

**DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE CÁLCULO TÉRMICO
DE UN MOTOR GASODIESEL CON FORMACIÓN INTERNA DE
LA MEZCLA AIRE GAS Y VALIDACIÓN MEDIANTE
COMPARACIÓN CON RESULTADOS EXPERIMENTALES**

**DEVELOPING OF THE THERMAL CALCULATION OF THE
GASODIESEL ENGINE WITH INTERNAL FORMATION OF THE
MIX AIR GAS AND VALIDATION BY THE EXPERIMENTATION**

Arturo Maza Rubina¹, Luis Lastra Espinoza²

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el desempeño de un modelo matemático de simulación de los distintos procesos que tienen lugar en los motores, los cuales, permiten establecer los índices previsible del ciclo de funcionamiento de un motor de combustión interna de tipo gasodiesel, los métodos de simulación del ciclo operacional empleados en este trabajo han sido tomados de autores soviéticos reconocidos. Este calculo térmico fundamental se ha realizado teniendo en cuenta que la mezcla combustible esta compuesta de GLP + D2 en proporciones de 40% y 60% respectivamente, mientras que el GLP esta compuesto de 50% de propano y 50% de Butano, para obtener las características de operación, se ha desarrollado un programa computacional denominado Ajesa2004. El método de suministro de GLP, es a través de la línea de alta presión, el cual se realiza debido a los fenómenos hidrodinámicos tipo golpe de ariete que se originan en dicha línea, cuando la válvula impelente, durante la descarga del suministro de combustible al caer en su asiento debido a su cinturón de descarga forma una onda de depresión; esta onda hace abrir la válvula de retención denominada RND. Realizamos el análisis comparativo grafico para lo cual se han tomado los valores experimentales obtenidas en el banco de pruebas Newage, montado con un motor diesel Perkins sobrealimentado, los mismos que son necesarios para optimizar el diagrama indicado y las características de carga y de velocidad, obtenidas mediante un programa computacional, tabla 1 y 2.

Palabras claves.- Desempeño, Simulación, Presión, Golpe de ariete, Impelente, Válvula, Motor. Sobrealimentado.

ABSTRACT

The present work treats, on the performance of a mathematical model of simulation of the different processes that take place in the motors, which allow to establish the foreseeable indices of the cycle of operation of a motor of internal combustion of type gasodiesel, the methods of simulation of the operational cycle used in this work have been taken from recognized authors Soviet. This I calculate thermal fundamental has been made having in account that the combustible mixture this composing of GLP D2 in proportions of 40% and 60% respectively, whereas the GLP this compound of 50% of propano and 50% of Butane, to obtain the operation characteristics, has been developed a computational program denominated Ajesa2004. The method of GLP provision is through the line of high pressure, which is made due to the hydrodynamic phenomena type water hammer which they are originated in this iine, when the propelling valve, during the unloading of the provision of fuel

¹Ingeniero egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería, ²Ph.D, Docente investigador de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

when falling in its seat due to its belt of unloading forms a rarefaction wave; this wave makes open the valve of denominated retention RND. We made the grafico comparative analysis for which the obtained experimental values in the proving stand have been taken Newage, mounted with a diesel engine supercharged Perkins, such which they are necessary to optimize the indicated diagram and the characteristics of load and speed, obtained by means of a computacional program, table 1 y 2.

Key words. - Performance, Simulation, Pressure, Water hammer, Propelling, Valve, Engine, supercharged .

INTRODUCCION

Es conocido que los motores de combustión interna consumen ingentes cantidades de energía proveniente del petróleo; de los cuales, los motores de los vehículos constituyen la mayor parte.

Uno de los principales problemas del empleo de los motores de combustión interna, específicamente los motores diesel en diferentes condiciones de operación, es la búsqueda del aumento de la efectividad del funcionamiento y, en particular, de la economía de combustible; ya que éste representa un gran porcentaje del costo de operación del motor diesel y que, depende en gran medida de los regímenes de funcionamiento.

En la actualidad se ha acrecentado los problemas respecto al abastecimiento de petróleo diesel; en el mundo y particularmente en el Perú, debido a ello es cada vez más necesario el reemplazo total o parcial por combustibles alternativos (*GLP, GNC, GNL, BIOGÁS, GASOLINA DE BAJO OCTANAJE, ALCOHOL, ETC.*).

En nuestro país el número de vehículos crece descontroladamente, y esto hace que nuestro parque automotor este compuesto en un gran porcentaje por unidades vehiculares con deficiente estado técnico de los motores diesel, la carencia de sistemas de control efectivo con respecto a las emisiones tóxicas y de humeado de los motores de diversa aplicación, han desmejorado la preservación del medio ambiente, por ello, es necesario encontrar sistemas que contribuyan a disminuir los efectos nocivos de las emisiones producidas por los motores de combustión interna.

En tal sentido una de las alternativas de actualidad es la utilización del gas licuado de petróleo (GLP) en el transporte automotriz. [3].

Considerando esta característica de utilización de los motores vehiculares, una buena alternativa sería, la utilización del GLP en motores operando como diesel-gas, los cuales no necesitan de transformaciones profundas, de esta manera representarían la posibilidad de volver a operar como motores diesel.

Es evidente que durante un tiempo prolongado los motores para vehículos deberán fabricarse para utilizar ambos sistemas (en el caso de los motores que trabajan con petróleo, serán diesel y gaso-diesel), tales soluciones complican el sistema de suministro de combustible, su explotación y mantenimiento; entonces, es de mucha actualidad para el país conocer los métodos y medios que conducen a las soluciones para la modernización de los motores actuales en motores que trabajen con gas, sin variar la construcción existente del motor y de sus sistemas.

Es por esta razón que mediante el presente trabajo pretendemos dar a conocer las bondades del uso del motor funcionando como gasodiesel para lo cual planteamos un programa de cálculo termico donde se muestre con resultados comparativos que mediante el uso de la válvula RND se consiguen los beneficios esperados en cuanto a las características operacionales del motor diesel gas.

FUNDAMENTACION TEORICA

El (G.L.P.) es un hidrocarburo (hidrógeno/carbón) al igual que la gasolina, diesel o combustóleo.

Es considerado de alto poder calorífico, arde con una llama excepcionalmente limpia, quemándose totalmente sin dejar residuos.

Cabe señalar que no produce humo ni hollín. [6]

Desarrollo de un programa de cálculo térmico de un motor gasodiesel con formación interna de la mezcla aire gas y validación mediante comparación con resultados experimentales

Tabla 1. Propiedades del gas licuado de petróleo.

