

EVALUACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICA DEL TRANSPORTE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS CAÑEROS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

José A. Knudsen González
Margarita Fernández Clua.*

RESUMEN

Este trabajo es una contribución al estudio de la energía como requisito esencial para el desarrollo económico y a las perspectivas de crecimiento futuro en relación con el abastecimiento confiable y pagable de energéticos. A partir de conocer el precio de la paja de caña (3) y sus costos de su obtención (6), se hace necesaria la evaluación económica de su transporte. Ese es el objetivo principal de este trabajo, el que pretende demostrar que la selección de alternativas de transporte de la paja de caña debe hacerse con base en criterios técnico - organizativos y económicos ya que sólo así se garantiza un transporte poco costoso y muy bien aprovechado.

ABSTRACT

This paper is a contribution to the study of energy as an essential requirement for the economical development and growth perspectives in the future. It is related to reliability and payability of energy. After knowing the price of the cane residues (3) and their obtention cost (6), it is necessary to know the economical evaluation of its transportation alternated of the cane residues. This should be done by using technical - organizative criteria as well as economical. Only in this way can we guarantee cheap and useful transportation

Palabras claves: Residuos agrícolas, Transporte de carga, Costo de transporte.

* Profesores Universidad Central de las Villas, Cuba.

INTRODUCCIÓN

Hoy día muchas de nuestras centrales azucareras utilizan como complemento del bagazo y como portador de energía renovable la paja de caña. Pero en la mayoría de los casos no se percatan de que el costo de producción de la tonelada de azúcar está directamente afectado por los resultados económicos que se obtengan en esta actividad; y precisamente en esto radica el objetivo del presente trabajo: aportar una metodología para seleccionar la alternativa de transporte de la paja de caña que reporte los menores gastos teniendo presente un óptimo aprovechamiento de las capacidades de los medios de transporte.

DESARROLLO

Cada complejo agroindustrial azucarero puede hacer llegar la caña hasta su fábrica utilizando diferentes alternativas de medios de transporte, es decir, empleando carretas con tractores, camiones, vagones jaulas ferroviarios, etc. Esto, en primera instancia obedece a la tecnología de utilización de la misma y en segundo lugar a las decisiones que se adopten por parte de los dirigentes encargados de la actividad.

¿Cómo determinar el costo de transporte según los medios de posibles?

Para esto se deben analizar dos criterios básicos:

1. Criterio técnico - organizativo.
2. Criterio económico.

Dentro del criterio técnico - organizativo se incluye:

- La disponibilidad de medios de transporte.
- La distancia a que se encuentran los centro de acopio.
- Las características técnicas y de explotación de los medios de transporte (capacidad estática, capacidad volumétrica, índices de

consumo de combustible y lubricantes, ciclo de revisiones diarias y mantenimiento técnico en el período analizado, peso bruto de la locomotora, tara de los vagones, valor inicial, tasa de amortización y velocidad técnica promedio).

- Elementos de la vía férrea (pendientes en grados por mil, radios de curvaturas en metros para cada uno de los tramos de vía) o en su lugar la tabla de tonelaje (4).
- Tiempos promedios de carga y descarga de los medios de transporte.

Todos estos factores se conjugan y se logra tener un criterio técnico . organizativo sobre los posibles medios de transporte por utilizar (alternativas de transporte). Dicho criterio debe expresar para cada alternativa de transporte la cantidad de medios de transporte necesarios, a partir del máximo aprovechamiento de sus capacidades.

Por otra parte se analiza el criterio económico, en el cual se determinan los elementos siguientes:

- El tiempo de duración de un recorrido o tiempo de circulación para cada una de las alternativas de transporte.
- El costo de transporte para cada uno de los medios empleados.

Existen algoritmos (2). Para dar solución a cada uno de estos elementos, los cuales facilitan los análisis y simplifican los cálculos.

A continuación se muestra, a manera de ejemplo, una tabla con los resultados de la determinación del costo de algunas alternativas de transporte analizadas en el C.A.I "Luis Arcos Bergnes" de la provincia de Villa Clara.

Tabla 1. Resultados de la determinación del costo de transportación.

