

MODELACIÓN ECONÓMICA MATEMÁTICA EN LA DEFECTACIÓN DE REPARACIONES NAVALES

Gainza V. J.

Universidad de Oriente. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
e-mail: vicente@astor.transnet.cu vicente@uo.edu.cu

RESUMEN

La importancia de la transportación marítima en el desarrollo económico conduce necesariamente a que las embarcaciones se fabrican por encargo de las empresas transportista, su diseño responde al rol que está desempeña en la economía, muchas son únicas en el trabajo que realiza, sus múltiples usos en la carga de mercancías, combustibles, pesca y pasaje lleva implícito un riguroso control de la calidad que garantice la seguridad de la navegación. Estas condicionantes imponen a las empresas reparadoras la búsqueda de formas de uso óptimo de la fuerza laboral disponible que le permita satisfacer las exigencias tecnológicas de cada embarcación a la vez los plazos pactados para la puesta en funcionamiento con calidad rigurosamente exigida. Utilizando herramientas estadísticas a partir del comportamiento de los parámetros promedio por hombre especialidad, tipo de embarcación y complejidad se realizan inferencias de los valores poblacionales (μ media poblacional y σ desviación típica poblacional). Con el objetivo de determinar los tiempos de ejecución en las diferentes posiciones en tiempo real. Facilitando el control del cronograma de trabajo de cada proyecto, además de crear condiciones para normas de trabajo ajustada al desarrollo tecnológico de cada entidad. El número de obreros a utilizar es analizado por modelos de tomas de decisiones, utilizando técnicas de programación lineal en asignación de recursos.

Palabras clave: Defectación, reparación naval, modelación económica matemática.

1- INTRODUCCIÓN

La reparación y construcción naval es una actividad de alta complejidad y especialización, cada embarcación es un proyecto, con numerosas tareas que deben ejecutarse según el cronograma establecido por los tecnólogos que realizan la defectación. Cada posición o tarea contiene: descripción de los trabajos que deben acometerse, calificaciones obreras con los tiempos planificados por cada especialidad que debe intervenir, así como la secuencia de los trabajos según los requerimientos tecnológicos para el tipo de reparación.

La nueva construcción y reparación naval a diferencia de otras actividades altamente robotizada requiere de una fuerte participación obrera en diferentes especialidades, esto conduce necesariamente a grandes volúmenes de obreros en diferentes especialidades obreras y técnicas. Las dimensiones de las embarcaciones actualmente imponen que un gran número de posiciones se ejecuten a la intemperie, llevando a que los trabajos para poderse ejecutar dependan de las condiciones climatológicas existente.

La complejidad de cada objeto obra y el gran número de calificaciones obreras que participan, así como la secuencia de tareas enlazada por un esquema tecnológico, lleva implícito un movimiento constante y diario de la fuerza laboral de una posición a otra, tanto dentro de un mismo proyecto como a otro, todo sujeto a las necesidades de la producción a nivel de taller.

El ingreso de una embarcación al proceso productivo se debe insertar en un momento t_i , donde debe evaluarse si existen obreros disponibles para comenzar las tareas prevista y determinar que el cronograma de está no origine pico de demanda obrera y de recursos materiales y técnico en el taller durante todo el proceso de reparación.

La necesidad de perfeccionar continuamente la gestión de la producción en la reparación naval - nueva construcción, es **objeto** de la presente investigación.

El empleo de la fuerza laboral vinculada a la reparación naval ha sido abordado por diversos investigadores, entre los cuales se puede citar a (William M. CIPRIANO, 2012), en su artículo “Problemas de Programación de Proyectos con Restricción de Recursos (RCPSP) para el Montaje