PROPIEDAD	TIPO A	TIPO B
Poder calorífico, MJ/Kg.	45÷45,5	45,5÷46
Porcentaje en masa de contenido de gases	4,0	6,0
Max. de Metano, Etano, Etileno	75,0	34,0
Propano, Propileno	20,0	60,0
Butano, Butileno		
Residuo líquido a 20°C, % en volúmen, max.	1,0	2,0
Presión de saturación en MPa (manométrica) a la temperatura:		
+45°C	1,57	1,57
-20°C	0,157	----

**Clima frío. ** Clima cálido.*

PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL GLP

GL	PPROPANO	BUTANO
Fórmula	C_3H_8	C_4H_{10}
Presión normal (a temp. ambiente)	9 Kg/Cm ²	2 Kg/Cm ²
Punto de ebullición	-42°C	0°C
Poder calorífico	11657Cal/K	11823Cal/Kg
	g	
Peso específico	508 Gr/ L	584 Gr./ L

Tabla 2. Propiedades de combustibles gaseosos.

PROPIEDAD	GAS NATURAL (90/98 % CH 4)	GLP
Densidad, kg/m ³ (kg./L)	0,72-0,75	(0,54)
Poder calorífico, kJ/m ³ (MJ/L)	32,6-36	(24,800)
Coefficiente estequiométrico, M ³ / m ³ (m ³ /kg)	9,3-9,6	(12,7)
Poder calorífico de la mezcla Estequiométrica, (KJ/m ³)	3200-3250	3480
Coefficiente de exceso de aire:		
- Limite inferior de inflamabilidad	1,8-1,9	1,71-1,76
- Limite superior de inflamabilidad	09-0,95	0,83-0,85
Número de octano (método motor)	100-100	90-100
	650-700	550.600
Temperatura de inflación (°C)		

Motores gasodiesel con formación interna de la mezcla de GLP+D2 en la línea de alta presión

Cuando finaliza la inyección de combustible Diesel en la línea de alta presión se forma una onda hidrodinámica, que al ser amortiguada forma picos de vacío en dicha onda.

Debido a la presencia de vacío en la línea de alta presión, la válvula RND se abre, dejando pasar desde la línea de abastecimiento de gas el GLP contenido en su respectivo balón.

La siguiente inyección será de una mezcla de combustible Diesel con GLP. La cantidad de GLP que puede ingresar al cilindro por ciclo depende de las características constructivas tanto de la válvula impelente de la BI, así como de la propia válvula RND [2].

En la línea de alta presión (Fig.1), se instala una válvula de regulación de la presión inicial (RND), la cual, se abre por efecto hidrodinámico cuando se corta la inyección del combustible. Al abrirse dicha válvula ingresa por ella desde el balón de GLP el gas a la tubería de alta presión donde se encuentra la dosis de suministro de Diesel 2 enviada, bombeada por la bomba de inyección del motor.

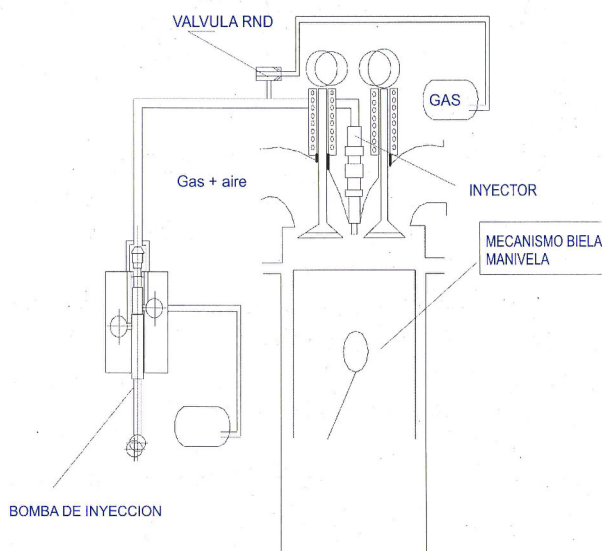


Fig. 1 Gasodiesel de cuatro tiempos con formación interna de la mezcla.

Organización del proceso gaso diesel con formación interna de la mezcla

En la realización experimental mediante el uso del banco de pruebas NEWAGE con motor Perkins, el sistema de suministro de GLP es mediante el uso de la válvula RND, este sistema consiste en suministrar el GLP directamente a la LAP, aprovechando el efecto de golpe de ariete invertido que se produce al final del proceso de inyección. Este suministro adicional de GLP tiene un efecto importante, porque con esto se incrementa la presión de inyección mejorando así, la combustión y disminuyendo los humos [5].

El sistema de suministro de gas propuesto utiliza como se ha mencionado ya, el fenómeno hidrodinámico (efecto de golpe de ariete invertido) que se produce en la línea de alta presión del sistema de inyección convencional del motor después del cierre de la aguja del inyector, permitiendo que la válvula-regulador, instalada en el racor del inyector, denominada RND, se abra por diferencia de presiones e ingrese una cantidad determinada de gas licuado [4].

CALCULO TERMICO MEDIANTE MODELO MATEMATICO DEL MOTOR DIESEL PERKINS SOBREALIMENTADO USANDO GLP+D2

Cálculo térmico de un motor gasodiesel

Para el cálculo térmico se plantea las siguientes condiciones:

- El motor será de formación interna de la mezcla GLP+DIESEL2, en diferentes proporciones.
- El combustible gaseoso empleado, es el Gas licuado de petróleo, en mezcla con el Petróleo diesel 2.
- Se mantiene la relación de compresión del motor original.
- El cálculo térmico se realizara para el régimen nominal del motor.
- Para el ingreso del GLP se utilizara la válvula RND.

DATOS DE PARTIDA PARA EL CALCULO TERMICO	VAL
Combustibles empleados:	50
• GLP, compuesto de, % de volumen	50
- CH ₄	0
- C ₃ H ₈	559
- N ₂	
- Densidad del GLP ρ_{gas} , kg/m ³	0,870
• Petróleo diesel compuesto de, en % de masa	0,126
- C	0,004
- H	0,005
- O	0,00005
- S	862
- W	
Densidad ρ_{diesel} , kg/m ³	60
Cantidad de combustible diesel empleado en la mezcla en el régimen nominal en (%)	40
Cantidad de combustible GLP empleado en la Mezcla en el régimen nominal en (%)	0,103
Condiciones ambientales	3
• Presión atmosférica p_o , MPa	293,0
• Temperatura atmosférica T_o , K	0
Condiciones de intercambio de gases	
• Presión de los gases residuales p_r , MPa	0,112
• Temperatura de los gases residuales T_r , K	760
Calentamiento de la carga ΔT , K	10
Condiciones de la formación de la mezcla	
• Coeficiente de exceso de aire en el régimen nominal	2.1
Condiciones de los procesos de compresión, expansión y combustión	
• Índice politropico de compresión n_1	1,332
• Índice politropico de expansión n_2	1,192
• Coeficiente de aprovechamiento de calor en el punto z del diagrama indicado ξ_z	
Condiciones de los parámetros indicados	0,8
• Coeficiente de plenitud del diagrama indicado ϕ_d	0,93

Cálculo térmico del motor Diesel Perkins sobrealimentado - combustible (40%GLP + 60%Diesel 2)

En esta parte del trabajo vamos a tener en cuenta lo siguiente: se ha realizado el cálculo operativo para las condiciones nominales, teniendo en cuenta todos los parámetros expuestos líneas arriba, para no reiterar los cálculos, solamente vamos a mostrar los valores numéricos obtenidos para los parámetros del proceso de admisión, de los demás procesos mostramos solamente las ecuaciones y los rangos establecidos

ya que mediante el programa de simulación obtenemos valores mucho mas precisos, tabla 3.

