NACIONES UNIDAS

CONSEJO ECONOMICO Y SOCIAL

Distr.
LIMITADA
E/CEPAL/MEX/1983/L.15
23 de marzo de 1983

C E P A L

Comisión Económica para América Latina

# ISTMO CENTROAMERICANO: ESTIMACION DE POSIBILIDADES DE AHORRO EN EL SECTOR TRANSPORTES AL SUSTITUIR DERIVADOS DEL PETROLEO POR OTROS ENERGETICOS *

* Revisión y actualización del documento publicado el 25 de agosto de 1981, con la signatura CEPAL/MEX/1057.

# ISTMO CENTROAMERICANO: ESTIMACION DE POSIBILIDADES DE AHORRO EN EL SECTOR TRANSPORTES AL SUSTITUIR DERIVADOS DEL PETROLEO POR OTROS ENERGETICOS

INDICE


| | Página |
|---|---|
| Introducción | 1 |
| I. La electrificación de los transportes | 6 |
| 1. Medios y alternativas considerados | 6 |
| 2. Ahorro y consumo de energéticos | 7 |
| II. Mayor uso del transporte colectivo de pasajeros y masivo de carga con sólo derivados de petróleo | 19 |
| 1. Medios y alternativas considerados | 19 |
| 2. Consumo de energéticos | 21 |
| III. El empleo de alcohol anhidro (etanol) en los transportes | 24 |
| 1. Alternativas consideradas | 24 |
| 2. Ahorro y consumo de energéticos | 25 |
| IV. Conclusiones | 32 |
| Anexo: Información básica y desarrollo de los cálculos para los estudios sobre sustitución de energéticos y de medios en el sector transporte del Istmo Centroamericano | 35 |
| Notas | 51 |


/INDICE DE CUADROS

INDICE DE CUADROS


| Cuadro | | Página |
|---|---|---|
| 1 | Istmo Centroamericano: Sector transporte. Vehículos de autotransporte, 1979 | 2 |
| 2 | Istmo Centroamericano: Rendimiento y consumo de combustible de los vehículos automotores | 4 |
| 3 | Istmo Centroamericano: Consumo de derivados de petróleo en el sector autotransporte, 1979 | 5 |
| 4 | Istmo Centroamericano: Alternativas de uso de electricidad en el sector transporte, 1979 | 8 |
| 5 | Consumo unitario de derivados de petróleo y electricidad, por medio de transporte | 10 |
| 6 | Requerimientos unitarios de electricidad, por desplazamiento de derivados de petróleo | 11 |
| 7 | Istmo Centroamericano: Sector transporte. Consumo y ahorro de derivados de petróleo en alternativas consideradas, 1979 | 12 |
| 8 | Istmo Centroamericano: Sector transporte. Energía eléctrica requerida para sustituir derivados de petróleo en alternativas consideradas, 1979 | 13 |
| 9 | Istmo Centroamericano: Sector transporte. Consumo y ahorro de energía calórica en alternativas consideradas, 1979 | 15 |
| 10 | Demanda unitaria de derivados de petróleo con generación termoeléctrica, por medio de transporte | 16 |
| 11 | Relación de consumo de derivados de petróleo con generación termoeléctrica, por tipo de sustitución | 17 |
| 12 | Istmo Centroamericano: Derivados de petróleo requeridos en el caso de generación termoeléctrica en alternativas consideradas, 1979 | 18 |
| 13 | Istmo Centroamericano: Participación de la transportación masiva en el ahorro de derivados de petróleo, 1979 | 20 |
| 14 | Istmo Centroamericano: Alternativas de cambio de medio de transporte usando combustibles derivados de petróleo | 22 |
| 15 | Istmo Centroamericano: Sector transporte. Consumo y ahorro de derivados de petróleo, en alternativas que implican el sólo cambio de medios de transporte | 23 |
| 16 | Istmo Centroamericano: Alternativas de uso de alcohol en los automóviles, 1979 | 26 |


/17 Consumo

| Cuadro | | Página |
|---|---|---|
| 17 | Consumo unitario de gasolina y etanol por tipo de mezcla en automóviles | 27 |
| 18 | Istmo Centroamericano: Sector automotriz. Consumo y ahorro de gasolina por el uso de alcohol en automóviles, 1979 | 28 |
| 19 | Istmo Centroamericano: Sector automotriz. Requerimientos de alcohol y caña para sustituir gasolina, en alternativas consideradas | 29 |
| 20 | Istmo Centroamericano: Sector automotriz. Consumo y ahorro de energía calórica en alternativas consideradas, 1979 | 31 |

## INTRODUCCION

La crisis energética que afecta a gran número de países y entre ellos a los del Istmo Centroamericano,1/* ha estimulado la búsqueda de fuentes alternativas al uso de los hidrocarburos derivados del petróleo, cuyo consumo de 42 millones de barriles en 1981 significó para la región un costo de unos 1 500 millones de dólares.

El sector transporte, cuya participación en el consumo de energéticos fue en 1981 de 43% de los hidrocarburos importados (18 millones de barriles), presentó a fines de 1979 en el Istmo Centroamericano las siguientes características generales:

| | |
|---|---|
| Ferrocarriles | 4 000 kilómetros de longitud |
| | 4.0 millones de toneladas movilizadas |
| Carreteras y vehículos | 75 000 kilómetros de carreteras |
| | 740 000 vehículos (véase el cuadro 1) |
| Transporte aéreo | 3.0 millones de pasajeros |
| | 150 000 toneladas de carga |
| Transporte marítimo | 14.0 millones de toneladas movilizadas |

El presente trabajo se limita a estimar los ahorros cuantificables de derivados de petróleo, los incrementos de demanda de las fuentes energéticas alternas consideradas, así como los resultados en cuanto a consumo calórico. Al mismo tiempo que se utilizan otros tipos de combustibles, se contemplan posibles mejoras en la eficiencia energética, principalmente en lo que se refiere al transporte colectivo de pasajeros y al masivo de carga. Es decir, se espera que los cambios de tipo de energético induzcan y estimulen medidas que promuevan el cambio en el uso de los medios de transporte, de suerte que los trolebuses y autobuses desplacen a los automóviles, en el caso de pasajeros, y los ferrocarriles a los camiones, en el de la carga.

De los modos de transporte sólo se consideraron el carretero y el ferroviario, puesto que son los que al presente permitirían desplazar los hidrocarburos derivados de petróleo por energéticos disponibles en la región, como la electricidad generada en fuentes locales y el alcohol obtenido de biomasa tropical.

Tratándose de un estudio general y preliminar, se examinaron, para propósitos de análisis, 3 alternativas, tanto de uso de energéticos que podrían sustituir a los hidrocarburos derivados del petróleo en el sector transporte, como de un uso más eficiente de los mismos. Por este mismo motivo se introdujeron algunas simplificaciones como la de considerar que todos los automóviles utilizan gasolina y que todos los camiones el aceite diesel.

*Las notas aparecen al final del documento.

/Cuadro 1

Cuadro 1

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR TRANSPORTE.
VEHICULOS DE AUTOTRANSPORTE, 1979

(Miles de unidades)

| Tipo de vehículo | Istmo Centro-americano | Costa Rica | El Salvador | Guatemala[a/] | Honduras | Nicaragua | Panamá |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total | 740.9 | 139.2 | 142.1 | 200.0 | 72.8 | 66.2 | 120.6 |
| Automóviles | 413.6 | 78.0 | 58.6 | 135.0 | 26.9 | 24.9 | 90.2 |
| Autobuses | 33.0 | 3.1 | 7.1 | 11.0 | 3.7 | 3.5 | 4.6 |
| Camiones | 294.3 | 58.1 | 76.4 | 54.0 | 42.2 | 37.8 | 25.8 |

Fuente: Estimaciones de la CEPAL sobre la base de información básica suministrada por los países.
a/ Estimación.

/De los

De los combustibles derivados del petróleo utilizados en el sector transporte en 1979, un 90% correspondió a los autotransportes, y el resto a ferrocarriles, aviones y barcos.

Para desglosar el consumo global de los autotransportes entre los diversos tipos de vehículos, se estimaron consumos promedio anuales con base en información disponible en materia de rendimientos, recorrido anual y proporción de vehículos de carga según tonelaje. (Véase el cuadro 2.)

Los resultados por tipo de vehículo indican que los camiones consumieron prácticamente 61.0% de la demanda, y ocuparon sólo el 40.0% del parque automotriz. Por su parte, los automóviles, que cubrieron un 56.0% de las unidades rodantes, consumieron un 23.0% de los hidrocarburos, y el resto, un 16.0%, correspondió a los autobuses (Véase el cuadro 3.) En cuanto a los ferrocarriles, se estimó el consumo de diesel en 8 000 toneladas.