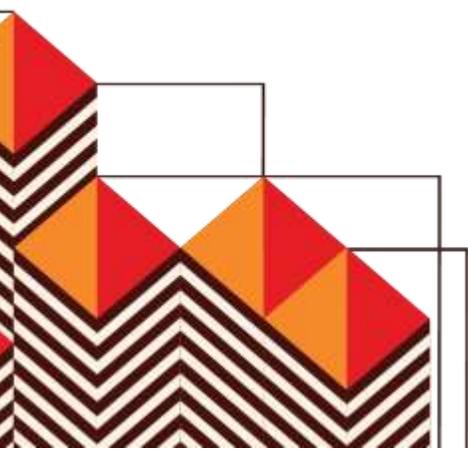
de Bloques en la Construcción Naval” este propone un modelo de programación lineal que permite disminuir el tiempo de entrega de las embarcaciones. (Rashwan, 2005) en el artículo “Estimation of ship production man-hours”. Utiliza formulas basados en el peso de la embarcación para estimar las horas por hombres necesarias para lograr definir el tiempo de culminación de los trabajos. En ambos artículos se persigue como objetivo minimizar el tiempo para la ejecución de los trabajos, en la tesis de maestría (Simoneth Cossa, “propuesta para reducir las horas extras del área de producción de un astillero aplicando incentivos y otras alternativas a través de herramientas de mejora continua”, 2014) se analiza el proceso desde los aspectos sociales que conduce al uso de las horas extras y las leyes laborales que se disponen en la legislación Peruana para la solución a los atrasos que se originan en la actividad de los astilleros.

El análisis y sistematización realizada a partir de los citados autores ha revelado la ausencia de trabajos que desde la optimización matemática y la estadística aborden el proceso de planificación y uso de la fuerza obrera que se dispone para la realización de los trabajos acordados. De aquí que se determine como **campo de acción** de la investigación, la optimización matemática, la estadística en la planificación, control y uso de la fuerza laboral vinculada a la reparación naval.

Al hablar de que la optimización matemática, la estadística en el proceso de planificación de la fuerza laboral vinculada a la reparación naval debe desarrollarse software especializado que faciliten la implementación práctica de los modelos desarrollados, permitiendo la formación de una base de datos histórica que facilite la evaluación continua del proceso productivo mejorando constantemente la gestión técnico administrativa.

De aquí que se tome como **objetivo de la investigación** diseñar una metodología que responda a las necesidades del proceso productivo integralmente.

Y como **hipótesis** si se diseña, implementa y aplica un sistema computacional, sustentado en modelos económicos matemáticos para la optimización del proceso de planificación de la fuerza laboral vinculada a la reparación naval; que tenga en cuenta la aplicación de normas de tiempo por



tareas, así como la realización de balances de carga y capacidad por talleres y objetos de obra, se contribuirá a elevar la eficiencia y eficacia del proceso de reparación de embarcaciones navales.

La **novedad científica** consiste en optimizar el proceso de planificación de la fuerza laboral vinculada a la reparación naval mediante modelos económicos matemáticos clásico ajustados a las condiciones específicas de la actividad naval.

Los procedimientos necesarios acorde al tipo de reparación (total, parcial y las eventuales) en cada proyecto impone que el proceso productivo, se vea sometido a una serie de condicionantes dada en sentido general, por la cantidad de objeto de obra, complejidad, diferentes estadios de avance y prioridades que impone el rol económico – social que juega la embarcación en la actividad económica. Conduciendo a la necesidad de organizar adecuadamente la utilización de los recursos laborales disponible con el objetivo de disminuir los costos y aumentar la competitividad de la empresarial.

Problema Científico:

¿Cómo Planificar, controlar y administrar los recursos humanos para garantizar una elevada calidad de los trabajos con el mínimo tiempo posible de paralización de las embarcaciones y máxima calidad en los talleres de ASTOR”?

Objeto de Investigación

Es el control, administración y optimización el proceso productivo en la actividad de reparación y construcción naval.

Campo de Acción

La modelación económico-matemática como instrumento para el proceso de planificación, administración y control de la actividad de reparación naval.

Objetivo General

Desarrollar, estudiar e implementar modelos matemáticos para un uso óptimo de los recursos humanos necesario en el desarrollo técnico productivo de la actividad de reparación naval.

Objetivos Específicos

- 1- Estudiar el flujo infamativo y caracterizar el proceso productivo de los talleres de reparación naval de la “Empresa de Astilleros del Oriente”.
- 2- Fundamentar, formular y probar modelos económicos-matemáticos.
- 3- Desarrollar un software especializado SIPRO para la actividad de manera integral.
- 4- Analizar la solución propuesta y desarrollar una nueva metodología que regule la actividad productiva en la reparación naval.
- 5- Analizar los resultados obtenidos en los talleres de ASTOR.