Composición del combustible

Composición gravimetrica del combustible DIESEL 2:

$$\begin{array}{lll}
 C_{gm} = 0,87 & H_{gm} = 0,126 & S_{gm} = 0,005 \\
 O_{gm} = 0,004 & W_{gm} = 0,00005 & \text{-----}
 \end{array}$$

Composición gravimetrica del GLP:

$$50 \%(C_3H_8) + 50 \%(C_4H_{10})$$

PROPANO	BUTANO	GLP
$C = 0,818$	$C = 0,828$	$C = 0,823$
$H = 0,182$	$H = 0,172$	$H = 0,177$

Composición gravimetrica de la mezcla constituida por:

$$60 \% D2 + 40 \% GLP$$

$$C_{cm} = 0,851 \quad H_{cm} = 0,1464 \quad S_{cm} = 0,003$$

$$O_{cm} = 0,0024 \quad W_{cm} = 0,00003$$

Parámetros fundamentales de la mezcla GLP+D2

Densidad de la mezcla GLP + D2.- La densidad de la mezcla D2 + GLP, se puede calcular a partir de la siguiente formula [4].

$$\rho_m = \rho_{cg} \cdot X + \rho_{cd} \cdot (1 - X)$$

Relación estequiometrica de la mezcla.-

$$l_{om} = \frac{l_{og} \cdot \rho_{cg} \cdot X + l_{od} \cdot \rho_{cd} \cdot (1 - X)}{\rho_{cg} \cdot X + \rho_{cd} \cdot (1 - X)}$$

Poder calorífico de la mezcla GLP+D2.-

$$H_{um} = \frac{H_{ug} \cdot \rho_{gd} \cdot X + H_{ud} \cdot \rho_{cd} \cdot (1 - X)}{\rho_{cg} \cdot X + \rho_{cd} \cdot (1 - X)}$$

Número de cetano del combustible.-

$$N_{cm} = \frac{N_{cg} \cdot \rho_{cg} \cdot X + N_{cd} \cdot \rho_{cd} \cdot (1 - X)}{\rho_{cg} \cdot X + \rho_{cd} \cdot (1 - X)}$$

Modelo de simulación del cálculo térmico de los motores Diesel sobrealimentados a cualquier altitud

Se llama cálculo térmico, al análisis de cada uno

de los distintos procesos que tienen lugar en los motores, los cuales, permiten establecer los índices previsibles del ciclo del motor, basándose en los resultados del cálculo térmico se pueden determinar las principales dimensiones del motor (diámetro del pistón y carrera del pistón) y efectuar un cálculo comprobatorio de sus principales piezas.

Los métodos de simulación del ciclo operacional empleados en este trabajo han sido tomados de varios autores soviéticos entre ellos NN. Patrajaltsev. M.S. Jovaj, y A.S. Orlin [1].

Tabla 3. Resultados de la simulación para la mezcla de 40%GLP + 60%D2.

<i>Nef</i>	<i>K total</i>	<i>Pit</i>	<i>T₀</i>	<i>Roo</i>	<i>P_o</i>	<i>Con d</i>
61.653	1.011	0.92	287.35	1.238	0.102	1
<i>Ha</i>	<i>Pot</i>	<i>Pik</i>	<i>Alfa</i>	<i>Va</i>	<i>Pa</i>	<i>Ta</i>
100	61.002	1.15	2.164	1.029	0.108	325.924
<i>Pc</i>	<i>Tc</i>	<i>n₁</i>	<i>Vc</i>	<i>Pz</i>	<i>Tz</i>	<i>Vz</i>
4.34	818.89	1.332	0.064	9.548	1836.63	0.067
<i>Delta</i>	<i>Rho</i>	<i>Pb</i>	<i>Tb</i>	<i>n₂</i>	<i>Pib</i>	<i>Pe</i>
15.28	1.047	0.37	1088.711	1.192	0.847	0.677
<i>Pm</i>	<i>Ge</i>	<i>Gi</i>	<i>Gcc</i>	<i>Gc</i>	<i>Ga</i>	<i>Hi</i>
0.169	205.488	164.373	37.307	12.535	387.90	0.52 17
<i>η_e</i>	<i>η_m</i>	<i>η_v</i>	<i>Lamb d</i>	<i>Momen</i>	<i>T_{res}</i>	<i>P_{res}</i>
0.417	0.8	0.888	2.2	208.046	760	0.112

SIMULACION MEDIANTE MODELO MATEMATICO DE LAS CARACTERISTICAS DEL MOTOR PERKINS SOBREALIMENTADO UTILIZANDO GLP+D2

Las características de los motores en los regímenes estables se determinan en los bancos especiales provistos de frenos, capaces de absorber la energía que desarrolla el motor, en los límites de todo el campo de regímenes de trabajo y mediante

aparatos de simulación especiales. Para simular las características del motor previamente se deben conocer los índices energéticos operacionales y económicos del motor mediante la simulación de un cálculo térmico.

Los bancos de pruebas utilizados con fines de experimentación y asentamiento del motor, están constituidos por un conjunto de sistemas, equipos e instrumentos los mismos que aseguran el funcionamiento del motor de combustión interna así como la realización de las mediciones.

Estos bancos especialmente equipados sirven para realizar pruebas experimentales y mediciones los mismos que son registrados para elaborar las características del motor. Estas pruebas experimentales son las que permiten determinar los valores del par del motor, de la presión media efectiva, de la potencia desarrollada, de la potencia absorbida por el rozamiento, del consumo de combustible, del rendimiento volumétrico, etc.

Simulación de las características del motor (práctica virtual)

Existe la posibilidad de trabajar sobre una simulación informática del comportamiento de éste equipo, de forma que se pueda "jugar" con el equipo sin limitaciones, pudiendo modificar parámetros que no se podrían variar sobre el equipo real de laboratorio. Este programa denominado AJESA 2004, elaborado con la ayuda de un programador, se ha diseñado para obtener el máximo provecho al trabajo práctico en los estudios técnicos, y proporciona tanto ayuda en línea como información adicional para relacionar más estrechamente la teoría y la práctica.

