corregido.

4. EQUIPO DEL MOTOR

Se utiliza un motor base definido en el anexo "B". Adicionalmente se deberá tomar nota de los siguientes puntos que serán respaldados en el numeral 7.2.2.

- Marca del motor
- Diámetro y carrera
- Número y configuración de los cilindros
- Tipo del sistema de carburación o inyección
- Tipo de presión del sistema de carga si es aplicable
- Si es utilizado una carga de aire refrigerante de laboratorio, mencionar el método utilizado para la prueba según el enunciado 11.3
- Para motores con sensores de golpeteo se deberá mencionar la calidad del combustible (Premium o regular)
- Para los que no poseen sensores de golpeteo se debe obtener el número mínimo de octanaje para el cual no se presenta el golpeteo.
- Fecha de realizado el ensayo
- Número de serie del motor
- Número del ensayo y localización, etc.

5. PARAMETROS DE LA PRUEBA

i. Ajustes y corrida:

- Los ajustes deberán realizarse antes de la prueba de acuerdo a las especificaciones del fabricante, no se realizarán ajustes durante la prueba.
- La operación del motor será de acuerdo a las especificaciones del fabricante, sino se tienen dichas recomendaciones se debe dejar que el motor trabaje un periodo de 8 horas para obtener una potencia al freno con una variación de 1%.

ii. Medida de presión y temperatura

- Estas influyen en las correcciones que se le harán a la potencia del motor.
- Se deben medir de tal manera que se obtenga la condición de estancamiento total de la entrada hacia el sistema de ingreso del motor. Esta medida se debe tomar a 0.15 m del inicio del ducto de ingreso de aire.

- Cuando se utiliza el ambiente como suministro de aire la presión es la barométrica.
- Cuando se utiliza un ambiente de célula para pruebas, la presión es la presión barométrica de la célula.
- Para aquellos motores que están equipados con una carga de aire refrigerado se deben colocar las termocuplas y probetas de presión en el ingreso y salida del flujo aire.
- La presión y temperatura del múltiple de admisión debe ser medida como un valor estático y las probetas deben ser colocadas en un punto en común para varios cilindros, en dicho punto la presión dinámica se asume nula.
- En aquellos motores en que se necesita de un dispositivo de enfriamiento para la prueba , la presión de la carga pre enfriada deberá ser medida con el propósito de configurar las restricciones antes mencionadas en el apartado 4.4 y medida aguas arriba de la unidad auxiliar para lograr así el valor total de estancamiento.
- Las restricciones del enfriador adicional hará la diferencia entre la presión del pre cooler y el múltiple de admisión.
- La temperatura del refrigerante debe ser medido en la entrada y salida del motor, y cuando se usa aire como refrigerante en los puntos en donde indique el fabricante.
- La temperatura y presión del aceite debe ser medida a la entrada de la galería principal de aceite y no deben ser mayores a los límites planteados por el fabricante.
- La temperatura del combustible debe ser medida en la entrada del carburador o del carril de inyectores para los motores de encendido a chispa, además cuando se usa combustibles gaseosos se debe medir a la salida del medidor de flujo volumétrico.
- La presión y temperatura del sistema de expulsión serán medidos para obtener el valor total de estancamiento aguas abajo del múltiple de escape. Si el motor está equipado con catalizadores la probeta de presión puede ser localizada debajo del catalizador

iii. Condiciones de operación de la prueba

- El arranque y calentamiento del motor deberá ser de acuerdo a indicaciones del fabricante, no se tomará datos hasta que el torque y la velocidad hayan sido mantenidos con una variación del 1% y la temperatura controlada con una variación de ± 2 °C por lo menos en un minuto.
- La velocidad del motor no deberá desviarse de la nominal más que $\pm 1\%$ o ± 10 min^{-1} .
- La temperatura de salida del líquido refrigerante deberá ser controlada en el rango de ± 3 °C del valor nominal brindado por el fabricante.
- El tipo de refrigerante líquido debe ser una mezcla entre agua y refrigerante que cumpla con las condiciones para los motores de producción en serie.

- Para motores refrigerados por aire la temperatura de ingreso del aire deberá ser controlada en el rango de $35\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- Los gases de escape deben ser ventilados a un reservorio con una presión total de 0.75 kPa de la presión del aire de suministro.
- Existen dos métodos para obtener las condiciones de operación de un motor: el método estado estable y el método transitorio. El método seleccionado es el transitorio ya que puede brindar información más significativa debido a que controla las variables en función del tiempo.

iv. Determinación de la potencia y del torque

- La prueba debe realizarse a la aceleración máxima para motores de ignición por chispa. Se deberán seguir estas condiciones de requerimientos para estar de acuerdo a la norma.
- Los datos anotados deberán ser el promedio de las lecturas realizada con un lapso de un minuto.
- Para motores de poca potencia se recomienda usar el método transitorio. Motores con sensores de golpeteo activado deberán usar combustibles con el mínimo octanaje recomendado por el fabricante.
- La temperatura de la carga de aire refrigerante de salida será determinado por el procedimiento de operación del método transitorio.
- Para aquellos motores equipados con variadores de impulso en función de la temperatura del aire, clasificación de octanaje, velocidad del motor o presión de impulso deberá ser configurado para las condiciones que se presenten durante el servicio con el mínimo de octanaje recomendado por el combustible.
- La presión, temperatura y humedad del aire de ingreso deberá ser lo más cercana a las condiciones estándares enunciadas en el punto 2.1. Las presiones y temperaturas del aire de ingreso no deberá varia más de 3% durante todo la prueba.
- El tipo de aceite que se usará en el motor deberá cumplir con la norma SAE designada y recomendada por el fabricante.

6. PRESENTACION DE RESULTADOS

i. Condiciones de la prueba

Se deberá controlar las siguientes condiciones y especificaciones de los estados del ensayo:

- **Condiciones del suministro de aire:** Presión, temperatura y presión del vapor.
- **Condiciones del combustible líquido:** Tipo o mezcla, número de octanaje y valor del calor mínimo.

- **Condiciones del combustible gaseoso:** Tipo o grado, composición, densidad a los 15°C y 101 kPa y el valor del calor mínimo.
- **Condiciones del aceite de lubricación:** Clasificación API, grado de viscosidad según SAE y por último el nombre y marca del fabricante.

ii. Recopilación de datos de la prueba

Se debe tomar nota de la información en cada punto de la prueba que al menos deben ser 5 veces igualmente espaciados y no más de 500 rpm desde el punto en donde se obtiene la mínima velocidad estable y la máxima velocidad estable obtenible según el fabricante. De las velocidades de operación una será la velocidad nominal, otra dará el torque máximo y otra la máxima potencia. La variación de la velocidad no deberá ser mayor a $\pm 1\%$ o 5 rpm.