Finalmente, se hace la aclaración de que con este trabajo se está enfocando solamente un aspecto cuantitativo parcial de un problema económico mucho mayor que envuelve, entre otros, los aspectos económico-financieros de cada país con relación a los demás, la capacidad y costos de inversión que resulten del empleo de nuevos energéticos, hasta los aspectos relacionados con la idiosincrasia de una comunidad en la aceptación de un cambio en el uso de los medios de transporte.

/Cuadro 2

Cuadro 2

ISTMO CENTROAMERICANO: RENDIMIENTO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LOS VEHICULOS AUTOMOTORES

| Tipo de vehículo | Combustible | Rendimiento (litros/km) | Recorrido promedio anual (km) | Consumo anual (miles de tep) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Total | Por unidad |
| Automóviles | Gasolina | 0.120 | 15 000 | 566.9 | 1.4 |
| Autobuses | Diesel | 0.230 | 60 000 | 382.5 | 11.6 |
| Camiones | | 0.209 | 28 500 | 1 474.1 | 5.0 |
| Pesados (5.0%) | Diesel | 0.400 | 60 000 | 296.7 | 20.2 |
| Medianos (20.0%) | Diesel | 0.300 | 45 000 | 667.5 | 11.3 |
| Pequeños (75.0%) | Diesel | 0.125 | 22 000 | 509.9 | 2.3 |

Fuente: Estimaciones de la CEPAL sobre la base de información básica suministrada por los países.

/Cuadro 3

Cuadro 3

ISTMO CENTROAMERICANO: CONSUMO DE DERIVADOS DE PETROLEO EN EL SECTOR AUTOTRANSPORTE, 1979

| Tipo de vehículo | Vehículos | | Consumo de derivados de petróleo | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Miles de unidades | Porcentajes | Total (miles de tep/año) | Por unidad (tep/año) | Porcentajes |
| Total | 741 | 100 | 2 424 | 3.3 | 100 |
| Camiones | 294 | 40 | 1 474 | 5.0 | 61 |
| Automóviles | 414 | 56 | 567 | 1.4 | 23 |
| Autobuses | 33 | 4 | 383 | 11.6 | 16 |

Fuente: Estimaciones de la CEPAL sobre la base de información suministrada por los países.

## I. LA ELECTRIFICACION DE LOS TRANSPORTES

La alta potencialidad hidroeléctrica de Centroamérica puede contribuir a que en algunos medios de transporte convenga más utilizar electricidad en lugar de los hidrocarburos empleados actualmente. Este criterio se apoya en el hecho, por una parte, de que a partir de ciertos niveles de movilización de pasajeros y carga, la tracción eléctrica resulta más económica y, por otra, que ello permitiría mejorar considerablemente la situación de los balances de pagos de la región.

El empleo de la energía eléctrica generada en fuentes locales como fuerza de tracción traería consigo un gran número de ventajas, entre las cuales se pueden citar:

a) Ahorro de divisas extranjeras al reducirse la importación de hidrocarburos derivados de petróleo;

b) Mejor aprovechamiento de los equipos por incremento de capacidad 2/ y major disponibilidad de las unidades; 3/

c) Reducción de costos por mayor vida útil de los equipos, 4/ y menores costos de operación y mantenimiento, 5/ y

d) Abatimiento de la contaminación atmosférica y de sonido.

Tales ventajas compensarían, al menos en parte, los efectos desfavorables de los sistemas eléctricos en cuanto a:

a) Una mayor inversión;

b) Menor autonomía con relación a una falla en el sistema proveedor de energía, y

c) Menor flexibilidad por depender de vías con instalaciones eléctricas especiales. 6/

### 1. Medios y alternativas considerados

La energía eléctrica para el transporte público masivo urbano en trenes subterráneos, trolebuses y transporte de carga y pasajeros por ferrocarril, se ha venido usando ampliamente desde hace muchos años en varios países, y esas experiencias positivas podrían ser útiles para el Istmo Centroamericano aun cuando en el futuro cercano solamente se contempla emplear trolebuses y ferrocarriles para el transporte de personas y carga, respectivamente. Convendría, sin embargo, que en los planes reguladores de las ciudades se tomase en cuenta la posibilidad futura del uso del ferrocarril urbano y/o suburbano.

/Por otra

Por otra parte, desde hace algunos años se están realizando experiencias con el automóvil eléctrico y en algunos países (principalmente los desarrollados) ya se ha empezado a utilizar, aun cuando a una escala muy reducida. Si bien el sistema debe perfeccionarse y volverse más práctica su operación y más accesible su costo, esta perspectiva podría ser interesante si se considera que en 1979 los automóviles absorbieron el 23% del total de hidrocarburos consumidos por el parque automotriz, como se mencionó anteriormente. En vista de ello, en el presente análisis se tomó en cuenta el automóvil eléctrico, adicionalmente a los trolebuses y al ferrocarril electrificado.

Con objeto de estimar los efectos que en el uso de energéticos se podrían lograr mediante la electrificación progresiva --proveniente de fuentes locales-- de los medios de transporte considerados, se establecieron varias alternativas que se estimaron tomando como base las condiciones imperantes en 1979, último año del cual se dispuso de estadísticas medianamente confiables para toda la región. En consecuencia, los resultados deberán considerarse necesariamente en términos relativos y estarán condicionados por los supuestos utilizados.

En la alternativa llamada baja o inicial se consideraron electrificados todos los ferrocarriles y 25% de los autobuses; 7/ en la segunda, denominada intermedia, se consideró, en adición a lo anterior, que 20% de los automóviles serían desplazados por trolebuses, 5% de los coches serían eléctricos y que el 15% de la carga en camiones se transferiría a ferrocarriles eléctricos. Esa proporción de carga, que correspondería a los camiones más pesados, representa un 2.5% del parque camionero expresado en camiones pesados. Como los camiones pesados representan el 5% del total (véase nuevamente el cuadro 2) la transferencia se dará en la mitad de las unidades pesadas.

En una etapa posterior (alternativa alta) se consideró que un 50% de los automóviles seguiría siendo de combustión interna y la otra mitad se distribuiría entre autos eléctricos (25%) y trolebuses (25%). Los autobuses se electrificarían en un 50% y los camiones transferirían un 15% de la carga al ferrocarril, igual que en la alternativa intermedia. En las tres hipótesis se consideró que los ferrocarriles se electrificarían en su totalidad. Cabe mencionar que en la alternativa baja sólo se sustituirían 8 300 unidades automotrices, mientras que en la intermedia y alta 119 200 y 231 400, respectivamente. (Véase el cuadro 4.)

## 2. Ahorro y consumo de energéticos 8/

Para determinar los requerimientos de las hipótesis mencionadas, se estimaron los consumos unitarios típicos por medio de transporte y tipo de energético utilizados, así como sus equivalencias para propósitos de sustitución. Los resultados obtenidos indican que para el transporte de personas se precisarían 45.7 kilogramos equivalentes de petróleo por

/Cuadro 4

Cuadro 4

ISTMO CENTROAMERICANO: ALTERNATIVAS DE USO DE ELECTRICIDAD EN EL SECTOR TRANSPORTE, 1979

| Alternativas | Gasolina o diesel (%) | Electricidad (%) | Unidades automotrices sustituidas (miles) |
|---|---|---|---|
| Situación existente | | | |
| Automóviles | 100.0 | - | |
| Autobuses | 100.0 | - | |
| Camiones | 100.0 | - | |
| Ferrocarril | 92.0 | 8.0 a/ | |
| Alternativa baja | | | 8.3 |
| Automóviles | 100.0 | | |
| Autobuses | 75.0 | 25.0 | 8.3 |
| Camiones | 100.0 | - | |
| Ferrocarril | - | 100.0 | |
| Alternativa inmediata | | | 119.2 |
| Automóviles | 75.0 | 5.0 b/ + 20.0 c/ | 103.5 |
| Autobuses | 75.0 | 25.0 | 8.3 |
| Camiones | 85.0 | 15.0 d/ | 7.4 |
| Ferrocarril | - | 100.0 | |
| Alternativa alta | | | 231.4 |
| Automóviles | 50.0 | 25.0 b/ + 25.0 c/ | 207.0 |
| Autobuses | 50.0 | 50.0 | 17.0 |
| Camiones | 85.0 | 15.0 d/ | 7.4 |
| Ferrocarril | - | 100.0 | |

a/ Participación del Ferrocarril al Pacífico en Costa Rica.
b/ Automóvil eléctrico.
c/ Trolebús.
d/ Ferrocarril eléctrico. Se refiere a transferencia de 15.0% de la carga y representa 2.5% de las unidades, expresadas en camiones pesados, o sea, 294 x 0.025 = 7.400 camiones pesados, mitad del total (5.0%).