Hay que tener en cuenta que la principal diferencia entre los cálculos teóricos y los que surgen en una planta o instalación real, radica en la calidad y disponibilidad de datos para llegar a la solución. Los datos de planta pueden ser de mala calidad, poco convincentes, inadecuados o realmente antagónicos según la exactitud del muestreo, el tipo de procedimiento analítico empleado y otros muchos factores. La mayor dificultad del problema estriba en reconocer datos dudosos, obtener datos fiables, y, si es necesario, hacer estimaciones precisas en vez de utilizar datos incorrectos o insuficientes.

Banco de pruebas virtual de ensayo de motores

Debido a las limitaciones de espacio, personal y presupuesto para ampliación de equipos se viene implementando, lo que llamamos el Laboratorio Virtual, que se está decantando como una herramienta poderosísima para el apoyo en la experimentación de los motores de combustión interna.

Se trata de una serie de programas de simulación creados expresamente, para el trabajo práctico en laboratorio. Estos programas constituyen un apoyo de gran valía a las prácticas de laboratorio, pero incluso podría considerarse la utilización de estos entornos de trabajo de forma autónoma en ausencia total del laboratorio "real".

El desarrollo de herramientas abiertas de software para simular, visualizar y programar equipos o instalaciones costosas, permitirán mejorar el proceso de investigación, hacer posible el ensayo de motores no disponibles en el laboratorio y posibilitar el ensayo "personal" y eliminar las limitaciones de tiempo de ensayo a pie de máquina.

Funcionamiento del programa ajesa 2004 para la obtención de las características de velocidad y de carga del motor

A continuación se detalla la forma cómo se obtiene las curvas características del motor analizado, en primer lugar se ejecuta en el ambiente del visualfoxpro el programa AJESA10, una vez ejecutado este programa se obtiene la base de datos donde se muestra los resultados de esta simulación, donde se incluye todos los parámetros operativos del motor Diesel Perkins, posteriormente se ejecuta el programa AJESA12 y de inmediato se obtiene una base de datos que nos indican las características de altura en este caso la altura al nivel del mar considerado en 100m. Posteriormente se ejecuta el programa AJESA13 que nos permite determinar las características de velocidad para las condiciones establecidas, los cuales, se almacenan en la base RVELOCIDAD, luego se ejecuta el programa AJESA14, lo que nos permite determinar las características de carga del motor Diesel Perkins para las condiciones establecidas, estos datos son almacenados inmediatamente en la base denominada RCCARGA, de donde nos basamos para obtener las curvas características del motor en lo referente a las características de velocidad y de

carga, lo que nos va a permitir realizar el análisis comparativo con los datos experimentales.

OPERATIVIDAD DEL PROGRAMA "AJESA-2004", VALIDACION DEL MODELO DE SIMULACION Y RESULTADOS

Requerimientos del programa "ajes-a-2004"

Los resultados que se muestran a continuación, se han obtenido luego de ejecutar el programa principal AJESA10, el procedimiento seguido para la obtención de estas tablas es el siguiente:

Es necesario mencionar que el programa AJESA ha sido elaborado en un LENGUAJE DE PROGRAMACION actualizado y moderno dejando de lado a los anteriormente utilizados como son el Fortran, Turbopascal, Dbase etc. Estamos hablando del FoxPro actualizado el cual se halla en el paquete de programación empresarial VISUALSTUDIO, dentro del cual se encuentra el programa VISUALFOXPRO VERSION 6, y aun mas reciente en el VISUALESTUDIO.NET, donde tenemos el lenguaje de programación VISUALFOXPRO VERSION 8.

Funcionamiento y ejecución del programa "ajes-a-2004"

Este programa de simulación se ha elaborado teniendo en cuenta todas las formulas que involucran este cálculo, formulas ya establecidas en bibliografía especializada para un motor diesel turboalimentado utilizando como combustible la mezcla de (GLP+D2), en cuanto a las características del motor, de la misma manera se han utilizado las formulas establecidas para este caso, adecuandolas para el trabajo del motor como gasodiesel, ya que para cada porcentaje de mezcla el poder calorífico del combustible varia.

En cuanto al funcionamiento del programa se sigue la siguiente secuencia:

- Se ingresa al programa principal ajesa10 y se ejecuta mediante el botón ejecutar, inmediatamente el programa nos pregunta INDICAR SI YA INGRESO LOS DATOS INICIALES DEL MOTOR DIESEL PERKINS

SOBREALIMENTADO S/N, en caso de que ya ingresó los datos iniciales, presione S, en caso de que no haya ingresado los datos iniciales del motor, la opción N, nos permite ingresar los datos de cualquier motor, y las condiciones a las que va a trabajar.

- A continuación el programa nos pide las condiciones atmosféricas a las que se va a trabajar ya sea INA o PERU, para lo cual, presionamos N o P.
- Ahora el programa nos pide el porcentaje de combustible (GLP+D2) con el que va a trabajar el motor ya sea A-B-C-D-E o F.
- De acuerdo al porcentaje de GLP y D2 en la mezcla, presionaremos la letra que corresponda, y de inmediato el programa ya con todas las condiciones establecidas no arrojará los resultados de la simulación requeridos, la cual se muestra en la tabla TRESULTADOS.
- Esta tabla de resultados, se almacena en la base de datos utilizándose en el programa AJESA12, ejecutándose y obteniendo las características de altura de este motor siendo almacenados en CULTURA.
- A continuación se ejecuta el programa AJESA13 para obtener las características de velocidad siendo almacenado en la base de datos RCVELOCIDAD.
- Luego se ejecuta el programa AJESA 14 para obtener las características de carga del motor en análisis igualmente almacenados en la base de datos RCCARGA.

En base a estas tablas y para cada caso, se van a elaborar las curvas características del motor en la hoja de cálculo EXCEL, los mismos que serán trasvasados e insertados en el AUTOCAD para obtener en formato dwg., las curvas características.