| Medio de transporte | Origen (centros de acopio) | Costos Materiales (\$/equipo) | | Costos de la Fuerza de Trabajo (\$/equipo) | | Costos de la Amortización (\$/equipo) | | Costo total Transporte (\$/equipo) | | Tiempo de Circulación Total (horas) | | Cantidad de Equipos Tractivos Disponibles (unidades) |
|----------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------|--|-------|---------------------------------------|-------|------------------------------------|--------|-------------------------------------|-------|--|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| Vagón con Locomotora 726 | La Luz | 1. | 5.064 | 4.628 | 7.762 | 0.093 | 0.906 | 2.331 | 13.54 | 0.766 | 7.388 | 1 |
| | Cuba Libre | ● | 2.733 | 0.437 | 7.342 | 0.049 | 0.856 | 2.817 | 10.752 | 0.416 | 6.988 | |
| | Fusté | ● | 2.331 | 2.733 | 0.437 | 7.342 | 0.049 | 0.856 | 2.817 | 10.752 | 0.146 | |
| Vagón con Locomotora 2121 | La Luz | 4.628 | 5.064 | 0.804 | 7.762 | 0.114 | 0.117 | 5.546 | 13.751 | 0.766 | 7.388 | 1 |
| | Cuba Libre | 2.331 | 2.733 | 0.437 | 7.342 | 0.061 | 1.057 | 2.829 | 10.953 | 0.416 | 6.988 | |
| | Fusté | 2.331 | 2.733 | 0.437 | 7.342 | 0.061 | 1.057 | 2.829 | 10.953 | 0.416 | 6.988 | |
| Vagón con Locomotora 2976 | La Luz | 4.628 | 5.064 | 0.804 | 7.762 | 0.082 | 0.801 | 5.514 | 13.435 | 0.766 | 7.388 | 1 |
| | Cuba Libre | 2.331 | 2.733 | 0.437 | 7.342 | 0.043 | 0.757 | 2.811 | 10.653 | 0.416 | 6.988 | |
| | Fusté | 2.331 | 2.733 | 0.437 | 7.342 | 0.043 | 0.757 | 2.811 | 10.653 | 0.416 | 6.988 | |
| Carreta con Tractor MTZ-80 | La Luz | 0.176 | | 6.885 | | 0.536 | | 7.855 | | 18.49 | | 3 |
| | Cuba Libre | 0.246 | | 9.758 | | 0.661 | | 11.012 | | 23.00 | | |
| | Fusté | 0.140 | | 7.685 | | 0.472 | | 8.703 | | 16.19 | | |
| Carreta con Tractor YUNZ 6-M | La Luz | 0.144 | | 6.885 | | 0.536 | | 7.565 | | 18.49 | | 3 |
| | Cuba Libre | 0.201 | | 9.785 | | 0.661 | | 11.012 | | 23.00 | | |
| | Fusté | 0.115 | | 7.685 | | 0.472 | | 8.703 | | 16.19 | | |
| Camión KAMAZ 5320 (sin remolque) | La Luz | | | | | | | 4.531 | | 11.52 | | 4 |
| | Cuba Libre | | | | | | | 4.675 | | 13.52 | | |
| | Fusté | | | | | | | 4.531 | | 10.52 | | |

Donde:

1. Caso1: Determinación del costo sin tener en cuenta el tiempo de carga y/o descarga de los vagones.
2. Caso 2: Determinación del costo teniendo en cuenta el tiempo de carga y/o descargar de los vagones.

En la tabla 1 se puede observar que el costo de transporte para la misma alternativa aumenta en la medida que aumenta el tiempo de circulación, lo que puede ser provocado por el alargamiento del tiempo de carga y/o descarga, y por el incremento de la distancia por recorrer. Por otra parte, la alternativa del camión se valoró a partir de la contratación del servicio (5) ya que en este caso el camión no pertenece a la central.

Una vez conocidos los costos de transporte de cada una de las alternativas analizadas la cuestión es ¿Cómo seleccionar la (s) alternativa(s) de transporte más económica(s)?

¿Cómo seleccionar la(s) alternativa(s) de transporte más económica(s)?

Consideramos el proceso de transportación un proceso determinístico, y por la facilidad de construcción del modelo, la técnica más adecuada es la programación lineal y dentro de ésta la programación discreta.

El modelo construido tiene tres condicionales (restricciones) fundamentales. La primera relacionada con la demanda de paja de caña central, la segunda relacionada con la disponibilidad de paja de caña en los centros de acopio y la tercera también está relacionada con la disponibilidad, pero en este caso de medios de transporte. La función objetivo viene a ser la siguiente:

$$\text{Min } (Z) = \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K C_{in} * X_{injk}$$

Donde:

- i: Tipo de medio de transporte
- n: Variante de medio de transporte dentro de un mismo tipo.
- j: Centro de acopio
- k: Tipo de paja de caña (natural, picada, compactada o briquetada).

C_{in} : Costo de transporte al emplear el medio de transporte i en su variante n ; en pesos/medio. Sus valores aparecen en la Tabla 1 para el ejemplo analizado.

X_{injk} : Cantidad de medios de transporte del tipo i en su variante n a utilizar desde el centro j con paja de caña del tipo k . Esta sería la variable de decisión del modelo.

Con los resultados de la aplicación del modelo se logra obtener de todas las alternativas posibles cuál es la más económica. Se entiende por alternativa el empleo de un medio de transporte específico o la

combinación de éstos, en dependencia de la demanda de paja de caña que tenga la central y la(s) disponibilidad(es) de ésta en los centro(s) de acopio.

Para una mejor comprensión del procedimiento anterior se muestra un ejemplo:

La central "Luis Arcos Bergnes" necesita transportar 20t de paja de caña natural con una densidad de 30 kg/m³ ya que se prevé una parada de la central por mantenimiento. Se conoce que existen tres centros de acopio con disponibilidad suficiente de paja de caña y a diferentes distancias.