/Por millar

por millar de pasajeros-kilómetro, en el caso de los automóviles de gasolina, y 4.8 para los autobuses, mientras que para los medios eléctricos se necesitarían 16.4 kep por millar de pasajeros-kilómetro, en los automóviles, y 3.1 kep para los trolebuses. En materia de transporte de carga y en términos de un millar de toneladas-kilómetro de carga útil se requerirían 26 kilogramos equivalentes de petróleo en los camiones pesados diesel y 13.7 en los ferrocarriles diesel-eléctricos, mientras que el ferrocarril totalmente electrificado consumiría 5.6 kep por millar de toneladas-kilómetro de carga neta. (Véase el cuadro 5.) Los requerimientos de electricidad por kilogramo de petróleo equivalente para las diversas sustituciones consideradas, calculadas con base en los datos anteriores, oscilarían entre 0.80 y 7.58 kWh para la sustitución de automóviles de gasolina y autobuses diesel por trolebuses, respectivamente, en la movilización de personas. Para el transporte de carga se necesitarían 2.56 y 4.85 kWh por kilogramo de petróleo equivalente al sustituir camiones diesel pesados y ferrocarriles diesel-eléctricos por trenes totalmente electrificados. (Véase el cuadro 6.)

Luego se procedió a estimar los ahorros en combustibles derivados del petróleo, el incremento en la demanda eléctrica --generada en fuentes locales-- para sustituir a los hidrocarburos y, finalmente, las unidades calóricas comparables (toneladas equivalentes de petróleo) utilizadas a nivel de uso final. Los resultados indican que el consumo total de hidrocarburos utilizados en el transporte automotor y ferroviario se reducirían en 4.5% y 26.0% en las alternativas denominadas baja y alta, respectivamente, lo que en términos absolutos significaría aproximadamente entre 100 y 630 miles de toneladas equivalentes de petróleo, y unas 390 para la alternativa intermedia. Cabe destacar que el grueso de los ahorros se deberían a la disminución masiva de automóviles, por una parte, y a las mejoras en materia de eficiencia energética al pasar de transporte individual a colectivo, o sea de automóvil a trolebús y de camión a ferrocarril. (Véase el cuadro 7.)

La sustitución del transporte con base en hidrocarburos por sistemas electrificados demandaría lógicamente un volumen adicional de electricidad que llegaría a cerca de 770, 1 360 y 2 600 GWh para las alternativas baja, intermedia y alta, respectivamente. En la hipótesis intermedia 53% del incremento correspondería a la sustitución de autobuses por trolebuses. (Véase el cuadro 8.) Si se considera el consumo anual de electricidad en servicio público del Istmo Centroamericano correspondiente a 1979, estimado en 7 600 GWh, las demandas anteriores significarían un aumento de 10%, 18% y 34%, para las tres hipótesis, respectivamente, lo cual indica la alta sensibilidad del subsector eléctrico a la electrificación de los transportes.

A nivel de la energía total, o sea los requerimientos conjuntos de hidrocarburos y electricidad, los consumos y ahorros involucrados

/Cuadro 5

Cuadro 5

CONSUMO UNITARIO DE DERIVADOS DE PETROLEO Y ELECTRICIDAD, POR MEDIO DE TRANSPORTE

| Medio de transporte | Consumo energético | | |
|---|---|---|---|
| | kWh | Gasolina o diesel (kg) | kep |
| **Por millar de pasajeros-kilómetro** | | | |
| **Transporte de personas** | | | |
| Automóvil de gasolina | | 44.4 | 45.7 |
| Automóvil eléctrico | 195.0 | | 16.4 |
| Autobús | | 4.8 | 4.8 |
| Trolebús | 36.4 | | 3.1 |
| **Por millar de toneladas-kilómetro netas** | | | |
| **Transporte de carga** | | | |
| Camión diesel | | 26.0 | 26.0 |
| Ferrocarril diesel-eléctrico | | 13.7 | 13.7 |
| Ferrocarril eléctrico | 66.5 | | 5.6 |

Fuente: Cuadros A-4 y A-6 del anexo.

/Cuadro 6

Cuadro 6

REQUERIMIENTOS UNITARIOS DE ELECTRICIDAD, POR DESPLAZAMIENTO DE DERIVADOS DE PETROLEO

| Tipo de sustitución | Requerimientos de electricidad (kWh/kep) |
|---|---|
| Transporte de personas | |
| Automóvil de gasolina a trolebús | 0.80 |
| Automóvil de gasolina a automóvil eléctrico | 4.27 |
| Autobús diesel a trolebús | 7.58 |
| Transporte de carga | |
| Camión diesel a ferrocarril eléctrico | 2.56 |
| Ferrocarril diesel-eléctrico a ferrocarril eléctrico | 4.85 |

Fuente: Cuadro 5.

/Cuadro 7

Cuadro 7

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR TRANSPORTE. CONSUMO Y AHORRO DE DERIVADOS DE PETROLEO EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS, 1979

(Miles de tep)

| Alternativas | Consumo | | | | | Ahorro c/ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total | Automóviles | Autobuses | Camiones | Ferrocarriles | Total | Porcentajes | Automóviles a/ | Automóviles b/ | Autobuses | Camiones | Ferrocarriles |
| Existente | 2 432 | 567 | 383 | 1 474 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |
| Baja | 2 328 | 567 | 287 | 1 474 | - | 104 | 4.5 | - | - | 96 | - | 8 |
| Intermedia | 2 038 | 425 | 287 | 1 326 | - | 394 | 16.2 | 28.4 | 113.4 | 96 | 148 | 8 |
| Alta | 1 801 | 284 | 191 | 1 326 | - | 631 | 25.9 | 141.5 | 141.5 | 192 | 148 | 8 |

Fuente: Cuadros 3, 4 y A-8 del anexo.
a/ Transferencia a automóviles eléctricos.
b/ Transferencia a trolebuses.
c/ Este ahorro considera una generación hidroelectrica o de otra índole que no emplea derivados del petróleo.



/Cuadro 8

Cuadro 8

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR TRANSPORTE. ENERGIA ELECTRICA REQUERIDA PARA SUSTITUIR DERIVADOS DE PETROLEO EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS, 1979

(GWh)

| Alternativas | Total | Automóviles eléctricos a/ | Trolebuses a/ | Trolebuses b/ | Ferrocarril eléctrico c/ | Ferrocarril eléctrico d/ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Baja | 764 | | | 725 | | 39 |
| Intermedia | 1 355 | 121 | 91 | 724 | 380 | 39 |
| Alta | 2 587 | 605 | 113 | 1 450 | 380 | 39 |

Fuente: Cuadro A-8

a/ Por sustitución de automóviles de gasolina.
b/ Por sustitución de autobuses diesel.
c/ Por sustitución de camiones diesel.
d/ Por sustitución de ferrocarril diesel-eléctrico.

/serían

serían del tenor siguiente. En términos de miles de toneladas equivalentes de petróleo, los ahorros oscilarían entre 40 y 413 entre las alternativas extremas de un total de unas 2 432 utilizadas en 1979. Lo anterior implica una disminución en la demanda energética de 2% a 17%. (Véase el cuadro 9.)

Cabe mencionar que el empleo de derivados de petróleo en la producción de electricidad, en centrales térmicas, cambiaría radicalmente los resultados anteriores, ya que los requerimientos totales de hidrocarburos superarían a los que se emplen utilizando vehículos de combustión interna cuando la transferencia de pasajeros y carga no se hace a vehículos de transportación masiva. En efecto, el uso de automóviles eléctricos y trolebuses en lugar de autobuses, y ferrocarril eléctrico en lugar de diesel-eléctrico, aumentaría los consumos de hidrocarburos en 22%, 115% y 39%, respectivamente, y sólo se obtendrían ahorros al transferir pasajeros de automóviles a trolebuses (77%) y carga de camiones al ferrocarril eléctrico (27%). Las estimaciones anteriores se basan en una generación media de 3.5 kWh por kilogramo de derivados de petróleo en las centrales termoeléctricas. (Véanse los cuadros 10 y 11.) Bajo la hipótesis de centrales térmicas, se concluye que para la alternativa intermedia no cambia la demanda de derivados de petróleo que, sin embargo, se incrementa entre 4.0% y 5.0% en las alternativas baja y alta. (Véase el cuadro 12.)