Resultados de la simulación del cálculo térmico

Los resultados que se muestran a continuación, se han obtenido luego de ejecutar el programa principal AJESA10, según se muestra en el administrador de proyectos del Microsoft visual FoxPro, al hacer clic en *todos*, se muestra una base de datos, en la parte correspondiente a *Tablas libres*, ahí encontramos en primer término la tabla denominada TRESULTADOS, de esta tabla mediante la aplicación del programa AJESA12, se obtiene la tabla CULTURA,

posteriormente se ejecuta el programa AJESA13, y se obtiene la tabla RVELOCIDAD, luego se ejecuta el programa AJESA14 y se consigue la tabla RCCARGA, con el programa AJESA15 se logra la tabla RCCARGA1, inmediatamente se ejecuta el programa AJESA16, AJESA17, AJESA18, AJESA19, en forma secuencial y obtenemos las tablas, RCMEZCLA, CREGULACION, RCECONOMIA, y RCECONOMIA1 respectivamente. De estas tablas vamos a considerar por su importancia para el análisis comparativo con los datos experimentales; lo siguiente:

TRESULTADOS.- En esta tabla se muestran los valores de todos los parámetros del motor diesel Perkins sobrealimentado.

RCVELOCIDAD.- Se muestra los valores para las características de velocidad.

RCCARGA.- En esta tabla se observa los valores para las características de carga del motor.

RCMEZCLA.- En esta tabla se observa los valores para la obtención de las características de mezcla.

RCECONOMIA.- Finalmente en esta tabla se muestran los valores para la elaboración de las características de economía del motor analizado. Para la obtención de estas tablas en Excel, se ha capturado los valores tabulados en la base de datos del administrador de proyectos, con la opción guardar como HTML- Guardar archivo y ver en el explorador Web, seleccionamos toda la tabla luego copiamos y posteriormente pegamos como un archivo de extensión xls, esto se muestra a continuación.

Validación del modelo para el motor diesel perkins sobrealimentado usando GLP con Diesel-2

Ingreso de datos de partida

Según el procedimiento seguido por el programa, al ejecutar AJESA 10 en primer término se toma en cuenta el ingreso de los datos de partida, de acuerdo a la siguiente secuencia:

INDICAR SI YA INGRESO LOS DATOS INICIALES DEL MOTOR DIESEL PERKINS SOBREALIMENTADO, en este caso la respuesta

es SI, el programa considera los datos incluidos en él, para su ejecución, todas las condiciones establecidas para el motor del BANCO NEWAGE.

Seguidamente el programa pregunta:

A QUE CONDICIONES ATMOSFERICAS VA A TRABAJAR EL MOTOR AHORA INA/PERU/OTRO. En este caso la respuesta es INA, el programa continúa y pregunta:

CON QUE PORCENTAJE DE COMBUSTIBLE (GLP+DIESEL2) TRABAJARA EL MOTOR A/B/C/D/E/F.

Es necesario mencionar que estos porcentajes de la mezcla combustible corresponden a 10-90, 20-80, 40-60, 60-40, 80-20, 100% en porcentajes de petróleo DIESEL2 y de GLP respectivamente, en este caso para la validación vamos a trabajar con la alternativa "D", es decir, con 40% de GLP y 60% de Petróleo DIESEL2, en tal sentido la respuesta será "D". Inmediatamente el programa empieza a trabajar y luego nos arroja los resultados de la simulación en la tabla TRESULTADOS.

Posteriormente ejecutamos el programa AJESA12, para las características de altura, luego ejecutamos los programas AJESA 13, AJESA14, y AJESA 15, los cuales nos muestran los resultados de la simulación en lo correspondiente a las características de velocidad, características de carga y características de mezcla, y cuyos resultados se exponen en las tablas siguientes.

Porcentaje de GLP y Diesel 2 en la mezcla

En cuanto al porcentaje de combustible, en esta oportunidad vamos a utilizar la alternativa "D", es decir, 40% GLP y 60% petróleo diesel2, el poder calorífico de la mezcla es de 43643 kJ/kg, esta mezcla será introducida en la cámara de combustión mediante el inyector; el GLP de acuerdo a este sistema de formación de la mezcla interna es introducido directamente en la línea de alta presión a través de la válvula RND, debido a las ondas de depresión que se forman en esta línea debido al cierre de la válvula impelente, las cuales abren la válvula RND. Es un poco difícil predecir la cantidad de GLP que pueda ingresar por tal razón vamos a establecer que de alguna manera introducimos a través de esta válvula

una cantidad de 40% de GLP respecto a la mezcla, siendo variable este porcentaje tal como nos indica el protocolo de ensayos.

Resultados de la validación (tablas)

Para la validación de la simulación mediante el

programa AJESA10, en esta parte vamos a tener en cuenta las tablas correspondientes a TRESULTADOS, CULTURA, CVELOCIDAD, Y CCARGA, que son las características más importantes para poder realizar el análisis comparativo, debido a la gran cantidad de tablas que se obtienen y que son similares ver tabla 4 y 5.

Tabla 4. Resultados de la validación

Nefb	Ktotalb	Pitb	T0b	Roob	Pob	Co nd	Ha	Potenci	Pikb	Alfab
61.641	1.011	0.92	287.35	1.238	0.102	I	100	60.99	1.15	2.171
61.635	1.011	0.92	287.35	1.238	0.102	I	100	60.984	1.25	2.366
61.636	1.011	0.92	287.35	1.238	0.102	I	100	60.986	1.35	2.559
61.637	1.011	0.921	287.35	1.238	0.102	I	100	60.987	1.45	2.752
61.647	1.011	0.921	287.35	1.238	0.102	I	100	60.996	1.55	2.931
61.648	1.011	0.921	287.35	1.238	0.102	I	100	60.997	1.65	3.092
61.643	1.011	0.921	287.35	1.238	0.102	I	100	60.992	1.75	3.251
61.642	1.011	0.92	287.35	1.238	0.102	I	100	60.991	1.85	3.404
Nefb	Ktotal b	Pitb	T0b	Roob	Pob	Ha	Potenci	Pikb	Alfab	
61.641	1.011	0.92	287.35	1.238	0.102	100	60.99	1.15	2.171	
61.635	1.011	0.92	287.35	1.238	0.102	100	60.984	1.25	2.366	
61.636	1.011	0.92	287.35	1.238	0.102	100	60.986	1.35	2.559	
61.637	1.011	0.921	287.35	1.238	0.102	100	60.987	1.45	2.752	
61.647	1.011	0.921	287.35	1.238	0.102	100	60.996	1.55	2.931	
61.648	1.011	0.921	287.35	1.238	0.102	100	60.997	1.65	3.092	
61.643	1.011	0.921	287.35	1.238	0.102	100	60.992	1.75	3.251	
61.642	1.011	0.922	287.35	1.238	0.102	100	60.991	1.85	3.404	
0.441	Efindica da	Eefectiva a	Efmecanic	Efivolumet	Lambdab	Momento	Tresb	Pres b		
387.867	0.5231	0.418	0.8	0.888	2.2	208.005	760	0.112		
411.1753	0.5378	0.43	0.8	0.895	2.2	207.985	760	0.116		
433.7985	0.5515	0.441	0.8	0.9	2.2	207.99	750	0.12		
455.81	0.5646	0.451	0.799	0.905	2.2	207.993	750	0.124		
477.2882	0.5745	0.459	0.799	0.909	2.2	208.026	750	0.129		
498.2951	0.5806	0.464	0.799	0.913	2.2	208.029	750	0.133		
518.8566	0.5864	0.468	0.799	0.917	2.2	208.011	750	0.138		
539.0156	0.5912	0.472	0.799	0.92	2.2	208.008	750	0.142		
Vab	Pab	Tab	Pcb	Tcb	N1b	Vcb	Pzb	Tzb	Vzb	Deltab
1.029	0.108	325.943	4.34	818.94	1.332	0.064	9.548	1829.847	0.067	15.288
1.029	0.118	335.376	4.732	842.831	1.332	0.064	10.41	1802.821	0.064	16.008
1.029	0.127	344.351	5.124	865.649	1.332	0.064	11.274	1782.138	0.062	16.667
1.029	0.137	352.917	5.518	887.525	1.333	0.064	12.14	1766.34	0.06	17.271
1.029	0.147	361.107	5.847	898.43	1.329	0.064	12.864	1746.392	0.058	17.708
1.029	0.157	368.953	6.101	898.068	1.321	0.064	13.422	1720.788	0.057	17.985
1.029	0.166	376.491	6.358	899.026	1.314	0.064	13.988	1698.981	0.056	18.254
1.029	0.176	383.746	6.604	899.003	1.307	0.064	14.529	1678.773	0.056	18.49

