

Optimización del proceso de reparaciones en la UEB central azucarero "Argeo Martínez", de la provincia de Guantánamo, mediante la programación reticular

Optimization of the Process of Repairs in the Sugar Central UEB "Argeo Martínez", of the County of Guantánamo, by Means of the Reticular Programming

MSc. Yaritcet Jiménez-Argota¹; Dr. Cs Ramón Rodríguez-Betancourt^{II}

yarisset@fce.cug.co.cu; ramonrb@eco.uo.edu.cu

¹Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Guantánamo; ^{II}Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Centro de Estudios de Investigaciones Económicas Aplicadas, Universidad de Oriente, Cuba

Resumen

El país está enfrascado en la recuperación azucarera, recogido en el lineamiento N°211 de la Política Económica y Social del Partido Comunista de Cuba: "aumentar de forma gradual la producción de azúcar y derivados de la caña, asegurando una correcta organización y planificación de la zafra y la reparación industrial...", por ello el proceso de reparaciones contribuye notablemente a la optimización de la zafra. Desde el punto de vista económico las reparaciones representan hasta un 45% del costo total de la producción de azúcar, por tanto, cualquier disminución de este indicador, influye decisivamente en la eficiencia del proceso de fabricación. El objetivo del presente trabajo es determinar el plan óptimo de las reparaciones en la UEB industria azucarera "Argeo Martínez", mediante la Programación Reticular. Los resultados obtenidos en la aplicación presentan una disminución de los costos totales de las reparaciones de un 14% por la utilización de las holguras libres.

Palabras claves: optimización, reparaciones, costos totales, programación lineal.

Abstract

The country is buried in the sugar recovery, picked up in the limit 211 of the Economic and Social Politics of the Communist Party of Cuba to "increase in a gradual way the production of sugar and derived of the cane, assuring a correct organization and planning of the harvest and the industrial repair...", for it the process of repairs contributes notably to the optimization of the harvest. From the economic point of view the repairs represent until 45% of the total cost of the production of sugar, therefore any decrease of this indicator, it influences decisively in the efficiency of the process of production. The objective of the present work is to determine the good plan of the repairs in the UEB sugar industry "Argeo Martínez", by means of the Reticular Programming. The results obtained in the application present a decrease of the total costs of the repairs of 14% for the use of the free looseness.

Keywords: optimization, repairs, total costs, lineal programming.

Introducción

Las empresas azucareras necesitan de la introducción de nuevas tecnologías que permitan alcanzar de manera eficiente los niveles de producción planificados y facilitar la aplicación de los resultados de la investigación científica, lo cual se justifica por el cambio del panorama actual; el azúcar alcanza en estos momentos un precio no menor de 0,15 USD por libra en el mercado mundial, y se plantea que subirá a más de 0,20 USD en los próximos años.¹

Sin embargo, en estos momentos es preciso avanzar a ritmos más acelerados en el perfeccionamiento del proceso de planificación que tiene "como eje central el logro de la eficiencia en nuevas condiciones de la economía y deberá buscar la integridad del plan entre los aspectos del corto, mediano y largo plazo"², avanzando en sus expresiones financiera y territorial, así como en la planificación empresarial.

Al realizar un análisis histórico de la rama y de las condiciones actuales, que incluyó una revisión pormenorizada a cada uno de los procesos productivos necesarios para la producción del azúcar en las empresas azucareras objeto de estudio, y, fundamentalmente, en la fase industrial, se pudo

constatar que existen en la actualidad serias deformaciones en el proceso de confección del plan de las reparaciones, debido, fundamentalmente, al empirismo que reina en este proceso, todo lo cual no contribuye a obtener los rendimientos promedios potenciales industriales a los que aspira la UEB central azucarero "Argeo Martínez", de la provincia de Guantánamo.

En este contexto se analiza el papel de las reparaciones como parte del proceso industrial, las cuales no desempeñan el papel que les corresponde para lograr la continuidad del proceso productivo, pues no posibilita integrar los factores que inciden en la actividad y no es capaz de desarrollar y evaluar las funciones que le son inherentes, provocando serias deficiencias técnico-económicas en la producción, por baja disponibilidad técnica de la empresa y altos costos de mantenimiento frente a las averías y a las paradas programadas.

Al realizar un estudio sobre las paradas por roturas imprevistas en la industria, las mayores afectaciones radicaban en las áreas Basculador, Planta moledora y Manipulación, y Preparación del jugo, como se muestra en siguiente gráfico.