/Cuadro 9

Cuadro 9

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR TRANSPORTE. CONSUMO Y AHORRO DE ENERGIA CALORICA EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS, 1979

(Miles de tep)

| Alternativas | Consumo | | | | | | | | Ahorro | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total | Automóviles | | Autobús | Trolebús | Camiones | Ferrocarril | | Total | % |
| | | Gasolina | Eléctricos | | | | Diesel-eléctrico | Eléctrico | | |
| Existente | 2 432 | 567 | - | 383 | - | 1 474 | 8 | - | - | - |
| Baja | 2 392 | 567 | - | 287 | 61 | 1 474 | - | 3 | 40 | 1.6 |
| Intermedia | 2 152 | 425 | 10 | 287 | 69 | 1 326 | - | 35 | 280 | 11.5 |
| Alta | 2 019 | 284 | 51 | 191 | 132 | 1 326 | - | 35 | 413 | 17.0 |

Fuente: Cuadros 7 y A-8 del anexo.



/Cuadro 10

Cuadro 10

DEMANDA UNITARIA DE DERIVADOS DE PETROLEO CON GENERACION TERMOELECTRICA, POR MEDIO DE TRANSPORTE

| Medio de transporte | kWh | kep |
|---|---|---|
| Por millar de pasajeros-kilómetro | | |
| Transporte de personas | | |
| Automóvil de gasolina | | 45.7 |
| Automóvil eléctrico | 195.0 | 55.7 |
| Autobús | | 4.8 |
| Trolebús | 36.4 | 10.4 |
| Por millar de toneladas-kilómetro netas | | |
| Transporte de carga | | |
| Camión diesel | | 26.0 |
| Ferrocarril diesel eléctrico | | 13.7 |
| Ferrocarril eléctrico | 66.5 | 19.0 |

Fuente: Cuadro 5, adoptando una generación de 3.5 kWh por kilogramo de derivados de petróleo consumidos en centrales termoeléctricas.

/Cuadro 11

Cuadro 11

RELACION DE CONSUMO DE DERIVADOS DE PETROLEO CON GENERACION TERMOELECTRICA, POR TIPO DE SUSTITUCION

| Tipo de sustitución | Relación de consumo |
|---|---|
| **Por pasajero-kilómetro** | |
| **Transporte de personas** | |
| Automóvil de gasolina a trolebús | 0.23 |
| Automóvil de gasolina a automóvil eléctrico | 1.22 |
| Autobús diesel a trolebús | 2.15 |
| **Por tonelada-kilómetro neta** | |
| **Transporte de carga** | |
| Camión diesel a ferrocarril eléctrico | 0.73 |
| Ferrocarril diesel-eléctrico a ferrocarril eléctrico | 1.39 |

Fuente: Cuadro 10.

/Cuadro 12

Cuadro 12

ISTMO CENTROAMERICANO: DERIVADOS DE PETROLEO REQUERIDOS EN EL CASO DE GENERACION TERMOELECTRICA EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS, 1979

(Miles de tep)

| Alternativa | Total | Incremento porcentual | Consumo directo[a/] | Consumo vía electricidad[b/] |
|---|---|---|---|---|
| Existente | 2 432 | - | 2 432 | - |
| Baja | 2 546 | 4.7 | 2 328 | 218 |
| Intermedia | 2 425 | - | 2 038 | 387 |
| Alta | 2 540 | 4.4 | 1 801 | 739 |

a/ Datos del cuadro 7.
b/ Datos del cuadro 8 adoptando una generación de 3.5 kWh por kilogramo de derivados de petróleo consumidos en centrales termoeléctricas.

## II. MAYOR USO DEL TRANSPORTE COLECTIVO DE PASAJEROS Y MASIVO DE CARGA CON SOLO DERIVADOS DE PETROLEO

Una de las causas del gran consumo de hidrocarburos en el sector transporte está en la importancia que viene teniendo el uso de automóviles, en detrimento de una mayor participación de los vehículos de transporte colectivo. Tal situación viene repercutiendo tanto en el consumo de derivados del petróleo, como en los niveles de contaminación atmosférica y sónica y en un creciente congestionamiento de las principales vías urbanas y carreteras, con el consecuente incremento de accidentes, necesidad de nuevas inversiones en obras viales, áreas de estacionamiento, mayor cantidad de policías, etc. Lo mismo se puede decir del pequeño desarrollo de los ferrocarriles en el Istmo Centroamericano que, aun siendo de tracción diesel eléctrica, permiten importante ahorro de combustible.

Los beneficios que se pueden obtener con el mayor uso del transporte colectivo y masivo empleando hidrocarburos no llegan a alcanzar, en muchos casos, los que resultan de la electrificación, trolebuses y ferrocarriles eléctricos, pero poseen la ventaja de demandar menores inversiones, lo que puede, en ciertas circunstancias, hacer atractiva la adopción de la alternativa de reestructurar el sistema de transporte sin electrificarlo.

Conviene destacar que los ahorros en hidrocarburos, al sustituir los automóviles por trolebuses y los camiones de carga por ferrocarril eléctrico, se deben principalmente a la transferencia al transporte colectivo y masivo. En efecto, si se comparan los ahorros obtenidos al utilizar la transportación colectiva y masiva con y sin el apoyo de la energía hidroeléctrica, los resultados indican que el solo cambio de medio de transporte (sin electrificación) generaría un 90.0% del ahorro en el transporte de pasajeros y prácticamente un 50.0% en el de carga, que pasarían a 116% y 176%, en la hipótesis de utilizar energía termoeléctrica. (Véase el cuadro 13.)

### 1. Medios y alternativas considerados

Con el objeto de facilitar la comparación de resultados con la opción de electrificación de los transportes se mantuvo la nomenclatura de las alternativas, así como los porcentajes de transferencia de automóviles a otros medios, y de camiones de carga al ferrocarril.

Como en este caso no se incluye entre las alternativas la transferencia de autobuses a trolebuses, la llamada "alternativa baja" en este caso será igual a la "situación existente". En la "alternativa intermedia" se considera que 25% de los automóviles se transfiere a los autobuses y que 15% de la carga (mitad de los camiones pesados) se transfiere al ferrocarril diesel eléctrico, en cuanto que en la llamada

/Cuadro 13

Cuadro 13

ISTMO CENTROAMERICANO: PARTICIPACION DE LA TRANSPORTACION MASIVA EN EL AHORRO DE DERIVADOS DE PETROLEO, 1979

| Tipo de sustitución | Ahorro | |
|---|---|---|
| | kep | Porcentajes |
| **Por millar de pasajero-kilómetro** | | |
| Automóvil de gasolina a trolebús | 45.7 (35.3) | 100.0 (100.0) |
| Automóvil de gasolina a autobús | 40.9 (40.9) | 89.5 (116.0) |
| **Por millar de tonelada-kilómetro neta** | | |
| Camión diesel a ferrocarril eléctrico | 26.0 (7.0) | 100.0 (100.0) |
| Camión diesel a ferrocarril diesel-eléctrico | 12.3 (12.3) | 47.0 (176.0) |

Fuente: Cuadro 5.

Nota: Los valores entre paréntesis indican los ahorros y porcentajes cuando la generación de electricidad se hace por centrales térmicas.

/"alternativa

"alternativa alta" el porcentaje de automóviles transferidos a autobuses se incrementa a 50%, manteniéndose la de carga en 15%. (Véase el cuadro 14.)

## 2. Consumo de energéticos

Con base en los consumos unitarios típicos por medio de transporte (véase nuevamente el cuadro 5), aplicados a las alternativas del cuadro 14, se concluye que para las alternativas intermedia y alta el ahorro de derivados del petróleo es del orden de los 8% y 13%, respectivamente (Véase el cuadro 15.)

Si comparamos estos resultados con los del cuadro 7, en donde se adoptó la sustitución de medios de transporte de pasajeros y carga que emplean hidrocarburos por unidades eléctricas, pero excluyendo del mismo la transferencia de autobuses a trolebuses, que no se consideró en el presente caso (véase de nuevo el cuadro 14), se observa que los porcentajes de ahorro del cuadro 7 pasan a ser de 12 y 18. 9/ Lo anterior significa que el ahorro de hidrocarburos con el solo cambio de medios de transporte resulta como de unas dos terceras partes del que se obtiene a través de la hidroelectrificación.