Tabla 5. Característica de altura alternativa "d" 40%glp+60%petroleo diesel.

Meb	Neb	Pikb	Alfab	Efib	Efivolb	Efeb
208.005	60.99	1.15	2.171	0.523	0.888	0.418
Geb	Gib	Gccb	Gcb	Gab	Ha	Efmb
197.133	157.682	36	12.023	387.8	100	0.8
67						

PRESENTACION Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS APLICANDO AJESA 13 Y AJESA14

100% D2 alternativa "F" n nom=2250 rpm.

Análisis comparativo gráfico

Para efectuar el análisis comparativo gráfico vamos a tener en consideración las tablas 1.28, 1.29, 1.30 y 1.31, donde se han considerado los valores tanto experimental como simulados, tanto para una mezcla de D2+GLP considerando la alternativa "D" así como para D2 alternativa "F", es importante resaltar que en ambos casos se ha adoptado la velocidad de rotación nominal de 2250 RPM, según el protocolo de pruebas y los valores simulados, de tal manera de aproximarnos a los valores asignados en el protocolo de ensayos, con las tablas indicadas se elaboran los gráficos de las características de velocidad y de carga del motor en análisis, estos gráficos se muestran en las figuras VI-1 al VI-12, estos gráficos han sido elaborados en AUTOCAD versión 2005, en base a los datos tabulados en la hoja de cálculo Microsoft EXCEL, y posteriormente se realiza el análisis comparativo.

Para realizar el análisis comparativo enumeramos a continuación la secuencia seguida.

Características de velocidad

- Análisis de las características de velocidad experimental: n nom=2250 rpm y características de velocidad simuladas GLP+D2 alternativa "D" n nom=2250 rpm.
- Análisis de las características de velocidad experimental: n nom=2250 rpm y características de velocidad simuladas

Características de carga

Análisis características de carga experimental n nom=2250 y características de carga simuladas GLP+D2 "D" n nom=2250, ver fig. 2.

- Características de carga exp-n nom=2250 y simul n nom=2250 GLP+D2 "D" n = 1250 rpm.
- Características de carga exp-n nom=2250 y simul n nom=2250 GLP+D2 "D" n = 1500 rpm
- Características de carga exp-n nom=2250 y simul n nom=2250 GLP+D2 "D" n = 2000 rpm.
- Características de carga exp-n nom=2250 y simul n nom=2250 GLP+D2 "D" n = 2250 rpm.

Análisis características de carga experimental n nom=2250 y características de carga simuladas 100% D2 "F" n nom=2250

- Características de carga exp-n nom=2250 y simul n nom=2250 100% D2 "F" n = 1500 rpm.
- Características de carga exp-n nom=2250 y simul n nom=2250 100%D2 "F" n = 2000 rpm.
- Características de carga exp-n nom=2250 y simul n nom=2250 100%D2 "F" n = 2250 rpm.
- Características de carga exp-n nom=2250 y simul n nom=2250 100%D2 "F" n = 2400 rpm.

CONCLUSIONES

Del análisis comparativo se desprende, que el programa AJESA2004 funciona adecuadamente con un margen mínimo de error.

Esta simulación matemática a través de este programa ha sido empaquetado para las condiciones establecidas para el motor DIESEL PERKINS para otro tipo de motores será necesario hacer algunos ajustes mínimos.

Es importante realizar un trabajo experimental con el motor DIESEL PERKINS en condiciones más apropiadas para obtener datos más precisos.

Inicialmente ejecutamos el programa y obtenemos todos los datos posibles tanto para 100% D2, como para la mezcla de 60%D2+ 40%GLP, esto nos permite visualizar todos los datos posibles, de donde posteriormente al hacer el análisis comparativo podemos hallar, con los valores experimentales como datos de entrada, los valores simulados correspondientes.

Existe limitaciones en los programas Excel y Autocad para graficar las curvas características ya que las escalas utilizadas para los diferentes parámetros son variables, por tal razón nos hemos adecuado a los programas de tal manera que estos reflejen la variación real existente entre los valores virtuales y los valores experimentales.

Utilizar el sistema de regulación de la presión inicial que se consigue con la válvula RND es beneficioso, ya que nos permite disminuir el consumo de combustible para una misma potencia tal como se observa en las curvas características simuladas como de ensayo.

Con este programa se puede obtener las características de un motor cualquiera y a diferentes condiciones de funcionamiento y con diferentes proporciones de combustible (GLP+DIESEL2). Es necesario incentivar la fabricación de este tipo de válvulas para su uso masivo en los motores DIESEL ya que definitivamente es un método económico de fácil instalación y evita la contaminación ambiental.

Mediante la simulación con AJESA2004, se puede predecir el funcionamiento de un motor Diesel

Turbo alimentado para diferentes alturas a nivel del mar.

Sería fundamental propagar el uso del sistema de regulación de la presión inicial a través de la válvula RND para mejorar y disminuir la contaminación ambiental del parque automotor en diferentes entidades del estado.

RECONOCIMIENTO

Por sus enseñanzas valiosas y muy reconocidas a los Doctores. NN. Patrakhaltsev, Luis Lastra y Guillermo Lira.