La siguiente información deberá proporcionarse para realizar el ensayo:

a. Información general de la prueba

- Día de la prueba
- Numero serial del motor
- Localización de la prueba
- Accesorios adicionales a la tabla del “Anexo B”

b. Descripción del motor

- Carrera, diámetro del motor
- Desplazamiento del motor
- Número y configuración de los cilindros
- Tipo de ignición(chispa, compresión)
- Ciclo de combustión (2 tiempos,4 tiempos)
- Sistema de combustible(carburación, inyección de mariposa, multi- inyección)
- Tren de válvulas(Push Rod-2 valve, Dual overead Cam-4 valve, Electro-Mechanical)
- Presión de carga(naturalmente aspirado, Turbocargado, supercargado)
- Carga a de aire de refrigeración (si es aplicable)
- Sistemas de ventilación (eléctrico, embrague accionado, hidráulico)
- Sistema de control de golpeteo(si es aplicable-octanaje mínimo recomendado)

c. Combustible

- Tipo o mezcla
- Numero de octanaje del motor y del buscado.
- H:C ratio
- Densidad del combustible y gravedad específica a 15 °C

- Calor específico inferior

d. Aceite de lubricación

- Clasificación API
- Grado de viscosidad SAE
- Nombre de la marca y del fabricante

e. Refrigerante del motor

- Tipo del refrigerante
- Mezcla de agua con refrigerante
- Nombre de la marca y del fabricante

iii. Requerimientos de la información de la prueba

a. Medidas

- Velocidad del motor(puede ser obtenida por un control del motor)
- Torque al freno observado
- Torque de fricción
- Radio Aire/combustible
- Avance de la chispa/sincronización de la ignición(puede ser obtenida por un control del motor)
- Temperatura y presión del ambiente
- Temperatura y presión del aire de ingreso
- Presión del vapor de agua en el aire de ingreso
- Temperatura y presión del ingreso de aire al múltiple de admisión
- Temperatura del combustible al medidor del flujo del combustible
- Temperatura y presión de la carrera del combustible
- Temperatura de ingreso y salida del refrigerante
- Temperatura del Carter del aceite y presión de la galería
- Temperatura de los gases a la salida del múltiple de escape(derecha & izquierda)
- Presión a la salida del múltiple de escape(derecha & izquierda)

b. Cálculos

- Torque corregido(aprox. 25 lb-ft)
- BMEP observada y corregido
- Potencia al freno observada y corregida(aprox. 25 hp)
- Factor de corrección según SAE J1349 con 4 dígitos significantes
- Flujo de masa de aire(puede ser medido o calculado del flujo de combustible y la relación aire/combustible)

- Flujo volumétrico del combustible
- Flujo de masa del combustible
- Consumo específico de combustible al freno

c. Parámetros de motores impulsados

- Presión de impulso
- Presión y temperatura del aire al ingreso y salida del inter cooler
- Presión y temperatura a la salida e ingreso del compresor
- Presión y temperatura a la salida e ingreso de la turbina
- Eficiencia de la carga de aire de refrigeración

d. Parámetros de motores controlados (si es aplicable)

- Presión absoluta del múltiple o flujo másico total del aire (si es aplicable)
- Avance de flama/sincronización de la ignición
- Relación de aire combustible deseable.
- Presión total del enfriador auxiliar (si es aplicado)

7. METODO DE OPERACIÓN TRANSITORIO:

Se debe entender que los motores que operan continuamente con variaciones de velocidad experimentan muchos efectos transitorios relacionados con la transferencia de calor y las propiedades de varios materiales a diferentes temperaturas. Estas variaciones pueden crear algoritmos de control que temporalmente pueden incrementar la potencia al freno que son representativos para el uso que se le asigne.

A continuación se describe los procedimientos y especificaciones del método transitorio para todos los motores de mediana a ligera potencia tales como motores de motonieves, motores de carros para pasajeros, motores de tractores de pequeña potencia y todos los motores de vehículos de terreno.

i. Especificaciones del método transitorio

a. Equipamiento del vehículo:

- El motor debe ser lo más cercano posible a los diseños de producción en serie.
- Los sistemas de expulsión, carga de aire de refrigeración y flujo de masa deben coincidir.
- Se permiten ligeras desviaciones.

b. Peso del vehículo

Peso del vehículo vacío más el peso del tanque lleno según recomendación del fabricante para uso del cliente, chofer o para equipos de pruebas.

c. Medida de la presión de expulsión

Se deberá colocar las probetas debajo del corredor del colector para cada múltiple de expulsión. Se deberá usar el mismo método en el banco de potencia neta para programar la presión de expulsión.

d. Carga de aire de refrigeración (si es aplicable)

Si está equipado con una carga de refrigeración se equipara el motor con termocuplas y probetas de presión en la entrada y salida de la carga de aire de refrigeración.

e. Método de adquisición de información

Se deberá equipar el motor con cualquier sistema sustentable de adquisición de información para grabar todos los parámetros que se den durante el ensayo en el banco de pruebas. Tales como:

- RPM, flujo másico de aire, MAP, avance de la chispa, relación aire/combustible, sincronización de la cámara, recirculación de gases de expulsión, posiciones de la válvula y de la aceleración, temperatura del aceite y del refrigerante.

f. Condiciones ambientales

Se debe realizar el ensayo a las siguientes condiciones:

- Temperatura del aire $25\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$
- Presión barométrica 90 kPa -105 kPa
- Humedad menor al 70% HR
- Velocidad del tiempo menor a 7 m/s

ii. Procedimientos del ensayo con método transitorio

a. Calentamiento del motor

El motor deberá ser totalmente calentado y la velocidad será de entre 90km/h a 100 km/h.

b. Rango de adquisición de información

Las pruebas deben realizarse a velocidad variable, inicialmente se ajustará el regulador del acelerador a 4000 RPM sin carga solo con el contrapeso del freno donde se tomarán medidas de las variables de temperatura, presión, consumo de agua y de combustible .Luego se irá incrementando la carga hasta conseguir una

disminución de la velocidad de 200 RPM, punto donde se volverán a registrar los valores de las variables. Este procedimiento se seguirá hasta llegar a los 3000 RPM. Por último se repetirá el mismo procedimiento anterior partiendo de las velocidades de 3000 y 3600 RPM.

Los datos promedio luego de haber realizado tres veces el ensayo se presentan en la tabla de variables del punto 3.4.

iii. Procedimientos de los ensayos de aceleración del vehículo

Para medir la contrapresión de los gases de escape y los parámetros del aire de refrigeración (si es aplicable), el motor deberá someterse a la máxima aceleración desde la mínima velocidad estable hasta la máxima velocidad estable según las recomendaciones del fabricante. Si se usa un refrigerante evaporativo, el fluido a evaporarse deberá ser el recomendado por el fabricante.

iv. Promedios de los datos del vehículo

El ensayo deberá repetirse al menos una vez para que se pueda realizar el promedio de los resultados obtenidos.

v. Aplicaciones de la información

La contrapresión de los gases, los parámetros de la carga de aire de refrigeración y los parámetros de control del motor deberán ser promediados en todas las pruebas.

