

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



"ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL AHORRO DE  
COMBUSTIBLE EN VEHICULOS DE CARGA  
CON MOTORES DIESEL MEDIANTE EL  
SISTEMA DE DESCONEXION DE CILINDROS"

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

JUAN ELMER GRADOS CALDERON

PROMOCION: 1988-II

LIMA - PERU

1994

## INDICE

	Página
PROLOGO.....	1
CAPITULO I	
INTRODUCCION.....	3
CAPITULO II	
DIAGNOSTICO DEL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL	
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Características de la composición del parque automotor.....	7
2.3 Evaluación del estado técnico del parque automotor.....	9
2.4 Influencia del estado técnico del parque automotor en la contaminación ambiental.....	10
2.5 Trabajo en altura de los motores Diesel.....	18
CAPITULO III	
DESCRIPCION Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DESCONEXION DE CILINDROS	
3.1. Antecedentes.....	20
3.2. Fundamento teórico del trabajo en vacío de los motores Diesel.....	21
3.3. Métodos de desconexión de cilindros empleados en los motores Diesel.....	27

3.3.1.	Interrupción del suministro, derivando al tanque de almacenamiento antes que ingrese a la bomba de inyección.....	28
3.3.2.	Interrupción del suministro por posición del émbolo buzo.....	29
3.3.3.	Interrupción del suministro por deshermetización de la línea de alta presión.....	35
3.3.4.	Corte de suministro de combustible mediante la inmovilización de la aguja del inyector.....	36
3.4.	Descripción y principio de funcionamiento del sistema de desconexión de cilindros con el empleo de un regulador de la presión inicial de inyección (RND).....	38
3.4.1.	Descripción y principio de funcionamiento del sistema.....	39
3.5.	Empleo simultáneo del método de desconexión de cilindros y el método de regulación de la presión inicial de inyección (RND).....	44
3.6.	Otras posibilidades del incremento de la efectividad del trabajo de los motores Diesel con el empleo de métodos y medios de desconexión de cilindros.....	46

## CAPITULO IV

METODOLOGIA EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DEL AHORRO DE COMBUSTIBLE Y LA INFLUENCIA EN LOS NIVELES DE HUMEADO, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE DESCONEXION DE CILINDROS, EN UN VEHICULO DE CARGA MARCA SCANIA MODELO 110 SUPER.

4.1. Especificaciones técnicas del vehículo.	
4.1.1. Características técnicas del vehículo .....	49
4.1.2. Características técnicas del motor .....	50
4.1.3. Sistema de alimentación de combustible .....	52
4.1.3.1. Bomba de inyección .....	52
4.2. Metodología experimental de ensayos .....	55
4.3. Instalación del sistema de desconexión de cilindros en el sistema de combustible del motor SCANIA DS11 .....	58
4.4. Descripción y principio de funcionamiento del mando eléctrico .....	59
4.5. Descripción y principio de funcionamiento del analizador de hollín .....	61
4.6. Parámetros medidos durante los ensayos .....	62
4.7. Fórmulas empleadas para los cálculos .....	63
4.7.1. Errores en la toma de datos .....	65

## CAPITULO V

### ANALISIS DE RESULTADOS

- 5.1. Análisis de las características comparativas del motor Diesel Scania sin el sistema (S/SDC) comparado con el funcionamiento del motor con el sistema (C/SDC):
- 5.1.1. Análisis de resultados tomando como parámetro constante el recorrido por tramos..... 71
  - 5.1.2. Análisis de resultados tomando como parámetro constante el peso neto vehicular..... 75
- 5.2. Análisis de las características comparativas del motor Diesel Scania sin el sistema (S/SDC) comparado con el funcionamiento del motor con el sistema como RND:
- 5.2.1. Análisis de resultados tomando como parámetro constante el recorrido por tramos..... 81
  - 5.2.2. Análisis de resultados tomando como parámetro constante el peso neto vehicular..... 89
- 5.3. Análisis de las características comparativas del motor Diesel Scania sin el sistema (S/SDC) comparado con el funcionamiento del motor con el sistema como RND y con desconexión (C/SDC), simultáneamente:

5.3.1.	Análisis de resultados tomando como parámetro constante el recorrido por tramos.....	92
5.3.2.	Análisis de resultados tomando como parámetro constante el peso neto vehicular.....	98
5.4.	Análisis de los resultados de las pruebas efectuadas en marcha en vacío o de ralentí con el sistema de desconexión	100
5.5.	Análisis económico .....	102
	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES .....	105
	BIBLIOGRAFIA	
	APENDICE	

## PROLOGO

El presente trabajo trata sobre el funcionamiento del Sistema de Desconexión de Cilindros instalado en el sistema de alimentación de combustible del motor Diesel SCANIA DS11, instalado en el vehículo de carga SCANIA 110 SUPER, mostrándose los resultados experimentales obtenidos en las pruebas de campo, efectuando el recorrido de Trujillo a Lima, cubriendo una distancia de 540 km.

En el primer capítulo, se explica el significado y la trascendencia que puede tener el empleo futuro de estos dispositivos en los motores Diesel y el objetivo del presente trabajo.

En el segundo capítulo, se muestra el diagnóstico de nuestro parque automotor, así como su influencia en la contaminación ambiental.

En el tercer capítulo, se analizan los diferentes sistemas de desconexión, que existen y se emplean en la actualidad en los motores Diesel, y el sistema de desconexión utilizado en el presente trabajo.

En el cuarto capítulo, se describe el vehículo de carga marca SCANIA 110 SUPER y la metodología

experimental seguida en el presente trabajo de investigación.

En el quinto capítulo, se presentan los resultados y se efectúa el análisis para establecer la influencia del Sistema de Desconexión de Cilindros en el funcionamiento del motor Diesel SCANIA DS11.

En el sexto capítulo, se efectúan las conclusiones y recomendaciones producto del presente trabajo.

Quiero expresar mi mas sincero y profundo agradecimiento a todo el personal del Instituto de Motores de Combustión Interna, y en forma particular al Dr. Guillermo Lira Cacho, Dr. Luis Lastra Espinoza y al Ing. Andrés Valderrama Romero, por su gran apoyo y valiosas sugerencias. También a todos los técnicos que han contribuido en el desarrollo del presente trabajo.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

Parece que el hombre estará condenado a vivir en el futuro con DDT en su sistema linfático, mercurio en su cerebro, plomo y estroncio radioactivo en sus huesos y monóxido de carbono en sus pulmones. Solo recordemos que diariamente se extinguen 130 especies de animales, talan 46,000 hectáreas de bosques y emiten 60 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono; gran parte de estas emisiones son producidas por los 570 millones de vehículos que hay en el mundo y se estima que para el año 2,000 habrá 800 millones.

El automóvil es considerado el causante más visible de la contaminación ambiental que amenaza al mundo y por ello desde 1,972 los fabricantes empezaron a reducir las emisiones de sus motores, desarrollando los llamados autos ecológicos, "verdes" o de emisión cero. Pronto se fabricarán comercialmente autos impulsados por baterías, hidrógeno o combustibles "limpios".

La Universidad Nacional de Ingeniería, a través, del Instituto de Motores de Combustión Interna, impulsa trabajos de investigación que conllevan a mejorar el funcionamiento de los motores de combustión interna

(MCI) y la consiguiente disminución de la contaminación ambiental.

El Instituto de Motores de Combustión Interna de la Facultad de Ingeniería Mecánica, viene desarrollando en su fase final el proyecto general denominado:

"Optimización del uso de las reservas de combustible Diesel y mejoramiento de las cualidades económicas y ecológicas de los motores Diesel en el Perú". Este proyecto comprende cuatro líneas de investigación, una de las cuales es el denominado: "Estudio del comportamiento del Sistema de Desconexión de Cilindros y Ciclos en los motores Diesel de aplicación automotriz". Este proyecto comprende las siguientes etapas:

- I Etapa: Estudio del comportamiento de los sistemas de inyección en un banco de pruebas empleando el Sistema de Desconexión de Cilindros (SDC).
- II Etapa: Estudio de la variación de los parámetros efectivos y de toxicidad de los motores Diesel multicilíndricos en bancos de pruebas empleando el SDC.
- III Etapa: Estudio de la variación de los parámetros efectivos y de toxicidad de los motores Diesel de uso comercial empleando el SDC.

Las etapas I y II han sido desarrolladas en los laboratorios del Instituto de Motores de Combustión Interna, y han sido materia de elaboración de tesis de competencia profesional.

El presente trabajo de tesis profesional, está ubicado en la III etapa del proyecto antes mencionado y estudia la influencia del empleo del Sistema de Desconexión de Cilindros en el consumo de combustible y en los niveles de humeado (hollín) del motor Diesel modelo DS11, instalado en el vehículo de carga marca SCANIA modelo 110 SUPER, cuando éste funciona en regímenes de vacío y regímenes de cargas parciales.

## CAPITULO II

### DIAGNOSTICO DEL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL

#### 2.1. ANTECEDENTES

El parque automotor en el Perú, según estudios recientes posee una antigüedad en promedio que bordea los 12 años, lo que quiere decir que por cada auto y camión nuevo hay uno con 24 años de antigüedad. Con más de 30 habitantes por vehículo automotor y 55 por automóvil, somos uno de los países con uno de los índices personas/vehículo automotor más altos en Latinoamérica. Entre los países vecinos podemos mencionar que Argentina tiene 7.6 habitantes por vehículo, Chile 20, Colombia 45, Brasil 16, etc.

Sin embargo, la apertura del año 1991, con el país en plena crisis económica, permitió el ingreso de 30,000 vehículos, ya que la demanda embalsada era superior a la crisis, lo que se refleja aún más en 1992, en que se llega a 45,000 unidades.

El transporte representa entre el 10 y el 15% del producto bruto interno e incide en todas las actividades económicas del país, por lo tanto el parque automotor es un activo fundamental para el desarrollo del país; para

comprender esto basta recordar que el 90% del transporte de pasajeros y carga en el Perú se hace sobre vehículos de carga y el 10% restante corresponde al tráfico aéreo, naviero, fluvial y ferroviario.

## 2.2. CARACTERISTICAS DE LA COMPOSICION DEL PARQUE AUTOMOTOR

La composición del parque automotor se refleja en los siguientes cuadros estadísticos, como se puede observar en el cuadro #1, el crecimiento en la década del 80 al 90 fue mínima, llegando en un momento determinado a ser negativo en algunos rubros. Esto, aún sin tomar en cuenta que muchos vehículos que salieron de circulación seguían considerados en las estadísticas, ya que desde que el impuesto al rodaje se carga a la gasolina y no se retiran las placas muchos autos convertidos en chatarra, se consideran en las estadísticas.

La renovación del parque requiere no sólo del ingreso de vehículos nuevos, sino también la salida de circulación de los vehículos viejos. Este es un fenómeno que en los países pobres solo se origina cuando el costo de operación supera el valor de reposición, o el costo de reparación supera el valor del vehículo reparado. Un

factor que ha contribuido a depurar el parque que se refleja en las estadísticas, es la racionalización del precio de la gasolina.

Cuadro# 1: PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL ESTIMADO SEGUN CLASE DE VEHICULO 1987 - 1993 (en miles)

Vehículo	1,988	1,989	1,990	1,991	1,992	1,993
Autos	332.15	328.64	324.44	333.73	352.91	367.46
S W	44.64	44.15	43.72	45.33	49.44	51.19
Pick up	100.00	100.34	99.73	102.82	106.67	111.00
C.Rural	30.95	30.96	30.70	33.52	47.11	55.60
C.panel	8.89	8.73	8.56	8.75	9.18	9.52
Omnibus	20.61	20.61	20.61	21.24	27.27	30.63
Camión	68.28	67.57	66.57	66.61	67.65	68.36
Remolca.	4.99	5.04	5.04	5.47	5.90	6.41
Semi-rem	6.05	6.17	6.19	6.47	6.82	7.28
TOTAL	616.58	612.25	605.55	623.95	672.96	707.4

La cifra de inscripciones (matrículas de autos vendidos) es un indicador más real de la evolución del mercado. Mientras que las importaciones

CUADRO # 2: INSCRIPCION DE VEHICULOS EN 1,993 POR AÑO DE FABRICACION Y CLASE

CLASE	Antes 8	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	TOTAL
AUTOS	136	29	50	113	506	713	1,399	1,132	790	464	232	180	2,173	7,723	15,640
S. W.	18	4	2	14	57	113	204	271	415	150	32	16	200	662	2,158
PICK UP	49	6	8	18	52	73	111	102	87	33	58	21	322	1,537	2,477
C.RURAL	146	16	37	116	435	751	1,043	1,172	1,024	588	214	107	340	1,045	7,034
C. PANEL	8	0	2	3	5	5	16	12	12	34	3	3	96	199	398
OMNIBUS	194	122	216	342	453	415	308	255	167	52	25	28	331	187	3,095
CAMION	121	20	26	22	47	61	59	65	42	80	29	37	203	339	1,151
REMOLCADOR	62	20	22	24	22	49	39	25	16	8	12	12	24	38	373
SEMI-REM.	58	4	1	3	7	6	6	5	3	6	21	5	39	167	331
VEH. MENORE	41	2	13	8	73	65	81	86	65	43	50	87	562	567	1,743
T O T A L E S	833	223	377	663	1,657	2,251	3,266	3,125	2,621	1,458	676	496	4,290	12,464	34,400

obedecen a pedidos que no siempre guardan relación con la demanda (fluctuante de acuerdo con la economía), la inscripción refleja la capacidad de compra del mercado y sus tendencias.

### 2.3. EVALUACION DEL ESTADO TECNICO DEL PARQUE AUTOMOTOR

En el cuadro #2 se resume la inscripción de vehículos importados, indicando año de fabricación, ilustra las dimensiones que ha alcanzado el problema de la importación de vehículos usados. estos vehículos usados, procedentes de EE. UU. y Asia, ingresan al Perú por el Callao o por la frontera con Chile, Bolivia, Ecuador; éstos a razón de casi 800 unidades mensuales.

Unicamente en el año 93 se registra vehículos nuevos. Aún si consideramos un 20% de los autos de la columna anterior (del 92) como nuevos, quedarían más de 3,400 usados; lo que resulta mucho más alarmante son las primeras columnas. Estamos importando chatarra, han entrado más de 2,000 vehículos con 10 o más años de uso.

La estadística de inscripciones en tránsito no sólo permite estimar cuántos vehículos nuevos y usados hay en el país, sino también su antigüedad. Así por ejemplo, al 8 de Abril del 94 se han inscrito en la Dirección de

CUADRO # 3 INSCRIPCION DE VEHICULOS POR CLASE EN 1,994 (al 8 de Abril)

CLASE	ant.81	1,982	1,983	1,984	1,985	1,986	1,987	1,988	1,989	1,990	1,991	1,992	1,993	1,994	Total	%
AUTOS	22	22	32	94	143	299	338	322	175	116	74	75	1,203	2,140	5,055	43.84
C. RURAL	27	8	29	67	174	243	377	567	301	141	25	102	149	167	2,377	20.61
C. PICK UP	10	9	3	21	24	35	39	35	15	16	10	12	384	516	1,129	9.79
C. PANEL	2	0	0	2	5	3	6	1	4	2	0	5	31	31	92	0.80
S. WAGON	5	2	3	25	45	65	84	194	91	19	8	15	110	130	796	6.90
V. MENORES	7	0	6	20	19	26	16	18	9	9	18	82	265	100	595	5.16
OMNIBUS	37	33	42	58	105	87	109	67	27	9	5	23	32	62	696	6.04
CAMION	37	13	15	28	25	21	30	36	19	3	5	6	35	292	565	4.90
REMOLQUE	17	5	13	18	13	8	8	1	12	0	4	0	5	33	137	1.19
SEMI-REM.	12	0	0	2	1	0	0	1	2	2	2	0	18	49	89	0.77
<b>TOTAL</b>	<b>176</b>	<b>92</b>	<b>143</b>	<b>335</b>	<b>554</b>	<b>787</b>	<b>1,007</b>	<b>1,242</b>	<b>655</b>	<b>317</b>	<b>151</b>	<b>320</b>	<b>2,232</b>	<b>3,520</b>	<b>11,531</b>	<b>100.00</b>
%	1.53	0.80	1.24	2.91	4.80	6.83	8.73	10.77	5.68	2.75	1.31	2.78	19.36	30.53	100.00	%

Tránsito del Ministerio de Transportes 11,531 vehículos importados: (cuadro #3) 5,758 nuevos y 5,773 usados, es decir, una relación 50/50% que es un resultado preocupante.

Si bien la mayor concentración de vehículos importados usados fueron fabricados no hace mucho tiempo, entre los años 85 y 89 se trajeron al país una importante cantidad de unidades fabricadas años antes: 335 del 84; 143 del 83; 92 del 82; 176 antes del 81; todos ellos de alto riesgo para sus propietarios.

#### 2.4. INFLUENCIA DEL ESTADO TECNICO DEL PARQUE AUTOMOTOR EN LA CONTAMINACION AMBIENTAL.

Durante el proceso de combustión de un motor Diesel como consecuencia de la compresión del aire, y en el momento sincronizado, el sistema de inyección de combustible Diesel suministra la cantidad adecuada de combustible pulverizado, originando la combustión, expandiendo los gases empujando los pistones, y convirtiendo la energía térmica en energía mecánica.

El proceso puede resumirse, diciendo que la energía química del combustible se convierte en energía térmica y luego en mecánica. La reacción química, si la

combustión fuera perfecta, se obtendría en los gases de escape sólo anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Desgraciadamente, la combustión no es perfecta y los gases de escape contienen una diversidad de sustancias con diverso grado de toxicidad, todas dañinas para el medio ambiente. Parte del carbono que se mezcla con el oxígeno lo hace formando monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), un gas altamente tóxico.

Una parte del oxígeno se mezcla en moléculas de 3 átomos ( $\text{O}_3$ ), que forman el ozono, un gas altamente tóxico. Parte de los hidrocarburos de la gasolina ( $\text{HC}$ ) no se quema y salen a la atmósfera en forma de gases que poseen un olor característico a gasolina, irrita los ojos y los pulmones, y ataca a las plantas. Parte del nitrógeno, que no interviene en la combustión, sometido a las altas temperaturas que se dan dentro de la cámara de combustión, se combina con el oxígeno formando óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ).

Además de las reacciones químicas de la gasolina con el oxígeno y el nitrógeno, así como de la gasolina cruda que no se quema; en ciertos países el combustible contiene azufre y en muchos - como el nuestro - se le añade plomo para elevar el índice octánico. Ambos elementos salen a la atmósfera por el gas de escape,

siendo el plomo tóxico y el azufre generadores de óxidos causantes de la "lluvia ácida".

La composición y la proporción de los componentes tóxicos en los gases de escape dependen de los factores estructurales y de regulación, del grado de perfección del funcionamiento de los motores, de sus regímenes de trabajo, del estado técnico, etc. De un modo general, en los MCI existen varias fuentes de emisiones tóxicas, de las cuales las principales son; los vapores del combustible, los gases del cárter y los gases de escape.

Los gases de escape, son la fuente principal de las emisiones tóxicas. Un vehículo pequeño promedio expulsa a la atmósfera de 0.6 a 1.7 kg/hora de CO, y un camión de 1.5 a 2.8 kg/hora de CO. En general, cuando se quema 1 kg de combustible diesel, se desprenden cerca de 80 a 100 g de componentes tóxicos. Cuando se quema 1 kg de gasolina, con velocidad e intensidad de trabajo media, se expelen aproximadamente 300 a 310 g de componentes tóxicos. (ver cuadro # 4)

Cuadro #4: Contenido máximo en volúmen (%)

Componente de los gases de escape	Gasolina	Diesel	Acción sobre el organismo humano
Nitrógeno	74 - 77	76 - 78	no tóxico
Oxígeno	0.3 - 0.8	2.0 - 18	no tóxico
Vapor de agua	3.5 - 5.5	0.5 - 4.0	no tóxico
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	5.0 - 12	1.0 - 10	no tóxico
Monóxido de carbono (CO)	0.1 - 10	0.01 - 0.5	tóxico
Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	0.1 - 0.5	0.001 - 0.4	tóxico
Hidrocarburos no cancerígenos (C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> )	0.2 - 3.0	0.009 - 0.5	tóxico
Aldehídos	0.0 - 0.2	0.001-0.009	tóxico
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0 - 0.002	0 - 0.03	tóxico
Hollín (g/m <sup>3</sup> )	0 - 0.04	0.01 - 1.1	tóxico
Benzopireno (g/m <sup>3</sup> )	0.01 - 0.02	hasta 0.01	cancerígeno

Actualmente, para uso vehicular se prefiere a los motores diesel, porque son más económicos y producen menos componentes tóxicos.

Un medio para reducir las emisiones tóxicas es el empleo de un catalizador, que es un dispositivo colocado entre el motor y el silenciador. Está construido de una estructura metálica en forma de panel, a la cual se le aplican los metales reactivos que entran en contacto con los gases de escape, transformándolos.

Los principales metales reactivos usados son platino y rodio, elementos que reducen u oxidan los gases más nocivos. Así, el platino reduce a los hidrocarburos "crudos" convirtiéndolos en agua y el monóxido de carbono en dióxido de carbono. El rodio ayuda a descomponer los óxidos de nitrógeno. El problema en el Perú es que aún se vende gasolina con plomo, el cual cubre los metales reactivos inutilizándolos.

Otro medio de controlar las emisiones nocivas consiste en dosificar la mezcla de modo más eficiente y crear las condiciones propias para una combustión más completa, lo que se logra, en parte, con sistemas de inyección y encendido electrónicos combinados con una computadora programada para optimizar la combustión.

En el Perú la contaminación ambiental debido a los motores de combustión Interna se centra en Lima, debido a ser la ciudad que reúne el 62% del parque automotor a nivel nacional. La congestión vehicular y la decadencia económica comercial de Lima Monumental han originado los altos índices de contaminación atmosférica, reduciendo la cantidad de aire limpio para la población residente y la que trabaja en dicha área, o simplemente para aquellos que son de tránsito obligado a los conos norte, sur, este y oeste de a ciudad.

Algunas vías de la red soportan una alta densidad de vehículos en forma permanente, lo cual se agrava en las horas punta, indicando con ello el desequilibrio de relación entre dimensiones de vía y número de vehículos. Las principales vías de circulación, sobretodo en el centro de la ciudad es el punto obligado de llegada o de pasada de las zonas circundantes, no soportan el flujo del parque automotor (tanto de servicio público, como particular) originado por el intenso tráfico vehicular; lo que ocasiona gran congestionamiento, especialmente, en las horas punta.

Esta falta de capacidad de las vías de circulación, ya sea porque son estrechas o porque hay una mala planificación del tránsito vehicular, han ido

originando que se registren, bajo ciertas condiciones, y a determinadas horas del día, altos índices de contaminantes atmosféricos gaseosos, cuyos valores máximos son del orden de 53 ppm/hora y 0.17 ppm/hora de CO y SO<sub>2</sub> respectivamente, lo que reducen la calidad del aire en Lima. La calidad del transporte público es baja debido a que el parámetro mecánico y de funcionamiento, como velocidad promedio entre el origen y el destino final de los pobladores más alejados está por debajo de los 14 km/h, y en hora punta puede bajar a 10 km/h. Las condiciones de seguridad están entre las más bajas de las que se registra para transporte público, siendo una flota altamente propensa a los accidentes. En cuanto a la calidad mecánica y de combustible, las condiciones están por debajo de cualquier nivel, debido a que el 82% de las unidades sobrepasan la década de antigüedad, con pésimo mantenimiento; no más del 5 al 10% de los vehículos se encuentran bien regulados. Por lo tanto, los restantes expulsan a la atmósfera entre 3 a 5 veces lo señalado en las normas. Debe agregarse como factor negativo que las gasolinas de 84 y 95 octanos utilizada en el Perú, contiene 1.2 cm<sup>3</sup> y 1.84 cm<sup>3</sup> de tetraetilo de plomo por galón, respectivamente. Asimismo el petróleo Diesel empleado en el país contiene alto porcentaje de azufre, convirtiéndose en una de las principales fuentes de contaminación atmosférica.