2- MATERIALES Y MÉTODOS

Marco teórico referencial

El marco teórico referencial se soporta en la literatura existente de autores clásicos en el campo de la Administración, métodos de inferencia estadísticas y optimización, así como en la Ciencia de la Administración, se consultaron, tanto desde el punto de vista teórico como práctico numerosas investigaciones y estudiosos de la temática, que conforman los elementos de la teoría con su aplicación en campos afines a los que se abordan en la investigación, una parte de las cuales se localizan en el Centro de Estudios de Investigaciones Económicas Aplicadas (CEIA) de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Oriente.

La aplicación práctica de técnicas de avanzada en este campo de acción no es muy abundante, motivado al carácter que tiene la actividad naval, que a pesar del desarrollo actual en la automática

sigue siendo una actividad manufacturera y donde cada taller de reparación busca métodos y fórmulas que le permita disminuir los plazos de entrega.

La búsqueda de soluciones a los problemas expuestos fue abordada desde tomando como base el incentivo de estimulación salarial y el aumento del número de trabajadores sin que se obtuvieran los resultados deseados, los modelos estudiados y adaptados para su utilización eliminan el empirismo en la planificación, control y toma de decisiones.

La revisión de normas técnicas y metodológicas aprobadas en los talleres ASTOR Santiago, ASTOR Nuevitas, ASTOR Manzanillo y DAMEX, las observaciones directas, así como interacción con los técnicos y administrativo de estos centros, permitió profundizar en las problemáticas que existente en todos estos talleres con diferentes niveles de desarrollo tecnológico condujo a determinar las siguientes insuficiencias:

- 1.- Se incumplen los cronogramas de ejecución afectándose la fecha pactada con los armadores. El cumplimiento de los cronogramas significa, maratones que afectan la moral productiva de los obreros con resultados económicos por bajo del esfuerzo realizado.
- 2.- No se logra ejecutar con máxima prioridad y en el menor tiempo posible la reparación de embarcaciones cuyo objeto social así lo exige.
- 3.- Ocurren atascos temporales en la producción que atrasan el proceso de reparación.
- 4.- No siempre se distribuye correctamente la fuerza laboral calificada, disponible para ejecutar las complejas actividades que exigen los distintos proyectos de reparación de las embarcaciones.
- 5.- Muchos proyectos se cierran con pérdida económica significativa.

Estas insuficiencias conducen al **problema de investigación**, que es el inadecuado uso de la fuerza laboral disponible, que genera incumplimientos del plan de reparación de las embarcaciones.

Entre las **causas** principales del citado problema de investigación, obtenidas a partir del diagnóstico realizado, se revelan:

- 1.- Las normas existentes no recogen los tiempos reales de cada tipo de calificación en unidades de trabajo / tiempo que reflejen en cada taller la productividad acorde al desarrollo tecnológico y destreza de la fuerza laboral utilizada.
- 2.- Los planes de distribución de la fuerza de trabajo se conforman de manera empírica.
- 3.- No se realizan balances de carga y capacidad que permitan la evaluación dinámica del proceso.

3- RESULTADOS

La implementación de modelos económicos matemático permite ajustar los tiempos planificados por actividad apoyados en parámetros estadísticos acordes con el desarrollo tecnológico de cada taller. Conduciendo a la necesidad de ajustar estos tiempos en un rango que estarán definido por la productiva de cada actividad ajustadas a las complejidades de cada trabajo a ejecutar. Consecuentemente origina revisiones continuas de las normas de trabajo, argumentada sólidamente por valores estadísticos que son el promedio y la desviación del mismo tomado de las cantidades de unidades de trabajo reales producidas en una unidad de tiempo (cantidad de trabajo/horas).

Los actuales sistemas de pagos que se tratan de implementar persiguen la disminución de los plazos de entrega, sin tomar en cuenta la capacidad real de los parámetros de eficiencias llevando a tiempos inadecuados con el encarecimiento de una actividad compleja en su organización y control además de costosas por los recursos necesarios, más los medios técnicos que se utilizan. Estos modelos necesariamente conducirán a modelos de pagos y estimulación salarial que se apoyen más en la calidad de los trabajos que en la cantidad. Aspecto que actualmente es propuesta de estudio.

Minimizar la cantidad de trabajadores por actividad lleva a una disminución de los costos por gasto de salario, mayor satisfacción de la fuerza laboral, mayor responsabilidad individual en cada obrero empleado y poder dar respuesta a una mayor agenda de negocio muchas veces imposibilitadas de asumir nuevos compromisos por las carencias de los recursos fundamentales que es el humano.