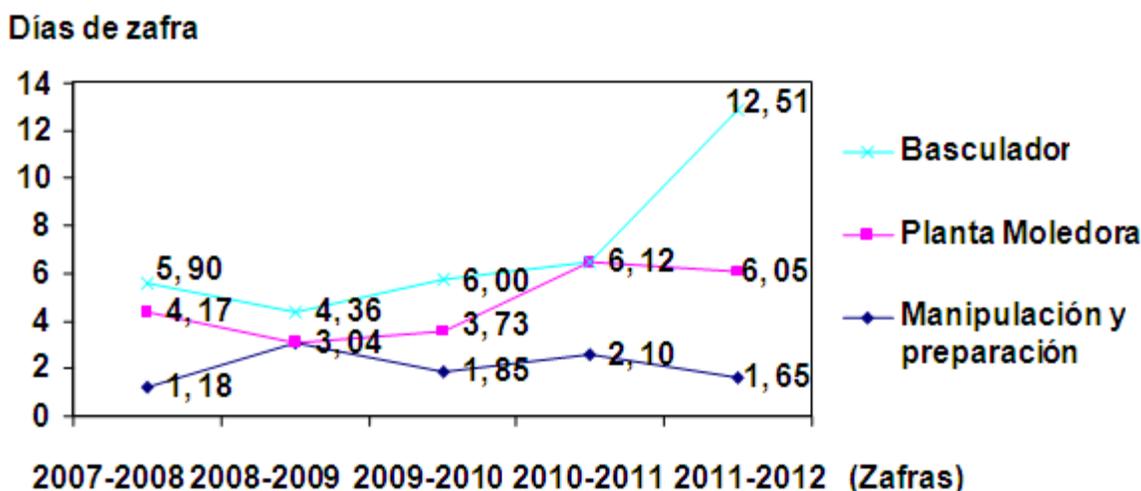


Gráfico 1: Resumen del tiempo perdido industrial expresadas en días por concepto de rotura en las áreas más críticas y estratégicas del proceso productivo

Fuente: Sala de análisis UEB central azucarero "Argeo Martínez".

¹Mesa Redonda. Director: Randy Alonso. "Intervención del presidente de AZCUBA" Orlando Celso García Ramírez. Cubavisión: 14 de noviembre de 2013.

²Lineamiento N°7 de la Política Económica y Social, aprobada en el VI Congreso del PCC.

Este proceso se ha agudizado mucho más en el transcurso del tiempo puesto que los equipos van amortizando su vida útil, y no se encuentran disponibles los materiales necesarios para su reparación.

La necesidad del control exacto de la documentación técnica de la maquinaria e instalaciones, su procesamiento y una rápida respuesta para enfrentar los imprevistos hace imprescindible introducir nuevas técnicas de planificación y control como herramienta de apoyo a todo el trabajo de la actividad, lo cual fundamenta de forma evidente el trabajo que se presenta, cuyo objetivo es perfeccionar el proceso de confección del plan de reparaciones de la UEB central azucarero "Argeo Martínez" de la provincia Guantánamo, mediante la programación reticular.

Este estudio, forma parte del proyecto universitario de innovación tecnológica denominado "Optimización del proceso de reparaciones en la UEB central azucarero "Argeo Martínez", de la provincia Guantánamo", que se desarrolla en el Centro de Estudios de Investigaciones Económicas Aplicadas adscrito a la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de oriente , donde se abordan estos procesos.

Desarrollo

El proceso de reparaciones de los centrales azucareros en el país, comienza desde el mismo momento en que finaliza la zafra. En la UEB central azucarero "Argeo Martínez", objeto de estudio, la confección de los planes presenta dificultades debido a la gran cantidad de actividades que se realizan durante esta etapa, las cuales no se planifican atendiendo a las variables tiempo y costo. Además, no se analizan todas las variantes posibles debido a la complejidad que presenta este proceso, lo cual conspira con su optimización.

Además de lo anterior, es crucial tener en cuenta la calidad de las reparaciones, ya que en la medida en que se reducen las roturas por paradas imprevistas mayor será el aprovechamiento de la capacidad industrial instalada.

Descripción del proceso de reparaciones

Este proceso se realiza en cinco fases fundamentales para el buen desempeño de la industria. De acuerdo con las normas técnicas las mismas son:

- Desarme, limpieza y conservación
- Defectación
- Reparación
- Montaje
- Prueba y afinación

Fase 1. Esta etapa consiste solo en desarmar los equipos, por la experiencia que se tiene deben garantizarse las piezas y materiales que son susceptibles a renovar, de manera tal que no se pueda desarmar un equipo si no se cuenta con las piezas de repuestos que se necesitan.

Fase 2. Una vez realizado el desarme la defectación consiste en detectar aquellas piezas que deben ser reemplazadas.

Fase 3. En esta fase se procede a realizar las reparaciones, para lo cual es necesario garantizar los recursos y fuerza de trabajo necesaria en la etapa prevista para el éxito de las mismas.

Fase 4. El montaje consiste en armar el equipo, para lo cual se requiere de fuerza de trabajo calificada y además, realizar el control de calidad requerido en este caso, para evitar futuros fallos en el arranque.

Fase 5. Se realiza la prueba en seco del conjunto de áreas y del central, dándose el visto bueno de la empresa, conjuntamente con los expertos del grupo empresarial AZCUBA.

Esta fase es importante, pues cualquier fallo implica la revisión del área correspondiente. Es necesario enfatizar que todas las fases están concatenadas entre si, tal como se muestra en el siguiente gráfico 2:

Para la planificación de las reparaciones en el central se utiliza el sistema automatizado MainPack 32.

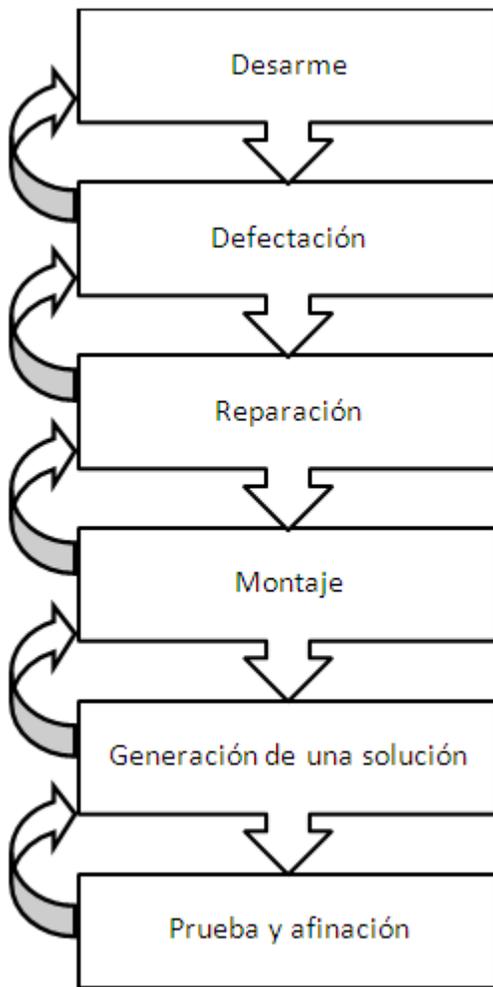


Gráfico 2: Esquema general de las reparaciones.