La ciudad de Lima, al igual que otras ciudades como Santiago de Chile y los Angeles, tienen una atmósfera que potencialmente favorece la contaminación debido a la presencia persistente de una o más inversiones térmicas en su estructura vertical. Más aún, si Lima tuviera el grado de industrialización de estas ciudades, sus problemas de contaminación serían mayores, ya que la estabilidad de su atmósfera es más intensa.

Sabiendo que el mayor productor de contaminación atmosférica en nuestras ciudades es el automóvil y que en promedio se estima que una unidad es capaz de generar casi 1 tonelada de contaminantes al año; en Lima por esta sola causa, se emitirían anualmente unas 400,000 toneladas, entre los que se encuentran el monóxido de carbono que alcanza en las calles céntricas de la ciudad hasta 40 p.p.m., el plomo con 0.7 g/m<sup>3</sup>. y los benzopirenos 3-4 hasta 11.1 g/1000 m<sup>3</sup>.

Lima no sólo tiene como fuente contaminante del aire a los vehículos automotores, también contaminan el aire las emanaciones de las industrias, especialmente las de harina de pescado, y las basuras acumuladas no enterradas en sus zonas de disposición final; además influye la falta de un sistema completo de alcantarillado.

## 2.5 TRABAJO EN ALTURA DE LOS MOTORES DIESEL.

La explotación de los motores de uso automotriz en el Perú, en altura corresponde en su mayoría a los motores Diesel, siendo los vehículos pesados el tipo de más uso, los cuales abastecen a Lima y otras ciudades con productos de la sierra a través de la Carretera Central, pasando por lugares que superan los 5000 m.s.n.m. La altura en el proceso de trabajo de un motor de combustión interna influye negativamente. En los motores Diesel influye, no sólo por el enrarecimiento del aire, sino también a que el proceso de combustión es afectado, debido al empeoramiento del grado de pulverización y al aumento de la demora del encendido, trayendo como consecuencia la disminución de la potencia y el aumento del consumo específico de combustible.

Todos los parámetros e índices de funcionamiento son afectados, el coeficiente de exceso de aire ( $\alpha$ ) a 4000 metros s.n.m., disminuye en un 40%, con respecto al valor normal a nivel del mar, ocasionando un elevado enriquecimiento de la mezcla, aumento de las pérdidas de calor y emisión de humos. La eficiencia volumétrica o coeficiente de llenado ( $\eta_v$ ) disminuye con la altura, debido a la influencia de los gases residuales que no se expulsan totalmente y que permanecen en el cilindro aún

después de la carrera de escape.

Uno de las diferencias entre el motor Diesel con el motor de Gasolina es la demora en el encendido valor que depende en general de las condiciones de trabajo del motor, de su estructura, y de las propiedades físico-químicas del combustible, las condiciones de menor presión y temperatura con la altura, ocasiona que aumente notablemente la demora del encendido. La disminución de la densidad y del flujo de aire aspirado con la altura, reduce el grado de pulverización, lo que hace aumentar más la demora del encendido. Además en la altura cuanto más baja sea la densidad del medio que llena la cámara de combustión, mas grande es el diámetro de las gotas de combustible, esto acompañado de una inyección inadecuada hace que la penetración del dardo sea demasiado grande, llegando a alcanzar las paredes del cilindro, donde se deposita parcialmente. Una parte del combustible no llegará a quemarse, haciéndolo el resto en el período de expansión; disminuyendo así la eficiencia del ciclo, además de una mayor emisión de humos, formación de carbonilla en la cámara de combustión, un mayor recalentamiento del motor y un mayor desgaste de las piezas fundamentales del mecanismo biela-manivela.

## CAPITULO III

### DESCRIPCION Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE

#### DESCONEXION DE CILINDROS

##### 3.1. ANTECEDENTES

Uno de los principales problemas de la industria de motores de combustión interna viene a ser la búsqueda del aumento de la efectividad del funcionamiento, y en particular de la economía de combustible. Se sabe, que la economía de los motores alternativos en gran medida depende de los regímenes de funcionamiento; si en el régimen nominal o cercanos a él, los índices de economía alcanzan valores óptimos o muy cercanos a ellos; en cargas parciales o marchas en vacío la efectividad del funcionamiento de los motores empeora sustancialmente; precisamente, éstos regímenes son los de mayor frecuencia de funcionamiento de los motores vehiculares. Debido a esto, los regímenes de marcha en vacío y de cargas parciales representan interés práctico y científico para aumentar la efectividad de funcionamiento de los motores.

### 3.2. FUNDAMENTO TEORICO DEL TRABAJO EN VACIO DE LOS MOTORES DIESEL

Esta característica es la dependencia entre la frecuencia de rotación y los índices del motor (en primer lugar, el consumo del combustible), cuando el motor está funcionando sin carga ( $N_e=0$ ). En el motor de carburador el punto inicial de esta característica se obtiene cerrando la mariposa de gases hasta el tope, mientras que en el motor Diesel cuando la cremallera está en la posición correspondiente al suministro cíclico mínimo de combustible, en donde trabaja el regulador asegurando la mínima frecuencia estable de rotación de marcha en vacío.

La marcha en vacío puede ser en vacío propiamente dicho (motor sin carga) o vacío forzado (desplazamiento de los vehículos por pendientes negativas). La característica de marcha en vacío también depende del régimen térmico del motor. El proceso del trabajo de un motor Diesel en vacío es deficiente debido a la mala formación del dardo de combustible y al empeoramiento de la combustión, el cual está relacionado con la disminución de la presión de inyección del combustible y del aumento del período de retraso del encendido.

Si analizamos las curvas (ver Fig.3.1):

- I.- Variación de la presión  $P_p$  en el pulverizador, en función del ángulo de giro del árbol de levas de la bomba de inyección ( $\phi$ ).
- II.- Levantamiento de la aguja del inyector, en función del ángulo de giro del árbol de levas de la bomba de inyección ( $\phi$ ).
- III.- Diámetro medio de las gotas, según Zauter, durante el proceso de inyección, en función del ángulo de giro del árbol de levas de la bomba de inyección.
- IV.- Velocidad de desplazamiento del émbolo buzo, en función del ángulo de giro del árbol de levas de la bomba de inyección ( $\phi$ ).
- V.- Velocidad de suministro de combustible, en función del ángulo de giro del árbol de levas de la bomba de inyección ( $\phi$ ).

La disminución de la presión de inyección se debe a que según el esquema IV, la velocidad de desplazamiento del émbolo buzo es sumamente pequeña y disminuye hasta casi 1/4 de la velocidad en el régimen nominal; este efecto se manifiesta en el levantamiento de la aguja del inyector, la cual se efectúa en forma intermitente (irregular) y no llega a lograr un levantamiento total como en el caso del régimen nominal.

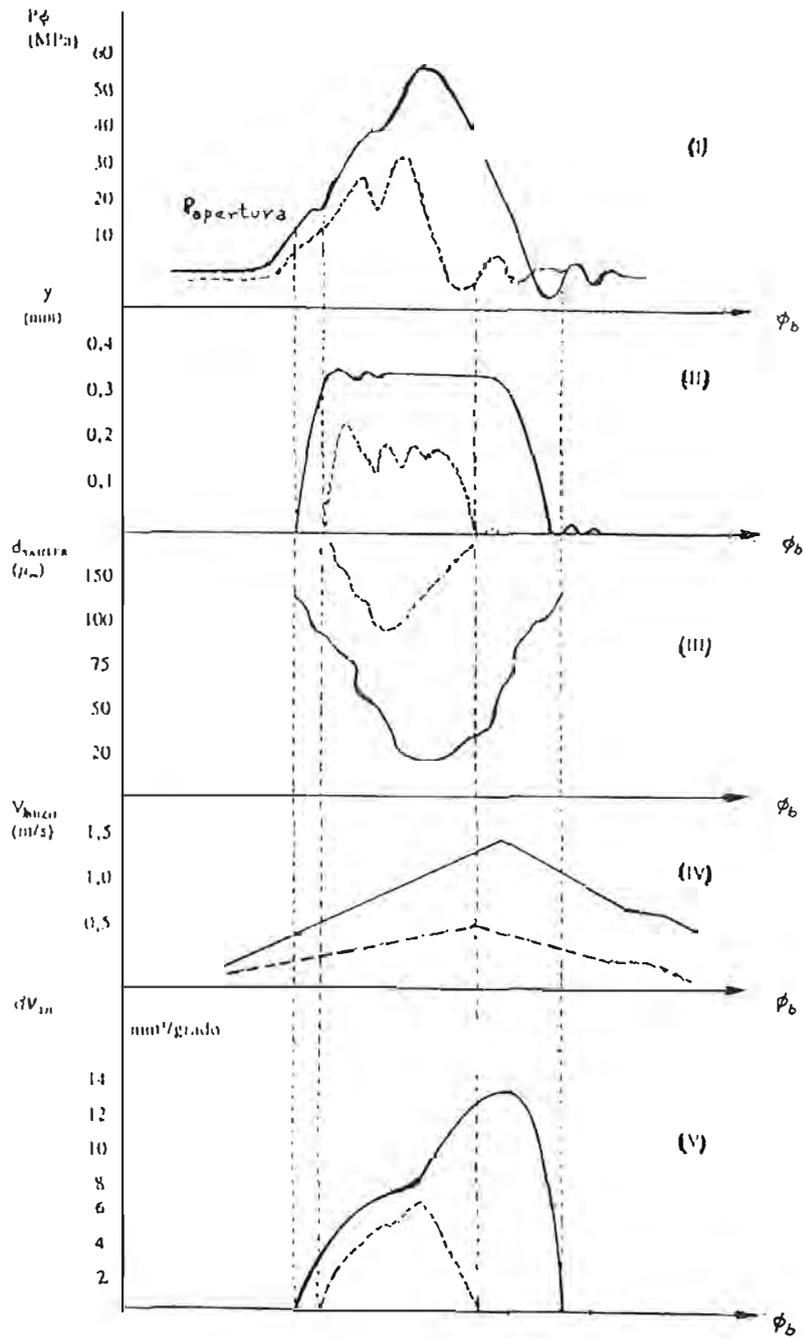


Fig.3.1. Variación de los parámetros del proceso de inyección

Debido a este fenómeno que se da en el proceso de trabajo en vacío de los motores Diesel el diámetro medio de las gotas de combustible (según Sauter), aumentan considerablemente lo que empeora los procesos de formación de la mezcla y de combustión.

Según estudios experimentales se ha demostrado que el diámetro medio de las gotas de combustible es:

$$d_g = f\left(\frac{1}{P_\phi - P_{cc}}\right)$$

Donde:

$d_g$       " Diámetro medio de las gotas  
 $*P_\phi - P_{cc}$ : Diferencia de presiones del combustible en el pulverizador y la presión de los gases en la cámara de combustión.

\* Estas presiones varían instantáneamente durante el proceso de inyección, es por este motivo que se establece la presión máxima y la presión promedio de inyección.

Algunos rangos de valores:

P <sub>máx</sub> (MPa)	Tipo de Sistema de Inyección
70 - 100	Lineal
110 - 200	Inyector Bomba
50 - 60	Bombas rotativas o de Distribución

Para las bombas de inyección lineal, considerando al petróleo Diesel un fluido incompresible, se puede decir que  $P_{iny} \approx n^2$ , esto es la causa por lo que en baja velocidad se empeora la pulverización, y el diámetro medio de las gotas se incrementan notablemente, tal como se puede apreciar en el gráfico III, de la Fig.3.1 Por esta razón la tendencia moderna es que a baja velocidad la presión de inyección no disminuya excesivamente.

En la figura 3.2, se muestra la variación de diversos parámetros de funcionamiento del motor Diesel, así como de las emisiones tóxicas, en función del coeficiente de exceso de aire ( $\alpha$ ). Para el régimen de vacío  $\alpha$  puede llegar a un valor de 5 ó más, y se aprecia un aumento considerable de hidrocarburos libres ( $C_xH_y$ )

que dejan de combustionar o que se han quemado parcialmente; asimismo, se nota un aumento del monóxido de carbono y del humeado (B)

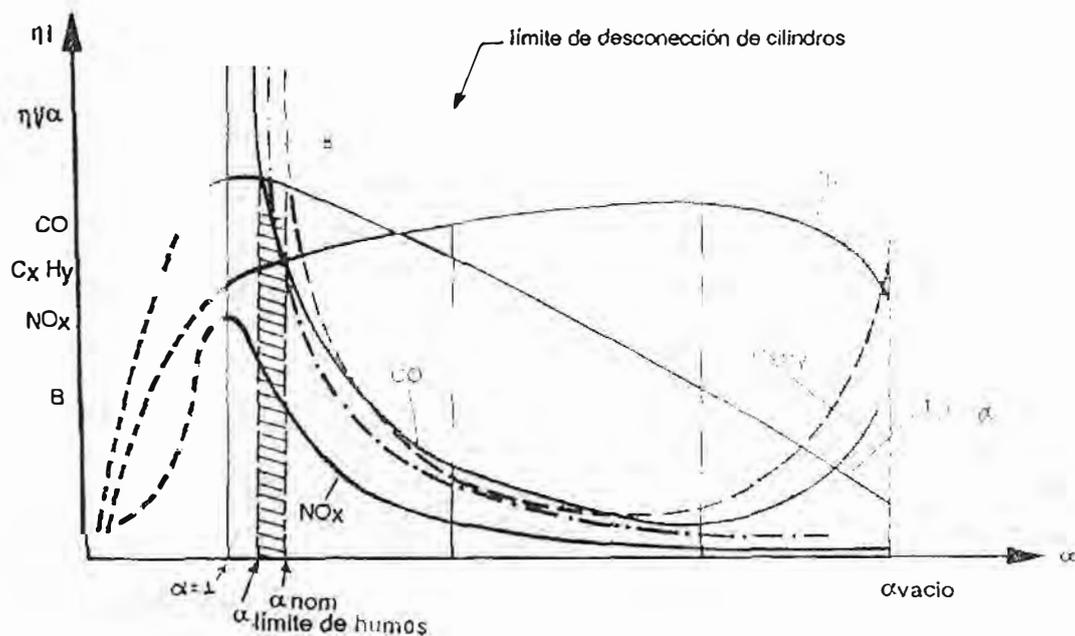


Fig.3.2 Variación de los índices de toxicidad respecto del coeficiente de exceso de aire ( $\alpha$ ).

Esta característica de vacío de los motores, es importante porque permite evaluar el comportamiento del motor cuando funciona sin carga (vacío) o con cargas pequeñas cercanas al vacío, lo cual es característico en los motores de aplicación automotriz, particularmente en

algunas capitales de los países de América del Sur que presentan características en su parque automotor como:

Inadecuada red vial;

Alto porcentaje de vehículos en malas condiciones;

Tránsito desorganizado;

Exceso de unidades de poca capacidad para el tránsito urbano.

Como se puede deducir estas características obligan a los motores a emitir un exceso de emisiones tóxicas y consumir combustible inútilmente.

### 3.3. METODOS DE DESCONEXION DE CILINDROS EMPLEADOS EN LOS MOTORES DIESEL

Los distintos métodos de desconexión de cilindros permiten regular la potencia y economizar combustible, optimizando el número de cilindros a trabajar. Los métodos hasta hoy desarrollados, se pueden clasificar en 4 grupos:

Por derivación desde la línea de baja presión al tanque de combustible.

Por posición del émbolo buzo.

Por dehermetización de la línea de alta presión (LAP).

No desplazamiento de la aguja del inyector.

Este agrupamiento se ha hecho en base a la diferencia del modo de ejecución de la desconexión y de los mecanismos utilizados para tal efecto.

### 3.3.1. INTERRUPCION DEL SUMINISTRO, DERIVANDO AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO ANTES QUE INGRESE A LA BOMBA DE INYECCION

Como se muestra en la figura 3.3 a, en la línea de baja presión, al estar la válvula de derivación (9) abierta el combustible es retornado nuevamente al tanque (8), por lo tanto no se efectúa el suministro de combustible al cilindro del motor a través del inyector (7). Este sistema es bastante sencillo, sin embargo, es posible sólo cuando se procede con bombas individuales, cilindro por cilindro, esto es, cuando cada sección de la bomba posee suministro propio, esto no ocurre en los motores vehiculares y de tractores que, como regla general, poseen un sistema común de suministro y de descarga.

Este método es aplicable solamente en aquellos motores que poseen bombas individuales para cada cilindro, como es el caso de los motores ferroviarios y de barcos.

La desventaja de este sistema es el desgaste prematuro de la bomba de inyección, debido a la fricción en seco, como consecuencia de la falta de lubricación debido a la ausencia del combustible, que sirve como lubricante.

### 3.3.2. INTERRUPCION DEL SUMINISTRO POR POSICION DEL EMBOLO BUZO

**METODO 1:** (fig.3.3 b) Este método utiliza la desconexión de un grupo de cilindros mediante la construcción especial de los émbolos buzo, el cual para cargas parciales deriva el combustible a través de una lumbrera de corte especial 13, evitándose así la inyección de combustible.

Este sistema posee dos secciones de suministro; por ejemplo, para un motor de 8 cilindros, 4 émbolos buzo van a trabajar en forma convencional, como se aprecia en el lado izquierdo de la fig.3.3 b, y 4 secciones van a trabajar con la hélice complementaria 13 en émbolo buzo (parte derecha).

Cuando el émbolo buzo de la izquierda, se encuentra en la posición de corte de suministro, después de haberse cumplido éste, al mismo tiempo el émbolo buzo de la derecha se encuentra en la posición de ausencia de

suministro ,debido a que la ranura 13 tan pronto como ingresa combustible a la bomba lo descarga, logrando así, que el combustible no llegue al inyector 7.

Cuando la cremallera convencional 12 está en la posición correspondiente a pequeñas cargas y de marcha en vacío a través del inyector 7 no se produce el suministro de combustible al cilindro correspondiente, logrando de esta manera, que dicho cilindro deje de trabajar.

Con este sistema de desconexión es imposible realizar el corte por ciclos y en forma alternada; en consecuencia, en el grupo de cilindros, que continuamente están trabajando, se producirá un mayor desgaste con respecto al grupo de cilindros en el que se realiza la desconexión.

Además, la ausencia del suministro de combustible por un período prolongado, en los cilindros donde se realiza la desconexión, provoca que el aceite lubricante se acumule en la cámara de combustión; en los motores sobrealimentados por turbo compresor, cuando se conecta nuevamente estos cilindros se produce una combustión violenta del aceite acumulado, que puede producir la destrucción de la turbina; en un motor de aspiración

natural este fenómeno provoca la formación de carbonilla.

**METODO 2:** (fig.3.3 c) Se basa en órganos de mando separados para dos bloques de secciones de bombeo, que suministran combustible a los cilindros, permitiéndose así, la desconexión alternada de cada bloque de cilindros.

Los mecanismos de accionamiento de las cremalleras son individuales. Por ejemplo, la cremallera 14 es accionada por su mecanismo correspondiente 16, la cremallera 15 tiene su propio mecanismo independiente 17, de esta manera, en caso de necesidad de corte de suministro, existe un mecanismo especial de control y ejecuta el desplazamiento de una de las cremalleras. Mientras que la otra, por acción de un regulador, se ubica en una posición determinada, de acuerdo a la potencia del motor.

Los órganos de mando manuales son más sencillos para el accionamiento del segundo mecanismo de corte de suministro de combustible (fig.3.3 c derecha); ejecutarlo en forma automática es complicado. No se presenta la posibilidad de la desconexión de cilindros en un tiempo corto y limitado, más aún, si es

desconexión por ciclos.

Mediante este método de desconexión, como en el caso anterior, no hay posibilidad de seleccionar el número de cilindros a desconectar, en el mejor de los casos solamente tenemos la posibilidad de desconectar alternativamente, pero en bloques y no por ciclos, y con cada cilindro; manteniéndose, por lo tanto, el problema de acumulación de aceite en los cilindros desconectados y el consecuente peligro para el turbo compresor si el motor es sobrealimentado, el desgaste desigual en los cilindros, la formación de carbonilla, etc.

**METODO 3:** (fig.3.3 d) Este método consiste en inmovilizar el émbolo buzo mediante el tope 20, que actúa sobre la ranura practicada sobre el émbolo, evitando de este modo, el suministro de combustible al cilindro respectivo.

El detenimiento del émbolo buzo se realiza cuando éste se encuentra en el punto muerto superior (PMS) cortando, de este modo, el suministro de combustible; el mecanismo de accionamiento 19 del émbolo buzo es una leva convencional, que está moviéndose continuamente, la detención del émbolo se cumple con la ayuda del tope 20, el cual actúa en la ranura 18 del émbolo. Este tipo de

dispositivo sólo se puede instalar en bombas de baja velocidad; por ejemplo, en motores marinos. En los motores Diesel rápidos, este sistema es casi imposible de usar, debido a la gran velocidad y por ende a su gran inercia, que produce choques bruscos entre el tope y la ranura del émbolo, originándose deformaciones y desgastes en ambas partes. Si se quisiera realizar la desconexión alternada de los cilindros se tendría que contar con topes y su correspondiente sistema de accionamiento independiente, lo que implica todo un sistema además de incrementar el tamaño de la bomba de inyección.

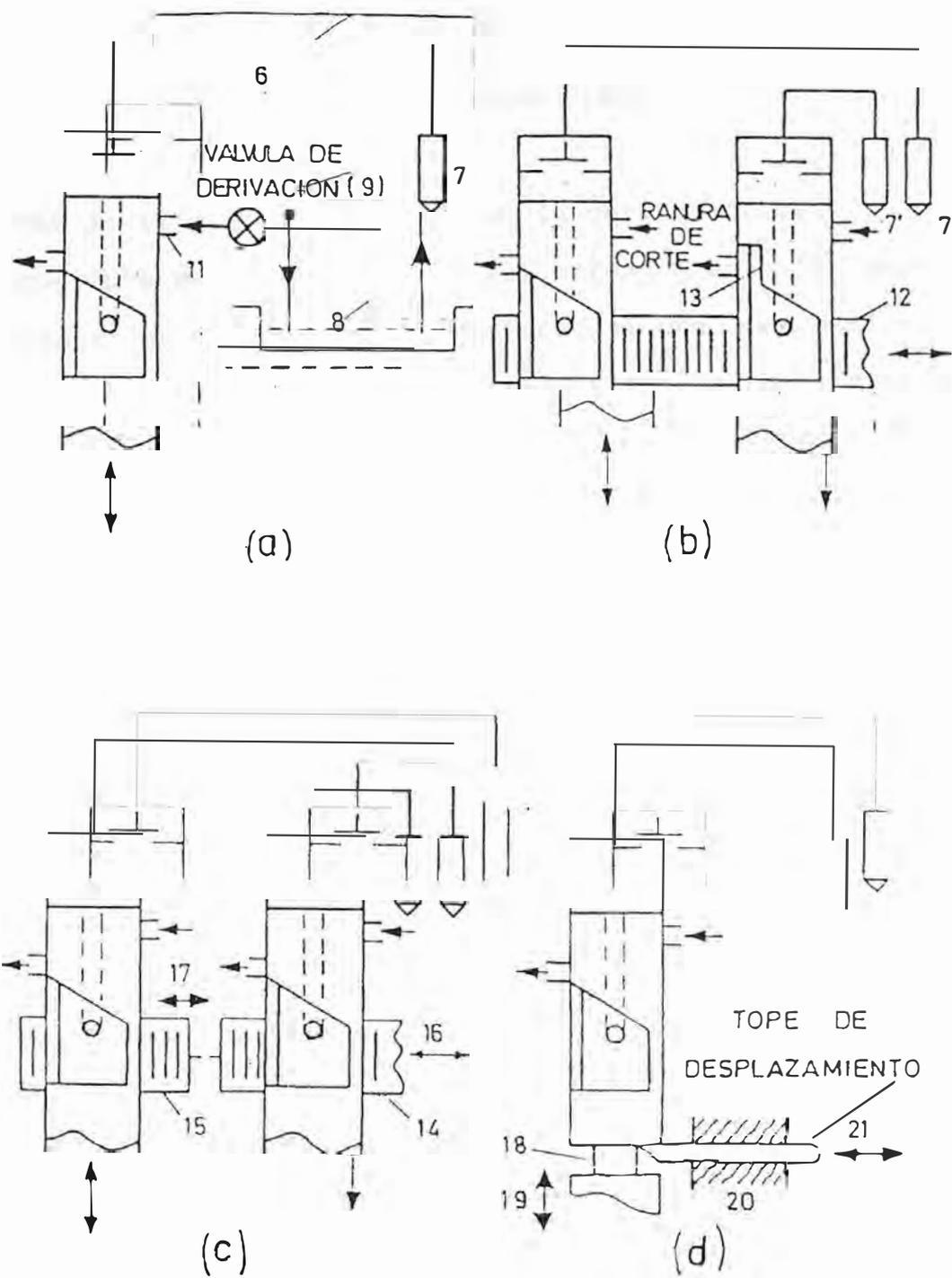


Fig.3.3 Diversos métodos de desconexión empleados  
a: Derivando al tanque de almacenamiento.  
b, c, d: Por posición del émbolo buzo.