Para la implementación de todos estos modelos se hizo necesario un análisis integral de todo el proceso informativo que dio origen a un paquete integral de procesamiento de información, donde desde la defectación hasta el control de los costos se apoya en una base de datos que permite que cada área de responsabilidad del proceso productivo se alimente de otra y a su aporte a las restantes en tiempo real. Este proceso crea cimientos para el estudio e investigación que faciliten trazar políticas de inventario, financiamientos y tomas de decisiones dinámicas con evaluaciones certeras del comportamiento real de la producción en cada instante que así sea requerido.

4- DISCUSIÓN

En el marco del proyecto de Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en conjunto con la Universidad de Oriente, que se titula Σ (*tecnología SIGNA & Cultura de las profesiones navales*)= (*eficiencia y eficacia*)² en @stilleros., Se crearon las bases para el desarrollo de una serie de modelos que revolucionan completamente la administración de los recursos necesarios en la actividad de la empresa Astor.

EL ANÁLISIS DEL PROCESO TECNOLÓGICO DE LAS REPARACIONES NAVALES ESTABLECE UN ORDEN DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS. QUE COMO REGLA GENERAL ES EL SIGUIENTE:

1. RECEPCIÓN DEL BUQUE.
2. Inspección de las instalaciones del varadero para la varada.
3. Varada.
4. Traslado a Zona de Reparación.
5. Limpieza y tratamiento general del casco y todos sus compartimientos.
6. Reparación y Palería.
7. Terminación.
8. Inspección de instalación del varadero para la Botadura.
9. Botadura.

10. Inspección general.
11. Prueba y entrega.
12. Satisfacción del cliente.

El procedimiento de reparación naval anterior es ajustado por los tecnólogos y especialistas, según el tipo de reparación (capital, parcial o menor). El mismo es una guía general que se aplica íntegramente solo en los casos de reparación capital de la embarcación (Cronograma de Ejecución). Todas estas tareas generales y sub-tareas conforman el sistema de reparación, para cada una de las embarcaciones considerado como proyectos, en su totalidad conforman por talleres un sistema mayor con varios objetos de obra en ejecución. (o multi - proyecto).

El elevado número de tareas que deben ser ejecutadas en los diferentes objetos de obra además todas en diferentes estadios de avance de los trabajos, obligan al empleo de diferentes calificaciones obrera que deben ser distribuidos, obligando a un control eficiente de estos últimos, así como de los medios técnicos y recursos materiales disponibles, creándose la base estratégica que posibiliten realizar una adecuada toma de decisiones.

Análisis de los modelos matemáticos propuesto.

Actualmente en la actividad naval de ASTOR intervienen 17 especialidades obreras que podemos definirla como, $i=1, 2, \dots, m=17$ y $j=1, 2, \dots, n=$ posiciones en los objeto de obras conformándose la siguiente matriz de datos

$$E = \begin{pmatrix} e_{11} & \dots & e_{1n} \\ \vdots & e_{ij} & \vdots \\ e_{m1} & \dots & e_{mn} \end{pmatrix}.$$

Cada especialidad ejecuta trabajo en múltiple objeto de obra, con niveles de complejidad variado que podemos representarla matemáticamente como $e_{i,j}$ es la velocidad o índice de cantidad de unidades físicas concluida en unidades de tiempo (hora) esto es:

$$e_{i,j} = HR_{ij} / UT_{ij} \text{ Horas por unidades terminadas de la especialidad } i, \text{ posición } j \text{ (1.1)}$$

Donde

HR_{ij} = cantidad hora reales consumidas en la ejecución de los trabajos

UT_{ij} = cantidad de unidades de trabajo terminadas

Estos resultados nos conducen a estimar que cada especialidad tiene un promedio de unidades físicas que responde a las habilidades o destreza de los operarios llevado a escala (horas reales/unidades concluida). Estimar el tiempo que demorara la ejecución de cada nuevo trabajo es determinar el promedio poblacional μ_i . y respectivamente su desviación típica σ_i .

Determinar la distribución de probabilidad que siguen los trabajos para una que la i-exima especialidad e_i . Sigue una distribución normal $N(\mu_i; \sigma_i)$ se utiliza la prueba estadística Ji- cuadrado para la bondad de ajuste.