"Sistema para la Organización y Control del Mantenimiento y las Reparaciones en las Fábricas de Azúcar" Versión 8.0, el cual carece de eficiencia como sistema empresarial, por lo siguiente³:

- No ofrece consulta de información específica para un equipo, un área o un proceso.
- No guarda la información de las reparaciones para las distintas zafras.
- No brinda información en gráficos que actualicen consecuentemente las fichas técnicas y todo el proceso.
- No brinda la posibilidad de dividir los reportes por área.
- No desagrega el presupuesto según las áreas más críticas y sus necesidades.

- No brinda la posibilidad de la planificación y control del presupuesto por área y el porcentaje que representa para cada una de las áreas, de manera tal que se ejecute eficientemente

- No tiene posibilidades de sumar al programa los certificados de calidad para equipos terminados.

Es evidente que durante todo este proceso se requiere de una preparación detallada y secuencial de los jefes de cada área que intervienen en el proceso de producción, siendo así necesario el empleo de métodos y técnicas de punta en el proceso de las reparaciones.

Una salida para perfeccionar la planificación de las reparaciones en estos casos es considerar más de una variante mediante la utilización de la modelación económico - matemática, la cual es factible de utilizar en estos casos ya que se cumple con los supuestos para la aplicación de estas técnicas.

Uno de los métodos más conocidos para abordar esta compleja tarea es el método PERT/CPM, los cuales fueron utilizados en las reparaciones de los centrales azucareros en las décadas 70 y 80 del siglo pasado, pero no pudieron ser desarrollados debido a dos limitantes:

1. No se contaba con programas informáticos especializados para resolver el problema.
2. Limitación en el uso de la calculadora electrónica.

Además, no existían en el central todas las condiciones posibles desde el punto de vista de los recursos humanos y materiales para la elaboración y control de las labores a realizar por parte de las brigadas, no se priorizan estas en función de optimizar el tiempo y los recursos a emplear, el plan se determina por la experiencia del equipo económico - productivo existente y se maneja solo una variante. Estas limitaciones han sido superadas en la actualidad, con el desarrollo de los métodos y técnicas computacionales.

El PERT/CPM fue diseñado para proporcionar diversos elementos útiles de información para los

³ Debilidades del sistema automatizado MainPack 32, UEB central azucarero "Argeo Martínez".

administradores del proyecto. Primero, el PERT/CPM expone la "ruta crítica" de un proyecto. Estas son las actividades que limitan la duración del proyecto. En otras palabras, para lograr que el proyecto se realice a tiempo, las actividades de la ruta crítica deben realizarse también a tiempo. Por otra parte, si una actividad de la ruta crítica se atrasa, el proyecto como un todo se atrasa en la misma cantidad. Segundo, las actividades que no están en la ruta crítica tienen una cierta cantidad de holgura; esto es, pueden empezarse más tarde, y permitir que el proyecto como un todo se mantenga a tiempo. El PERT/CPM identifica estas actividades y la cantidad de tiempo disponible para retardos.

El CPM es idéntico al PERT en concepto y metodología. La diferencia principal entre ellos es simplemente el método por medio del cual se realizan estimados de tiempo para las actividades del proyecto. En la técnica de CPM, los tiempos de las actividades son determinísticos. En el PERT, los tiempos de las actividades son probabilísticos.

El PERT/CPM también considera los recursos necesarios para completar las actividades. En muchos proyectos, las limitaciones en mano de obra y equipos hacen que la programación sea difícil; identifica los instantes del proyecto en que estas restricciones causarán problemas y de acuerdo con la flexibilidad permitida por los tiempos de holgura de las actividades no críticas, permite que el director manipule ciertas actividades para aliviar estos problemas.

Finalmente, el PERT/CPM proporciona una herramienta para controlar y monitorear el progreso del proyecto. Cada actividad tiene su propio papel en este y su importancia en la terminación del proyecto se manifiesta inmediatamente para el director del mismo. Las actividades de la ruta crítica, permiten por consiguiente, recibir la mayor parte de la atención, debido a que la terminación del proyecto, depende fuertemente de ellas.

Ambos métodos aportaron los elementos administrativos necesarios para formar el método del camino crítico actual, y parten de los siguientes principios:

- **Compartimentación:** descomposición del proyecto en un número manejable de actividades o tareas.

- **Interdependencia:** se deben determinar las interdependencias de cada actividad o tarea compartimentada.

- **Asignación de tiempo:** a cada tarea que se vaya a programar se le deben asignar un cierto número de unidades de trabajo, una fecha de inicio y otra de finalización.

- **Validación del esfuerzo:** a medida que se realiza la asignación de tiempo, el gestor del proyecto se tiene que asegurar de que hay en plantilla el suficiente número de personas que se requiere en cada momento.