H. METODOLOGIA PROPUESTA

A continuación se presenta la metodología propuesta para realizar el ensayo exergético al motor de combustión interna encendido por chispa.

METODOLOGIA DE ANALISIS EXERGETICO DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA DE ENCENDIDO A CHISPA

1. OBJETIVO:

Identificar tipo, localización y magnitud de las irreversibilidades que se producen en un motor de combustión interna encendido por chispa y plantear sugerencia que permitan optimizar el rendimiento del motor.

2. EQUIPO A EMPLEAR:

Durante el laboratorio será necesario el uso de los siguientes instrumentos de medición para recopilar la información necesaria para realizar los cálculos que permitan realizar un análisis exergético.

INSTRUMENTO	RANGO
Manómetro diferencial	0 – 500 mmH ₂ O
Placa orificio	18.02 mm
Termómetros de agua de entrada y salida	0 – 100 ° C
Pipetas de combustible	50 -100 ml
Cronómetros	1/100 s
Termocuplas de gases de combustión	0-1000 ° C
Tacómetro	0 – 1000 rpm
Termómetro para el aceite	0-200 ° C
Dinamómetro	150 ±0.5 N.m

Y el banco de pruebas será un motor de combustión interna de encendido a chispa marca Nissan.

Marca	:Nissan GA15DS
Potencia	:70 kW @ 6000 RPM
Torque	:126 N.m @ 3600 RPM
Cilindrada	:1497 cc
Diámetro y carrera	:73.6 mm y 88 mm respectivamente
Orden de encendido	:1-3-4-2
Tipo de encendido	:Distribuidor y bobina
Relación de compresión	: 9: 1

3. DATOS A RECOPILAR:

n	RPM	4000	3800	3600	3400	3200	3000
Tq	N-m						
G	m ³						
Ca	mmH ₂ O						
Tg	K						
Tac	°C						
Tae	°C						
Tas	°C						
Pr	Mpa						
Tr	K						
Vac	dm ³						
Vcom	cm ³						
t	s						

Dónde:

- Tq : Torque al freno
- G: Gasto de combustible
- Ca: Consumo de aire
- Tg: Temperatura de los gases
- Tac: Temperatura del aceite
- Tae: Temperatura del agua de entrada
- Tas: Temperatura del agua de salida
- Pr: Presión después del proceso de barrido.
- Tr: Temperatura después del proceso de barrido.
- Vac: Volumen de aceite
- Vcom: Volumen de combustible.

4. PROCEDIMIENTO:

Las pruebas deben realizarse a velocidad variable, inicialmente se ajustará el regulador del acelerador a 4000 RPM sin carga solo con el contrapeso del freno donde se tomarán medidas de las variables de temperatura, presión, consumo de agua y de combustible. Luego se irá incrementando la carga hasta conseguir una disminución de la velocidad de 200 RPM, punto donde se volverán a registrar los valores de las variables. Este procedimiento se seguirá hasta llegar a los 3000 RPM. Por último se repetirá el mismo procedimiento anterior partiendo de las velocidades de 3000 y 3600 RPM.

5. FORMULAS A EMPLEAR:

Se debe considerar los siguientes datos para la realización de los cálculos

ΔT	20	ϵ	9	M2	0,5091
p_0	0,1013	η_c	1,35	ϕ	0,9
t_0	298	μ_0	0,925	η_{ex}	1,23
$\beta^2 + \epsilon_{ad}$	3	ϵ_z	0,85	Densidad gas	690
ω_{ad}	80	Hg	43980	Ncompresion	0,9
d aire	1,29	M1	0,55	Cpaire	1,01
Cv aire	0,718				

Para calcular los estados termodinámicos se usaran las siguientes formulas:

- 1) Cálculo de la cantidad teórica de aire necesario para la combustión de un kilogramo de combustible :

Se parte de la composición de la gasolina especificada:

- C= 0.855 kmol
- H= 0.145 kmol
- Lo =0.516 kmol
- O = 0 kmol
- $\mu_c = 120$

Además se sabe que en la relación de aire-combustible teórico en un motor de Ciclo Otto esta alrededor de $R_{a/c} = 15.9$

Por lo tanto la relación estequiométrica del aire en masa:

$$I_0 = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3}(C) + 8(H) \right)$$

- 2) Calculando el coeficiente de exceso de aire:

$$\alpha = \frac{I}{I_0}$$

De donde

- $\alpha > 1$ por lo que se trata de una mezcla pobre.
- $\alpha < 1$ por lo que se trata de una mezcla rica.

- 3) Cantidad de mezcla fresca:

$$G_1 = 1 + \alpha I_0$$

4) Cantidad total de carga(aire-combustible).Para 1 kg de combustible:

$$M_1 = \frac{1}{\mu_c} + \alpha L_0$$

5) Determinación de cada uno de los productos de combustión

- Si $\alpha > 1$ (mezcla pobre):

$$MCO_2 = \frac{C}{12}$$

$$MH_2O = \frac{H}{12}$$

$$MO_2 = 0.21 \times (\alpha - 1) \times L_0$$

$$MN_2 = 0.79 \times \alpha \times L_0$$

Por lo tanto la cantidad total de productos de combustión si la mezcla es pobre:

$$M_2 = MCO_2 + MH_2O + MO_2 + MN_2$$

- Si $\alpha < 1$ (mezcla rica):

$$MCO_2 = \frac{C}{2} - MCO$$

$$MH_2 = KMCO$$

$$MCO = 0.42 \times \left(\frac{1-\alpha}{1+K} \right) \times I_0$$

$$MN_2 = 0.79 \times \alpha \times L_0$$

$$MN_2 = \frac{H}{2} - MH_2$$

Por lo tanto la cantidad total de productos de combustión si es mezcla rica:

$$M_2 = MCO_2 + MH_2 + MCO + MN_2 + MN_2$$

Calculando el coeficiente teórico de variación molecular:

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1}$$

6) Presión final de la admisión , asumiendo

- a. $\beta^2 + \varepsilon_{ad} = 3$
- b. $\omega_{ad} = 80 \text{ m/s}$

$$p_a = p_0 - (\beta^2 + \varepsilon_{ad}) \frac{\omega_{ad}^2}{2} \rho_{aire}$$

7) Calculo del coeficiente de gases residuales para hallar la temperatura de admisión:

Asumiendo:

1. $\Delta T: 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\delta_r = \frac{M_r}{M_1} = \frac{(T_0 + \Delta T)}{T_r} \left(\frac{P_r}{\varepsilon P_a - P_r} \right)$$

8) Temperatura al final de la admisión

$$T_a = \frac{(T_0 + \Delta T + \delta_r T_r)}{(1 + \delta_r)}$$

9) Presión al final de la compresión donde $n(1.3-1.37)$

Tomando coeficiente politrópico igual a $n = 1.35$

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n1}$$

10) Temperatura al final de la compresión :

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n1-1}$$

11) Coeficiente de variación molecular

$$\mu_r = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}$$

12) Ecuación de combustión para $\alpha < 1$

$$\frac{\varepsilon_z [H_c - \Delta H_c]}{(1 + \gamma_r) M_1} + \frac{U_c + \gamma_r U_c''}{(1 + \gamma_r)} = \mu_r U_z''$$

Y para mezclas donde $\alpha < 1$:

Considerando $\epsilon_z = 0.85$

$$\frac{\epsilon_z H_c}{(1+\gamma_r)M_1} + \frac{U_c + \gamma_r U_c''}{(1+\gamma_r)} = \mu_r U_z''$$

Obtención del calor específico de la mezcla fresca según tabla del anexo "a":

$$\mu C_v$$

$$U_c = \mu C_v \times T_c$$

13) Energía interna de 1 mol de productos de combustión al final de la compresión

De la tabla del anexo "a" y con la temperatura al final de la compresión se tiene segundo miembro de la ecuación de combustión.

De la tabla del anexo "b", se puede obtener la temperatura luego de la combustión por extrapolación: T_z

14) Presión final de la combustión

$$P_z = \mu_r \frac{T_z}{T_c} P_c$$

Si el coeficiente de redondeo es $\phi = 0.9$

$$P_z' = \phi P_z$$

Por lo tanto se puede calcular: T_z'

15) Presión final de la expansión, considerando $n_2=1.23$

$$P_b = P_z \times \frac{1}{\epsilon^{n_2}}$$

16) Temperatura final de la expansión

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\epsilon^{n_2-1}}$$

Luego de haber calculado los estados termodinámicos del proceso de combustión interna se debe usar las siguientes fórmulas para calcular la Exergía en cada proceso de la combustión.

- a) Cálculo del Calor específico que ingresa debido a la combustión :

$$q_i = C_v(T_z - T_c)$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. *Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.*

- b) Exergía que acompaña el ingreso de calor

$$\left(1 - \frac{T_o}{T_f}\right)$$

- c) Trabajo en la flecha:

$$W_x = a_{z'} - a_b - a_{t_{fcom}}$$

Valero, A. Lozano: "Los balances de energía libre, entropía, Exergía", Facultad de Química, España 1987

- d) Trabajo de compresión

$$W_c = C_p \times (T_{c'} - T_a)$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. *Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.*

- e) Trabajo útil

$$W_n = W_x - W_c$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. *Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.*

- f) Eficiencia del ciclo

$$n = \frac{W_n}{q_i}$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. *Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.*

- g) Exergía que acompaña la evacuación del calor

$$a_{qe} = q_e \times \left(1 - \left(\frac{298}{1030}\right)\right)$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.

h) Anergía durante el proceso de compresión

$$An_{a-c} = a_a - a_c + a_{qcomp} + W_c$$

Valero, A. Lozano: "Los balances de energía libre, entropía, Exergía", Facultad de Química, España 1987

i) Exergía a la temperatura de admisión

$$a_a = Cp \times (Ta - To) - To \left(\ln \frac{Ta}{To} - \left(\frac{n_c - 1}{n_c} \right) \times \ln \frac{Pa}{Po} \right)$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.

j) Exergía a la temperatura de Compresión

$$a_c = Cp \times (Tc - To) - To \left(\ln \frac{Tc}{To} - \left(\frac{n_c - 1}{n_c} \right) \times \ln \frac{Pc}{Po} \right)$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.

k) Exergía a la temperatura de Combustión

$$a_z = Cp \times (Tz - To) - To \left(\ln \frac{Tz}{To} - \left(\frac{n_{ex} - 1}{n_{ex}} \right) \times \ln \frac{Pz}{Po} \right)$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.

l) Exergía a la temperatura de Combustión del ciclo real

$$a_{z'} = Cp \times (Tz' - To) - To \left(\ln \frac{Tz'}{To} - \left(\frac{n_{ex} - 1}{n_{ex}} \right) \times \ln \frac{Pz'}{Po} \right)$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.

m) Exergía a la temperatura de Expansión

$$a_b = Cp \times (Tb - To) - To \left(\ln \frac{Tb}{To} - \left(\frac{n_{ex} - 1}{n_{ex}} \right) \times \ln \frac{Pb}{Po} \right)$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.

n) Exergía a la temperatura de barrido

$$a_r = Cp \times (Tr - To) - To \left(\ln \frac{Tr}{To} - \left(\frac{n_{ex} - 1}{n_{ex}} \right) \times \ln \frac{Pr}{Po} \right)$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.

o) Anergía durante el proceso de combustión

$$An_{c-z} = a_c - a_z + a_{qcomb}$$

Valero, A. Lozano: "Los balances de energía libre, entropía, Exergía", Facultad de Química, España 1987

p) Anergía durante el proceso de combustión real

$$An_{c-z'} = a_c - a_{z'} + a_{qcomb}$$

Valero, A. Lozano: "Los balances de energía libre, entropía, Exergía", Facultad de Química, España 1987

q) Anergía durante el proceso de expansión

$$An_{z'-b} = a_{z'} - a_b - Wx$$

Valero, A. Lozano: "Los balances de energía libre, entropía, Exergía", Facultad de Química, España 1987

r) Anergía durante el proceso de evacuación y barrido

$$An_{b-r} = a_b - a_r$$

Valero, A. Lozano: "Los balances de energía libre, entropía, Exergía", Facultad de Química, España 1987

s) Anergía durante el proceso de admisión

$$An_{o-a} = a_o - a_a$$

Valero, A. Lozano: "Los balances de energía libre, entropía, Exergía", Facultad de Química, España 1987

t) Calor que evacua el sistema:

$$q_e = Cv \times (Tb - Ta)$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.

u) Exergía que acompaña a la transferencia de calor durante la combustión:

$$a_{qcomb} = Cv \times (Tz - To) \times \left(1 - \frac{To}{Tz}\right)$$

Fuente Shapiro, Howard y Moran, Michael. Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Ed.

v) Exergía que acompaña a la transferencia de calor durante la compresión:

$$a_{qcomp} = \frac{Cp}{n_1 \times (Ta - Tc) \times \left(1 - \frac{To}{Tc}\right)}$$