REFERENCIAS

1. **Patrakhaltsev, N. N.**, "Cálculo térmico del motor de combustión interna" Ed. Universidad de la Amistad entre los pueblos. Moscu 1981.
2. **Estrella Camacuari.**, "Empleo de Gas Licuado de Petroleo en un motor Diesel multicilindrico". Tesis profesional, Lima-Perú.
3. **Vera Becerra, E.**, "Diseño Térmico de un turbo compresor para sobrealimentar al motor Perkins modelo 63544 para un incremento de potencia de 50%". Tesis-UNI.
4. **Lira Cacho, G., Lastra Espinoza, L. A.**, "Empleo del gas licuado de petróleo en los motores Diesel", X Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines, Lima, 1991.
5. **Patrakhaltsev, N. N.**, "Sistema de alimentación del combustible Diesel con regulación de la presión inicial de inyección", (en ruso), Revista Dvigatelstroenie, Vol. 8, pp. 32-35, Moscú, 1980.
6. **Patrakhaltsev N. N.**, "Tópicos selectos sobre los regímenes de cargas parciales y de vacío". Sección de Post-grado, FIM-UNI, Lima-Perú, 1996 - Marzo 1998.

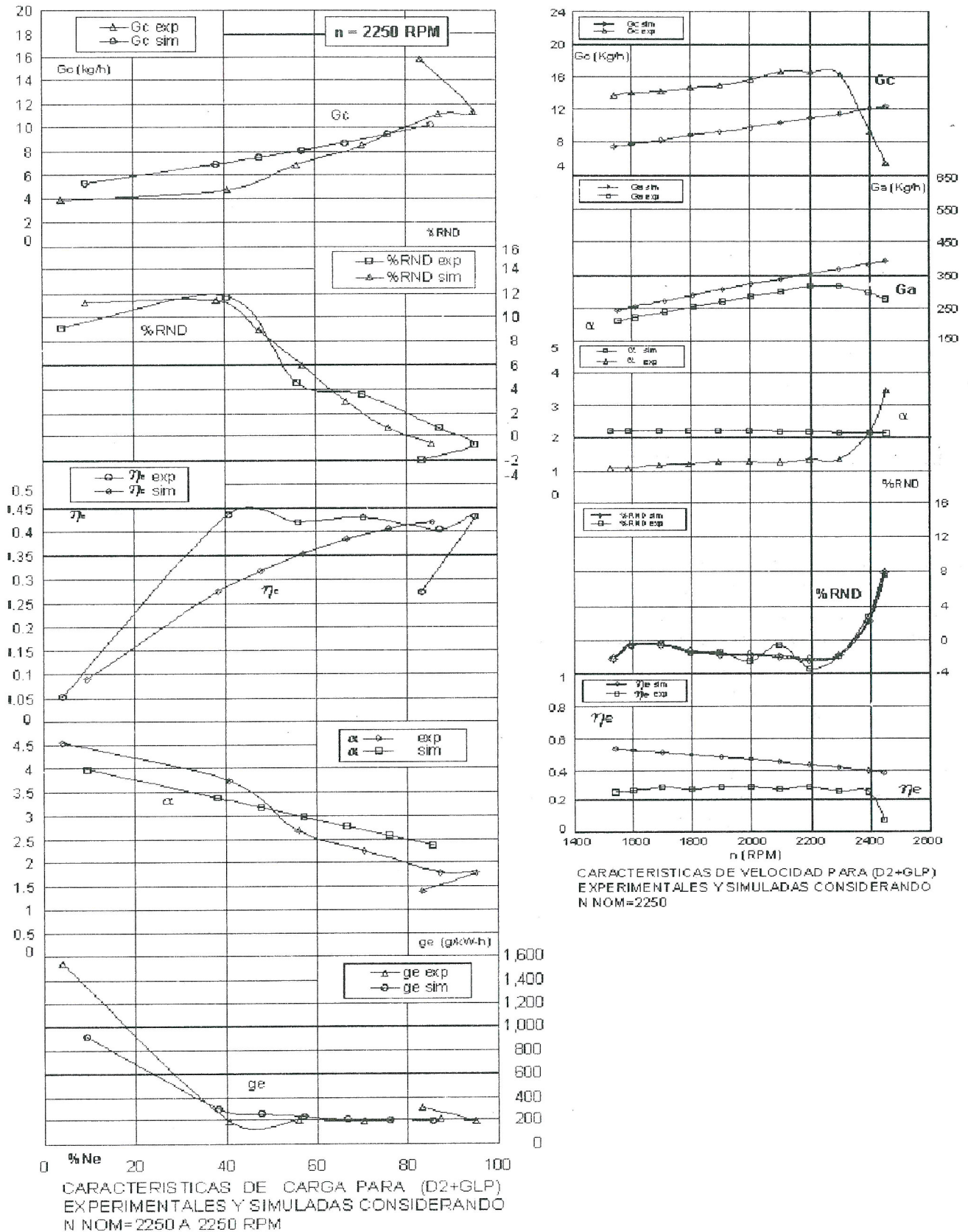
Correspondencia: mazitarubi@hotmail.com

Recepción de originales: junio 2006

Acepción de originales: setiembre 2006

Desarrollo de un programa de cálculo térmico de un motor gasodiesel con formación interna de la mezcla aire gas y validación mediante comparación con resultados experimentales

Fig. 2 Características de carga considerando N NOM=2250 RPM y de velocidad.



ADOLFO LA ROSA TORO G.

Es Doctor de la Universidad de Alicante desde 2001, obtuvo su grado de Maestría en Ciencias, con mención en Química en la Universidad Nacional de Ingeniería. Ha publicado más de 10 trabajos en revistas internacionales y nacionales en la especialidad de electroquímica de materiales y técnicas de remediación ambiental. Es profesor principal e investigador en la Escuela Profesional de Química y dirige el Laboratorio de investigación de Electroquímica Aplicada de la Facultad de Ciencias de la UNI.

JOSÉ L. VÁZQUEZ

Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de Madrid (1972). Ha sido profesor en la Universidad de Murcia en 1969, en la Universidad Autónoma de Madrid desde 1970 hasta 1981 y en la Universidad de Alicante a partir de 1982. Actualmente es Catedrático de Química Física de la UNI, Ha publicado más de 100 trabajos en revistas y libros de la especialidad y es referee de las revistas: *Journal of Electroanalytical Chemistry*, *Surface Science*, *Journal of Power Sources* y *Journal of Applied Polymer Science*, *Talanta* y *Synthetic Metals*.