- **Responsabilidades definidas:** cada tarea que se programe debe asignarse a un miembro específico del proyecto.

- **Resultados definidos:** el resultado de cada tarea, normalmente un producto, deberá estar definido. Los productos se combinan generalmente en entregas.

- **Sucesos o Hitos definidos:** todas las tareas grupos de tareas deberían asociarse con algún hito del proyecto. Se considera un hito cuando se ha revisado la calidad de uno o más productos y se han aceptado. Acontecimiento que marca el principio o fin de una actividad o conjunto de actividades

Las actividades no críticas se manipularán y remplazarán en respuesta a la disponibilidad de recursos.

Con estos elementos la formulación general del problema es la siguiente:

Formulación general del problema

Dada la UEB central azucarero "Argeo Martínez" donde es necesario realizar el proceso de reparaciones en el basculador como prueba primaria para aplicar el método de la ruta crítica.

Se cuenta con la siguiente información:

El listado de las actividades y su precedencia;

La esperanza matemática de los tiempos, utilizando la distribución Beta;

Los costos de cada actividad, mediante sus correspondientes fichas.

Con estos elementos, el problema tendría como objetivo lo siguiente: calcular el camino crítico y las holguras libres y totales, calcular el costo total del proyecto y utilizando el costo marginal, minimizar el costo total utilizando las holguras libres.

Planteamiento matemático

Se parte de una red orientada

$$f(t_i) = f(t_1) = 0;$$

$$f(t_j) = \max[f(t_i) + t_{ij}] ; \quad j \in \{2:n\} ; i \in X^1$$

donde:

$f(t_i)$ - es la fecha de ocurrencia más temprana del evento i .

$f(t_1)$ - fecha en el vértice inicial.

t_{ij} - la duración de la actividad i, j .

$f(t_j)$ - fecha en el vértice j .

X^1 es el subconjunto de los arcos que llegan al vértice j .

Las fechas más tardía de inicio y de terminación ($f(t_i^*)$ y $f(t_j^*)$) se obtienen mediante la siguiente fórmula:

$$f(t_i^*) = \min [f(t_j^*) - t_{ij}] ; i \in \{2:n-1\} ; i, j \in X^2$$

X^2 - representa el subconjunto de los arcos que salen del vértice i .

$f(t_n^*) = f(t_n)$ - fecha correspondiente al final del proyecto.

Aplicación del PERT al área del basculador en la UEB central azucarero

"Argeo Martínez"

Para la confección de la ruta crítica se tuvo en cuenta un listado de cuarenta actividades, sus precedencias y la esperanza matemática de los tiempos según la distribución Beta, cuya fórmula es la siguiente:

$$t_{ij} = \frac{E_0 + 4E_m + E_p}{6}$$

donde:

Estimación optimista (Eo): tiempo mínimo en que podría ejecutarse la actividad i si no surgiera ningún contratiempo.

Estimación más probable o estimación modal (Em): tiempo que se empleará en ejecutar la actividad i en circunstancias normales.

Estimación pesimista (Ep): tiempo máximo de ejecución de la actividad i si las circunstancias son muy desfavorables (gráficos 3 y 4).

Para la determinación de la ruta crítica y la red correspondiente, se utilizó el sistema informático profesional WINQSB los resultados se muestran en los gráficos 3, 4 y 5.

Determinación del costo mínimo del proyecto, utilizando las holguras libres

La holgura⁴ es el tiempo que puede demorar una actividad sin afectar la fecha de conclusión total del proyecto, las actividades de la ruta crítica no tienen holgura, estas se clasifican en holgura libre y holgura total.

Holgura total: se denomina al tiempo máximo que puede retrasarse una actividad cualquiera sin afectar la duración total del proyecto. Se denotará por H_{ij}^T .

Holguras libre: se denomina al retraso que puede sufrir el inicio de una actividad sin peligro de atrasar la puesta en marcha de la actividad que viene a continuación. Se denotará por H_{ij}^L , cuya fórmula es: $H_{ij}^L = f(t_j) - f(t_i) - t_{ij}$.

La determinación de las holguras libres aparece en la salida del WINQSB, mostrada en los gráficos 3 y 4 enunciados anteriormente, específicamente en la columna 8.

La pendiente de costo o Costo marginal se calculó, mediante la siguiente fórmula:

$$C_{ij} = \frac{C_{max} - C_{min}}{D_{ij} - d_{ij}}$$

⁴ Material Planeación de Proyectos. Métodos PERT y CPM.