Cuadro 14

ISTMO CENTROAMERICANO: ALTERNATIVAS DE CAMBIO DE MEDIO DE TRANSPORTE USANDO COMBUSTIBLES DERIVADOS DE PETROLEO

| Alternativa | Porcentajes | | | Unidades automotrices sustituidas (miles) |
|---|---|---|---|---|
| | Sin cambio | Transferencia de automóviles a camiones diesel | Transferencia a ferrocarril diesel eléctrico | |
| Situación existente o alternativa baja | | | | - |
| Automóviles | 100.0 | - | - | |
| Autobuses | 100.0 | - | - | |
| Camiones | 100.0 | - | - | |
| Ferrocarril | 100.0 | - | - | |
| Alternativa intermedia | | | | 110.9 |
| Automóviles | 75.0 | 25.0 | - | 103.5 |
| Autobuses | 100.0 | - | - | - |
| Camiones | 85.0 | - | 15.0 | 7.4 |
| Ferrocarril | 100.0 | - | - | - |
| Alternativa alta | | | | 214.4 |
| Automóviles | 50.0 | 50.0 | - | 207.0 |
| Autobuses | 100.0 | - | - | - |
| Camiones | 85.0 | - | 15.0 | 7.4 |
| Ferrocarril | 100.0 | - | - | - |

/Cuadro 15

Cuadro 15

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR TRANSPORTE. CONSUMO Y AHORRO DE DERIVADOS DE PETROLEO, EN ALTERNATIVAS QUE IMPLICAN EL SOLO CAMBIO DE MEDIOS DE TRANSPORTE

(Miles de tep)

| Alternativas | Consumo | | | | | Ahorro | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total | Automóviles | Autobuses | Camiones | Ferrocarriles | Total | Porcentajes | Automóviles a/ | Camiones b/ |
| Existente | 2 432 | 567 | 383 | 1 474 | 8 | - | - | - | - |
| Baja | 2 432 | 567 | 383 | 1 474 | 8 | - | - | - | - |
| Intermedia | 2 235 | 425 a/ | 383 + 15 a/ | 1 326 b/ | 8 + 78 b/ | 197 | 8.1 | 127 | 70 |
| Alta | 2 109 | 284 a/ | 383 + 30 a/ | 1 326 b/ | 8 + 78 b/ | 323 | 13.3 | 253 | 70 |

Fuente: Cuadros 3, 14 y A-9.

a/ Transferencia de automóviles a autobús.

b/ Transferencia de camiones a ferrocarril diesel eléctrico.

## III. EL EMPLEO DE ALCOHOL ANHIDRO (ETANOL) EN LOS TRANSPORTES

Las condiciones favorables de clima y suelos imperantes en el Istmo Centroamericano son ciertamente indicativas del considerable potencial con que cuenta la región para la siembra destinada a producir biomasa con fines de utilización energética, como el alcohol que se obtiene de la caña (etanol), el alcohol de madera (metanol) y los aceites vegetales.

El empleo de etanol en sustitución de la gasolina en los automóviles está siendo experimentado en muchos países y tiene su aplicación más generalizada en el Brasil. De la información obtenida en ese país, se estima que para una mezcla de 80% de gasolina y 20% de etanol, no se requieren cambios en los motores normales de los automóviles y se obtiene el mismo rendimiento (kilómetro por litro) que si se utilizara solamente gasolina. También se está empleando en menor escala el alcohol al 100%, aunque en este caso se precisan efectuar algunas modificaciones a los motores. Sus rendimientos se estima que se reducen en un 20%, ya que la mayor eficiencia de los motores accionados con alcohol compensa en buena medida el menor contenido calórico de este combustible.

El uso de alcohol de madera (metanol) como combustible alterno a la gasolina para el transporte automotor es otra posibilidad a considerar, pero dada la escasa información disponible sobre su aplicación no se contempló en el presente estudio. Sin embargo, cabe mencionar las siguientes consideraciones: hay mucho más superficie de bosques para la producción de metanol que tierras agrícolas para el cultivo de caña en el Istmo Centroamericano; el uso de la madera no desplazaría necesariamente cultivos alimentarios como sería el caso de la caña, pero competiría con el consumo de leña como energético; el contenido calórico del metanol equivale a unas tres cuartas partes del correspondiente al etanol; sin embargo, el primero podría obtenerse a menores costos en regiones con madera adecuada abundante.

La utilización de aceites vegetales en sustitución del diesel en motores de combustión interna también se está investigando, pero todavía en grado incipiente, por lo que tampoco se consideró en este análisis. Los primeros resultados conocidos indican que podrían emplearse en una mezcla de 70% diesel y 30% aceites sin necesidad de introducir cambios en los motores normales. Estos aceites pueden obtenerse de diversos cultivos como coco, maní, soya y girasol, entre otros.

### 1. Alternativas consideradas

Como se explicó en párrafos anteriores, sólo se consideró en el presente documento la sustitución parcial y total de gasolina por alcohol en el transporte automotor. Al igual que para la electrificación de los transportes se utilizó 1979 como año de referencia por falta de información

/confiable

confiable para años más recientes; en consecuencia, los resultados deben verse en términos relativos y están condicionados a los supuestos utilizados.

Se consideraron tres alternativas denominadas baja, intermedia y alta. En la primera o inicial, se supuso que el 25% de los automóviles utilizarían una mezcla de gasolina (80%) y alcohol (20%). En una segunda etapa, la mitad de los automóviles emplearían la mezcla anterior y un 25% adicional operaría solamente con alcohol. En la etapa final correspondiente a la situación máxima posible, la totalidad de los automóviles utilizaría alcohol en un 100%. La cantidad de autos involucrados en las alternativas mencionadas oscilaría entre 104 000 y 414 000 entre las alternativas mínima y máxima consideradas. (Véase el cuadro 16.)

## 2. Ahorro y consumo de energéticos 10/

Para estimar los ahorros en hidrocarburos derivados de petróleo, así como los requerimientos de alcohol y de energía calórica se establecieron consumos unitarios típicos para las modalidades consideradas. Los resultados obtenidos muestran consumos en kilogramos por millar de pasajeros-kilómetro de energéticos utilizados de 44.4 para autos que sólo usan gasolina y 56.9 para los que emplean únicamente alcohol. En unidades calóricas equivalentes --kilogramos equivalentes de petróleo por millar de pasajeros-kilómetro-- los consumos oscilan entre 45.7 y 36.8 para los casos antes mencionados, lo cual indica una mayor eficiencia térmica en el uso del alcohol. (Véase el cuadro 17.)

Se procedió luego a estimar los ahorros en los requerimientos de gasolina, las demandas de etanol necesarias para su sustitución, así como la energía calórica total requerida en cada una de las tres alternativas consideradas. Los ahorros en gasolina resultaron de 5% y 35% para las alternativas baja e intermedia, respectivamente, y de 100% en el caso de sustitución total. (Véase el cuadro 18.)

Los requerimientos de etanol variaron,de 37.3 millones de litros en la alternativa inicial, a 894 millones en la fase máxima. Para elaborar estas cantidades de alcohol se precisaría cosechar de 533 000 a 12.8 millones de toneladas de caña y una superficie cultivable de 9 000 hectáreas para la alternativa baja y 213 000 para la máxima. Los cálculos anteriores se basaron en rendimientos de 60 toneladas de caña por hectárea de tierra cultivada y 70 litros de alcohol por tonelada de caña, valores promedio considerados normales para la región. (Véase el cuadro 19.) Cabe mencionar a título ilustrativo, de acuerdo con la información más reciente disponible, que en 1979 la superficie sembrada de caña en el Istmo Centroamericano alcanzó unas 300 000 hectáreas.

/Cuadro 16

Cuadro 16

ISTMO CENTROAMERICANO: ALTERNATIVAS DE USO DE ALCOHOL EN LOS AUTOMOVILES, 1979

(Porcentajes)

| Alternativa | Gasolina | Alcohol | | Unidades sustituidas |
|---|---|---|---|---|
| | | 20% a/ | 100% | |
| Existente | 100 | - | - | - |
| Baja | 75 | 25 | | 104 |
| Intermedia | 25 | 50 | 25 | 310 |
| Alta (máxima) | - | - | 100 | 414 |

a/ Mezcla de 80% gasolina y 20% de alcohol.

/Cuadro 17

Cuadro 17

CONSUMO UNITARIO DE GASOLINA Y ETANOL POR TIPO DE MEZCLA EN AUTOMOVILES

| Tipo de mezcla | Consumo energético en kg/millar de pasajeros-kilómetro | | |
|---|---|---|---|
| | Gasolina | Alcohol | kep |
| Gasolina 100% | 44.4 | - | 45.7 |
| Gasolina (80.0%), alcohol (20.0%) | 35.5 | 9.5 | 42.7 |
| Alcohol 100% | - | 56.9 | 36.8 |

Fuente: Cuadro A-4 del anexo.