CÉSAR QUIJADA

Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Alicante, es como profesor titular del departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la EPS de Alcoy (Universidad Politécnica de Valencia). Ha publicado más de 20 artículos en revistas internacionales en los campos de la electrocatálisis y electroquímica de polímeros

EMILIA MORALLÓN

Doctora por la Universidad de Alicante 1993 es Profesora Titular del Departamento de Química Física e investigadora del Instituto Universitario de Materiales de la Universidad de Alicante. Ha publicado más de 70 trabajos en revistas internacionales y trabaja en la actualidad en las diferentes líneas de investigación del grupo de Electrocatálisis y Electroquímica de Polímeros

FRANCISCO MONTILLA

Obtuvo su Doctorado el 2003 en la Universidad de Alicante, Ha publicado más de 20 artículos en revistas de la especialidad de electroquímica. En el año 2004 fue galardonado con el Premio de Jóvenes Investigadores que concede el Grupo de Electroquímica de la RSEQ. Tiene un contrato Post-

doctoral "Juan de la Cierva" de Ministerio de Educación y Ciencia para realizar trabajos sobre la caracterización de polímeros conjugados luminiscentes en el Instituto de Biología Molecular y Celular de la Universidad Miguel Hernández.

EDSON PLASENCIA SÁNCHEZ

Egresado de la Facultad de Ciencias, MgSc en Ambientales y docente investigador de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

ADOLFO POSADAS

Investigador del Centro Internacional de la Papa, División de manejo de recursos Naturales.

SERGIO CLEMENTE, VILLANUEVA GUZMÁN

Estudiante del octavo ciclo de la FIQT de la UNI e integrante del Centro de Investigación y Desarrollo del Gas (CIDGAS), como resultado del programa de pasantía de investigación implementado en el centro. El financiamiento fue brindado por el Instituto de Investigación de la FIQT mediante el proyecto: Diseño de Redes de Distribución para Gas Natural.

JACK, ZA VALETA ORTIZ

Obtuvo el título de Ingeniero Químico en la Universidad Nacional de Ingeniería, en el año 2004. Se desempeñó como investigador en el Centro de Información Tecnológica de la Serena-Chile -2004. Tiene conocimientos en el área de simulación de procesos con especial énfasis en la Termodinámica del Equilibrio de fases. Trabajó en el proyecto: "Consistencia Termodinámica de Datos Incompletos en Sistemas Supercríticos", usando diversas herramientas computacionales de optimización, tales como los algoritmos genéticos, en un proyecto financiado por el gobierno chileno. Los resultados de ese trabajo ya han sido publicados en los *Journals Ind. & Eng. Chem. Res.* y *Fluid Phase Equilibria*. Actualmente es Profesor Auxiliar e integrante del Centro de Investigación y Desarrollo del Gas (CIDGAS) de la Facultad de Ingeniería Química y Textil de la UNI.

ALEX WILLY, PILCO NUÑEZ

Ingeniero Químico Tecnólogo y especialista en Tecnología de la Síntesis Orgánica y Petroquímica en la Academia Estatal de Petróleo, República de Azerbaiján, en 1993. Realizó estudios de Maestría en Ingeniería Química en la UNI. Actualmente es Profesor Auxiliar e integrante del Centro de

Investigación y Desarrollo del Gas (CIDGAS) de la Facultad de Ingeniería Química y Textil de la UNI. Inspector de Sistemas de Suministro de Gas en Redes de Polietileno, certificación otorgada por ICONTEC Bogotá-Colombia, en 2004. En el ámbito profesional realiza diversos trabajos en la actividad de hidrocarburos.

**LUIS EMILIO HUAMANCHUMO
DE LA CUBA**

Candidato a Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería de Sistemas, Licenciado en Estadística de la Universidad Nacional de Ingeniería y Economista de la Universidad del Pacífico. Ha desarrollado el Sistema de Información Estadístico del Poder Judicial. Catedrático de la Escuela Profesional de Ingeniería Estadística de la UNI e Instructor de la Escuela Nacional de Estadística e Informática-INEI, Consultor y Metodólogo. Cuenta con significativas publicaciones en diversos campos de la Estadística Aplicada, Econometría, Psicometría y Psicología Educativa.

SALOME GONZALES CHAVEZ

Dr. Ingeniero Industrial por la Universidad de Oviedo- España. Ingeniero Mecánico Electricista por la Universidad Nacional de Ingeniería-Perú. Sus áreas de investigación y consultoría son: Elaboración de Modelos de Predicción de Variables Energéticas y Económicas, para COES, PEPSA, CESEL, MINEM. Optimización Energética de Procesos, Cogeneración, Parques de Aerogeneración, Planificación Energética y Modelización Numérica de Sistemas Energéticos. Es Profesor de Postgrado en la Universidad Nacional de Ingeniería, Maestrías de Energética, Gas Natural y Diseño de Máquinas. Actualmente es Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería- Perú.

**ROMMEL BENJAMÍN COTACALLAPA
VERA**

Ingeniero Mecánico, egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería- Perú en el año 2000, titulado en el año 2006. Realizó actividades de investigación y docencia en la Universidad Nacional del Altiplano (Puno), desde el año 2001. Actualmente se desempeña como Ingeniero Residente en la empresa minera VICE S.A.C.

JOSÉ CHIROQUE BALDERA

Ingeniero Mecánico de Fluidos, Egresado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Candidato a Master en Ciencias con Mención en

Energética de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNI. Actualmente se desempeña como Investigador en ITDG- Soluciones Prácticas, en Lima-Perú.

CARLOS CABRERA

Docente Investigador de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera Metalúrgica y Geografía de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos

UBALDO YANCACHAJLLA TITO

Egresado de la Maestría de Diseño de Maquinas, Facultad Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería, y Docente de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno del Perú.

JORGE DEL CARPIO SALINAS

Ingeniero Electrónico egresado de la UNI, con estudios de Maestría Disertación aprobada con la mención "Distinción" y Doctorado, Disertación aprobada con la mención "Gran Distinción" en la Facultad Politécnica de Mons - Bélgica. Ha desarrollado trabajos relacionados al área de Biomédica y Sismología. Profesor investigador de Antegrado y Posgrado de la Sección de Electricidad y Electrónica, Profesor de la Universidad San Martín de Porres. Participa actualmente como Asesor de la Presidencia del CONCYTEC y en el desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo de cooperación nacional e internacional, así como en auditorías y consultorías.

LASTRA ESPINOZA, LUIS

Efectuó estudios de Ingeniería Mecánica y de Doctorado en la especialidad de Motores de Combustión Interna en la Universidad Rusa de la Amistad de los Pueblos (1978 y 1993). Realizó estudios de posgrado en la especialidad de Vehículos a Rueda y a Oruga en el Instituto de Automóviles y Carreteras de Moscú (MADI), 1986. Profesor principal a dedicación exclusiva de la Facultad de Ingeniería Mecánica (UNI). Miembro del Instituto de Motores de Combustión Interna de la Facultad de Ingeniería Mecánica.