Valero, A. Lozano: "Los balances de energía libre, entropía, Exergía", Facultad de Química, España 1987

6. CÁLCULO Y GRAFICOS:

Tabla de estados Térmicos:

n	4000	3800	3600	3400	3200	3000
p_a						
T_a						
γ_r						
p_c						
t_c						
μ_r						
1er term						

U_c						
U_c''						
2do term						
U_z						
T_z						
P_z						
P_z'						
T_z'						
P_b						
T_b						

Tabla de cálculos exergéticos:

n	4000	3800	3600	3400	3200	3000
qi						
aqi						
Wx						
Wc						
Wn						
η						
aqe						
Ana-c						
aa						
ac						
az						
az'						
ab						
ar						
Anc-z						
Anc-z'						
Anz'-b						
Anb-r						
An0-a						
qe						
aqcomb						
aqcomp						

Presentar los siguientes gráficos:

- Consumo específico para las tres posiciones de la mariposa
- Perdidas de energía por el sistema de refrigeración para las tres posiciones de la mariposa
- Potencia al freno para las tres posiciones de la mariposa
- Eficiencia efectiva para las tres posiciones de la mariposa

7. CONCLUSIONES:

Se plantearan las conclusiones después de analizar los resultados del ensayo

8. ANEXOS

a. Tabla de calor especifico molar medio de los gases de combustión a Volumen constante

Temperatura °C	Aire	O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	CO
0	20.758	20.959	20.704	27.545	25.184	20.808
100	20.838	21.223	20.733	29.797	25.426	20.863
200	20.984	21.616	20.800	31.744	25.803	20.988
300	21.206	22.085	20.972	33.440	26.260	21.202
400	21.474	22.563	21.185	34.935	26.765	21.474
500	21.780	23.019	21.449	36.258	27.315	21.184
600	22.090	23.446	21.729	37.448	27.880	22.110
700	22.403	23.834	22.027	38.498	28.474	22.437
800	22.713	24.187	22.320	39.448	29.077	22.755
900	23.006	24.510	22.609	40.302	29.693	23.061
1000	23.283	24.803	22.881	41.077	30.304	23.350
1100	23.547	25.071	23.140	41.184	30.901	23.622
1200	23.794	25.318	23.392	42.425	31.510	23.877
1300	24.018	25.548	23.626	43.007	32.092	24.112
1400	24.250	25.761	23.848	43.543	32.666	24.338
1500	24.459	25.967	24.057	44.033	33.210	24.543
1600	24.652	26.159	24.250	44.485	33.741	24.736
1700	24.863	26.343	24.434	44.903	34.261	24.916
1800	25.003	26.519	24.602	45.299	34.755	25.187
1900	25.167	26.691	24.764	45.644	35.224	25.246
2000	25.326	26.854	24.916	45.975	35.680	25.393
2100	25.474	27.013	25.052	46.281	36.120	25.535
2200	25.611	27.168	25.200	46.566	36.538	25.665
2300	25.749	27.319	25.326	46.829	36.940	25.791
2400	25.780	27.440	25.447	47.766	37.330	25.908
2500	25.992	27.612	25.560	47.312	37.702	26.021

Fuente: Ismael Rivera Olin, *Análisis Exegético a un motor de combustión interna Otto*, Fuente electrónica .En línea, 18-09-2012

b. Tabla de energía interna de los productos de combustión MJ/kmol

Temperatura	Gasolina, siendo α igual a:			
	1	0.9	0.8	0.7
0	0	0	0	0
100	2.2530	2.2045	2.1881	2.1685
200	4.5766	4.5332	4.4867	4.4285
300	6.3969	6.9165	6.8637	6.7344
400	9.4881	9.3842	9.2584	9.1123
500	12.0740	11.9386	11.7688	11.5713
600	14.7500	14.5759	14.3590	14.1057
700	17.5130	17.2989	17.0422	16.7202
800	20.3090	20.0938	18.7753	19.4024
900	23.2600	22.9688	22.5870	22.1510
1000	26.2262	25.8806	25.4548	24.9534
1100	29.2490	28.8509	28.3743	27.6968
1200	32.3250	31.8871	31.3476	30.7140
1300	35.4430	34.6595	34.3598	33.6585
1400	38.6010	38.0531	37.4199	36.6436
1500	41.6760	41.1969	40.4990	39.6603
1600	45.0140	44.3680	43.6725	42.7048
1700	48.2680	47.5716	46.7580	45.7802
1800	51.5370	50.7924	49.9207	48.0632
1900	54.7835	55.0398	53.1102	51.9929
2000	58.1500	57.3552	56.7154	55.1298
2100	61.4910	60.5947	59.5484	58.2851
2200	64.1840	63.9001	62.7955	61.4671
2300	68.2880	67.2127	66.0498	64.6528
2400	71.2880	70.5432	69.3228	67.8557
2500	74.9760	73.8820	72.6038	71.0678

Fuente: *Ismael Rivera Olin, Análisis Exegético a un motor de combustión interna Otto, Fuente electrónica .En línea, 18-09-2012*

9. BIBLIOGRAFIA:

1. *Gómez, Jose Luis .Termodinámica: Análisis Exergético. España: Reverte, 1990,10-30p, (en línea).*
2. *Ismael Rivera Olin, Análisis Exegético a un motor de combustión interna Otto, Fuente electrónica .*
3. *Luis Lastra Espinoza, Guillermo Lira Cacho, Elizabet Vera Becerra, Danilo Valenzuela Oblitas, Andres Valderrama Romero, Julio Estrada Pita, Max IvanAldave Ruiz. Motores de combustión Interna-Laboratorios y prácticas.1era Edición. Lima-Perú: Instituto de motores de combustión interna.*
4. *Shapiro, Howard y Moran, Michael. Fundamentos de termodinámica técnica.2da Ed.España:Reverte,2004.*

I. CUADROS Y DIAGRAMAS RESUMENES A DIFERENTES RPM

Para los diferentes rpm iniciando en n=3000 rpm.

n(RPM)	3000	2800	2600	2400	2200	2000
Wc(kW)	34,96	33,79	34,83	34,26	33,79	32,13
Ig(kW)	0,74	0,67	0,67	0,63	0,58	0,52
Wt(kW)	34,22	33,12	34,16	33,63	33,21	31,61
Ia(kW)	13,40	11,81	11,45	10,11	8,91	7,86
Wi(kW)	20,82	21,31	22,71	23,52	24,30	23,75
Ii(kW)	9,62	9,18	9,21	8,70	8,46	7,82
Wm(kW)	11,21	12,13	13,50	14,83	15,84	15,93
Ir(kW)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Wf(kW)	10,61	11,53	12,90	14,23	15,24	15,33
Wx(kW)	1,57	2,79	3,68	4,52	5,30	6,07
Ch(kg/h)	2,86	2,77	2,85	2,80	2,77	2,63
Ce(kg/kW-h)	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18	0,17
nt	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
ni	0,61	0,64	0,66	0,70	0,73	0,75
nM	0,54	0,57	0,59	0,63	0,65	0,67
nf	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96
ne	0,30	0,34	0,37	0,42	0,45	0,48