PERT/CPM

File Format Results Utilities Window Help

Activity Analysis for a

| 10-15-2013 11:28:14 | Activity Name | On Critical Path | Activity Mean Time | Earliest Start | Earliest Finish | Latest Start | Latest Finish | Slack (LS-ES) | Activity Time Distribution | Standard Deviation |
|------------------------|----------------------|------------------|--------------------|----------------|-----------------|--------------|---------------|---------------|----------------------------|--------------------|
| 1 | Rev.Cilindro V hid | Yes | 7,3333 | 0 | 7,3333 | 0 | 7,3333 | 0 | 3-Time estimate | 0,6667 |
| 2 | Limp motor 1 VCam | no | 2,1667 | 0 | 2,1667 | 9,1667 | 11,3333 | 9,1667 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 3 | Limp bomba 1 | no | 4,1667 | 0 | 4,1667 | 11,3333 | 15,5 | 11,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 4 | limp bomba 2 | no | 2,1667 | 7,3333 | 9,5 | 27,6667 | 29,8333 | 20,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 5 | Rev winche mot 1y2 | Yes | 6,1667 | 7,3333 | 13,5 | 7,3333 | 13,5 | 0 | 3-Time estimate | 0,5 |
| 6 | Rev.sist presion | no | 2,1667 | 2,1667 | 4,3333 | 11,3333 | 13,5 | 9,1667 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 7 | Reparac motor ele | no | 2,1667 | 2,1667 | 4,3333 | 18,6667 | 20,8333 | 16,5 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 8 | Reparac virador | no | 4,1667 | 2,1667 | 6,3333 | 24,8333 | 29 | 22,6667 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 9 | Mtto bom vir 2 | no | 4,1667 | 2,1667 | 6,3333 | 13,5 | 17,6667 | 11,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 10 | Reparac tuber1y2 | no | 2,1667 | 4,1667 | 6,3333 | 15,5 | 17,6667 | 11,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 11 | Limp motor reduct | no | 4,1667 | 4,1667 | 8,3333 | 24,8333 | 29 | 20,6667 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 12 | Repa motor elect | Yes | 7,3333 | 13,5 | 20,8333 | 13,5 | 20,8333 | 0 | 3-Time estimate | 0,6667 |
| 13 | Revi motor virador 2 | no | 3,1667 | 6,3333 | 9,5 | 17,6667 | 20,8333 | 11,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 14 | Rev rodami este surt | no | 3,1667 | 6,3333 | 9,5 | 25,8333 | 29 | 19,5 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 15 | Rev bom este surt | no | 3,1667 | 20,8333 | 24 | 26,6667 | 29,8333 | 5,8333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 16 | Rev rodam alz desc | no | 4,1667 | 20,8333 | 25 | 38 | 42,1667 | 17,1667 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 17 | Revi limp estera 3 | no | 4,1667 | 20,8333 | 25 | 25,6667 | 29,8333 | 4,8333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 18 | Rep mot est surt | Yes | 8,1667 | 20,8333 | 29 | 20,8333 | 29 | 0 | 3-Time estimate | 0,8333 |
| 19 | Rev bom esterdescol | no | 4,1667 | 24 | 28,1667 | 38 | 42,1667 | 14 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 20 | Rep mang alzdesc | no | 5,3333 | 24 | 29,3333 | 29,8333 | 35,1667 | 5,8333 | 3-Time estimate | 0,3333 |
| 21 | Rep Alz desc | no | 5,3333 | 25 | 30,3333 | 29,8333 | 35,1667 | 4,8333 | 3-Time estimate | 0,3333 |
| 22 | Rep Mot elec alzdesp | no | 4,1667 | 25 | 29,1667 | 43,3333 | 47,5 | 18,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 23 | Rev punt de apoyo | no | 6,1667 | 25 | 31,1667 | 40,3333 | 46,5 | 15,3333 | 3-Time estimate | 0,5 |
| 24 | Rep motor alz desc | Yes | 6,1667 | 29 | 35,1667 | 29 | 35,1667 | 0 | 3-Time estimate | 0,5 |
| 25 | Acoplar reductor | no | 6,1667 | 29 | 35,1667 | 40,3333 | 46,5 | 11,3333 | 3-Time estimate | 0,5 |
| 26 | Rev nivelador caña | no | 3,1667 | 28,1667 | 31,3333 | 48,5 | 51,6667 | 20,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 27 | Limp cilindro | no | 2,1667 | 28,1667 | 30,3333 | 42,1667 | 44,3333 | 14 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 28 | Rep con alz desp | Yes | 9,1667 | 35,1667 | 44,3333 | 35,1667 | 44,3333 | 0 | 3-Time estimate | 0,5 |
| 29 | Rev sist elect A D | no | 4,1667 | 35,1667 | 39,3333 | 43,3333 | 47,5 | 8,1667 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 30 | Rev caja nivelador | no | 4,1667 | 44,3333 | 48,5 | 47,5 | 51,6667 | 3,1667 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 31 | Rev cuchilla 1 | Yes | 5,3333 | 44,3333 | 49,6667 | 44,3333 | 49,6667 | 0 | 3-Time estimate | 0,3333 |
| 32 | Rev motor cuchilla1 | no | 2,1667 | 39,3333 | 41,5 | 47,5 | 49,6667 | 8,1667 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 33 | Acoplar cuchilla 1 | no | 3,1667 | 35,1667 | 38,3333 | 46,5 | 49,6667 | 11,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 34 | Limp motor cuch 2 | no | 4,1667 | 35,1667 | 39,3333 | 47,5 | 51,6667 | 12,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |

Gráfico 3: Método de Ruta Crítica según el sistema automatizado WINQSB.

| | | | | | | | | | | |
|----|---------------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|--------|
| 33 | Acoplar cuchilla 1 | no | 3,1667 | 35,1667 | 38,3333 | 46,5 | 49,6667 | 11,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 34 | Limp motor cuch 2 | no | 4,1667 | 35,1667 | 39,3333 | 47,5 | 51,6667 | 12,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 35 | Mtto cond rastrillo | no | 3,1667 | 48,5 | 51,6667 | 60 | 63,1667 | 11,5 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 36 | Rep cadena eje | no | 4,1667 | 48,5 | 52,6667 | 51,6667 | 55,8333 | 3,1667 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 37 | Rev estera eleva | Yes | 6,1667 | 49,6667 | 55,8333 | 49,6667 | 55,8333 | 0 | 3-Time estimate | 0,5 |
| 38 | Probar rendimiento | no | 4,1667 | 39,3333 | 43,5 | 51,6667 | 55,8333 | 12,3333 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 39 | modif transm condu | no | 4,1667 | 39,3333 | 43,5 | 59 | 63,1667 | 19,6667 | 3-Time estimate | 0,1667 |
| 40 | Rep enrollconduc | Yes | 7,3333 | 55,8333 | 63,1667 | 55,8333 | 63,1667 | 0 | 3-Time estimate | 0,6667 |
| | Project | Completion | Time | = | 63,17 | weeks | | | | |
| | Number of | Critical | Path(s) | = | 1 | | | | | |

Gráfico 4: Método de Ruta Crítica según el sistema automatizado WINQSB. (Continuación).