/Cuadro 18

Cuadro 18

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR AUTOMOTRIZ. CONSUMO Y AHORRO DE GASOLINA POR EL USO DE ALCOHOL EN AUTOMOVILES, 1979

| Alternativas | Consumo | | Ahorro | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Miles de t | Miles de tep | Miles de tep | % | Automóviles a/ | Automóviles b/ |
| Existente | 551 | 567 | | | | |
| Baja | 414 + 110 = 524 | 426 + 113 = 539 | 28 | 5 | 28 | |
| Intermedia | 221 + 138 = 359 | 227 + 142 = 369 | 198 | 35 | 56 | 142 |
| Alta (máxima) | - | - | 567 | 100 | - | 567 |

Fuente: Cuadro A-9 del anexo.
a/ Utilizando mezcla de 80.0% de gasolina y 20.0% de alcohol.
b/ Utilizando 100.0% de alcohol.

/Cuadro 19

Cuadro 19

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR AUTOMOTRIZ. REQUERIMIENTOS DE ALCOHOL Y CAÑA PARA SUSTITUIR GASOLINA, EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

| Alternativas | Demanda de alcohol | | | Demanda de caña | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Miles de tep | Miles de t | Millones de litros | Miles de t a/ | Miles de ha b/ |
| Baja | 19.1 | 29.5 | 37.3 | 533.0 | 9.0 |
| Intermedia | 114.2 + 38.1 = 152.3 | 58.9 + 176.5 = 235.4 | 74.5 + 223.5 = 298.0 | 4 257.0 | 71.0 |
| Alta (máxima) | 457.0 | 706.3 | 894.0 | 12 771.0 | 213.0 |

Fuente: Cuadro A-9 del anexo.
a/ Con base en 70 litros de alcohol por tonelada de caña.
b/ Con base en 60 toneladas de caña por hectárea sembrada.

/Finalmente,

Finalmente, se calcularon los requerimientos totales de energía en cada una de las alternativas consideradas, así como los ahorros correspondientes. Los consumos oscilaron entre 559 000 toneladas equivalentes de petróleo para la alternativa baja y 457 000 para la máxima; los ahorros oscilaron entre 1.4% y 19.4% para las alternativas extremas. (Véase el cuadro 20.)

/Cuadro 20

Cuadro 20

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR AUTOMOTRIZ. CONSUMO Y AHORRO DE ENERGIA CALORICA EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS, 1979

(Miles de tep)

| Alternativa | Consumo | | | | Ahorro | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total | Tipo de mexcla utilizada | | | Total | % |
| | | Gasolina 100.0% | Gasolina (80.0%) y alcohol (20.0%) | Alcohol 100.0% | | |
| Existente | 567 | 567 | | | | |
| Baja | 559 | 426 | 114+19=133 | | 8 | 1.4 |
| Intermedia | 521 | 142 | 227+38=265 | 114 | 46 | 8.1 |
| Alta (máxima) | 457 | - | | 457 | 110 | 19.4 |

Fuente: Cuadro A-9 del anexo.

## IV. CONCLUSIONES

1. El sector transporte en el Istmo Centroamericano consume una proporción apreciable (43.0%) de los derivados de petróleo que importa la región, porcentaje que se concentra en los autotransportes.

2. En el parque automotriz los mayores consumos se deben a los camiones y automóviles y en grado menor a los autobuses.

3. La electrificación progresiva de los tres medios de transporte antes mencionados, por medio de hidroelectricidad y utilizando autos eléctricos, trolebuses y ferrocarril eléctrico significaría una reducción apreciable en el consumo de gasolina y diesel. Ello requeriría, sin embargo, de importantes inversiones tanto en materia de generación eléctrica como de equipo rodante e instalaciones de suministro.

4. Sobre la base de las estadísticas disponibles para 1979, la electrificación de una cuarta parte de los autos y autobuses y del 15.0% de la capacidad de carga de los camiones permitiría, por una parte, ahorrar unas 390 000 toneladas de derivados de petróleo anuales (alrededor de 16.0% del consumo del sector) y, por otra, generaría una demanda eléctrica adicional de unos 1 400 GWh, que implicaría, en conjunto, un ahorro total de energía de un 12% a nivel de consumidor final. La demanda eléctrica adicional estimada representaría un 18.0% del consumo público eléctrico anual en 1979, lo que indica la alta sensibilidad del subsector eléctrico a la electrificación de los transportes.

5. Cabe señalar que si la generación de electricidad se realiza a través de centrales térmicas, el ahorro señalado desaparecería y en su lugar se observaría una tendencia a incrementar el consumo de derivados del petróleo. En este último caso, las ventajas de la electrificación se relacionan con otros aspectos diferentes del ahorro de hidrocarburos.

6. El ahorro de derivados del petróleo al sustituir los automóviles por trolebuses y los camiones de carga por un ferrocarril electrificado (hidroelectricidad en ambos casos) se debe principalmente a la transferencia de uso a vehículos colectivos de pasajeros y masivos de carga, independiente del tipo de energético empleado. Los resultados indican que en la transferencia de uso de automóviles a autobuses y de camiones a ferrocarril diesel eléctrico, el ahorro de hidrocarburos es del orden de los 90% y 50%, respectivamente, del que se podría obtener en los sistemas electrificados, trolebús y ferrocarril eléctrico.

7. Con base en las estadísticas de 1979, la transferencia de una cuarta parte de los automóviles a los autobuses y de 15% de la carga al ferrocarril diesel eléctrico permitiría alcanzar un ahorro de derivados del petróleo del orden de las dos terceras partes del que se obtendría si la transferencia se diera a trolebuses y ferrocarril totalmente electrificado.

/8. El uso

8. El uso de alcohol de caña (etanol) en sustitución de la gasolina en los automóviles, también significaría ahorros de importancia en el consumo de derivados de petróleo importados.

Nuevamente sobre la base de las estadísticas de 1979 la utilización parcial de alcohol --mezcla 80% gasolina y 20% etanol-- en la mitad de los automóviles y el uso total en otro 25% produciría, por una parte, un ahorro de unas 200 000 toneladas de gasolina anuales (4 600 barriles diarios) y, por otra, una demanda adicional de unos 300 millones de litros de alcohol, lo que a su vez requeriría unas 70 000 hectáreas de tierra sembrada de caña. El ahorro en energía total sería ligeramente superior a 8%.

/Anexo

## Anexo

# INFORMACION BASICA Y DESARROLLO DE LOS CALCULOS PARA LOS ESTUDIOS SOBRE SUSTITUCION DE ENERGETICOS Y DE MEDIOS EN EL SECTOR TRANSPORTE DEL ISTMO CENTROAMERICANO

Cuadro A-1

CONTENIDO CALORICO Y PESO ESPECIFICO

| Hidrocarburos y electricidad | Contenido calórico | Equivalencia calórica con el petróleo | Peso específico (kg/litro) |
|---|---|---|---|
| Petróleo | 10.20 megacalorías/kg | 1.000 | 0.84 |
| Diesel | 10.20 megacalorías/kg | 1.000 | 0.84 |
| Gasolina | 10.50 megacalorías/kg | 1.029 | 0.74 |
| Alcohol | 6.60 megacalorías/kg | 0.647 | 0.79 |
| Electricidad | 0.86 megacalorías/kWh | 0.084 | - |

/Cuadro A-2

Cuadro A-2

CARACTERISTICAS BASICAS Y CONSUMOS UNITARIOS DE MEDIOS DE TRANSPORTE

(Transporte de personas)

| Medio de transporte | Número de personas | | Carga bruta media a/ | Tipo de energético | Consumo por kilómetros | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Máximo | Promedio | | | Litros y kWh | Kilocalorías |
| Automóvil | 6 | 2 | 1 | Gasolina | 0.120 (lt) | 0.932 |
| Automóvil | 6 | 2 | 1 | Alcohol | 0.144 (lt) | 0.751 |
| Automóvil | 6 | 2 | 1 | Gasolina (80%) | 0.096 (lt) | |
| | | | | Alcohol (20%) | 0.024 (lt) | 0.932 |
| Automóvil | 6 | 2 | 1 | Electricidad | 0.39 (kWh) | 0.335 |
| Autobús | 65 | 40 | 9 b/ | Diesel | 0.230 (lt) | 2.228 |
| Trolebús | 90 | 55 | 12 b/ | Electricidad | 2.00 (kWh) | 1.680 |

Fuente: Estimaciones de la CEPAL sobre la base de información básica suministrada por los países.

a/ Toneladas.

b/ Estimado con base en peso muerto más carga de pasajeros promedio a razón de 70 kilogramos cada uno.