Tabla 1: Cálculos Energéticos a n = 3000 RPM inicial

Fuente: Elaboración propia

Para los diferentes rpm iniciando en n=4000 rpm.

n(RPM)	4000	3800	3600	3400	3200	3000
Wc(kW)	52,32	51,82	47,68	48,54	48,23	47,85
Ig(kW)	1,51	1,47	1,35	1,30	1,20	1,15
Wt(kW)	50,82	50,35	46,34	47,24	47,03	46,70
Ia(kW)	21,81	20,98	17,06	19,86	17,62	19,77
Wi(kW)	29,00	29,37	29,28	27,38	29,41	26,93
II(kW)	14,39	15,17	13,79	14,03	13,95	13,50
Wm(kW)	14,61	14,20	15,49	13,35	15,47	13,43
Ir(kW)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Wf(kW)	14,01	13,60	14,89	12,75	14,87	12,83
Wx(kW)	2,09	3,58	4,71	5,70	6,70	7,54
Ch(kg/h)	4,28	4,24	3,90	3,97	3,95	3,92
Ce(kg/kW-h)	0,31	0,31	0,26	0,31	0,27	0,31
nt	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98
ni	0,57	0,58	0,63	0,58	0,63	0,58
nM	0,50	0,48	0,53	0,49	0,53	0,50
nf	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
ne	0,27	0,26	0,31	0,26	0,31	0,27

Tabla 2: Cálculos Energéticos a n = 4000 RPM

Fuente: Elaboración propia

Y finalmente para $n = 3600$ rpm:

n(RPM)	3600	3400	3200	3000	2800	2600
Wc(kW)	43,93	43,79	43,53	43,38	41,32	40,69
Ig(kW)	1,20	1,13	1,02	0,98	0,89	0,87
Wt(kW)	42,73	42,66	42,50	42,40	40,43	39,82
Ia(kW)	17,66	18,22	17,69	17,92	15,33	13,95
Wi(kW)	25,07	24,45	24,81	24,48	25,10	25,87
II(kW)	11,15	11,89	11,97	11,93	11,37	11,05
Wm(kW)	13,92	12,56	12,84	12,55	13,74	14,83
Ir(kW)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Wf(kW)	13,32	11,96	12,24	11,95	13,14	14,23
Wx(kW)	1,88	3,38	4,52	5,34	6,16	7,08
Ch(kg/h)	3,60	3,58	3,56	3,55	3,38	3,33
Ce(kg/kW-h)	0,27	0,30	0,29	0,30	0,26	0,23
nt	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98
ni	0,59	0,57	0,58	0,58	0,62	0,65
nM	0,56	0,51	0,52	0,51	0,55	0,57
nf	0,96	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96
ne	0,30	0,27	0,28	0,28	0,32	0,35