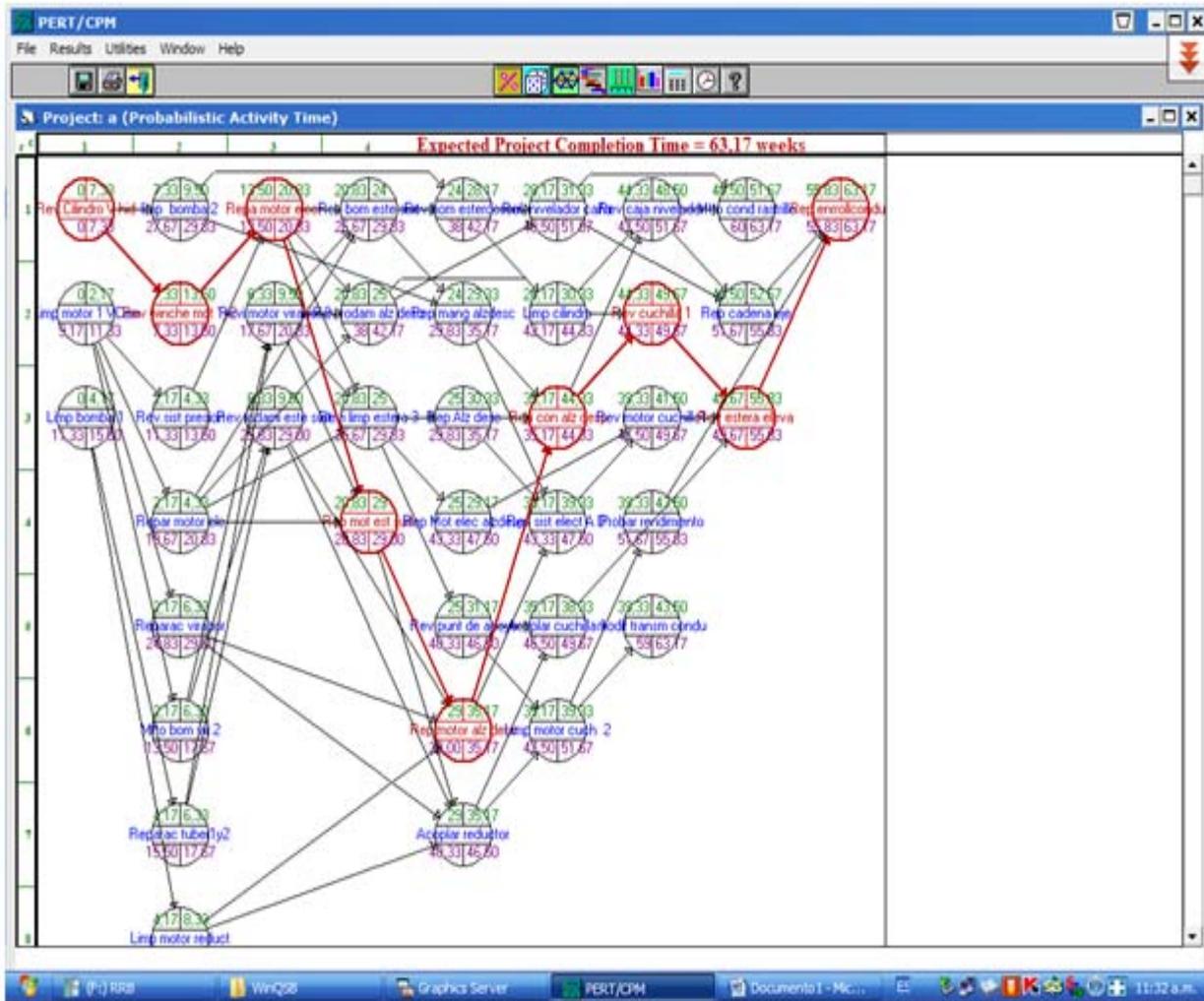


Gráfico 5: Representación gráfica de la Ruta crítica. Método PRET/CPM.

donde:

C_{max} – costo máximo al comprimir el tiempo de la actividad i, j .

C_{min} – costo mínimo al considerar el tiempo normal de la actividad i, j .

D_{ij} – tiempo máximo que se puede alargar la actividad i, j .

d_{ij} – tiempo mínimo en que puede realizarse la actividad i, j .

El costo de cada actividad se determinó, a partir de la ficha de costo, que para la actividad reparación del Virador Hidráulico de Camiones se muestra en la tabla 1.

El costo por actividad aparece en la tabla 2, el mismo asciende a \$54 691,36. La disminución del costo de las actividades afectadas por la holgura libre se calculan teniendo en cuenta la siguiente fórmula: $\hat{a}_{ij} = \min [D_{ij} - t_{ij}; H_{ij}^L]$.