/Cuadro A-3

Cuadro A-3

CARACTERISTICAS BASICAS Y CONSUMOS UNITARIOS DE MEDIOS DE TRANSPORTE

(Transporte de carga)

| Medio de transporte | Carga bruta media (t) | Carga bruta entre carga neta | Tipo de energético | Consumo por kilómetro | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Rendimiento por $10^3$ t-km | | Kilocalorías/t-km |
| | | | | Litros | kWh | |
| Camión pesado | 26 | 2.00 | Diesel | 15.4[a/] | | 131.8 |
| Ferrocarril diesel eléctrico | | 1.90 | Diesel | 8.6 | | 73.7 |
| Ferrocarril eléctrico | | 1.90 | Electricidad | | 35 | 30.1 |

Fuente: Estimaciones de la CEPAL sobre la base de estadísticas internacionales e información suministrada por los países.

a/ Corresponde a 0.40 litros/km.



/Cuadro A-4

Cuadro A-4

CONSUMO UNITARIO DE ENERGETICOS EN EL TRANSPORTE DE PERSONAS

| Medio de transporte | Gasolina o diesel | | Alcohol | | Electricidad | | Petróleo equivalente | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/$10^3$ t-km | kg/$10^3$ pasajeros-km | kg/$10^3$ t-km | kg/$10^3$ pasajeros-km | kWh/$10^3$ t-km | kWh/$10^3$ pasajeros-km | kep/$10^3$ t-km | kep/$10^3$ pasajeros-km |
| Automóvil de gasolina | 88.8 | 44.4 | | | | | 91.4 | 45.7 |
| Automóvil con mezcla | | | | | | | 86.0 | 42.6 |
| Gasolina (80%) | 71.0 | 35.5 | | | | | 73.1 | 36.5 |
| Alcohol (20%) | | | 20.0 | 9.5 | | | 12.9 | 6.1 |
| Automóvil de alcohol | | | 113.8 | 56.9 | | | 73.6 | 36.8 |
| Automóvil eléctrico | | | | | 390 | 195.0 | 32.9 | 16.4 |
| Autobús diesel | 21.5 | 4.8 | | | | | 21.5 | 4.8 |
| Trolebús eléctrico | | | | | 167 | 36.4 | 14.0 | 3.1 |

Fuente: Cuadro A-5.



/Cuadro A-5

Cuadro A-5

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS CONSUMOS UNITARIOS EN TRANSPORTE DE PERSONAS a/

I. AUTOMOVILES

1. De gasolina

Consumo de referencia - 0.120 lt/km

Equivale a $0.120 \times 0.74 \times 10^3$ = 88.8 kg/millar de toneladas-kilómetro

Equivale a 88.8 x 10,5/10.2 = 91.4 kep/millar de toneladas-kilómetro

Equivale a $0.120 \times 0.74 \times 10^3/2$ = 44.4 kg/millar de pasajeros-kilómetro

Equivale a 44.4 x 10.5/10.2 = 45.7 kep/millar de pasajeros-kilómetro

2. De gasolina (80%) y de alcohol (20%)

Consumo de referencia = 0.120 lt/km

Gasolina = 0.120 x .80 = 0.096 lt/km

Alcohol = 0.120 x .20 = 0.024 lt/km

Equivale a:

Gasolina $0.096 \times 0.74 \times 10^3$ = 71.0 kg/millar de toneladas-km

Alcohol $0.024 \times 0.79 \times 10^3$ = 20.0 kg/millar de toneladas-km

Equivale a:

Gasolina 71.0 x 10.5/10.2 =73.1 kep/millar de toneladas-km

Alcohol 20.0 x 6.6/10.2 = 12.9 kep/millar de toneladas-km

86.0 kep/millar de toneladas-km

Equivale a:

Gasolina $0.096 \times 0.74 \times 10^3/2$ = 35.5 kg/millar de pasajeros-km

Alcohol $0.024 \times 0.79 \times 10^3/2$ = 9.48 kg/millar de pasajeros-km

Equivale a:

Gasolina 35.5 x 10.5/10.2 = 36.54

Alcohol 9.48 x 6.6/10.2 = 6.13

42.67 kep/millar de pasajeros-km

3. De alcohol (100%)

Consumo de referencia = 0.144 lt/km

Equivalente a $0.144 \times 0.79 \times 10^3$ = 113.8 kg/millar de toneladas-km

a/ Las características básicas de los medios de transporte considerados se describen en el cuadro A-2.

/(Continúa)

Cuadro A-5 (Conclusión)

Equivale a 113.8 x 6.6/10.2 = 73.6 kep/millar de toneladas-kilómetro
Equivale a 0.144 x 0.79 x $10^3$/2 = 56.9 kg/millar de pasajeros-km
Equivale a 56.9 x 6.6/10.2 = 36.8 kep/millar de pasajeros-km

4. Eléctrico

Consumo de referencia 0.390 kWh/km
Equivale a 0.39 x $10^3$ = 390 kWh/millar de toneladas-kilómetro
Equivale a 390 x 860/10 200 = 32.88 kep/millar de toneladas-km
Equivale a 0.39 x $10^3$/2 = 195 kWh/millar de pasajeros-kilómetro
Equivale a 195 x 860/10 200 = 16.4 kep/millar de pasajeros-km

II. AUTOBUS DIESEL

Consumo de referencia 0.230 lt/km
Equivale a 0.230 x .84 x $10^3$/9 = 21.5 kg o kep/millar de toneladas-km
Equivale a 0.230 x .84 x $10^3$/40 = 4.83 kg o kep/millar de pasajeros-km

III. TROLEBUS

Consumo de referencia 2.0 kWh/km
Equivale a 2.0 x $10^3$/12 = 166.7 kWh/millar de toneladas-kilómetro
Equivale a 166.7 x 860/10 200 = 14.05 kep/millar de toneladas-km
Equivale a 2.0 x $10^3$/55 = 36.36 kWh/millar de pasajeros-kilómetro
Equivale a 36.36 x 860/10 200 = 3.06 kep/millar de pasajeros-km

/Cuadro A-6

Cuadro A-6

CONSUMO UNITARIO DE ENERGETICOS EN EL TRANSPORTE DE CARGA

| Medio de transporte | Diesel | | Electricidad | | Petróleo equivalente | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $kg/10^3$ t-km | $kg/10^3$ t-km netas | $kWh/10^3$ t-km | $kWh/10^3$ t-km netas | $kep/10^3$ t-km | $kep/10^3$ t-km netas |
| Camión pesado diesel | 13.0 | 26.0 | | | 13.0 | 26.0 |
| Ferrocarril diesel-eléctrico | 7.2 | 13.7 | | | 7.2 | 13.7 |
| Ferrocarril eléctrico | | | 35.0 | 66.5 | 3.0 | 5.6 |

Fuente: Cuadro A-7.

/Cuadro A-7

Cuadro A-7

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS CONSUMOS UNITARIOS EN EL TRANSPORTE DE CARGA[a/]

I. CAMION PESADO DIESEL

Consumo de referencia 0.40 lt/km

Equivale a $0.40 \times .84 \times 10^3/26 = 13.0$ kg o kep/millar de t-km

Equivale a $13.0 \times 2.00 = 26.0$ kg o kep/millar de t-km netas

II. FERROCARRIL DIESEL-ELECTRICO

Consumo de referencia 8.6 lt/millar de t-km

Equivale a $8.6 \times .84 = 7.22$ kg o kep/millar de t-km

Equivale a $7.22 \times 1.9 = 13.72$ kg o kep/millar de t-km netas

III. FERROCARRIL ELECTRICO

Consumo de referencia 35 kWh/millar de t-km

Equivale a $35 \times 1.9 = 66.5$ kWh/millar de t-km netas

Equivale a $35 \times 860/10\ 200 = 2.95$ kep/millar de t-km

Equivale a $2.95 \times 1.9 = 5.61$ kep/millar de t-km netas

a/ Las características básicas de los medios de transporte se describen en el cuadro A-3.

/Cuadro A-8

Cuadro A-8

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS CONSUMOS TOTALES DE DERIVADOS DE PETROLEO, ELECTRICIDAD Y ENERGIA CALORICA EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

I. INFORMACION DE REFERENCIA

Consumo de hidrocarburos a 1979. (Véase el cuadro 3 del texto.)
Requerimientos unitarios de electricidad por desplazamiento de derivados de petróleo. (Véase el cuadro 6 del texto.)
Alternativas consideradas. (Véase el cuadro 4 del texto.)