Tabla 3: Cálculos Energéticos a $n = 3600$ RPM

Fuente: Elaboración propia

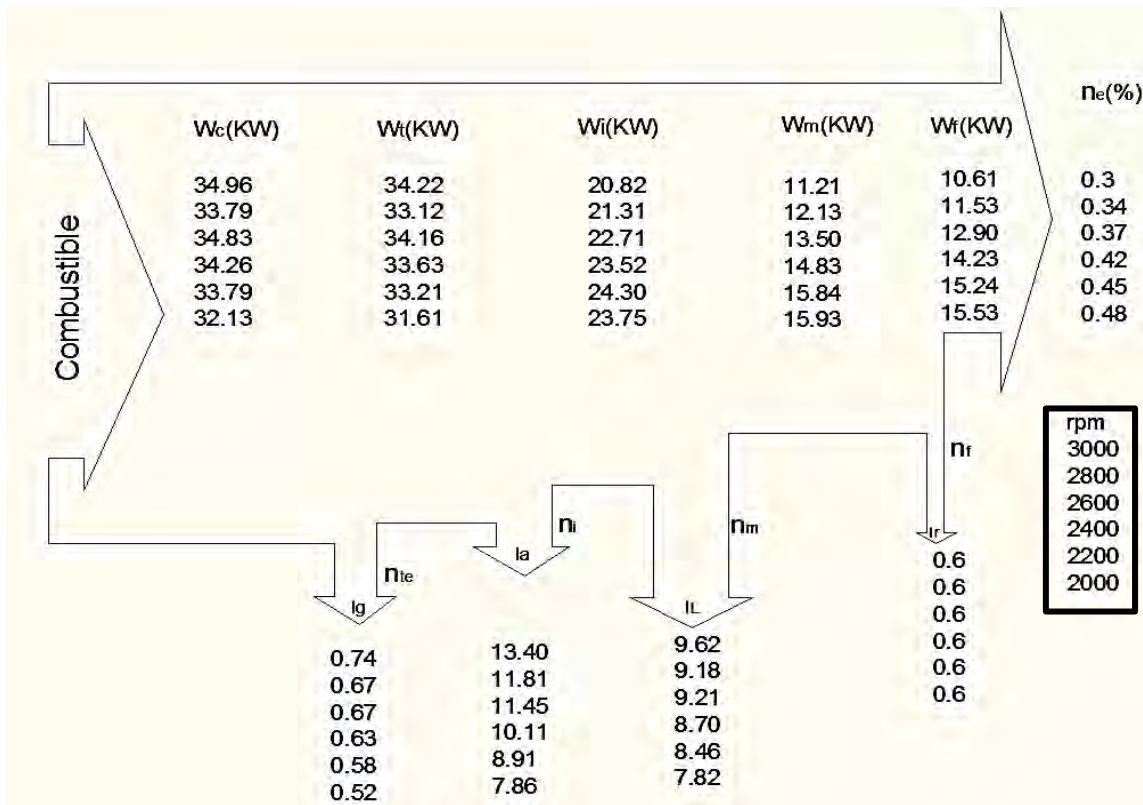


Gráfico 1: Diagrama de Sankey resumen para posición inicial de $n = 3000$ rpm

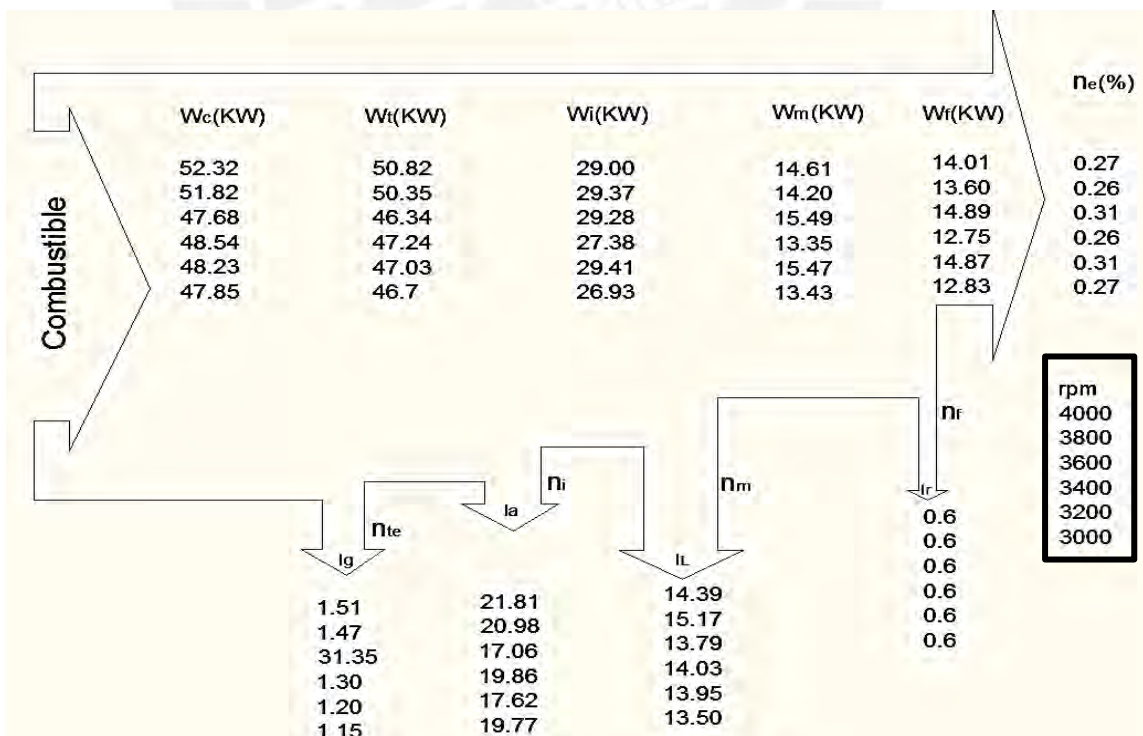


Gráfico 2: Diagrama de Sankey resumen para posición inicial de $n = 4000$ rpm

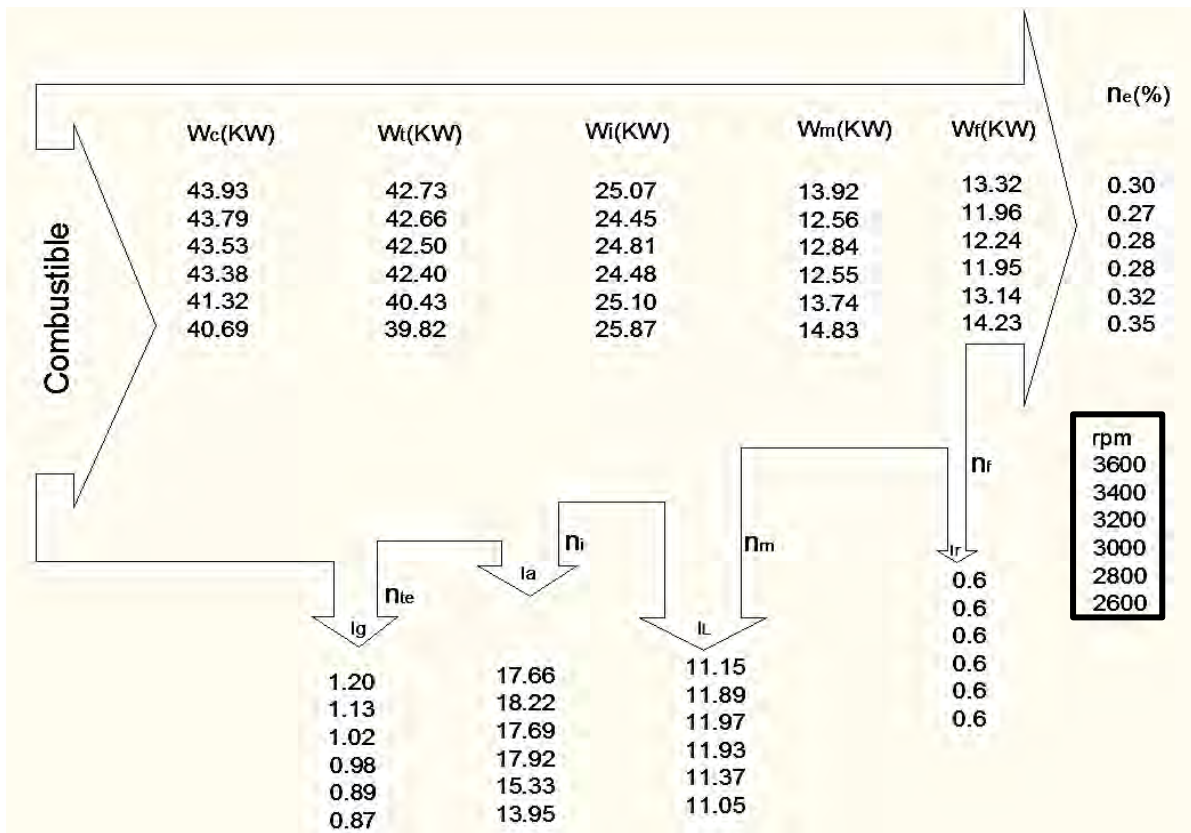


Gráfico 3: Diagrama de Sankey resumen para posición inicial de $n = 3600$ rpm

Para $n = 3000$ rpm.

n	3000	2800	2600	2400	2200	2000
qi	1838,41	1836,88	1835,73	1834,90	1845,93	1841,09
aqi	1715,32	1713,77	1712,61	1711,77	1722,18	1717,36
Wx	711,70	710,95	710,35	709,91	712,27	710,13
Wc	449,52	449,30	449,04	448,84	444,40	444,12
Wn	262,18	261,65	261,31	261,06	267,87	266,00
η	14,261%	14,244%	14,234%	14,228%	14,512%	14,448%
aqe	695,88	694,97	694,25	693,73	698,11	695,37
Ana-c	44,95	44,93	44,90	44,88	44,44	44,41
aa	-6,37	-6,39	-6,42	-6,44	-6,92	-6,95
ac	398,20	397,98	397,72	397,52	393,05	392,77
az	2106,21	2103,94	2102,11	2100,77	2108,60	2102,02
az'	1846,72	1844,71	1843,08	1841,89	1848,92	1843,06
ab	975,03	973,75	972,73	971,99	976,65	972,93
ar	232,36	227,86	222,75	218,94	211,90	213,23
Anc-z	-76,35	-76,08	-75,95	-75,87	-82,52	-81,33
Anc-z'	183,14	183,16	183,08	183,02	177,15	177,63
Anz'-b	32,56	34,560	36,560	38,560	40,560	42,560
Anb-r	-185,6	-184,200	-182,800	-181,400	-180,000	-178,600
An0-a	47,59	43,99	40,39	36,79	33,19	29,59
qe	979,30	978,33	977,60	977,07	982,98	980,01
aqcomb	1631,66	1629,88	1628,44	1627,39	1633,03	1627,92
aqcomp	-0,0030677	-0,0030703	-0,0030732	-0,0030754	-0,0031268	-0,0031301