El resumen de la disminución del costo total del proyecto aparece en la tabla 2.

Tabla 1: Ficha de costo para la reparación del Virador Hidráulico de Camiones

| UEB Industria Azucarera "Argeo Martínez" | | FICHA DE COSTO | | | |
|---|-----------|----------------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Elementos de Gastos | | | | | |
| Materiales Directos | Cantidad | Importe (MN) | | Total | |
| Estopas para limpiar | 30 uds | \$12,50 | | \$375,00 | |
| Sellos de Goma | 45 uds | 1,00 | | 45,00 | |
| Petróleo | 4 litros | 4,00 | | 16,00 | |
| Mangueras no. 32 | 80 metros | 2,50 | | 200,00 | |
| Tubo de cobre 6 mm | 10 uds | 19,00 | | 190,00 | |
| Total Materiales | | | | \$ 826,00 | |
| Mano de Obra Directa | Días | Horas | Trabajadores directos | Importe diario | Total en el mes |
| | 7 | 4 | 2 | \$28,28 | \$197,96 |
| 9,09 % Descanso retribuido | | | | | 17,99 |
| 14 % Aporte a la seguridad social | | | | | 30,23 |
| 25 % Impuesto por la fuerza de trabajo | | | | | 46,43 |
| Total Mano de Obra Directa | | | | | \$292,61 |
| Gastos Indirectos | | | | | |
| Energía | | | | \$80,89 | |
| Mantenimiento y Reparación | | | | 20,00 | |
| Depreciación de Activo Fijo | | | | 34,00 | |
| Total de Gastos Indirectos | | | | \$134,89 | |
| Costo total de Reparación del Virador Hidráulico de Camiones | | | | \$ 1 253,50 | |

Tabla 2: Disminución de costos utilizando las holguras libres

| Actividad | $t_{ij}(\text{normal})$ | d_{ij} | D_{ij} | Costo Normal | Costo Colisionado | Costo Máximo | Costo marginal (C_{ij}) | H_{ij} | β_{ij} | $(t_{ij} * c_{ij})$ |
|--------------|-------------------------|------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|----------|--------------|---------------------|
| 1 | 7 | 5 | 8 | \$ 1 253,50 | \$ 1 020,00 | \$ 1 530,00 | \$ 170,00 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 2 | 2 | 3 | 1 350,30 | 1 235,00 | 1 550,00 | 315,00 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 4 | 3 | 5 | 1 200,00 | 1 000,00 | 1 430,00 | 215,00 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 2 | 2 | 5 | 953,00 | 735,00 | 1 200,00 | 155,00 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 6 | 4 | 7 | 1 535,00 | 1 250,00 | 1 650,00 | 133,33 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 2 | 2 | 4 | 1 375,10 | 1 130,00 | 1 580,00 | 225,00 | 10 | 2 | \$ 450,00 |
| 7 | 2 | 2 | 3 | 1 235,12 | 1 150,00 | 1 440,00 | 290,00 | 17 | 1 | 290,00 |
| 8 | 4 | 3 | 5 | 1 530,14 | 1 320,00 | 1 780,00 | 230,00 | 23 | 1 | 230,00 |
| 9 | 4 | 3 | 5 | 1 750,50 | 1 450,00 | 1 950,00 | 250,00 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 2 | 2 | 4 | 1 320,40 | 1 230,00 | 1 850,00 | 310,00 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 4 | 4 | 6 | 1 350,50 | 1 035,00 | 1 650,00 | 307,50 | 21 | 2 | 615,00 |
| 12 | 7 | 6 | 8 | 1 650,30 | 1 356,00 | 1 845,00 | 244,50 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 3 | 3 | 5 | 1 350,20 | 1 250,00 | 1 740,00 | 245,00 | 12 | 2 | 490,00 |
| 14 | 2 | 2 | 5 | 1 115,10 | 1 000,00 | 1 530,00 | 176,66 | 21 | 3 | 529,98 |
| 15 | 3 | 3 | 5 | 935,80 | 859,00 | 1 500,00 | 320,50 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 4 | 4 | 6 | 1 210,30 | 935,00 | 1 653,00 | 359,00 | 3 | 2 | 718,00 |
| 17 | 4 | 4 | 7 | 1 420,00 | 1 253,00 | 1 650,00 | 132,33 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 8 | 6 | 10 | 1 850,00 | 1 565,00 | 2 500,00 | 233,75 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 4 | 3 | 5 | 1 850,00 | 1 735,00 | 2 300,00 | 282,50 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 5 | 3 | 6 | 1 430,00 | 1 350,00 | 1 805,00 | 151,66 | 6 | 1 | 151,66 |
| 21 | 5 | 3 | 7 | 1 505,00 | 1 253,00 | 1 780,00 | 131,75 | 5 | 2 | 263,50 |
| 22 | 4 | 4 | 6 | 1 438,00 | 1 325,00 | 1 850,00 | 262,50 | 10 | 2 | 525,00 |
| 23 | 4 | 4 | 6 | 1 553,00 | 1 353,00 | 1 835,00 | 241,00 | 6 | 2 | 482,00 |
| 24 | 6 | 5 | 8 | 1 355,00 | 1 235,00 | 1 630,00 | 131,66 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 6 | 5 | 8 | 750,00 | 530,00 | 1 200,00 | 233,33 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 3 | 3 | 5 | 1 325,00 | 1 253,00 | 1 625,00 | 186,00 | 16 | 2 | 372,00 |
| 27 | 2 | 2 | 3 | 1 550,00 | 1 345,00 | 1 750,00 | 405,00 | 13 | 1 | 405,00 |
| 28 | 8 | 6 | 10 | 1 430,00 | 1 253,00 | 1 550,00 | 74,25 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 4 | 4 | 6 | 1 235,00 | 1 053,00 | 1 453,00 | 200,00 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 4 | 4 | 7 | 1 733,00 | 1 700,00 | 1 853,00 | 51,00 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | 5 | 5 | 8 | 1 525,00 | 1 500,00 | 1 835,00 | 111,66 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | 2 | 2 | 4 | 1 438,10 | 1 400,00 | 1 753,00 | 176,50 | 7 | 2 | 253,00 |
| 33 | 3 | 3 | 4 | 1 353,00 | 1 300,00 | 1 680,00 | 380,00 | 10 | 1 | 380,00 |
| 34 | 4 | 3 | 5 | 1 453,00 | 1 353,00 | 1 783,00 | 215,00 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 3 | 3 | 5 | 1 535,00 | 1 530,00 | 1 900,00 | 185,00 | 11 | 2 | 370,00 |
| 36 | 4 | 4 | 7 | 1 425,00 | 1 400,00 | 1 800,00 | 133,33 | 3 | 3 | 399,99 |
| 37 | 6 | 6 | 8 | 1 385,00 | 1 300,00 | 1 700,00 | 200,00 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | 4 | 4 | 6 | 935,00 | 835,00 | 1 300,00 | 232,50 | 11 | 2 | 465,00 |
| 39 | 4 | 4 | 5 | 853,00 | 850,00 | 1 305,00 | 227,50 | 18 | 2 | 455,00 |
| 40 | 7 | 5 | 9 | 1 250,00 | 1 000,00 | 1 560,00 | 140,00 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 167 | 145 | 239 | \$54 691,36 | \$48 626,00 | \$64 227,00 | \$ 8 654,10 | | | \$ 7 845,13 |