Tabla 2. Informaciones acerca de los centros de acopio.

| Centro de acopio | Distancia(km) | | Disponibilidad de paja de caña (t) |
|------------------|---------------|---------------|------------------------------------|
| | Por FC | por carretera | |
| La Luz | 6 | 5 | 40 |
| Cuba Libre | 3 | 7 | 23 |
| Fusté | 3 | 4 | 30 |

También se conocen en datos relativos a la fuerza de trabajo (cantidad y salarios), de los medios de transporte disponibles (características técnicas y de explotación) y del proceso de transporte (tablas de tonelaje y tiempos de carga y descarga de cada medio de transporte).

El parque de equipos que la central puede emplear en esta actividad aparece en la Tabla 1. Aquí se deben añadir 76 vagones jaulas americanos y 49 carretas Tainos.

Una vez aplicados los criterios técnico - organizativos se obtuvieron los resultados que aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la aplicación de los criterios técnico - organizativos.

| Tipo de medio | Cantidad necesaria (U.F.) | Carga de transporte (t) | Aprovechamiento del volumen (%) |
|---------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Vagón jaula | 11 | 1.79 | 100 |
| Carreta | 47 | 0.41 | 100 |
| Camión | 21 | 0.94 | 100 |

Es necesario aclarar que para obtener el resultado anterior se partió de una comparación del volumen que ocupa la paja de caña natural con la

capacidad volumétrica específica del medio de transporte, lo que aparece en la tabla 4.

Tabla 4. Selección del tipo de carga.

| Tipo de medio | Volumen que ocupa la carga (m ³ /t) | Capacidad volumétrica específica del medio de transporte (m ³ /t) | Tipo de carga |
|---------------|--|--|---------------|
| Vagón jaula | 33 | 2.02 | Ligera |
| Carreta | 33 | 2.33 | Ligera |
| camión | 33 | 4.56 | Ligera |

Como se puede apreciar la carga es considerada ligera ya que el volumen que ella ocupa la misma es mayor que la capacidad volumétrica específica del medio de transporte, por lo que el aprovechamiento de la capacidad analizado es el volumétrico. Y según los resultados obtenidos puede ser empleado cualquier tipo de medio.

Una vez valorado el criterio económico se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla

1. En la misma se aprecian los costos de transporte de cada una de las alternativas analizadas.

Para el ejemplo analizado se corrió el modelo matemático en dos ocasiones (Caso 1 y Caso 2) y los resultados fueron:

- Caso 1: Formar un tren con 9 vagones jaulas tirado por la locomotora VULCAN 2976 e ir al centro de acopio Cuba Libre, y también dar 3 viajes en camión KAMAZ 5320 sin remolque desde el centro de acopio. La Luz todo con un costo total de 31 pesos.
- Caso 2: Dar 21 viajes con camiones KAMAZ 5320 sin remolque. Todo con un costo total de 39 pesos.

A partir de este momento se realiza la planificación del transporte y se toma la decisión pertinente por parte de los responsables de esta actividad.

CONCLUSIONES:

1. Hasta aquí se ha podido demostrar que es posible seleccionar la alternativa de transporte de la paja de caña que reporte los menores gastos y logre un óptimo aprovechamiento de las capacidades de transporte.
2. El modelo matemático planteado está diseñado para cuando la demanda de paja de caña es constante en el tiempo, por lo que tiene como limitante su aplicación cuando la demanda es variable en el tiempo. En este sentido se continúa investigando, actualmente, en el Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera (C.E.T.A.) de la Universidad Central de Las Villas.
3. Siempre que la cantidad de alternativas analizadas sean pocas (una o dos) y sólo exista un centro de acopio no será necesario aplicar el modelo matemático ya que la decisión de selección se puede tomar con base en la determinación de los costos de transporte.

BIBLIOGRAFÍA

CAMARGO BORROTO, Javier. Operaciones de transporte./ Javier Camargo Borroto y Amalio Hernández Sánchez/--La Habana. Editorial Ciencias Sociales, 1989.

KNUDSEN GONZÁLEZ, J. Metodología para la selección de alternativas de transportación de la paja de caña. Informe Técnico / José Knuden González/--Santa Clara C.E.T.A., 1996.

PÉREZ EGUSQUIZA, F. y otros. Los residuos agrícolas cañeros vistos como combustible nacional. Informe técnico./Felix Pérez Eusquiza, Raúl Sánchez Machado y Angel Rubio González/--Santa Clara, 1993.

RUBIO GONZÁLEZ, A. Evaluación económica de los residuos agrícolas cañeros en sustitución de combustible./ Angel Rubio González y Raúl Sánchez Machado/--Santa Clara: Revista Centro Azúcar, Enero - Abril, 1995 pp.86-90

Tablas de tonelaje de las locomotoras que utiliza el M.I.N.A.Z- Ciudad Habana Editado por el Departamento de Locomotoras, 1987.

Tarifa de transportación por camiones. Ciudad Habana. Editado por el Departamento de Precios del M.I.N.A.Z. 1992.