Tabla 4: Cálculos exergéticos para posición inicial a $n = 3000$ RPM

Fuente: Elaboración propia

Para n =4000 rpm

n	4000	3800	3600	3400	3200	3000
qi	1833,07	1833,81	1835,65	1839,64	1840,92	1840,54
aqi	1710,56	1711,32	1713,08	1716,80	1717,97	1717,58
Wx	714,80	715,22	715,70	716,36	716,44	716,24
Wc	454,19	454,41	453,83	451,83	450,93	450,84
Wn	260,62	260,81	261,87	264,53	265,51	265,40
η	14,218%	14,222%	14,266%	14,379%	14,423%	14,420%
aqe	694,67	695,15	695,94	697,39	697,76	697,52
Ana-c	45,42	45,44	45,38	45,18	45,09	45,08
aa	-5,832	-5,806	-5,875	-6,106	-6,209	-6,219
ac	402,935	403,161	402,568	400,545	399,628	399,542
az	2105,968	2107,223	2108,753	2111,040	2111,403	2110,791
az'	1846,448	1847,561	1848,932	1850,994	1851,329	1850,786
ab	974,644	975,341	976,236	977,632	977,885	977,544
ar	260,834	265,458	269,160	266,735	263,079	261,092
Anc-z	-71,12	-71,16	-72,15	-74,87	-75,96	-75,91
Anc-z'	188,399	188,502	187,671	185,172	184,117	184,092
Anz'-b	36,58	35,88	35,18	34,48	33,78	33,2
Anb-r	-188,56	-188,06	-187,56	-187,06	-186,56	-186,2
An0-a	19,56	25,16	30,76	36,36	41,96	47,5
qe	976,86	977,34	978,35	980,43	981,05	980,80
aqcomb	1631,91	1632,90	1634,03	1635,62	1635,82	1635,34
aqcomp	-0,0030158	-0,0030134	-0,0030198	-0,0030418	-0,0030519	-0,0030528

Tabla 5: Cálculos exergéticos para posición inicial a n = 4000 RPM

Fuente: Elaboración propia

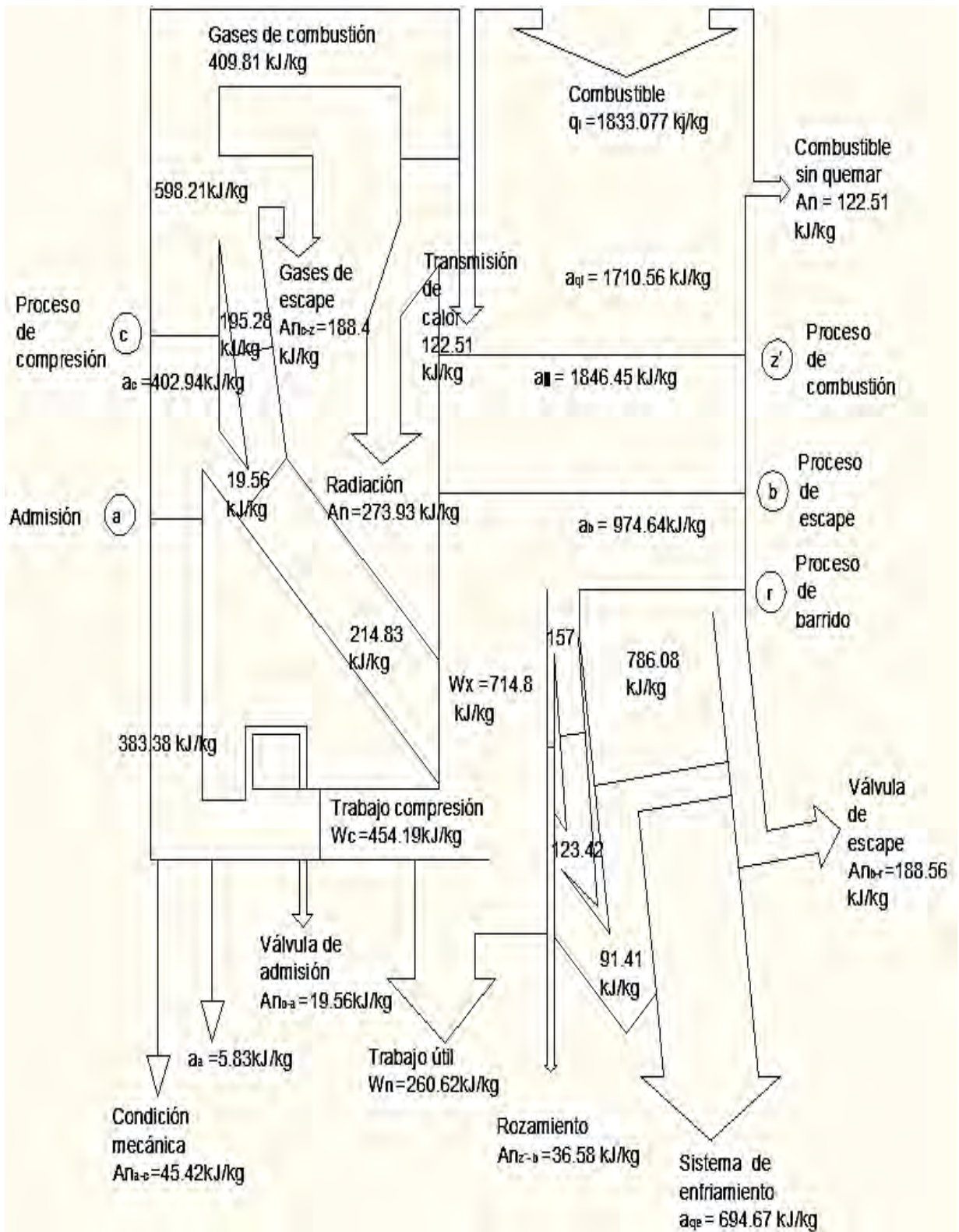


Gráfico 4: Diagrama de Grassman para $n = 4000$ rpm

Fuente: Elaboración propia