### 3.3.3. INTERRUPCION DEL SUMINISTRO POR DESHERMETIZACION DE LA LINEA DE ALTA PRESION (LAP)

**METODO 1:** (fig.3.3 e) Se basa en la derivación del combustible desde la línea de alta presión a la de baja, mediante un dispositivo de pistón, el cual se acciona, según los requerimientos de desconexión. Para llevar a cabo la desconexión del suministro del combustible al cilindro, se acciona la válvula 22 con ayuda del mecanismo 25, el cual lo desplaza hacia la derecha, permitiendo que se comuniquen los canales 23 y 24 a través del cuello de la válvula, y se produce así la descarga del combustible de la LAP al depósito de combustible 8.

Debido a que este sistema tiene su válvula de corte 22, con su respectivo sistema de accionamiento para cada línea de alta presión, entonces se puede llevar a cabo la desconexión de cilindros en un pequeño período de tiempo, sin importar las dimensiones del motor, ni el número de cilindros; esto va a depender de la inercia de la regulación de la válvula de corte y del mecanismo de accionamiento 25. Debido a que la válvula posee una gran inercia y además a que está sujeta a una alta presión hidráulica, para el accionamiento de ésta se requiere de una potencia muy grande, que lo hace inaplicable en los

motores de automóviles y tractores, además de las dificultades para su instalación en cuanto a espacio y maniobrabilidad.

**METODO 2:** (fig.3.3 f) Este método se basa en la deshermetización de la línea de alta presión, derivando el combustible a través de una válvula tipo aguja hacia el tanque de combustible. Se sabe que durante el proceso de inyección del combustible se debe garantizar una buena hermeticidad en la LAP, pero debido a la presencia de la válvula en la LAP no ocurre aquello, lo que quebranta las condiciones para el proceso de suministro de combustible; además, se requiere de una potencia elevada para la sujeción de la válvula en su posición cerrada, en el momento de la inyección de combustible.

#### **3.3.4. CORTE DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE MEDIANTE LA INMOVILIZACION DE LA AGUJA DEL INYECTOR**

Este sistema, mostrado en la fig.3.3 g, se fundamenta en la acción directa sobre el inyector, evitando así, la inyección de combustible a través del mismo. El inconveniente de este sistema es que se requiere de una gran potencia de accionamiento para su ejecución, también es necesario tener un acumulador de presión para evitar daños en el sistema.

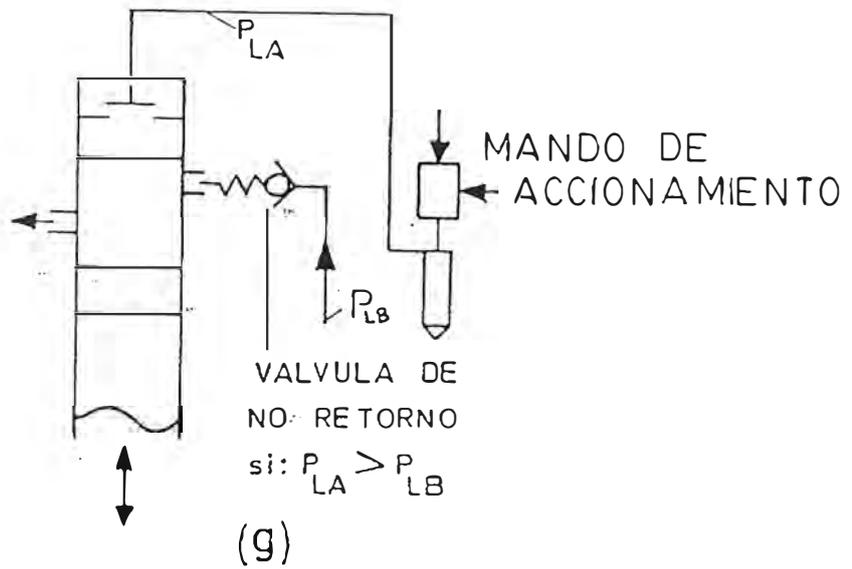
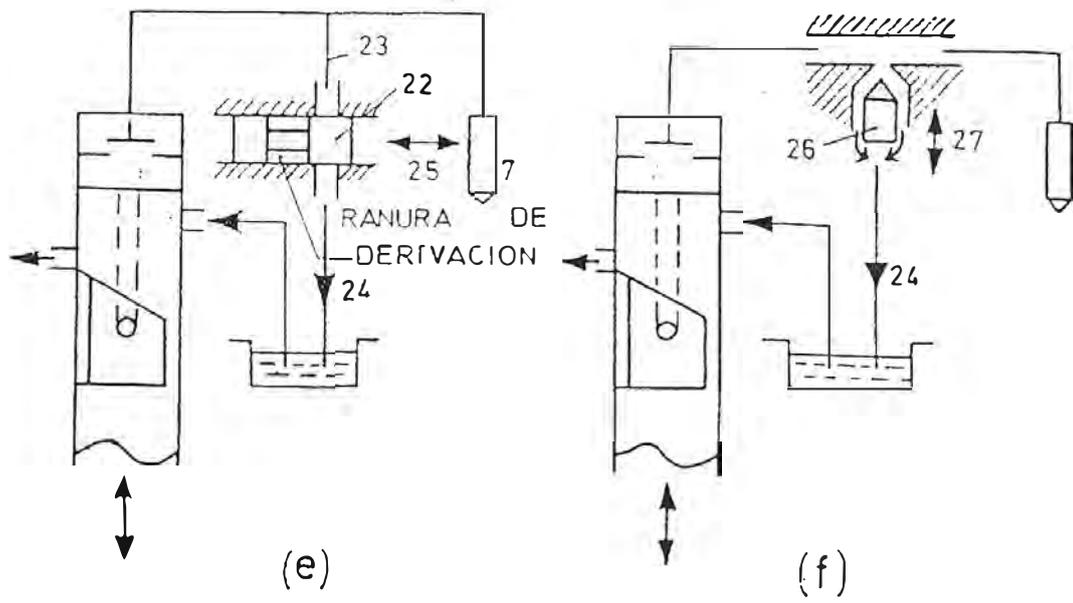


Fig.3.3 Diversos métodos de desconexión empleados  
 e,f: Deshermetización de la LAP.  
 g: Inmovilización de la aguja del inyector.

### 3.4. DESCRIPCION Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DESCONEXION DE CILINDROS Y CICLOS CON EL EMPLEO DE UN REGULADOR DE LA PRESION INICIAL DE INYECCION (RND)

Este sistema basa su principio de desconexión de cilindros y ciclos en el empleo de un regulador de la presión inicial de la inyección RND (presión que hay en la línea de alta presión antes del ascenso del émbolo buzo), que aprovecha el fenómeno hidrodinámico que se origina en la línea de alta presión del sistema después de finalizada la inyección.

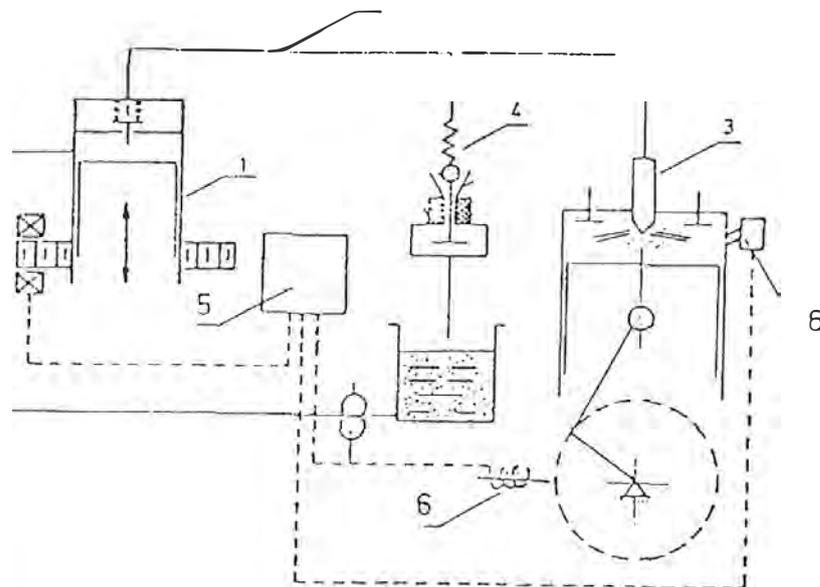


Fig.3.4: Esquema del sistema de desconexión de cilindros  
 1:Bomba de inyección, 2:Línea de baja presión,  
 3:Inyector, 4:Dispositivo desconector de cilindros,  
 5:Bloque de comando, 6:Sensores.

### 3.4.1. DESCRIPCIÓN Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

En la fig.3.5 se presenta un oscilograma, donde se muestran la variación de la presión  $P_{iny}$  en la línea de alta presión (LAP), en función del ángulo de giro del cigüeñal ( $\phi$ ).

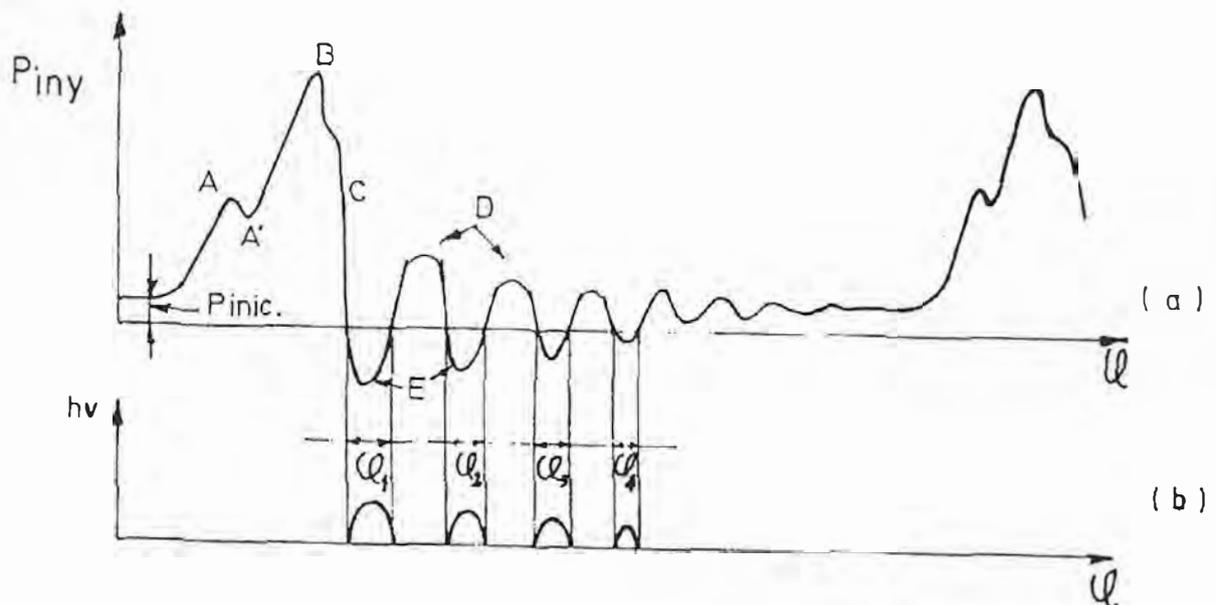


Fig.3.5 Oscilogramas  
 a: Presión de inyección  
 b: Desplazamiento de la válvula de retención  
 (de no retorno)

La presión en la línea, antes de la inyección, tiene el valor inicial de  $P_{inic}$  (presión inicial de inyección); el punto A del oscilograma fig.3.5 a representa el momento en que la aguja comienza a desplazarse; la pequeña caída de presión AA' es el resultado del incremento del volumen en el pulverizador por efecto del levantamiento de la aguja y de la salida del combustible desde el inyector; el punto B representa la máxima presión de inyección; el punto C el inicio del descenso de la aguja del inyector y los puntos D el período ondulatorio en la LAP después del corte de suministro. Las zonas E representan zonas de depresión que se forma cuando la válvula cae en su asiento, estos períodos son representados sólo en forma esquemática puesto que el osciloscopio no los registra.

En la fig.3.5 b se muestra el trabajo de la válvula de no retorno ( $h_v$  vs  $\phi$ ), cuando no es excitada la bobina electromagnética de accionamiento 9 (fig.3.6), donde, como resultado de las oscilaciones de la presión en la LAP se produce la apertura o cierre de la válvula de no retorno.

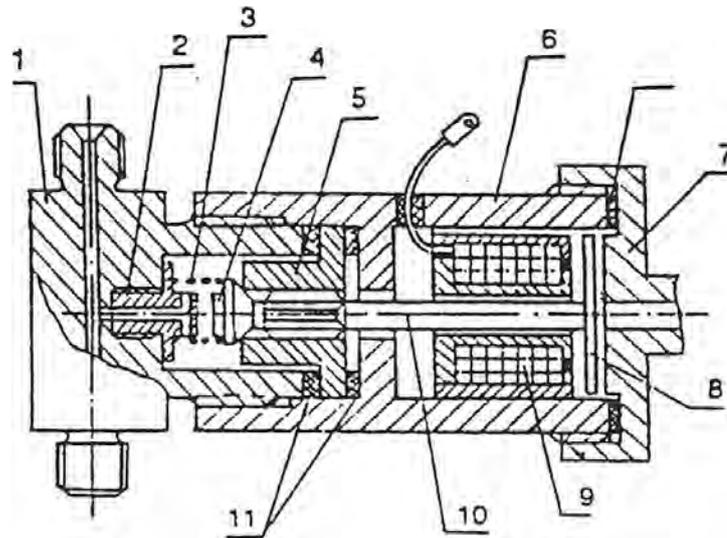


Fig.3.6: Desconector de cilindros

1:Cuerpo de válvula; 2:Tope; 3:Resorte recuperador;  
 4:Válvula de no retorno; 5:Asiento de la válvula;  
 6:Cuerpo del solenoide; 7:Tapa; 8:Plato magnético;  
 9:Bobina del electroimán; 10:Vástago;  
 11:Empaquetadura.

La fig.3.7 muestra el oscilograma de trabajo del sistema de desconexión de cilindros y ciclos, cuando este proceso es manejado por un comando 5 (fig.3.4). La fig.3.7a corresponde a los procesos de inyección I, II y III cuando éstos se desarrollan en forma normal. En la fig.3.7d, en el punto C se produce el corte de suministro de combustible y se forman las oscilaciones de la presión D, con sus respectivas zonas de depresión E, si en este instante es excitada la bobina electromagnética

9 (fig.3.6) como se representa en el diagrama  $V$  vs  $\phi$  (fig.3.7b). En el momento de la aparición de la

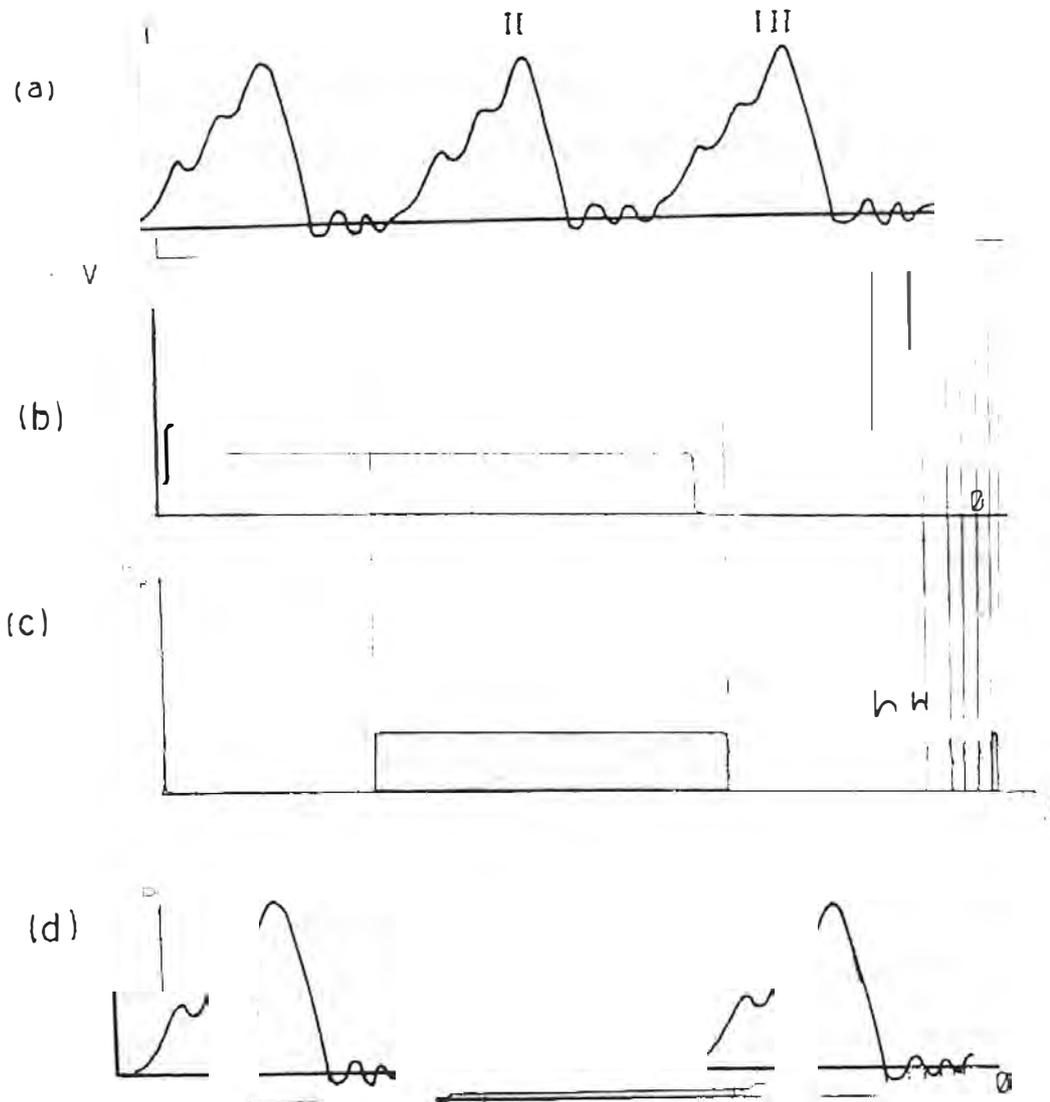


Fig.3.7 Oscilogramas

- a: Presión de inyección sin desconexión
- b: Tensión de suministro del electroimán
- c: Desplazamiento de la válvula de no retorno
- d: Presión de inyección con desconexión

depresión E la válvula de no retorno 4 (fig.3.6) se abre y se mantiene en esa posición mientras se mantenga el voltaje V en dicha bobina; como resultado de lo cual la presión en la LAP 2 (fig.3.4) no se puede elevar hasta el nivel requerido para desplazar la aguja del inyector, más bien el combustible se deriva a través de esta válvula hacia el tanque, lográndose de este modo que el ciclo II no se lleve a cabo. En el oscilograma se observa un pequeño crecimiento de la presión (fig.3.7d).

Si después del ciclo II se corta el voltaje V de la bobina 9 (fig.3.6) y la fuerza electromagnética deja de actuar a través del vástago 10 (fig.3.6), sobre la válvula de no retorno, ésta vuelve a su asiento por acción del resorte 3 (fig.3.6), quedando de este modo cerrada herméticamente la LAP y apta para poder llevarse a cabo el nuevo proceso de inyección III, el cual se realiza con toda normalidad, al final del cual la válvula de no retorno se vuelve abrir, y al haber excitación (fig.3.7b) en la bobina electromagnética, el siguiente ciclo no se llevará a cabo. De este modo se puede efectuar la desconexión de un ciclo o de varios ciclos; esto dependerá de las condiciones y del régimen de funcionamiento del motor en un instante determinado.

### 3.5 EMPLEO SIMULTANEO DEL METODO DE DESCONEXION DE CILINDROS Y EL METODO DE REGULACION DE LA PRESION INICIAL DEL COMBUSTIBLE (RND).

El parámetro que permite intensificar la inyección de combustible, estabilizar la alimentación de combustible de un ciclo a otro se denomina presión inicial del combustible ( $P_{inic}$ ) en la línea de alta presión.

Durante la variación de la carga inestable el regulador frecuentemente no puede cumplir su función de mantener una velocidad constante de rotación lo que se relaciona con las características del suministro del combustible.

En los trabajos se muestra que bajo los regímenes transitorios (variación de los parámetros de operación del motor en función del tiempo), en el sistema de suministro de combustible Diesel, suceden los procesos transitorios cambiando la  $P_{inic}$  lo que disminuye la efectividad y la economía del trabajo del motor Diesel; éstos se pueden aumentar mediante el aumento de la estabilidad de la  $P_{inic}$ .

Especialmente, la variación notable de la  $P_{inic}$ , se

manifiesta en los regímenes de pequeñas cargas y marchas en vacío; que es cuando se emplea, preferentemente, el Sistema de Desconexión de Cilindros

El mejoramiento de la economía de los motores Diesel en regímenes de pequeñas cargas mediante la regulación de la presión inicial ( $P_{inico}$ ) se muestran en varias tesis profesionales, efectuadas por egresados durante el trabajo de investigación, suministrando combustibles alternativos como GLP, kerosene, gasolinas de bajo octanaje, alcohol, etc. hacia la línea de alta presión.

El empleo simultáneo en los motores Diesel del sistema de desconexión cilindros y ciclos (SDCC) y el método de la regulación de la presión inicial de inyección (RND), muestra la utilidad del empleo del sistema el cual deriva combustible a la línea de baja presión de las cilindros desconectados, para así incrementar la presión inicial ( $P_{inico}$ ) en los cilindros que trabajan en el motor.

Es conocido que en los regímenes de pequeñas cargas y marchas en vacío ocurre una disminución de la estabilidad en el trabajo conjunto del motor con el consumidor, incluso hasta la aparición del régimen

inestable. El incremento de la estabilidad en estos regímenes es posible ya sea mediante la corrección de la característica de velocidad, mediante el empleo del sistema RND (regulación de la presión inicial), así como también con el método de desconexión de cilindros, y el empleo simultáneo de estos métodos.