II. ALTERNATIVA BAJA

1) Consumo de derivados de hidrocarburos

Gasolina en automóviles igual que en situación existente 567 000 tep
Diesel en autobuses
382.5 x (0.75) = 286.9 miles tep

2) Consumo de electricidad

En trolebús
382.5 x (0.25) x (7.58) = 724.8 GWh
Equivale a 724.8 x 860/10 200 = 61 000 tep
En ferrocarril eléctrico
8[a/] x 4.85 = 38.8 GWh
Equivale a 38.8 x 860/10 200 = 3 300 tep

III. ALTERNATIVA INTERMEDIA

1) Consumo de derivados de petróleo

Gasolina en automóviles
567 x (0.75) = 425 250 tep
Diesel en autobuses igual que en alternativa baja 286 500 tep
Diesel en camiones
1 474.1 - (296.7 ÷ 2) = 1 325 800 tep

a/ El consumo anual de diesel en los ferrocarriles fue estimado en 8 000 toneladas.

/(Continúa)

Cuadro A-8 (Conclusión)

2) Consumo de electricidad

En autos eléctricos

567 x (0.05) x (4.27) = 121.1 GWh

Equivale a 121.1 x 860/10 200 = 10 210 tep

En trolebuses

567 x (.20) x (.80) = 90.7 GWh sustitución de autos

Igual que en alternativa baja = 723.9 GWh sustitución en autobús

814.6 GWh

Equivale a 814.6 x 860/10 200 = 68 700 tep

En ferrocarril eléctrico

(296.7 ÷ 2) x (2.56) = 379.8 GWh sustitución de camiones pesados

Igual que en alternativa baja = 38.8 GWH sustitución de ferrocarril diesel-eléctrico

418.6 GWh

Equivale a 418.6 x 860/10 200 = 35 300 tep

IV. ALTERNATIVA ALTA

1) Consumo de derivados de petróleo

Gasolina en automóviles

567 x (0.50) = 283 500 tep

Diesel en autobús

382.5 x (0.50) = 191 250 tep

Diesel en camiones

Igual que en alternativa intermedia, 1 325 800 tep

2) Consumo de electricidad

En autos eléctricos

567 x (0.25) x (4.27) = 605.3 GWh

Equivale a 605.3 x 860/10 200 = 51 000 tep

En trolebuses

567 x (0.25) x (0.80) = 113.4 GWh por sustitución de autos

382.5 x (0.50) x (7.58) = 1 449.7 GWh por sustitución de autobuses

1 563.1 GWh

Equivale a 1 563.1 x 860/10 200 = 131 800 tep

En ferrocarril eléctrico

Igual a alternativa intermedia 418.6 GWh o 35 300 tep

/Cuadro A-9

Cuadro A-9

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS CONSUMOS TOTALES DE DERIVADOS DE PETROLEO Y ENERGIA CALORICA POR EL SOLO CAMBIO DE MEDIOS DE TRANSPORTE

I. INFORMACION DE REFERENCIA

Consumo de hidrocarburos a 1979. (Véase el cuadro 2 del texto.)

Consumos unitarios en el transporte de pasajeros (Véase el cuadro A-5)

Consumos unitarios en el transporte de carga. (Véase el cuadro A-7)

Alternativas consideradas. (Véase el cuadro 14.)

II. ALTERNATIVA BAJA

En el caso que estamos analizando la alternativa baja es la misma que la situación existente. (Véase el cuadro 14.)

III. ALTERNATIVA INTERMEDIA

1) Transferencia de 25.0% de automóviles a autobuses

Gasolina: 567 000 x 0.75 = 425 250 tep

Gasolina a diesel: 567 000 x 0.25 = 141 750 tep

$141\ 750 \times \frac{4.8}{45.7}$ = 14 888 tep

2) Transferencia de 15% de la carga a los ferrocarriles diesel eléctricos

Diesel: (296 700 ÷ 2) = 148 350 tep

Diesel de ferrocarril: $(296\ 700 \div 2) \times \frac{13.7}{26.0}$ = 78 169 tep

IV. ALTERNATIVA ALTA

1) Transferencia de 50.0% de automóviles a autobuses

Gasolina: (567 000 x 0.50) = 283 500 tep

Gasolina a diesel: $283\ 500 \times \frac{4.8}{45.7}$ = 29 777 tep

2) Transferencia de 15.0% de la carga a los ferrocarriles

Igual a la alternativa intermedia

/Cuadro A-10

Cuadro A-10

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS CONSUMOS TOTALES DE GASOLINA Y ALCOHOL Y ENERGIA CALORICA, EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

I. INFORMACION DE REFERENCIA

Consumo de gasolina en 1979 del parque automotriz, 567 000 tep

Equivale a 567 x 10.2/10.5 = 551 000 toneladas de gasolina

Equivale a 551 x $10^6$ x 1/0.74 = 745 x $10^6$ litros de gasolina

Con mezcla (80%)/(20%) se obtiene el mismo consumo que con 100% de gasolina

Con 100% de alcohol aumenta el volumen de consumo en un 20%

Alternativas consideradas. (Véase el cuadro 16 del texto.)

II. ALTERNATIVA BAJA

Consumo de gasolina

745 x $10^6$ x (0.75) = 559 x $10^6$ lt = 559 x $10^6$ x 0.74 = 413.7 miles de t

745 x $10^6$ x (0.25) x (0.80) = 149 x $10^6$ lt = 149 x $10^6$ x 0.74 = 110.3 miles t

Equivale a 413.7 x 10.5/10.2 = 425.9 miles de tep (100% de gasolina)

Equivale a 110.3 x 10.5/10.2 = 113.5 miles de tep (mezcla 80% y 20%)

Consumo de alcohol

745 x $10^6$ x (0.25) x (0.20) = 37.3 x $10^6$ litros

Equivale a 37.3 x $10^6$ x (0.79) = 29.5 miles de toneladas

Equivale a 29.5 x 6.6/10.2 = 19.1 miles de tep

III. ALTERNATIVA INTERMEDIA

Consumo de gasolina

745 x $10^6$ x (0.50) x (0.80) = 298 x $10^6$ lt = 298 x 0.74 = 221 miles de t

745 x $10^6$ x (.25) = 186 x $10^6$ lt = 186 x 0.74 = 138 miles de t

Equivale a 221 x 10.5/10.2 = 227 miles de tep (mezcla 80% y 20%)

Equivale a 138 x 10.5/10.2 = 142 miles de tep (100.0% gasolina)

/(Continúa)

Cuadro A-10 (Conclusión)

Consumo de alcohol

$745 \times 10^6 \times (0.50) \times (0.20) = 74.5 \times 10^6$ lt = $74.5 \times 0.79 = 58.9$ miles de t

$745 \times (0.25) \times (1.20) = 223.5 \times 10^6$ lt = $223.5 \times 0.79 = 176.5$ miles de t

Equivale a $58.9 \times 6.6/10.2 = 38.1$ miles tep (mezcla 80% y 20%)

Equivale a $176.5 \times 6.6/10.2 = 114.2$ miles de tep (100.0% de alcohol)

IV. ALTERNATIVA ALTA

Consumo de alcohol

$745 \times 10^6 \times 1.20 = 894 \times 10^6$ lt

Equivale a $894 \times 10^6 \times (0.79) = 706.3$ miles de t

Equivale a $706.3 \times 6.6/10.2 = 457.0$ miles de tep (100.0% alcohol)

/NOTAS

NOTAS

1/ Para los fines de este estudio los países del Istmo Centroamericano son: Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá.

2/ La capacidad de las unidades para el transporte urbano de pasajeros aumentaría entre 30% y 50%.

3/ La disponibilidad de las locomotoras sería de 95% en el caso de las eléctricas y de 90% para las diesel eléctricas.

4/ Un autobús de combustión interna posee una vida útil de 6 a 7 años, en tanto que un trolebús, una de 25 años.

5/ Si se considera un índice de 100 para el mantenimiento de una locomotora eléctrica, el de una diesel eléctrica será de 175.

6/ En el caso de trolebuses modernos, la desventaja se atenúa parcialmente por el uso de un grupo generador-diesel para movilización autónoma a menor velocidad.

7/ Se estimó que el 50% de los autobuses son urbanos, y de éstos, la mitad podría sustituirse por trolebuses.

8/ Los consumos típicos de referencia y el desarrollo de los cálculos se muestran en el anexo.

9/ Estos porcentajes resultarían si del cuadro 7 se elimina la columna de ahorro en autobuses.

10/ Los consumos típicos de referencia y el desarrollo de los cálculos se muestran en el anexo.