Análisis de los resultados

La duración del programa de reparaciones del Basculador es de 63,7 días dada por la ruta crítica que se representa en la salida del WINQSB en los gráficos 3 y 4, con un costo total de \$54 691,36. Las actividades críticas son 1, 5, 12, 18, 24, 31, 37 y 40.

Al aplicar el método de disminución de costo por las holguras libres se determinó que las actividades que pueden ser analizadas son: (6,7,8,11,13,14,16,20,21,22,23,26,27,32,33,35,36,38,39).

Esto permitiría alcanzar un ahorro de \$ 7 845,13; que representa una disminución de un 14 % del costo total en el área del Basculador, siendo esta la primera área del proceso de producción de azúcar.

Conclusiones

1. Constituye una novedad científica la formulación y planteamiento al objeto de estudio, del modelo económico-matemático de Programación Reticular resuelto mediante un sistema informático profesional, y su solución validada por la UEB central azucarero "Argeo Martínez".

2. Queda demostrado que la utilización del método de Ruta crítica (PERT), apoyado por los sistemas informáticos profesionales, puede ofrecer variantes de solución, imposible de obtener por métodos tradicionales.

3. La utilización de un sistema profesional (WINQSB) posibilita adecuar de forma rápida cualquier cambio que tenga lugar en el conjunto de actividades a analizar, a la vez que permite ubicar las acciones de organización y de administración en función de lograr la optimización del tiempo y de los recursos a utilizar, incidiendo de esta forma, en la elevación de la eficiencia y eficacia.

4. La duración del programa de reparaciones del Basculador es de 63,7 días dada por la ruta crítica que se representa en la salida del WINQSB en los gráficos 3 y 4, con un costo total de \$54 691,36. Las actividades críticas son 1, 5, 12, 18, 24, 31, 37 y 40.

5. Al aplicar el método de disminución de costo por las holguras libres se determinó que las actividades que pueden ser analizadas son: (6, 7, 8, 11, 13, 14, 16, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 32, 33, 35, 36, 38, 39). Esto permitiría alcanzar un ahorro de \$ 7 845,13, que representa una disminución de un 14 % del costo total en el área del Basculador, siendo esta la primera área del proceso de producción de azúcar.

Bibliografía

1. COLECTIVO DE AUTORES. "Capítulo 5". Material Planeación de Proyectos. Métodos PERT y CPM. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Oriente, Cuba.
2. HORNGREN, Charles T. *Contabilidad de costo*. Primera parte. La Habana: (s.e), 1991.
3. KELLEY, James. "Critical Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis". *Operations Research*, Vol. 9, N° 3, May-June, 1961.
4. MINAZ. Fichas de costos de las principales producciones agropecuarias y forestales. Documento nacional, 2006.
5. _____. Fichas de costos de las principales producciones agropecuarias y forestales. Documento nacional, 2006.
6. MOSKOWITZ, Herbert; WRIGHT, Gordon. "Investigación de operaciones". *Prentice-Hall Hispanoamericana*. México, 2005.
7. PACHECO FERIA, Ulises. "La competitividad de la producción de azúcar en la provincia Santiago de Cuba: proyección en el trienio 2012-2014". Tesis doctoral. Facultad de Economía, Universidad de Oriente, 2011.
8. RODRÍGUEZ BETANCOURT, R. "Estudio de casos en técnicas de optimización". Folleto utilizado en la Maestría de aplicaciones de la Modelación Económico-Matemática. México, 2005.
9. ROSCOE, Davis; Mckeown, Patric.: «Modelos cuantitativos para la administración», University of Georgia, Grupo Editorial Iberoamericano, 1991.