### 3.6 OTRAS POSIBILIDADES DEL INCREMENTO DE LA EFECTIVIDAD DEL TRABAJO DE LOS MOTORES DIESEL CON EL EMPLEO DE METODOS Y MEDIOS DE DESCONEXION DE CILINDROS.

En los trabajos publicados se muestra que el método de desconexión de cilindros y ciclos puede utilizarse con eficiencia en calidad de medio de protección anti-robo, etc.; sin embargo la inmensa mayoría de tales medios se diferencian notablemente por su complejidad y su mayor necesidad de potencia. Una baja potencia para el accionamiento de estos sistemas se basa en el empleo simultáneo de válvulas RND con accionamiento electromagnético. En estos sistemas la apertura de válvulas para la derivación del combustible ocurre gracias al aprovechamiento del proceso hidrodinámico en la LAP, los cuales aparecen durante el corte del suministro y la caída en su asiento de la válvula

impelente de la bomba de inyección. La conformación de los elementos en el sistema de desconexión de cilindros, con baja potencia de accionamiento, permite hablar sobre las posibilidades de su empleo comandado por sistemas electrónicos.

En los motores Diesel sobrealimentados con turbinas a gas de impulsos y también en motores con dos o más válvulas impelentes, por ejemplo, en los motores en V, la desconexión de los cilindros en regímenes de bajas cargas, permite aumentar la energía de los gases de escape, los cuales ingresan a la turbina de gas y originan un aumento de su potencia y también se logra que se eleve la presión del turbocompresor ( $P_k$ ), incrementándose de esta forma la cantidad de aire hacia los cilindros, mejorando las características de potencia, economía y toxicidad del motor Diesel.

La posibilidad de aumentar la potencia de los motores sobrealimentados con turbinas a gas con el método de desconexión de cilindros es de hasta un 50%. En una serie de trabajos, el método de desconexión de cilindros y ciclos se emplea durante la regulación de la potencia del motor. Existen trabajos de investigación acerca del método de regulación de motores a gasolina (con inyección electrónica). En ellos se muestran que

cuando se tiene un número de cilindros de 6 y más es posible y efectivo llevar a cabo la regulación (sin válvulas) de la potencia del motor, mediante la desconexión de sus cilindros y ciclos. Considerándose las características dinámicas, la vibración del motor con la desconexión de cilindros también se proponen programas de control periódico de desconexión-conexión de cilindros y ciclos separados para asegurar la regulación de la potencia, no solamente en los regímenes transitorios, sino también en los regímenes de trabajo estables.

## CAPITULO IV

METODOLOGIA EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DEL AHORRO DE COMBUSTIBLE Y LA INFLUENCIA EN LOS NIVELES DE HUMEADO, MEDIANTE EL USO DEL SDC, EN UN VEHICULO DE CARGA MARCA SCANIA MODELO 110 SUPER.

### 4.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL VEHICULO

#### 4.1.1. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL VEHICULO

Clase:	Camión
Marca:	Scania Vabis
Modelo:	110 Super
Tipo de carrocería:	Baranda
Año de fabricación:	1,970
Número de ejes:	3
Número de ruedas:	10
Fórmula de tracción:	6 x 2
Peso seco (tara):	10,450 kg
Peso Neto (carga útil):	20,000 kg
Peso bruto:	30,450 kg
Largo máximo:	13.70 m
Ancho máximo:	2.5 m
Altura máxima:	3.6 m

#### 4.1.2. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL MOTOR

Modelo:	DS11 Turboalimentado
Tipo de inyección:	Directa, 4 tiempos
Número de cilindros:	6 en línea
Diámetro del cilindro:	127 mm
Carrera del pistón:	145 mm
Cilindrada:	11.02 dm <sup>3</sup>
Potencia a 2000 rpm:	224 kW (305 CV)
Par Motor a 1300 rpm:	1235 N-m (126 kg.m)
Consumo específico de combustible:	204 g/kW.h (150 g/CV.h) a 1500 rpm
Orden de funcionamiento:	1-5-3-6-2-4
Relación de compresión:	15:1
Rotación baja:	500 rpm
Rotación alta:	2000-2200 rpm
Válvula de admisión:	
- Holgura de calibración:	0.45 mm
- Angulo de la cara:	19.5°
- Diámetro de cabeza:	54 mm
Válvula de escape:	
- Holgura de calibración:	0.8 mm
- Angulo de la cara:	45.5°
- Diámetro de cabeza:	45 mm
Avance de la inyección:	25° APMS
Presión de inyección :	220 kg/cm <sup>2</sup>

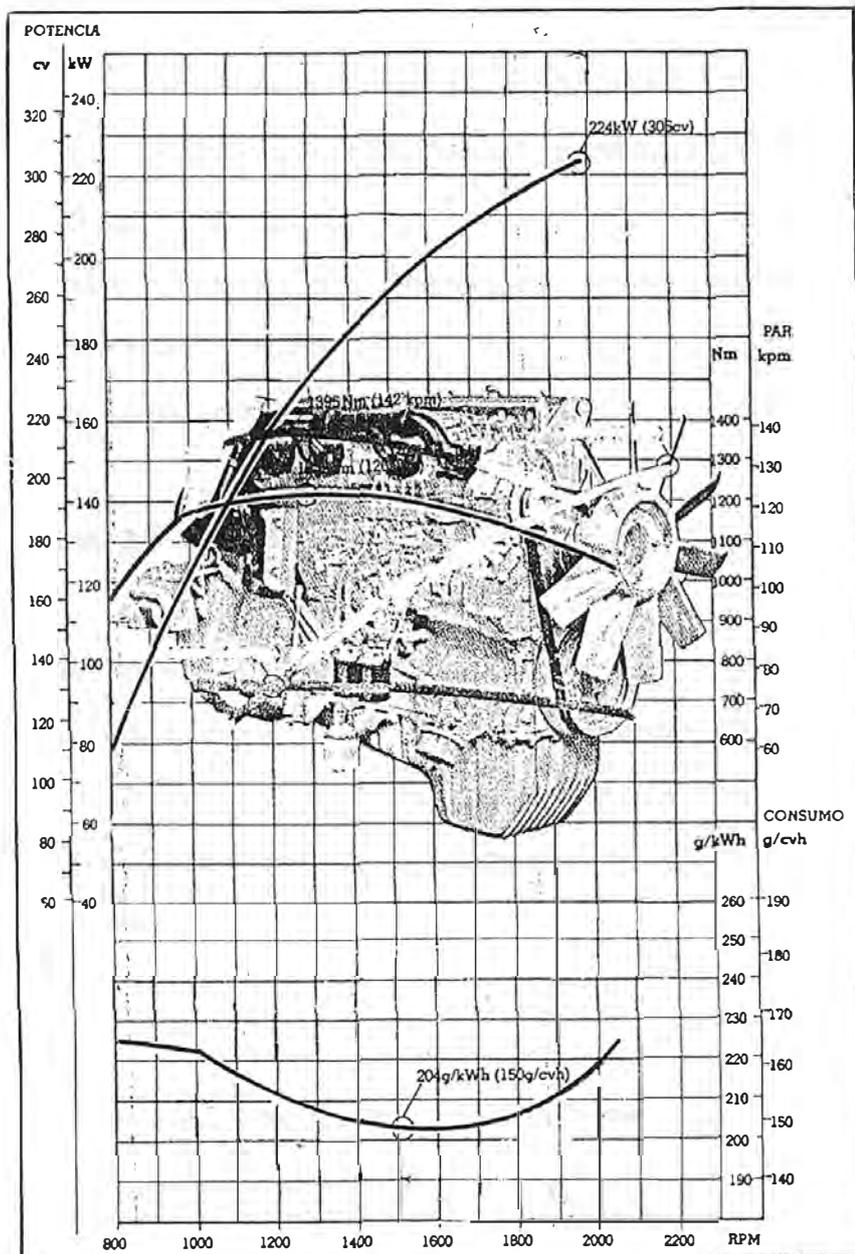


Fig.4.1. Característica externa de velocidad del motor Diesel SCANIA DS11.

### 4.1.3. SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE

El sistema de alimentación de combustible Diesel 2 consiste de un tanque con tubo de alimentación, tubos de combustible, bomba de transferencia, pre-filtro, filtros de combustible, bomba de inyección con regulador y válvula de alivio, inyectores, tubos de presión y de retorno, como se muestra en la figura 4.1

#### 4.1.3.1. BOMBA DE INYECCION

La bomba inyectora es accionada por los engranajes de distribución a través de un acoplamiento de discos. El volumen de combustible inyectado está determinado por el ángulo de giro de los émbolos, a través de la cremallera, que esta controlada por el regulador (ver Fig.4.2).

La función del regulador es mantener la velocidad de rotación del motor, de modo que éste corresponda a la posición del pedal del acelerador. El tipo de regulador usado es el centrífugo RQV.

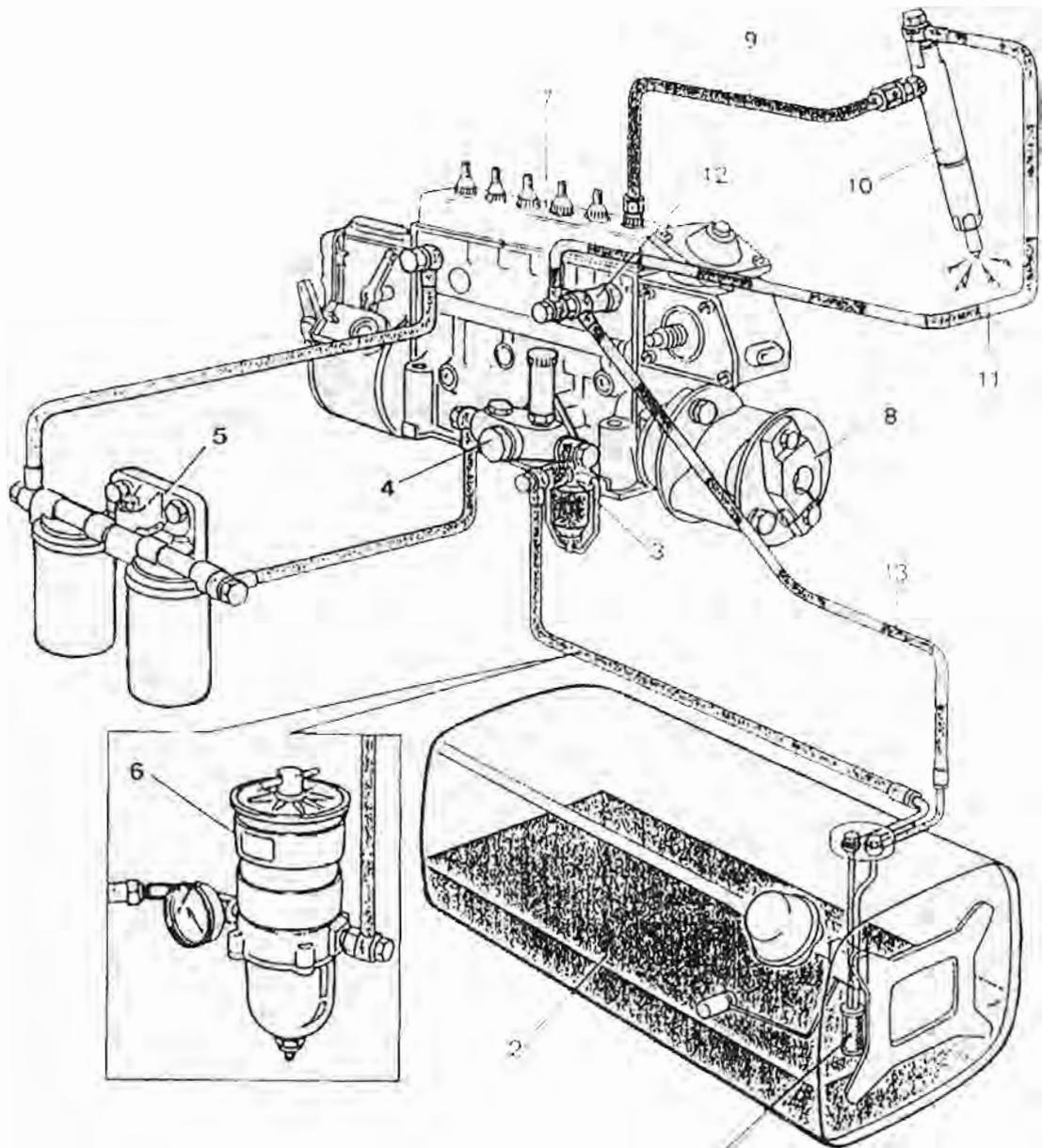


Fig.4.1 Sistema de alimentación de Combustible  
 1:Tubo de succion con filtro; 2:Tanque de combustible; 3:Pre-filtro; 4:Bomba de transferencia  
 5:Filtro dual de combustible; 6:Filtro separador de agua e impurezas; 7:Bomba de inyección;  
 8:Acoplamiento de bomba inyectora; 9:Tubería de alta presion; 10:Inyector; 11:Tubería de baja presion;  
 12:Válvula de alivio; 13:Tubería de retorno.

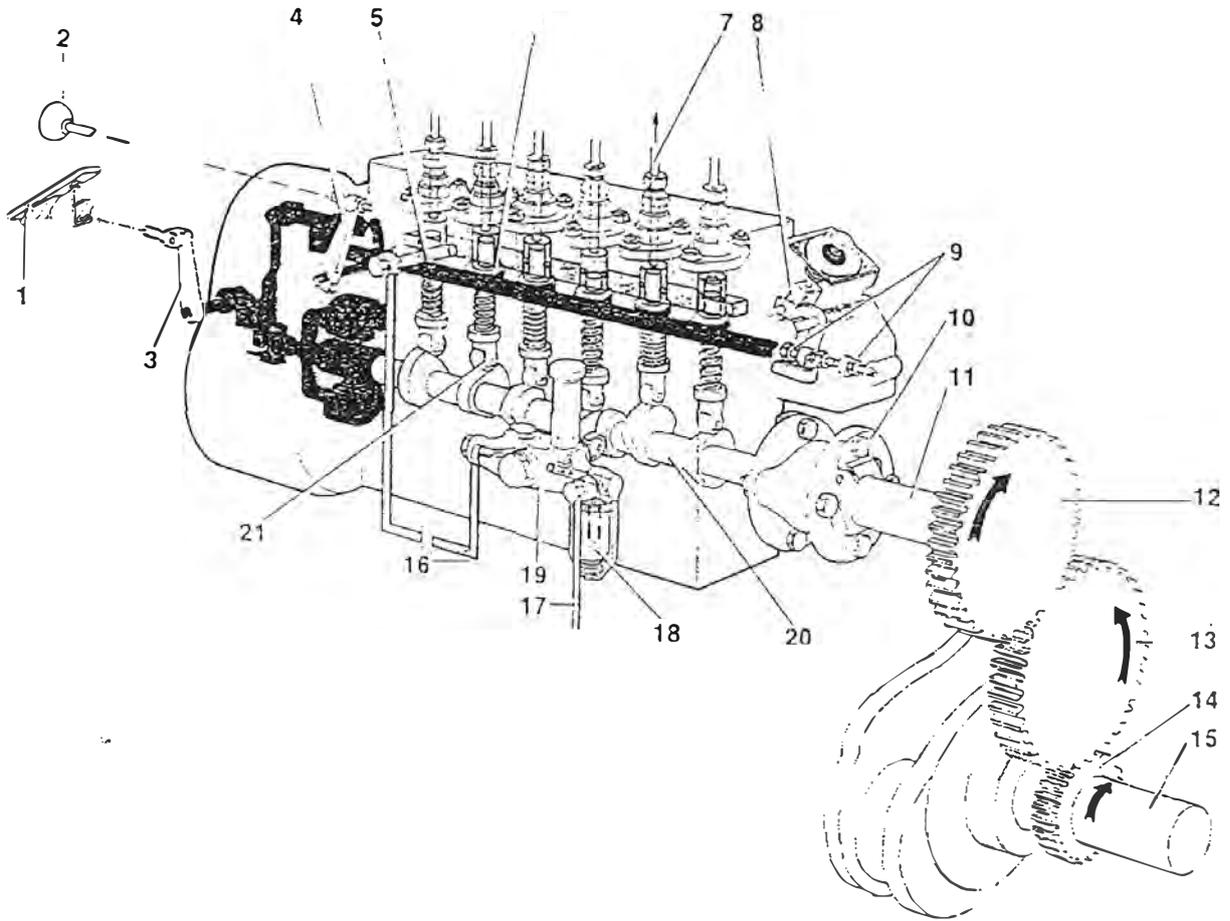


Fig.4.2 Bomba de inyección.

1:Pedal del acelerador; 2:Comando de parada;  
 3:Brazo del acelerador; 4:Brazo de parada;  
 5:Cremallera; 6:Elemento; 7:Tubo de presión;  
 8:Limitador de humos; 9:Vástago de plena carga de la cremallera con o sin presión del turboalimentador; 10:Acoplamiento de la bomba; 11:Arbol de accionamiento; 12:Engranaje de la bomba inyectora; 13:Engranaje intermedio; 14:Engranaje del cigüeñal; 15:Cigüeñal; 16:Tubo de la bomba alimentadora; 17:Tubo del tanque de combustible; 18:Pre-filtro; 19:Bomba de transferencia; 20:Arbol de levas.

#### 4.2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL DE ENSAYOS

El estudio del comportamiento del motor Diesel SCANIA DS11 con los dispositivos de desconexión de cilindros se llevó a cabo en dos etapas:

I ETAPA: Sin instalar los dispositivos de desconexión.

II ETAPA: Con los dispositivos de desconexión instalados.

En ambas etapas se realizaron mediciones del consumo de combustible, a través de una manguera transparente instalada en forma vertical en un extremo del tanque, también se realizó mediciones de emisión de hollín.

Inicialmente se realizaron las pruebas sin desconectores, luego con los desconectores instalados sin energizar las bobinas electromagnéticas (RND), por último con los desconectores en funcionamiento (SDC).

La desconexión de cilindros se efectuó variando los grupos de desconexión como sigue: 1-5, 2-6 y 3-4; 1-6, 5-2 y 3-4., en otras combinaciones el funcionamiento del motor era muy inestable, por lo cual se decidió trabajar con las combinaciones antes mencionadas, teniendo en cuenta que para un motor de seis cilindros que posee el orden encendido 1-5-3-6-2-4 se tiene la siguiente

distribución de los procesos de trabajo durante un ciclo de funcionamiento del motor Diesel (ver fig.4.3)

Revoluciones del cigüeñal		Ángulos de giro del cigüeñal	Cilindros					
			1	2	3	4	5	6
Vuelta I	Media vuelta I	0°	Expansión	Escape	Admisión	Expansión	Compresión	Admisión
		60°			Compresión	Escape	Expansión	
		120°	Escape	Admisión	Compresión	Escape	Expansión	Compresión
	180°	Expansión			Admisión	Compresión		
	Media vuelta II	240°	Escape	Admisión	Expansión	Admisión	Escape	Compresión
		300°			Compresión	Expansión		
360°		Admisión	Compresión	Escape	Compresión	Escape	Expansión	
420°	Expansión			Admisión	Compresión			
Vuelta II	Media vuelta I	480°	Admisión	Compresión	Escape	Compresión	Admisión	Escape
		540°			Expansión	Admisión		
	Media vuelta II	600°	Compresión	Escape	Admisión	Expansión	Compresión	Escape
		660°			Expansión	Admisión		
		720°	Admisión	Compresión	Escape	Admisión	Compresión	

Fig.4.3: Alternación de tiempos en un motor de cuatro tiempos de seis cilindros para el orden de funcionamiento 1-5-3-6-2-4.

Para realizar las pruebas, materia del presente trabajo, se preparó el vehículo de la siguiente manera:

FECHA	OPERACION
05/04/93	Reparación de motor; se hizo cambio de: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 Camisetas</li> <li>- 6 Asientos de válvula de escape</li> <li>- 6 Válvulas de escape</li> <li>- 2 Válvulas de admisión</li> <li>- 1 Pistón</li> <li>- Juego de anillos de pistón</li> <li>- Juego de metales de bancada (0.50 mm)</li> <li>- Juego de metales de biela (0.50 mm)</li> <li>- Felpas (retenes)</li> <li>- Juego de bocinas de biela</li> <li>- Juego de metales del árbol de levas</li> </ul> Reparación de Bomba de Inyección: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Juego de elementos</li> <li>- Juego de válvulas</li> </ul>
05/05/93	Cambio de 2 baterías, de 12 V, conectadas en serie.
22/06/93	Cambio de culata posterior por una semi-nueva de 111, incluyendo inyectores, válvulas y resortes.
11/09/93	Cambio de culata delantera por una nueva de 111, incluyendo inyectores y válvulas.
20/11/93	Cambio de toberas N° 616.

4.3. INSTALACION DEL SISTEMA DE DESCONEXION DE CILINDROS  
EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR SCANIA.

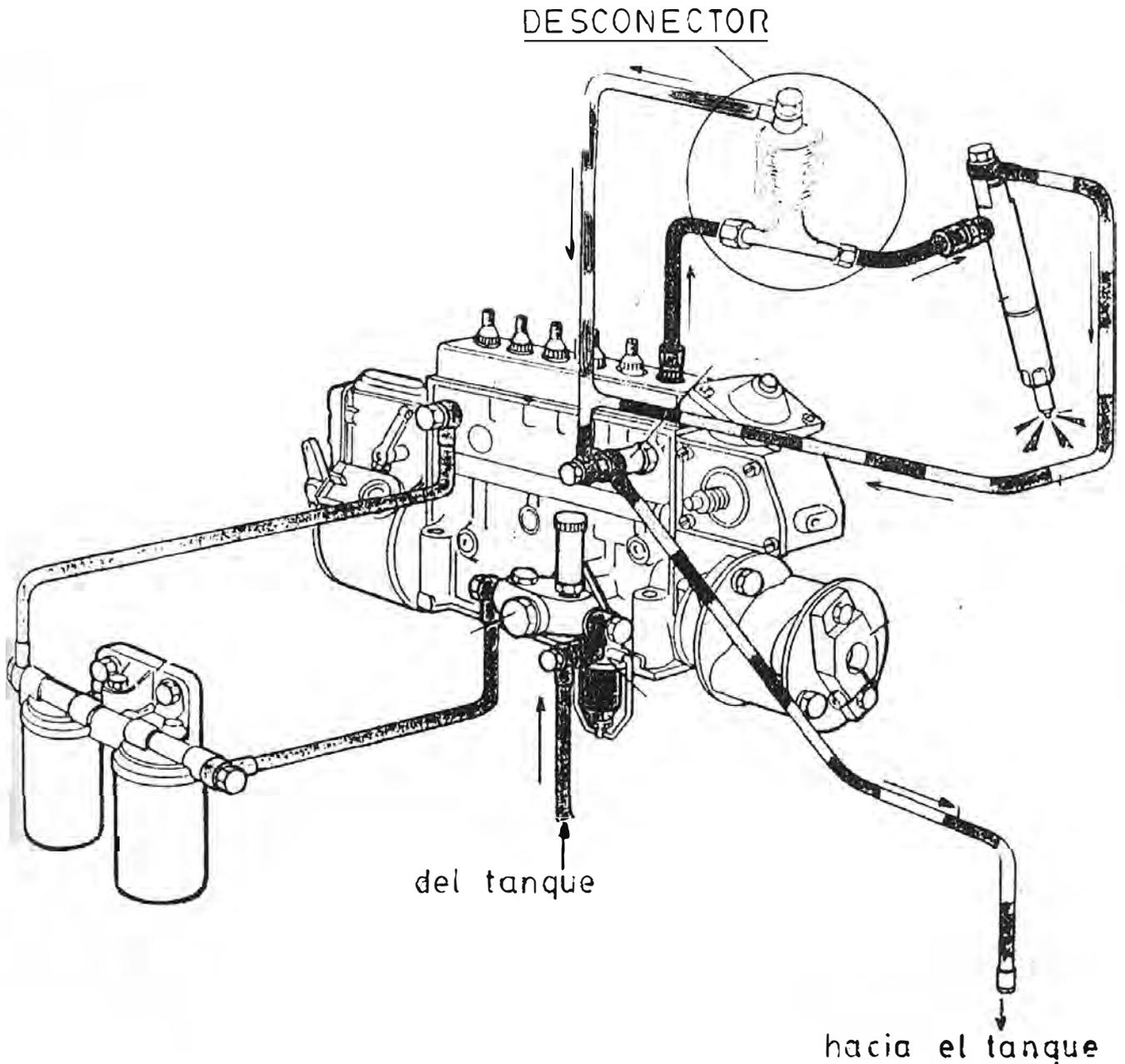


Fig.4.3 Esquema de instalación del sistema de desconexión de cilindros

#### 4.4. DESCRIPCION Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MANDO ELECTRICO.

Para la excitación de la bobina electromagnética, en el desconector, se requiere una corriente de 175 a 200 mA, y una tensión de 12 V o 24 V, para las pruebas se usó 24 V. El mando eléctrico es un bloque que permite la conexión y/o desconexión de los desconectores, se acciona manualmente mediante un interruptor. Consta de las siguientes partes:

Motor eléctrico, que acciona el circuito eléctrico, mediante un avance (leva), que está acoplada en uno de sus extremos. La velocidad de dicho motor esta regulada por una resistencia de 10  $\Omega$  y una resistencia variable de 15  $\Omega$ .

Platinos; que en número de tres y dispuestos alrededor del avance a 120° de separación, permite que cada platino controle a dos desconectores por ciclo.

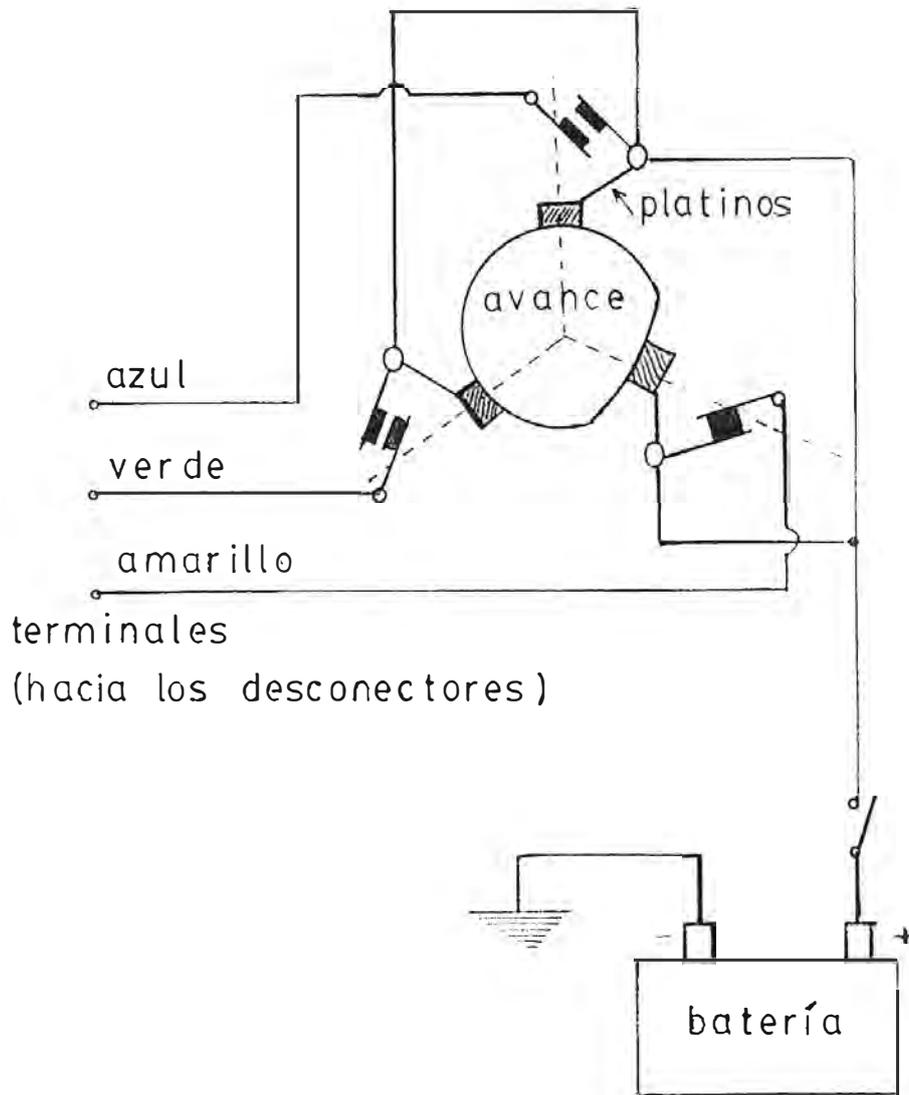


Fig.4.4: Esquema del mando eléctrico

#### 4.5. DESCRIPCION Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ANALIZADOR DE HOLLIN.

Los analizadores de hollín basan su principio de funcionamiento en la filtración de los gases de escape a través de un papel filtro especial.

El analizador más común es el hollímetro Bosch, graduado convencionalmente en unidades Bosch (Bosch Units). Es un equipo compacto que puede ser fijo o portátil, es usado para medir el contenido de hollín en los gases de escape de los motores Diesel, instalados en bancos de pruebas o en el vehículo, con la finalidad de efectuar mediciones en condiciones de trabajo. El equipo (fig.4.4) consta de la bomba de émbolo de dosificación manual 1 (con capacidad de 330 cm<sup>3</sup>), con la abertura 2 donde se coloca el filtro de papel, el que se sujeta con la tuerca 3, a la cual se fija la manguera 5 (1.5 m. de longitud), que une la bomba de émbolo con la sonda 6, fijada en el tubo de escape, para la captación de muestras. El grado de humeado se determina con la ayuda del convertidor fotoeléctrico y el indicador secundario.

Los hollímetros Bosch se emplean para un análisis rápido de los gases de escape. Los analizadores de hollín sirven, exclusivamente, para mediciones discretas

del humeado, es decir, para verificar el humo en el motor Diesel en diversos regímenes de trabajo.

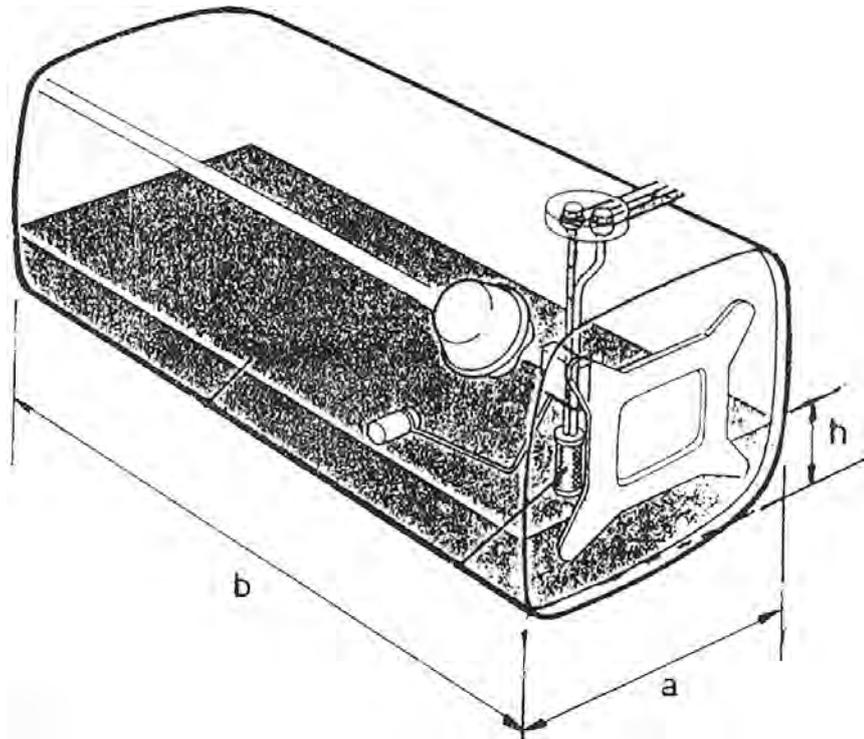
#### 4.6. PARAMETROS MEDIDOS DURANTE LOS ENSAYOS

- Velocidad de rotación del cigüeñal en rpm.
- Distancia recorrida en cada tramo en km.
- Volumen de combustible consumido en cada tramo, expresado en altura del tanque, en centímetros (cm).
- Tiempo que se demora en recorrer cada tramo, en horas.
- Con el equipo de medición de humos, se impregnó de hollín el papel filtrante, en lugares específicos de cada tramo.
- Tiempo transcurrido con los desconectores en funcionamiento.
- Distancia recorrida con los desconectores en funcionamiento.

## 4.7 FORMULAS EMPLEADAS PARA LOS CALCULOS

a) Consumo volumétrico de combustible:

Las dimensiones del tanque de combustible son las siguientes:



a = ancho = 39.5 cm

b = largo = 127 cm

h - altura en cm

El volumen será:  $V = a \times b \times h$

$V = 39.5 \times 127 \times h$ , en  $\text{cm}^3$

$V = 1.32536 \times h$ , en galones

El volumen consumido en un tramo será:

$$G_v = \Delta V = 1.32536(h_i - h_f) \text{ en galones}$$

donde:  $h_i$  = altura al iniciar el tramo, en cm.

$h_f$  = altura al término del tramo, en cm.

b) Consumo horario de combustible:

$$G_c = \frac{K \cdot \Delta V \cdot \rho_c}{t} \text{ en kg/hr}$$

donde:

$K$  = Constante e igual a 5

$\Delta V$  - Volumen de combustible diesel 2, en  $\text{cm}^3$ .

$\rho_c$  = Densidad del combustible =  $0.856 \text{ g/cm}^3$ .

$t$  = Tiempo de consumo de  $\Delta V$  de combustible, en horas

c) Rendimiento:

$$G_k = \frac{d_{tr}}{\Delta V} \text{ en km/gl}$$

donde:

$d_{tr}$  = Distancia del tramo recorrido, en km.

$\Delta V$  - Combustible consumido en el tramo, en gl.

d) Porcentaje de ahorro:

$$\% \text{ Ahorro} = \frac{(Gv_{sd} - Gv_{cd}) \times 100}{Gv_{sd}}$$

donde:

$Gv_{sd}$  : Consumo volumétrico de combustible sin realizar la desconexión de cilindros.

$Gv_{cd}$  Consumo volumétrico de combustible realizando la desconexión de cilindros.

#### 4.7.1 ERRORES EN LA TOMA DE DATOS.

El valor numérico de cualquier parámetro, se puede determinar mediante la operación de la medición.

Se definirán dos tipos de mediciones:

- a) Mediciones directas.
- b) Mediciones indirectas.

En las mediciones directas, el valor de un determinado parámetro se lee directamente del instrumento con la ayuda del cual se realiza la medición. En las mediciones indirectas el valor de determinado parámetro se calcula a través de la fórmula que relaciona el parámetro que se mide directamente.

Tanto las mediciones directas como las indirectas pueden regularse con determinada exactitud, la cual pone de manifiesto la existencia de un grado de error. Los cambios que originan los errores son:

- a) La precisión de los instrumentos de medición.
- b) Los defectos posibles de los órganos sensoriales de la persona que realiza la experiencia.
- c) La variación de las condiciones ambientales en las cuales se lleva a cabo las experiencias.
- d) La posibilidad de que el mismo parámetro fluctúe.

Existen también errores que están relacionados con la metodología de la medición, con las fórmulas de cálculo elegido y otros. De acuerdo a la causa de origen de los errores cometidos, éstos fueron:

Errores de instrumento, depende de la precisión y del estado del instrumento.

Errores casuales, se originan por cambios casuales que se producen en las condiciones bajo las cuales se efectuó el experimento, por la inexactitud de la lectura de datos que registra el instrumento, los cuales se produjeron por falta de atención o por defectos en los órganos sensoriales de la persona que

realiza las mediciones.

- Errores debido a circunstancias inherentes a las condiciones de trabajo.

## CAPITULO V

### ANALISIS DE RESULTADOS

La metodología experimental desarrollada en el presente trabajo, determina el levantamiento de las características comparativas del motor Diesel SCANIA DS11, comparando el consumo de combustible en cada caso, de acuerdo al siguiente orden:

- a) Características comparativas del motor Diesel Scania DS11, sin el Sistema de Desconexión de Cilindros (S/SDC), comparado con el funcionamiento del motor con el Sistema de Desconexión de Cilindros energizando las bobinas electromagnéticas (C/SDC). Se considera parámetro constante el peso neto vehicular (PNV) y el recorrido por tramos.
  
- b) Características del motor Diesel SCANIA DS11, sin el Sistema de Desconexión de Cilindros (S/SDC), comparado con el funcionamiento del motor con el Sistema de Desconexión de Cilindros sin accionar las bobinas electromagnéticas, o sea como Válvula de Suministro Adicional de Combustible (RND). Se considera como parámetro constante el peso neto vehicular (PNV) y el recorrido por tramos.

- c) Características del motor Diesel SCANIA DS11, sin el Sistema de Desconexión de Cilindros (S/SDC), comparando, simultáneamente, el funcionamiento del motor con el Sistema de Desconexión de Cilindros energizando las bobinas electromagnéticas (C/SDC) y sin accionar las bobinas electromagnéticas (RND). Se considera parámetros constantes el peso neto vehicular y el recorrido por tramos.

Es necesario tener en cuenta que en este análisis de resultados se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

Se evaluó en promedio el gasto de combustible en función de dos parámetros particulares de explotación del motor Diesel Scania Peso neto vehicular y recorrido por tramos; en el viaje de Trujillo a Lima y viceversa. Esto es importante tomar en cuenta debido a la desigualdad de la velocidad promedio de desplazamiento y características del terreno.

Se han efectuado 66 protocolos de ensayo, de los cuales se han seleccionado 20 en función a la proximidad del peso neto vehicular de los protocolos que se ensayaron con el Sistema de

Desconexión de Cilindros (5 protocolos con C/SDC y 5 protocolos con RND). Así mismo, se seleccionaron 10 protocolos (de los 20) para poder compararlos con los que se ensayaron con el Sistema de Desconexión de Cilindros. Los protocolos se muestran en el Anexo Nro. 1.

También es necesario mencionar que cuando se iniciaron las pruebas de campo, la carretera Panamericana Norte estaba en pleno proceso de reconstrucción, razón por la cual el consumo de combustible era elevado y la velocidad promedio de desplazamiento del vehículo disminuyó, lo cual se refleja en los primeros protocolos de ensayo.

5.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS DEL MOTOR DIESEL SCANIA SIN EL SISTEMA DE DESCONEXION DE CILINDROS (S/SDC), COMPARADO CON EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR CON EL SISTEMA DE DESCONEXIÓN DE CILINDROS ENERGIZANDO LAS BOBINAS ELECTROMAGNÉTICAS (C/SDC).

5.1.1. Análisis de resultados tomando como parámetro constante el recorrido por tramos:

Como se muestra en el protocolo comparativo Nro.32 el ahorro promedio empleando el Sistema de Desconexión de Cilindros es de 10.92% es decir de 7.159 galones. Así mismo en el protocolo se muestra que los tramos en donde se logró mayor ahorro son :

TRUJILLO VIRU (Tramo I, 44 km): En este tramo el ahorro es de 1.048 galones, que representa el 17.16% del consumo total en el tramo. Este ahorro se debe fundamentalmente a las características de la carretera; en este tramo existe sólo una subida de gran pendiente y mediana longitud (4 km) denominada "Alto Moche" a continuación de la cual vienen sucesivas bajadas precedidas por pequeñas subidas en donde se usó el Sistema de Desconexión de Cilindros, desconectando dos cilindros, sin que se altere sus condiciones de potencia

(régimen de explotación en cargas parciales).

**CASMA HUARMEY** (Tramo IV, 82 km) En este tramo el ahorro es de 1.7 galones que representa el 17.07% del consumo total en el tramo. Esto se debe a que en este tramo existen varias subidas de mediana pendiente y mediana longitud a las que continúan bajadas de mediana pendiente y gran longitud (7 km); por ejemplo, las denominadas "Playa Grande", "Virgen Aparecida", "Alto Casma", "Gritalobos", etc. En las cuales se aprovecha el fenómeno inercial por efecto de la bajada para no tener que desenergizar el Sistema de Desconexión de Cilindros por efecto de la subida (ver fig.5.1), logrando así un mayor ahorro en este tramo.

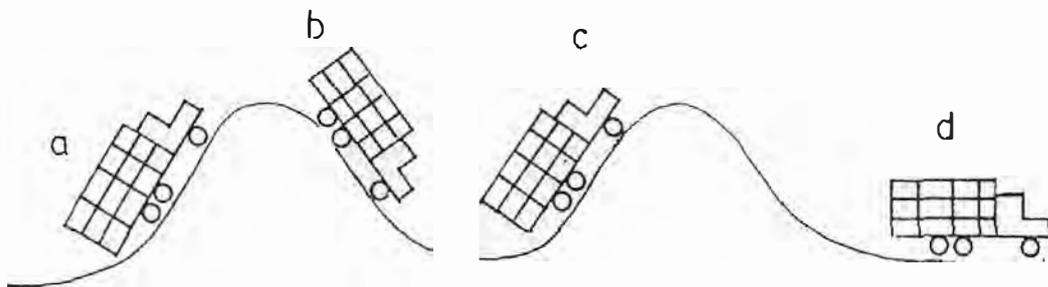


Fig.5.1 Esquema del empleo del Sistema de Desconexión  
 a) Como RND; b) C/SDC; c) C/SDC aprovechando la  
 inercia obtenida en b; d) C/SDC aprovechando la  
 inercia obtenida luego de c.

**PATIVILCA - HUACHO** (Tramo VII, 58 km): En este tramo el ahorro es de 1.85 galones que representa el 26.72% del consumo total en el tramo. Esto se debe a que en este tramo existen pequeñas subidas (menores de 1 km) y el resto del tramo es uniforme (plano), en donde se empleó el Sistema de Desconexión de Cilindros.

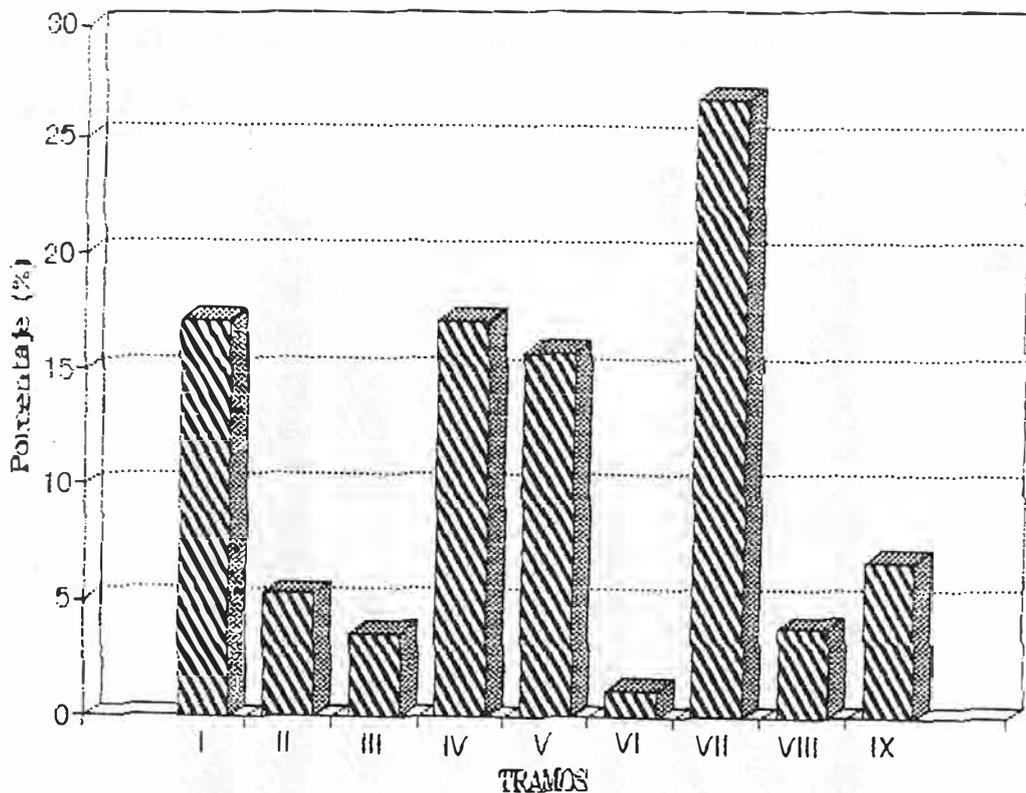


Fig.5.2. Ahorro de combustible por tramos en el recorrido Trujillo-Lima.  
 (I):Trujillo-Virú; (II):Virú-Santa; (III):Santa-Casma; (IV):Casma-Huarmey; (V):Huarmey-Gramadal; (VI):Gramadal-Pativilca; (VII):Pativilca-Huacho; (VIII):Huacho-Chancayllo; (IX):Chancayllo-Lima.

Así mismo, del protocolo Nro.36 (rendimiento por tramos), se puede apreciar que el mayor rendimiento promedio se obtiene en el tramo VII con el valor de 11.43 km/gl, lo que representa un incremento de 3.06 km/gl comparado con el rendimiento promedio del vehículo SCANIA 110S sin el sistema (S/SDC). Así mismo, se puede apreciar que el rendimiento promedio del vehículo de carga SCANIA 110S sin el Sistema (S/SDC) es de 8.21 km/gl y el rendimiento promedio con el Sistema (C/SDC) es de 9.21 km/gl, lo que significa un incremento de 1 km/gl (12.2%).

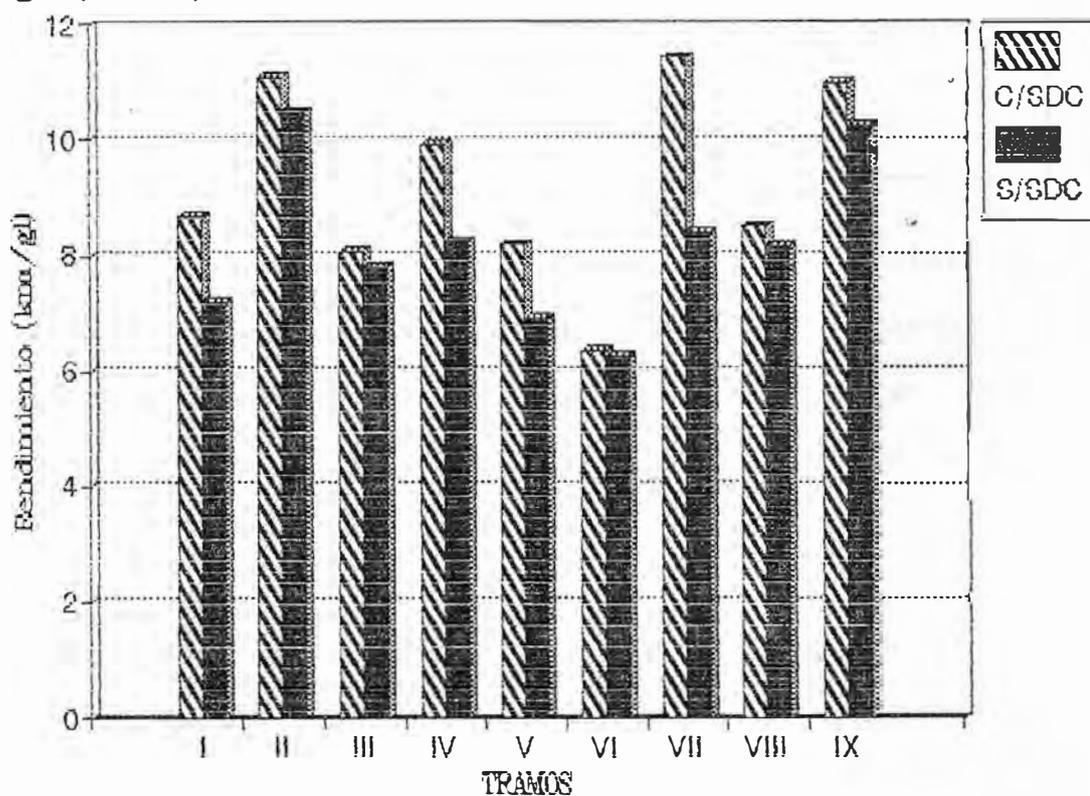


Fig.5.3. Rendimiento del vehículo de carga por tramos (I):Trujillo-Virú; (II):Virú-Santa; (III):Santa-Casma; (IV):Casma-Huarmey; (V):Huarmey-Gramadal; (VI):Gramadal-Pativilca; (VII):Pativilca-Huacho; (VIII):Huacho-Chancayllo; (IX):Chancayllo-Lima.

5.1.2. Tomando como parámetro constante el peso neto vehicular:

Cuadro # 5: Ahorro en galones y porcentaje usando el SDC, en función del peso neto vehicular.

PNV (Tm)	S/SDC (galones)	C/SDC (galones)	AHORRO (galones)	PORCENTAJE (%)
8,0	51,928	44,685	7,243	13,95
17,2	58,731	52,548	6,183	10,53
18,6	66,811	58,998	7,813	11,69
21,0	72,913	65,715	7,198	9,87
22,5	77,336	69,980	7,356	9,51

El máximo ahorro se manifiesta a cargas parciales, en este caso, de 8.0 a 18.6 toneladas. Así mismo, se manifiesta un ahorro para todo régimen de carga (peso neto vehicular) con el empleo del sistema de desconexión de cilindros. Esto se debe a lo siguiente:

- a) El proces● de desconexión de cilindros se efectúa en forma secuencial, mediante el accionamiento eléctrico, por un período de tiempo muy corto; y en todo instante el número de cilindros desconectados permanece constante e igual a 2, empleándose la combinación 1-5; 2-6; 3-4 de cilindros desconectados

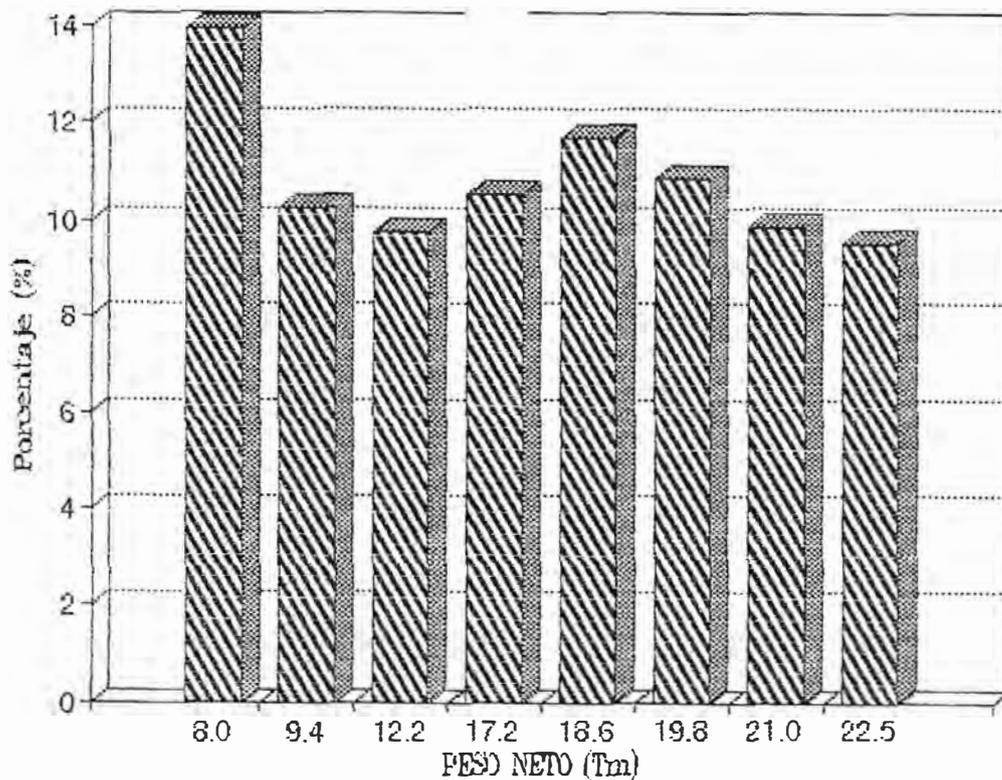


Fig.5.4. Ahorro de combustible (en porcentaje) en función al peso neto vehicular, durante el recorrido Trujillo-Lima (540 km).

- b) La diferencia de ahorro de combustible para cada peso neto se debe a que el funcionamiento del Sistema de Desconexión de Cilindros varía de acuerdo a los siguientes parámetros:

Parámetros constructivos de la válvula de derivación de combustible;

Presiones relativas en el sistema de inyección de combustible (presión inicial, de inyección y residual);

Masa de la válvula de derivación; y

Características físicas del resorte de cada desconector.

- c) Transportar un peso neto determinado con el vehículo de carga obliga a emplear cierta posición de la cremallera de suministro de combustible, y cuando se acciona el Sistema de Desconexión de Cilindros, el combustible es derivado hacia la línea de baja presión, obligando a variar la posición de la cremallera de suministro; por tanto dicha posición es diferente y variable para cada peso neto.
  
- d) Así mismo, existe el factor humano en la conducción del vehículo de carga; es decir, que para cada tipo de carga y peso neto transportado las condiciones de operación son únicas y diferentes; por ejemplo, existe diferencia al transportar 10 toneladas de carbón de piedra (predomina el peso) que al transportar 10 toneladas de heno (predomina el volumen).
  
- e) Conociendo que el peso neto vehicular nominal que puede ser transportado por el vehículo de carga SCANIA 110S es de 20 toneladas y considerando que el momento efectivo es proporcional a la variación

del suministro cíclico de combustible; se muestra, en la Fig.5.5, la variación del momento efectivo del motor Diesel y el momento del consumidor (resistencia que se tiene que vencer para mantener la estabilidad de funcionamiento del motor) para algunos valores.

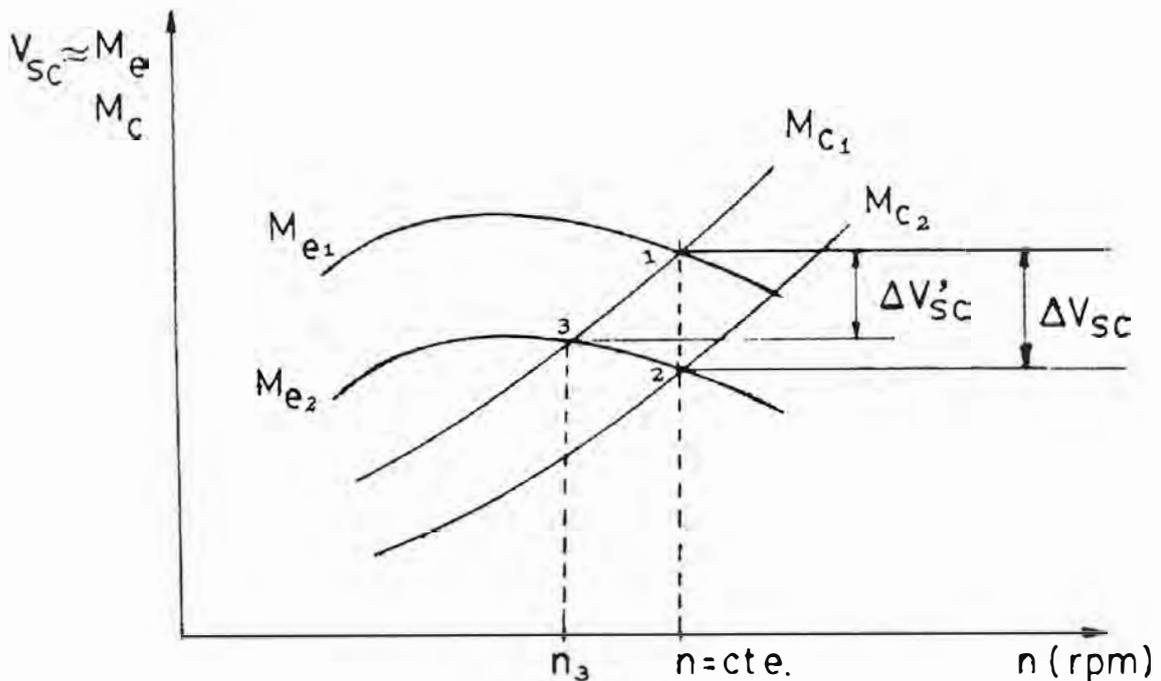


Fig.5.5. Variación del momento efectivo cuando se utiliza el Sistema de Desconexión

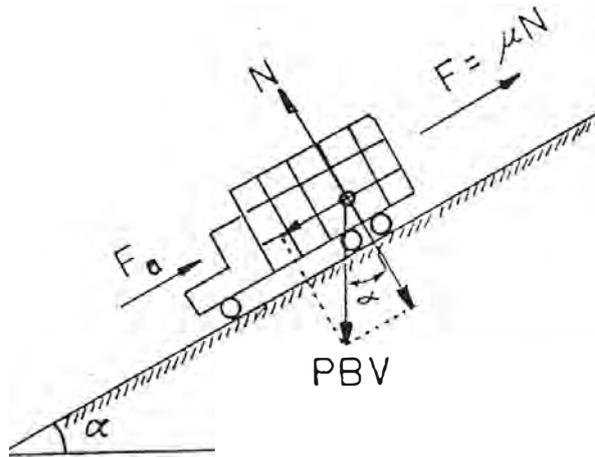
Cuando el motor SCANIA trabaja a plena carga, el sistema de alimentación se ubica en el punto 1 ( $hc_1$ ); así mismo, si se acciona el Sistema de Desconexión de Cilindros, la cremallera de suministro de combustible se ubicará en el punto 2 aproximadamente ( $hc_2$ ). Cuando se desconectan los 2 cilindros con restitución de la

velocidad, la posición de la cremallera efectúa el recorrido señalado 1 - 2 ahorrando  $\Delta V_{ec}$ . Cuando se desconectan los 2 cilindros y no se restituye la velocidad, la posición de la cremallera efectúa el recorrido 1 - 3, ahorrando  $\Delta V'_{ec}$ .

Esto quiere decir que el mayor beneficio del empleo del Sistema de Desconexión de Cilindros de acuerdo al peso neto vehicular se logra cuando el número de cilindros desconectados es 2 y se efectúa la restitución de la velocidad.

- f) Esta variación del consumo de combustible (ahorro) también se debe a las condiciones particulares del terreno, es decir, al desplazamiento por pendientes prolongadas (bajadas) y partes planas, siendo esto uno de los objetivos del empleo del Sistema de Desconexión de Cilindros.

Analicemos el desplazamiento por una pendiente (bajada) mediante el siguiente gráfico:



Aplicando la segunda ley de Newton tenemos que:

$$\sum F_x = m \cdot a_x$$

$$- PBV \cdot \sin\alpha + F_a + \mu \cdot N = - m \cdot a_x$$

$$PBV[\sin\alpha - \mu \cdot \cos\alpha] - F_a = m \cdot a_x \quad (1)$$

Donde:

PBV	Peso bruto vehicular
$\alpha$	Pendiente de la carretera
$\mu$	Factor de fricción
N	Fuerza normal
$F_a$	Fuerza de resistencia aerodinámica debido al aire.
m	Masa vehicular
	aceleración vehicular

De la ecuación (1) para una pendiente determinada ( $\alpha = \text{cte}$ ), condiciones de velocidad del aire constantes, factor de fricción del terreno ( $\mu$ ) y velocidad del vehículo constante; se establece que a mayor peso neto vehicular existe un mayor peso bruto vehicular ( $\text{PBV} = \text{PNV} + \text{tara}$ ) y por lo tanto se logra una mayor aceleración del vehículo por efecto de la componente del PBV en la dirección del movimiento sin necesidad de accionar la cremallera de suministro.

## 5.2. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS DEL MOTOR DIESEL SCANIA SIN EL SISTEMA DE DESCONEXIÓN DE CILINDROS COMPARADO CON EL MOTOR CON EL SISTEMA DE DESCONEXIÓN DE CILINDROS SIN EL ACCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA ELECTROMAGNÉTICA (RND).

### 5.2.1. Análisis de resultados tomando como parámetro constante el recorrido por tramos:

En el protocolo de resultados Nro.33 se muestra que el ahorro promedio que se logra empleando el Sistema de Desconexión de Cilindros trabajando como Válvula Auxiliar de Suministro de Combustible o válvula de un solo paso (RND) es de 3.403 galones lo, que representa el 5.29% del consumo promedio total sin el

Sistema de Desconexión de Cilindros. Este ahorro se puede explicar de la siguiente manera:

Cuando el motor Diesel SCANIA trabaja en condiciones normales de funcionamiento con el Sistema de Desconexión de Cilindros sin el accionamiento del mecanismo electromagnético, los desconectores trabajan como válvulas auxiliares de suministro de combustible, permitiendo de esta manera el ingreso adicional de combustible (Diesel 2). Este ingreso adicional se logra aprovechando el fenómeno hidrodinámico (ondas de vacío) que se origina en la línea de alta presión luego de cada proceso de inyección.

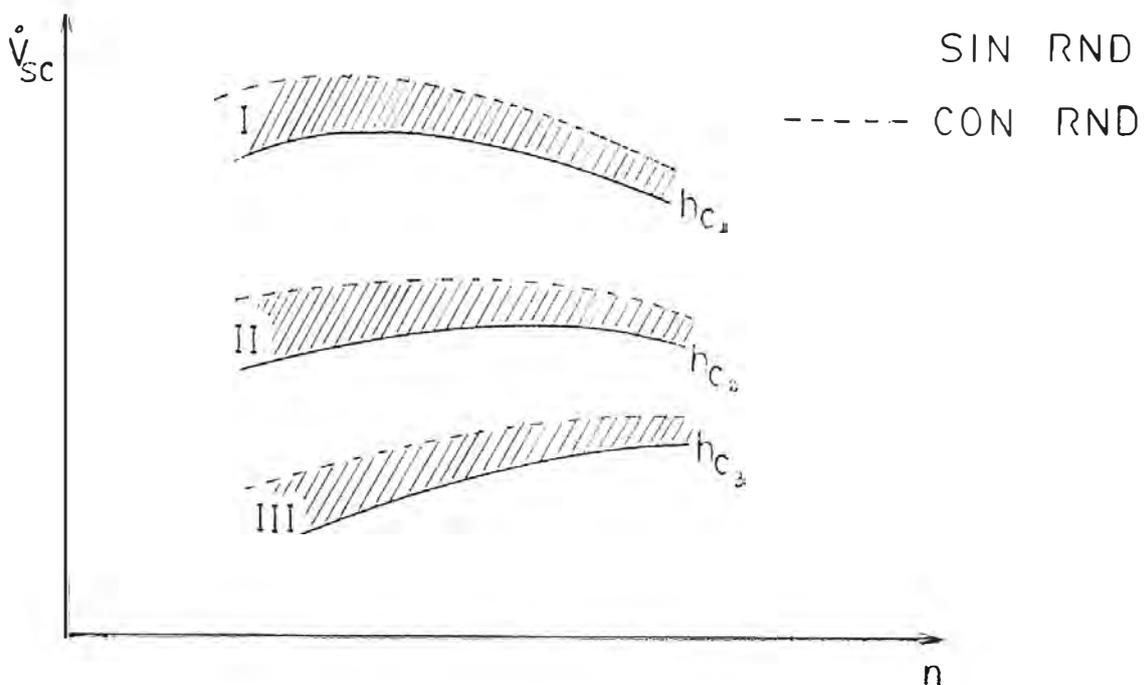


Fig.5.6. Variación del suministro cíclico de combustible en función de la velocidad del eje de levas de la bomba de inyección.

En la Fig.5.6 se muestran 3 zonas definidas como el incremento del suministro cíclico de combustible para diferentes posiciones del órgano de mando del sistema de inyección de combustible (cremallera). Al incrementar el suministro de combustible el proceso de formación de la mezcla dentro de la cámara de combustión mejora sustantivamente, hasta cierto límite, esta mejora es más evidente cuando el régimen del motor es cercano al del momento efectivo máximo. Según la teoría de motores se tiene que:

$$M_e = B \cdot \eta_e \cdot V_{sc} \quad (2)$$

Donde:

$$B = \frac{10^3 \cdot i \cdot H_u \cdot \rho_c}{\pi \cdot r^2}$$

$\eta_e$  Eficiencia efectiva del motor

$V_{sc}$  Suministro cíclico de combustible.

De (2) se verifica que a mayor suministro cíclico de combustible se logra un mayor momento efectivo. En el gráfico anterior se muestra la variación del suministro cíclico de combustible para tres posiciones de la cremallera:  $hc=hc_{m\acute{a}x}$ ,  $hc=0.8hc_{m\acute{a}x}$  y  $hc=0.6hc_{m\acute{a}x}$ ; es

decir que las zonas I, II, III muestran el incremento de combustible entregado por ciclo.

De la Fig.5.7 se puede ver que el coeficiente de Adaptabilidad del motor mejora con el incremento del suministro cíclico de combustible. Si comparamos para la posición máxima de la cremallera sin los desconectores y con los desconectores como RND, tenemos:

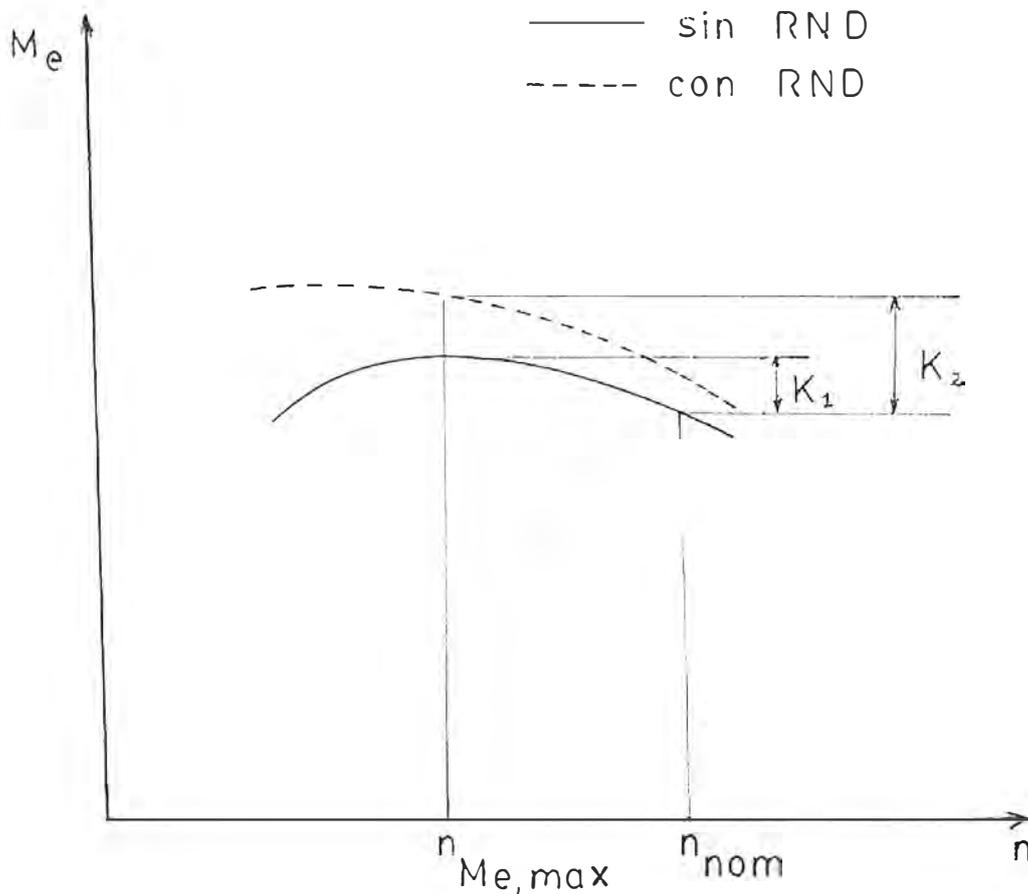


Fig.5.7. Coeficiente de adaptabilidad del motor Diesel, según la característica externa de velocidad.

Es decir el factor del motor Diesel que mide la reserva de momento efectivo cuando el motor tiene la válvula RND (K2) es mayor que sin la válvula RND (K1); esta cualidad es importante para el motor del vehículo de transporte de carga porque permite superar pendientes sin necesidad de reducir a otro cambio en la caja de velocidades; o en su defecto sin necesidad de llevar a la máxima posición la cremallera de suministro de combustible.

Este ahorro, cuando el desconector de cilindros trabaja como RND, se debe también a la falta de hermeticidad y a la variación del fenómeno hidrodinámico en función de la frecuencia de rotación y de la carga. Es decir que el combustible que pasa por la falta de hermeticidad de la válvula RND es derivado hacia la línea de baja presión y no interviene en el proceso de combustión del cilindro. Esta derivación del combustible se explica en la Fig.5.8.

Las zonas A, B y C muestran el volumen cíclico de combustible debido a la falta de hermeticidad de la válvula de derivación RND, también del desgaste lateral del asiento del cono de la válvula.

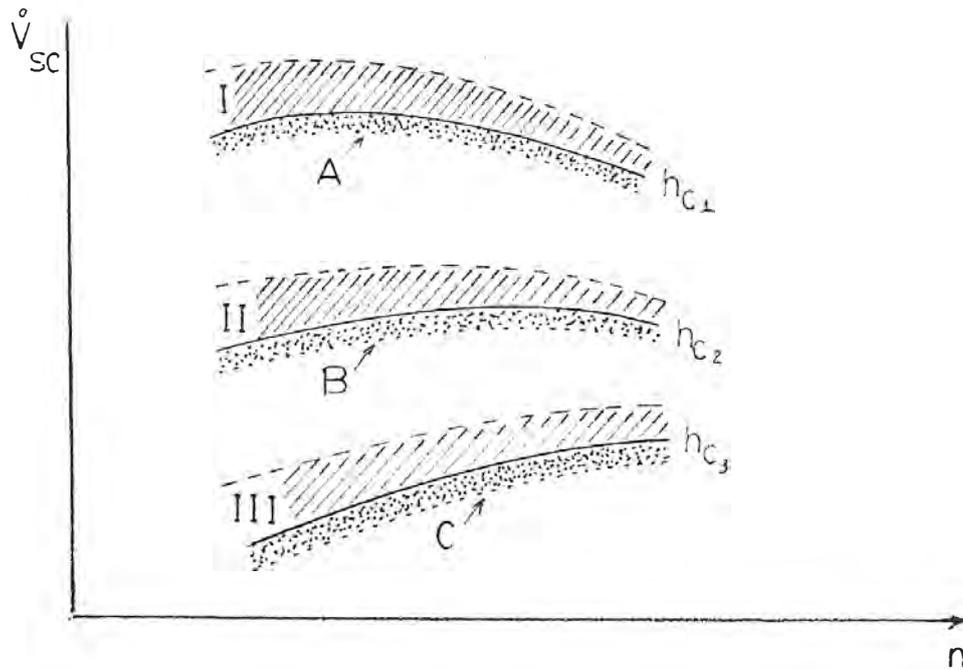


Fig.5.8. Variación del suministro cíclico de combustible por efecto de la falta de hermeticidad y por el RND, en función a las rpm de la bomba de inyección.

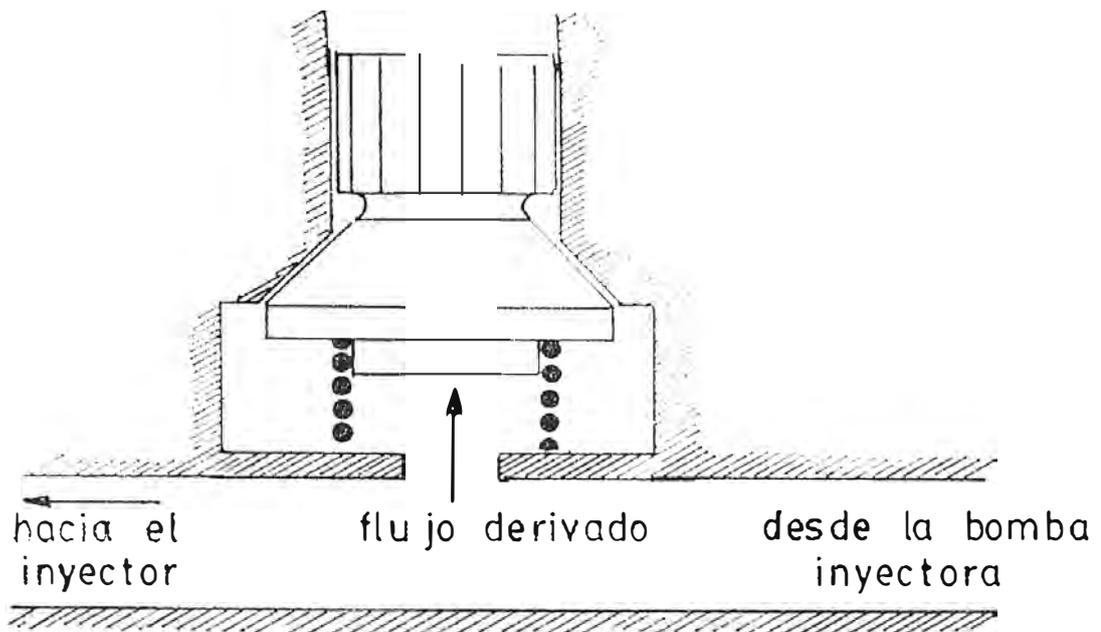


Fig.5.9. Esquema de la válvula de no retorno del desconector

De las figuras 5.6, 5.7 y 5.8 se concluye que el ahorro de combustible que se muestra en el protocolo Nro.33 se debe a que los regímenes de funcionamiento del motor con el Sistema de Desconexión como RND, permite que finalmente se logre un ahorro de combustible, por derivación y por falta de hermeticidad, a través de la válvula RND.

Es preciso señalar que el funcionamiento del sistema como (RND) también permite para todos los regímenes de funcionamiento ahorrar combustible, es decir, con sólo la instalación del Sistema de Desconexión de Cilindros.

En el recorrido Trujillo - Lima y viceversa, el mayor ahorro se logra en los siguientes tramos (ver fig.5.10):

**TRUJILLO-VIRU (Tramo I, 44 km):** El ahorro de combustible en este tramo es de 1.281 galones, que representan el 21.35% del consumo total en el tramo sin el sistema (S/SDC). Este ahorro se debe a las condiciones de la carretera, como se analizó anteriormente, en este tramo existe sólo una "subida" denominada "Alto Moche", a continuación de la cual hay una sucesión de pequeñas subidas, bajadas y partes planas; en estas condiciones

de operación, según el análisis anterior, es que se logra ahorro de combustible.

**CASMA-HUARMEY** (Tramo IV, 82 km): El ahorro de combustible en este tramo es de 3.287 galones que representan el 32.99% del consumo total en el tramo sin el sistema (S/SDC); este ahorro se debe a que en este tramo existen una sucesión de "subidas" y "bajadas" de mediana pendiente y gran longitud, es en estas condiciones que el sistema trabaja como válvula de derivación de combustible, logrando así un ahorro de combustible sustantivo.

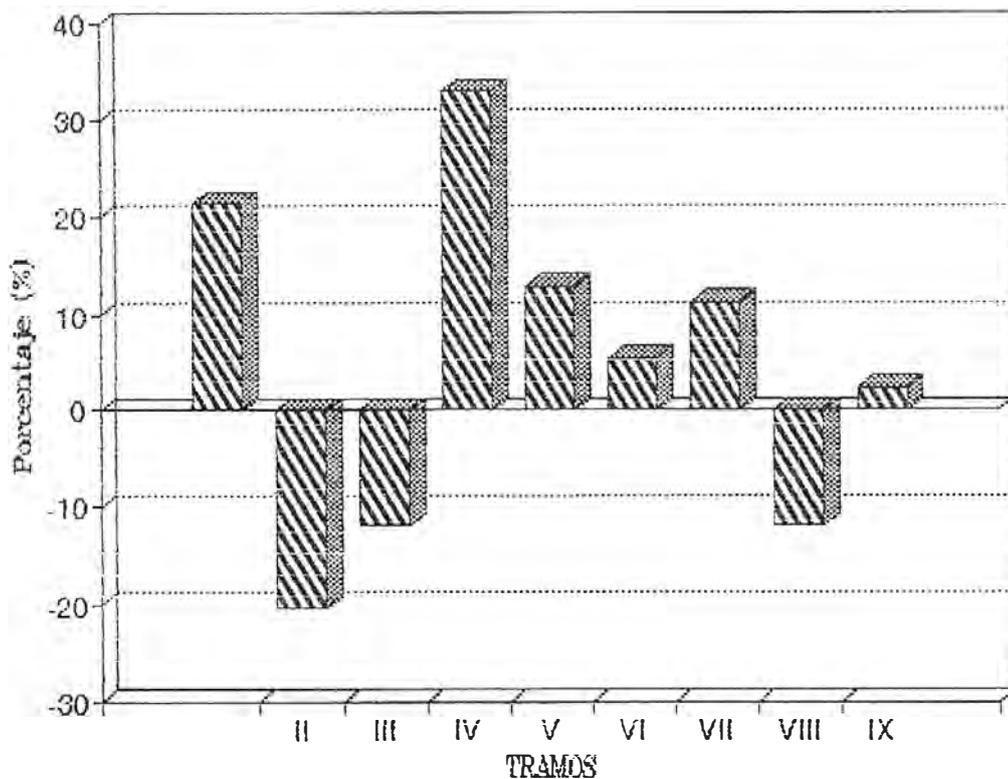


Fig.5.10. Ahorro por tramos usando el sistema como RND.

5.2.2. Análisis de resultados tomando como parámetro de comparación el peso neto vehicular (PNV):

Cuadro # 6: Ahorro en galones y porcentaje usando el SDC como RND, en función del peso neto vehicular.

PNV (Tm)	S/SDC (gl)	RND (gl)	AHORRO (gl)	PORCENTAJE (%)
9.4	53.049	51.587	1.462	2.76
12.2	57.524	55.267	2.257	3.92
18.6	66.811	63.098	3.713	5.56
19.8	71.696	66.992	4.704	6.56
21.8	72.913	68.032	4.881	6.69

Esta variación en función al peso neto vehicular se muestra en la Fig.5.11, de donde se deduce que en las pruebas de campo efectuadas, el máximo ahorro de combustible se da cuando el vehículo SCANIA transporta un peso neto vehicular cercano a su capacidad nominal, es decir 20 Tm. Este ahorro se puede explicar de la siguiente manera:

- a) El trabajo de la válvula RND se efectúa en todo instante, es decir, el sistema de alimentación de

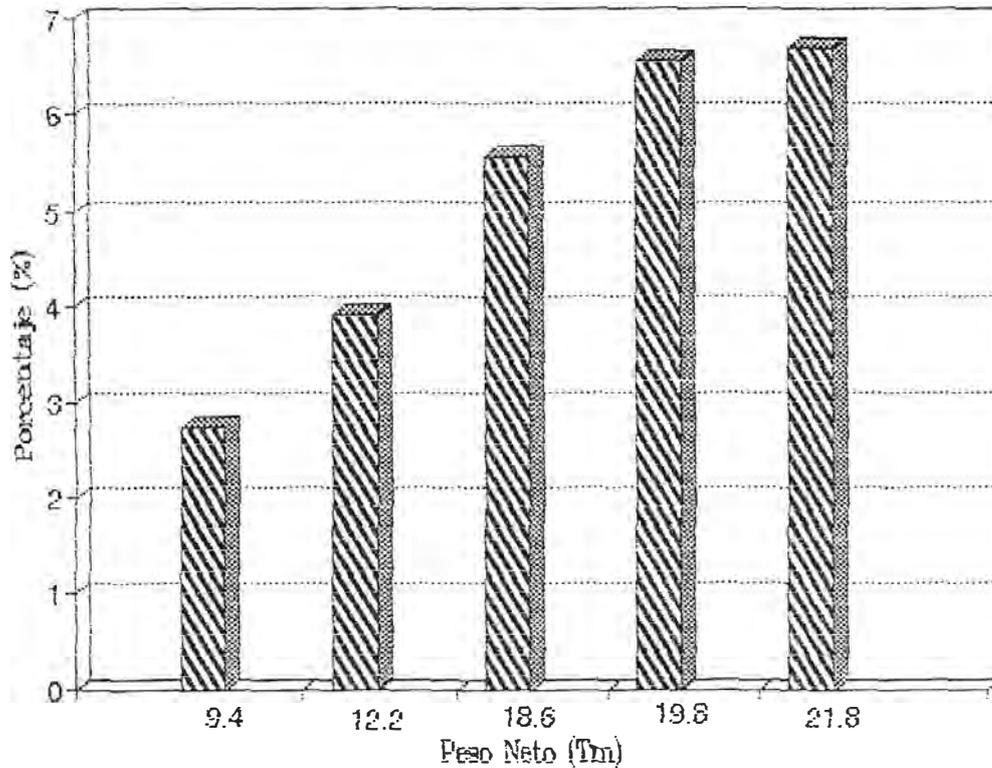


Fig.5.11. Ahorro de combustible usando el sistema como RND, en función al PNV.

combustible siempre posee la acción de un elemento adicional ubicado en la línea de alta presión, entonces cuando el motor requiere mayor combustible; por ejemplo en una subida prolongada; la válvula RND permite el ingreso adicional de combustible mejorando de esta manera las cualidades de torque, potencia y el dinamismo del vehículo, este último factor expresado como la relación siguiente:

$$D_{veh} = \frac{\text{Potencia Disponible}}{PBV}$$

es decir aumenta la reserva del momento efectivo del motor.

- b) Como se señaló anteriormente la ubicación de la válvula en su asiento no es uniforme y esto permite que el combustible pase de la línea de alta presión hacia la línea de baja presión a través de estas holguras. También existe desgaste en las paredes laterales del cilindro que alberga a la pequeña válvula de retención, esto también favorece que el combustible pase hacia la línea de baja presión (fugas por falta de hermeticidad).

5.3. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS DEL MOTOR DIESEL SCANIA SIN EL SISTEMA DE DESCONEXIÓN DE CILINDROS COMPARADO CON EL TRABAJO DEL MOTOR CON EL SISTEMA DE DESCONEXIÓN DE CILINDROS; SIN ENERGIZAR LAS BOBINAS ELECTROMAGNÉTICAS (RND) Y ENERGIZANDO LAS BOBINAS ELECTROMAGNÉTICAS (C/SDC); SIMULTÁNEAMENTE.

5.3.1. Análisis tomando como parámetro constante el recorrido por tramos:

Del protocolo Nro.34 se tiene que los resultados comparativos para el gasto de combustible en los tramos II, III y VIII se debe a que en estos tramos existen características geográficas especiales:

a) En estos tramos se encuentran las subidas denominadas "Coscomba", "Tortugas", "Doña María" que tienen un recorrido aproximado de 5 km y una pendiente muy pronunciada. En estas subidas el Sistema de Desconexión de Cilindros trabaja como válvula RND, y cuando el vehículo se encuentra en bajada (pendiente negativa) se emplea el Sistema de Desconexión de Cilindros energizando las bobinas electromagnéticas.

Según la Fig.5.12 se puede deducir que en los tramos en que hay subidas pronunciadas no se ahorra combustible ya que se trabaja en la posición de la caja de cambios III y II exigiéndose plenamente al motor; el momento de propulsión es elevado y el vehículo se desplazará a bajas velocidades. También es necesario mencionar que en el tramo VI se logra un mayor ahorro como RND debido a que el tramo es de tan sólo 39 km.

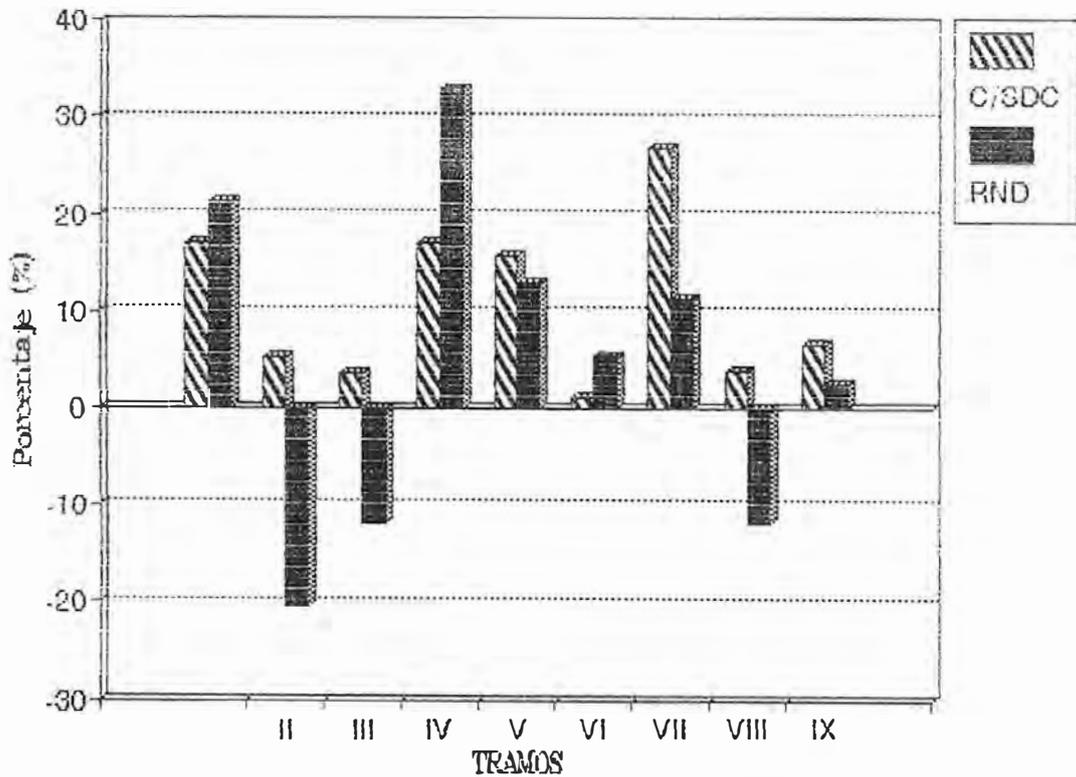


Fig.5.12. Ahorro de combustible por tramos comparando el Sistema de Desconexión (C/SDC) y como RND.  
 (I):Trujillo-Virú; (II):Virú-Santa; (III):Santa-Casma; (IV):Casma-Huarmey; (V):Huarmey-Gramadal; (VI):Gramadal-Pativilca; (VII):Pativilca-Huacho; (VIII):Huacho-Chancayllo; (IX):Chancayllo-Lima.

Por lo tanto en la subida se gasta más combustible, mientras que en la bajada se emplea el Sistema de desconexión de Cilindros (C/SDC) trabajando así el motor a cargas parciales (punto A de la Fig.5.13), derivando el combustible de 2 cilindros desconectados. Los 4 cilindros restantes trabajan en forma forzada ya que reciben parte del combustible derivado (punto B, Fig.5.13).

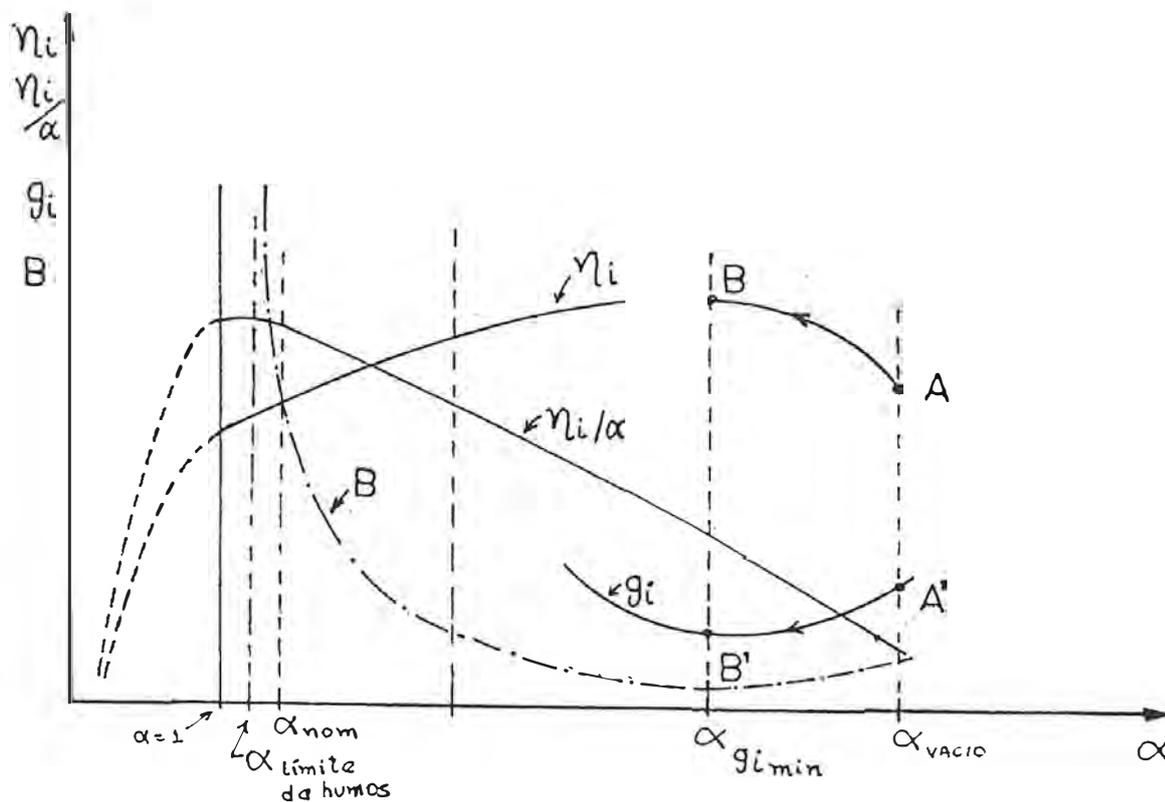


Fig.5.13. Variación de la eficiencia indicada ( $\eta_i$ ) en función del coeficiente de exceso de aire ( $\alpha$ )

El motor Diesel SCANIA trabajando con 6 cilindros en el punto A pasa a trabajar con 4 cilindros en el punto B, es decir, debido al ingreso adicional de combustible a través de la válvula RND en la línea de alta presión (ver Fig.5.14 a); en los 4 cilindros que trabajan aumenta la eficiencia indicada, aumenta la presión de inyección, (Fig.5.14 b), incrementando la penetración y el ángulo del dardo, disminuyendo el diámetro medio de las gotitas de combustible, es decir mejorando la pulverización y el proceso de combustión (Fig.5.14 c).

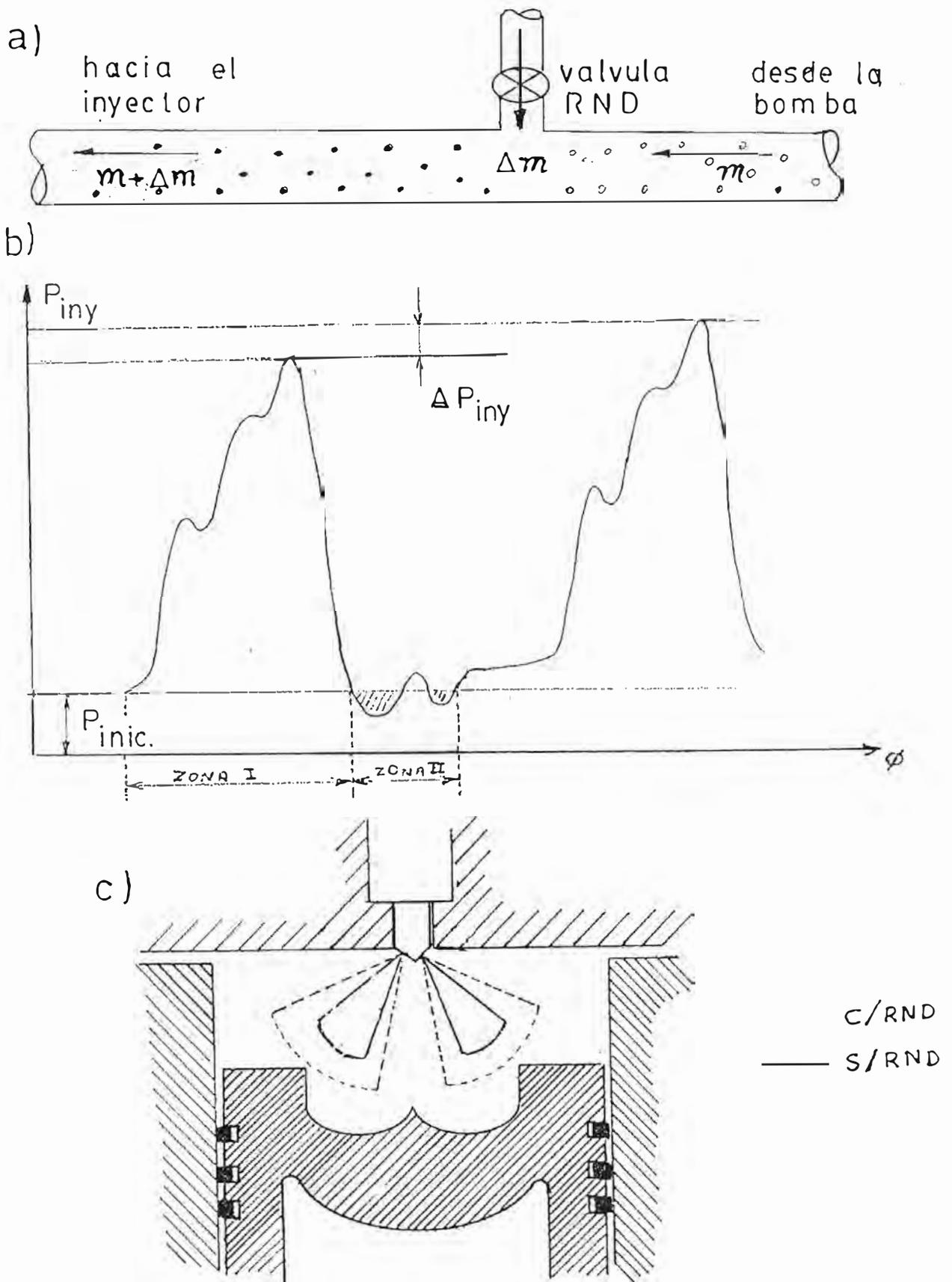


Fig.5.14 a) Ingreso adicional de combustible en la LAP.  
 b) Incremento de la presión de inyección.  
 c) Mejoramiento del proceso de combustión.

- b) Los resultados comparativos (Protocolo 34) del gasto de combustible en los tramos I, IV, V, VI, VII y IX muestran que se ahorra combustible cuando se emplea el Sistema de Desconexión de Cilindros (C/SDC) y cuando se emplea como RND.

En estos tramos del recorrido las subidas y bajadas poseen menores pendientes que en los tramos anteriormente analizados; por consiguiente en el motor se originan 2 fenómenos:

El aprovechamiento de la inercia del movimiento del vehículo al inicio de la bajada por acción de su propio peso, sin necesidad de actuar sobre la cremallera de suministro de combustible, es decir el Sistema de Desconexión de Cilindros se emplea para ahorrar combustible y mejorar la eficiencia indicada de los cilindros que se encuentran trabajando.

- Cuando se emplean los desconectores como RND se ahorra combustible por derivación y por fugas debido a la falta de hermeticidad, logrando así un ahorro adicional de combustible. Este efecto ha sido analizado en el acápite 5.2.2.

Podemos señalar entonces que el Sistema de

Desconexión de Cilindros se debe emplear obligatoriamente en los tramos II, III y VIII pues permite finalmente ahorrar combustible, aunque en cantidades muy pequeñas, debido al incremento del consumo como válvula RND (en las subidas); y en los tramos V, VII y IX pues el ahorro que se logra es mayor que cuando funciona solamente como válvula RND. En cambio en los tramos I, IV y VI se debe emplear solamente como válvula RND pues se obtiene mayor ahorro de combustible (ver Fig.5.12).

#### 5.3.2. Análisis de resultados tomando como parámetro constante el peso neto vehicular:

Para el presente análisis se muestra el protocolo de resultados comparativo Nro.35 de donde se puede inferir que para cualquier peso neto vehicular el ahorro de combustible empleando el Sistema de Desconexión de Cilindros, energizando las bobinas electromagnéticas, es mayor que cuando se emplea como válvula RND. Por tanto el Sistema de Desconexión de Cilindros se debe emplear siempre, independientemente del peso neto vehicular, sólo se debe considerar que para cada peso neto vehicular habrá un determinado ahorro de combustible.

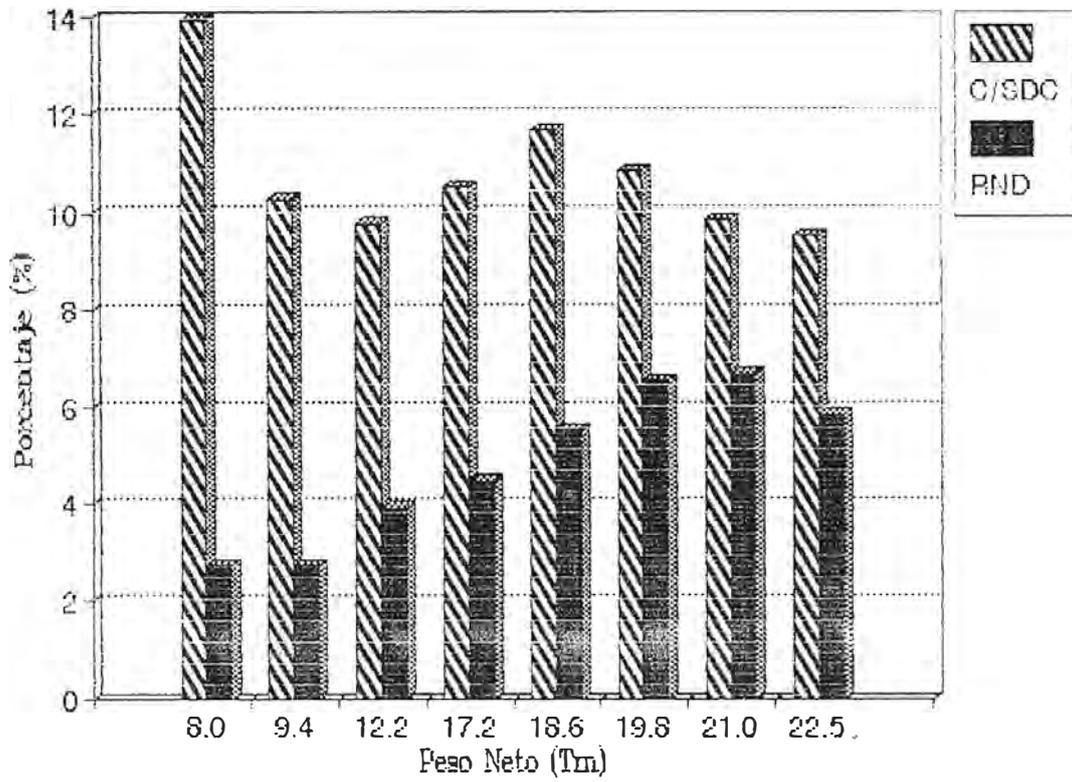


Fig.5.15. Ahorro de combustible comparando C/SDC y como RND, en función al PNV

#### 5.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS EN MARCHA EN VACÍO O DE RALENTÍ CON EL SISTEMA DE DESCONEXIÓN DE CILINDROS EN EL VEHICULO SCANIA 110S.

Apartir del protocolo Nro.37 se muestra que el motor Diesel SCANIA trabajando con el Sistema de Desconexión de Cilindros disminuye el nivel de hollín (contenido de carbonilla), esto, muestra que el proceso de combustión es más eficiente, debido a que parte del combustible derivado de los 2 cilindros desconectados es introducido a los 4 cilindros restantes que trabajan a través de la válvula RND, mejorando la eficiencia indicada (ver Fig.5.13)

Es necesario señalar que los niveles de contenido de hollín (humeado) son sumamente bajos e inferiores a los valores del límite de hollín según la escala Bosch, que prevee un valor máximo admisible de 4.2 UB.

Para condiciones de trabajo diferentes al de vacío se deben efectuar las mediciones en regímenes transitorios de aceleración y desaceleración, por lo tanto los valores obtenidos en el protocolo Nro.37 solamente nos brinda una información adicional que

comprueba la incidencia del funcionamiento del Sistema de Desconexión de Cilindros en el comportamiento del motor Diesel SCANIA. (ver Fig.5.15)

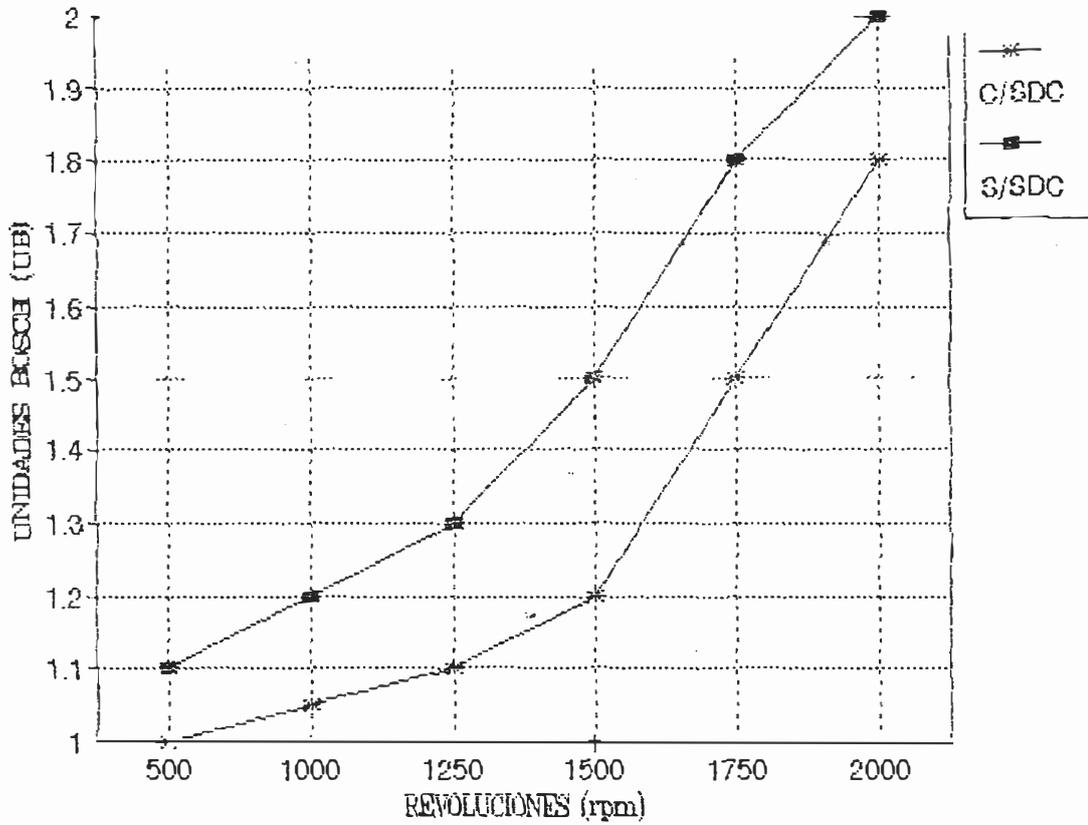


Fig.5.15. Característica de humeado del motor SCANIA DS11, en régimen de vacío.

### 5.5. ANALISIS ECONOMICO

Para mejorar la economía de operación, prolongar la vida del motor y reducir los tiempos de parada por mantenimiento, los fabricantes de motores de servicio pesado han hecho mejoras sustanciales en los sistemas de alimentación de combustible. Esto es especialmente importante para las compañías de transporte, puesto que hoy en día, según la distribución de los costos de operación, aproximadamente el 29% de los gastos de una flota son por combustible. (ver Fig.5.16)

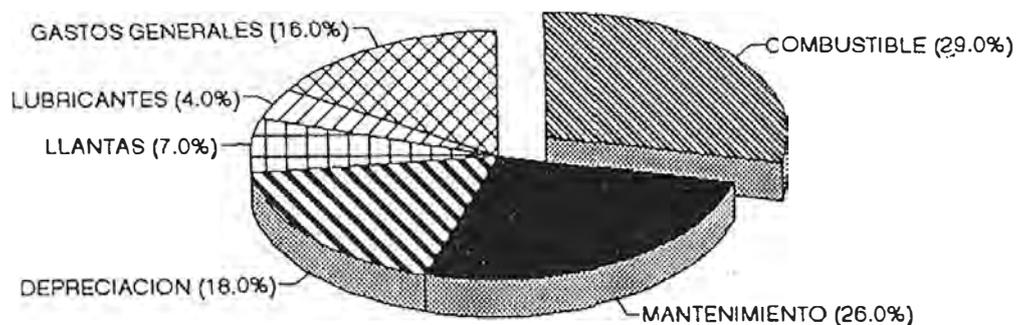


Fig.5.16. Costos de operación en vehículos para transporte de carga

En el presente trabajo de investigación se hace necesario efectuar el análisis económico para determinar cuanto se puede ahorrar en un año.

Consideraciones generales para la comparación:

- Operación de 60,000 km/año
- Costo de combustible: 1.3 US\$/gl

a) Sin el Sistema de Desconexión de Cilindros:

- Consumo promedio de combustible: 8.21 km/gl

El costo de operación por combustible será:

$$(60,000/8.21) \times 1.3 = 9,500 \text{ US\$/año}$$

b) Con el sistema de desconexión de cilindros será:

Consumo promedio de combustible: 9.21 km/gl

*El costo de operación por combustible será:*

$$(60,000/9.21) \times 1.3 = 8,470 \text{ US\$/año}$$

El ahorro será de:

$$9,500 - 8,470 = 1,030 \text{ US\$/año}$$

Si consideramos que el parque automotor está compuesto por omnibuses, camiones, remolques y semi-remolques en una cantidad aproximada de 100,000 unidades (ver cuadro # 1); y que se emplee el Sistema de Desconexión de Cilindros en ellas; el ahorro será:

104

$$1,030 \times 100,000 = 103'000,000 \text{ US\$}$$

Es decir, se lograría un ahorro aproximado de 100 (CIEN) millones de Dólares americanos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación experimental efectuada a través de las pruebas de campo, ensayando el Sistema de Desconexión de Cilindros el vehículo de carga SCANIA 110S con motor Diesel, nos permite emitir las siguientes conclusiones:

- 1.- El ahorro de combustible en los tramos I, IV, V y VII se debe en primer lugar a las características geográficas particulares del terreno en donde el vehículo de carga aprovecha el fenómeno inercial del peso bruto (efecto de la gravedad); es decir que el Sistema de Desconexión de Cilindros se pone en funcionamiento al inicio de la pendiente negativa (bajada) y se aprovecha la inercia ganada en esta para subir un tramo de la siguiente subida a partir del cual se tiene que llevar al máximo la posición de la cremallera de suministro (acelerador) para poder llegar a "coronar" dicha subida sin necesidad de desenergizar las bobinas electromagnéticas (ver Fig.5.1); este procedimiento se aprovecha cuando se tiene una sucesión de subidas y bajadas como es el caso de los tramos en mención.

- 2.- El ahorro de combustible que se logra con el Sistema de Desconexión de Cilindros trabajando como válvula RND se debe a la falta de hermeticidad en el asiento de la válvula y la holgura lateral en su cilindro. Este ahorro se manifiesta más cuando el vehículo de carga transporta pesos cercanos al nominal (20 Tm); ver Fig.5.11. También cuando se usa como RND, mejora el coeficiente de adaptabilidad del motor Diesel, lo cual garantiza una respuesta inmediata del motor ante un mayor requerimiento o exigencia de trabajo (aumento de la reserva de par o torque).
  
- 3.- El Sistema de Desconexión de Cilindros se puede emplear para cualquier peso neto a transportar, el ahorro que se logra varía desde 13,95% hasta 9,51% cuando se transporta 8 toneladas y 22,5 toneladas respectivamente. Es decir, a regímenes parciales de carga (peso neto transportado), es mayor el ahorro de combustible (en porcentaje).
  
- 4.- Asimismo la utilización del Sistema de Desconexión de Cilindros se podría emplear, cuando los vehículos están detenidos mucho tiempo o cuando tengan desplazamientos lentos, como ocurre en el transporte público de pasajeros, debido al

congestionamiento y a la saturación del tránsito vehicular en las avenidas principales, esto obliga al motor a trabajar a cargas parciales cercanas al vacío.

- 5.- El ahorro que se logra empleando el Sistema de Desconexión de Cilindros en todo el recorrido de Trujillo a Lima (540 km) es de 7.2 galones que representa 10.92% del consumo sin el Sistema de Desconexión de Cilindros.
  
- 6.- El empleo de los Dispositivos Desconectores de Cilindros se facilita debido a que su instalación se efectúa directamente en la línea de alta presión (LAP), modificándose solamente las cañerías de alta presión, es decir no afectaría la instalación en el sistema de inyección convencional tipo lineal que poseen muchos motores vehiculares de carga. También el accionamiento de los dispositivos desconectores mediante mando eléctrico o electrónico no presentan mayor dificultad en su instalación y operación; la tensión de operación de dicho mando eléctrico puede ser de 12 o 24 voltios.

7.- Es necesario el análisis del empleo del Sistema de Desconexión de Cilindros en el sistema de inyección lineal, para fijar o agrupar las secciones que se desconectarían simultáneamente de acuerdo a su orden de funcionamiento y encontrando un número óptimo de los cilindros que se deberán desconectarse. En el presente trabajo, para el motor Diesel SCANIA, las parejas de cilindros que se desconectan en forma óptima sin alterar la estabilidad de funcionamiento son: 2-6, 5-1 y 3-4.

8.- Se conoce que los transportistas de carga por lo general en un recorrido superior a los 100 km, tienen períodos de paradas para efectuar actividades como:

Verificación de la presión de los neumáticos;  
Verificación del estado de la carga;  
Verificación del nivel de temperatura de las partes críticas sometidas a alta fricción (caja de cambios, diferencial, rodajes de ruedas, etc).

Estos períodos, están entre 8% a 12% dependiendo del tipo de carga a transportar y de las condiciones ambientales. En estos períodos de tiempo el motor trabaja en velocidad de ralentí, es

**CUADRO #7: CONSUMO INTERNO POR SECTORES DE DIESEL 2 (BARRILES)**

SECTORES	1,991	1,992	1,993
COMERCIO			
- ESTACIONES DE PETROPERU	672,659	500,158	24,674
- OTROS	4,928,593	6,365,525	7,624,320
TOTAL	5,601,252	6,865,683	7,648,994
MINERIA			
- GRAN MINERIA	938,977	741,481	721,597
- OTROS	474,992	541,971	534,056
TOTAL	1,413,969	1,283,452	1,255,653
PETROLERO	202,617	194,945	155,161
AGROPECUARIO			
- AGROINDUSTRIAL	121,143	85,763	93,302
- OTROS	52,248	28,062	43,383
TOTAL	173,391	113,825	136,685
PESQUERO			
- PRODUCTOR DE HARINA	48,939	298,585	273,495
- NO PRODUCTORES DE HARIN	361,255	531,742	767,555
TOTAL	410,194	830,327	1,041,050
INDUSTRIAL			
- CEMENTO	166,724	82,077	81,827
- VIDR., CERAM. Y LAD.	70,772	57,577	37,550
- MET. BAS Y MET. MEC	212,215	101,580	118,379
- ALIMENTOS Y BEBIDAS	222,129	255,240	214,840
- TEXTILES	82,606	143,065	137,774
- PRODUCTOS QUIMICOS	34,633	57,819	56,734
- OTROS	175,477	532,671	505,273
TOTAL	964,556	1,230,029	1,152,377
CONSTRUCCION	81,408	148,234	202,393
TRANSPORTE			
- FERROCARRIL	176,162	92,471	111,547
- CARRETERO	516,079	508,808	543,606
- AEREO NACIONAL	3,483	5,655	5,377
- MARITIMO NACIONAL	847,685	132,418	151,036
- MARITIMO INTERNACIONAL	55,983	387,731	303,915
TOTAL	1,599,392	1,127,083	1,115,481
SERVICIOS PUBLICOS			
- ELECTRICIDAD	1,621,597	2,202,763	1,224,838
- OTROS	76,571	80,853	88,027
TOTAL	1,698,168	2,283,616	1,312,865
FUERZAS ARMADAS			
- EJERCITO	115,655	148,087	164,660
- MARINA	299,409	291,074	173,910
- AVIACION	37,378	47,867	61,213
- POLICIALES	10,569	22,708	22,750
TOTAL	463,011	509,736	422,533
OTROS CONSUMIDORES	76,707	94,630	74,485
AGENTES Y DISTRIBUIDORES	36	111	94
SECTORES DESCONOCIDOS	95,123	26,244	117,092
T O T A L	12,779,822	14,707,915	14,634,863

decir, en marcha en vacío; en éstas condiciones el ahorro que se lograría sería del 15%.

9.- Conociendo que el consumo anual aproximado de petróleo Diesel 2 por concepto del parque automotor, grupos electrógenos, etc. a nivel nacional, es de aproximadamente: 8'304,147 barriles (ver cuadro # 7) osea 456'728,085 galones, si consideramos el precio de 1.3 US\$ por galón, equivale a 593'746,510 US\$. Si se emplearía el Sistema de Desconexión de Cilindros y considerando un 10% de ahorro por su empleo; esto equivale a un ahorro de 60 millones de US\$.

10.- El Sistema de Desconexión de Cilindros es también beneficioso, porque disminuye la concentración de componentes tóxicos en los gases de escape del motor, siempre que se desconecte un número adecuado de cilindros (para nuestro caso fue 2 cilindros), de tal forma que el enriquecimiento de la mezcla no supere un valor determinado debajo del cual las emisiones aumentan nuevamente y la eficiencia indicada ( $\eta_i$ ) empeore; esto se puede explicar debido a que los cilindros que están trabajando (sin desconexión), lo harían a plena carga, desarrollando una mayor potencia por cilindro,

logrando así una mayor eficiencia indicada (ver Fig.5.12).

### RECOMENDACIONES

A partir del presente trabajo de investigación y tomando en cuenta las conclusiones se pueden establecer las siguientes recomendaciones:

- 1.- El comportamiento de la bomba de inyección responde favorablemente al instalarse los dispositivos desconectores en la línea de alta presión, en cualquier régimen de funcionamiento, lo que implica que el Sistema de Desconexión de Cilindros y Ciclos utilizado en los vehículos sería una solución a los problemas en el transporte terrestre de pasajeros y de carga, como son: desplazamientos a baja velocidad en regímenes de cargas parciales, el desplazamiento por pendientes prolongadas (viajes de la sierra hacia la costa). En estos casos al usar sólo los cilindros necesarios para que funcione el motor se ahorraría combustible.
- 2.- Sería recomendable que las pruebas de campo se hicieran extensivas para la zona de la sierra ya que parte del transporte de carga y de pasajeros se

desarrolla en esta zona.

- 3.- La instalación del Sistema de Desconexión de Cilindros en una unidad vehicular (o flota) conlleva necesariamente al adiestramiento o preparación de los conductores de dichos vehículos, tanto para evitar los vicios en el manejo, como para optimizar el uso del sistema de acuerdo a las características geográficas de la carretera. Sólo así se asegurará la obtención de resultados positivos.
  
- 4.- Se debe evitar cualquier tipo de fugas a través del sistema de alimentación de combustible y en especial del dispositivo desconector, ya que estas fugas influyen negativamente en la presión inicial de inyección y en el consumo de combustible.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Dr. Nicolai N. Patrakhaltsev. Copias de sus conferencias, dictadas para post-grado de la FIM.
- 2.- "Motores de automóvil". Dirigido por M.S. Jóvaj; Edit. MIR.
- 3.- "Motores de combustión interna". Dirigido por V.N. Lukanin; Edit. MIR.
- 4.- "Manual de motores diesel". Dirigido por B.A. Vsórov; Edit. MIR.
- 5.- "Motores de combustión interna". Eduard F. Obert.
- 6.- "Motores de combustión interna, tópicos selectos". Editado por: IMCI - FIM - UNI.
- 7.- "Soluciones a los problemas de desarrollo de los motores de combustión interna". K. Morosov; H. Streil; L. Golubkov; A. Jasper; A. Ludeña.
- 8.- Revista "automás" N° 16, 17, 20, 21, 22 y 25 Dirigido por Tomás Unger y Edwin Derteano.
- 9.- Tesis: "Estudio experimental sobre el empleo del alcohol etílico como combustible complementario en los motores Diesel con cámara de inyección directa" Autor: Percy Lizárraga.
- 10.- Tesis: "Estudio experimental de la influencia de la Desconexión de Cilindros en el consumo de combustible del motor Diesel marca Perkins modelo C4.236V" Autor: Germán Valdez.
- 11.- Tesis: "Estudio experimental de los índices de economía y ecología de los motores Diesel de aplicación automotriz empleando un Sistema de Desconexión de Cilindros basado en la regulación de la presión inicial de inyección". Autor: Bernardino Mejía Susanibar.
- 12.- Boletín estadístico del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Edición 94
- 13.- Boletín técnico de Petroperú.
- 14.- Catálogos del vehículo SCANIA.

## **APENDICE**

- 1.- Protocolos de características de consumo de combustible por viaje (Nros.1 al 31).
- 2.- Protocolos de características comparativas de consumo (Nros.32, 33, 34 y 35).
- 3.- Protocolo de característica comparativa de rendimiento (Nro.36).
- 4.- Protocolo de característica de humeado (Nro. 37).
- 5.- Perfil longitudinal, por tramos, de la carretera Panamericana en el recorrido Trujillo - Lima (538 km).