El agrupamiento de los datos para la aplicación de la prueba Ji-cuadrado por especialidad lo realizamos partiendo de los niveles de complejidad de los trabajos que en todos los astilleros se clasifican en Alta, Media y Baja.

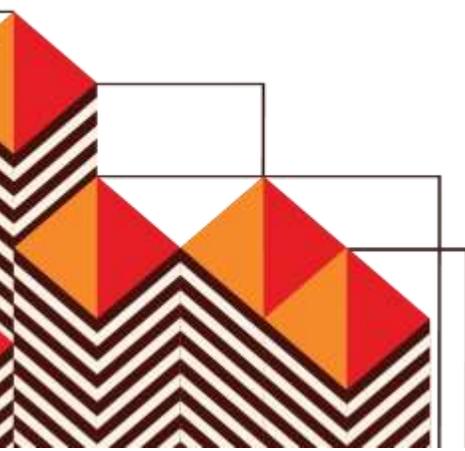
Quedando los intervalos de clases en la tabla de distribución de frecuencia por especialidades.

Tabla 1. Análisis de distribución de frecuencia asociado a la complejidad de las tareas por especialidad.

Complejidad	Intervalos	Frecuencia f_l	p_{l0}	e_l	$\frac{\sigma_l^2}{e_l}$
Alta	$[x_0; x_1)$	f_1	p_{10}	e_1	$\frac{\sigma_1^2}{e_1}$
Media	$[x_1; x_2)$	f_2	p_{20}	e_2	$\frac{\sigma_2^2}{e_2}$
Baja	$[x_3; x_4]$	f_3	p_{30}	e_3	$\frac{\sigma_3^2}{e_3}$

Donde $l=1, 2, 3, \dots, m=3$: niveles de complejidad, n es el número de muestras estudiadas

$$p_{l0} = P(x_{l-1} < X \leq x_l)$$



$$o_l^2 = nf_l \quad y \quad e_1 = np_{l0}.$$

Normalmente en todos los astilleros se trabajan estas tres categorías de complejidad por actividad.

La media de la muestra por actividad se define como:

$$\bar{X}_{a_i} = \sum_{l=1}^n f_l x_l \quad (1)$$

La probabilidad p_l de la actividad es $p_{l0} = \{x_{l-1} < X < x_l\}$ para todas las actividades a_i desde $i=1,2,\dots,n$ y $l=1,2,3$. Entonces se pueden docimar las hipótesis $H_0: p_i=p_{i0}$ para $l=1, 2, 3$ y $H_i: p_i \neq p_{i0}$ para algún $l \in \{1, 2, 3\}$ donde $p_{l0} = \{x_{l-1} < X < x_l\}$ con:

$$\bar{X}_{a_i} \longrightarrow N(\mu_{a_i}; \sigma_{a_i}^2) \quad (2)$$

Y las x_l son límites de clases reales de la distribución de frecuencias.

Utilizando el estadígrafo χ^2 con $e_i=np_{i0}$ $O_i=nf_i$

$$\begin{aligned} \phi\left(Z_l = \frac{x_l - \bar{X}_{a_i}}{S_{a_i}}\right) - \phi\left(Z = \frac{x_{l-1} - \bar{X}_{a_i}}{S_{a_i}}\right) &= \phi(Z_l) - \phi(Z_{l-1}) \approx \\ \approx p_{l0} &\Leftrightarrow N(\mu_{a_i}; \sigma_{a_i}^2) \end{aligned} \quad (3)$$

Para rechazar H_0 si

$$\chi_{calculada}^2 > \chi_{1-\alpha}^2(k-1-r) \quad (4)$$

No rechazar H_0 si

$$\chi_{calculada}^2 \leq \chi_{1-\alpha}^2(k-1-r) \quad (5)$$

Donde $r=2$ y

$$\chi_{calculada}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{O_i^2}{e_i} - n \quad (6)$$

$$n = \sum_{l=1}^n f_l \quad (7)$$

Intervalo de confianza para el trabajo de planificación del tiempo por actividad.

Si cada especialidad se distribuye normalmente podemos asumir que la media poblacional por actividad μ_i sigue una distribución normal con σ_i desconocida podemos entonces asumir que:

$$P_i(a_i < \mu_i < b_i) = 1 - \alpha \quad i=1 \dots n=17 \text{ especialidades}$$

$$a_i = \bar{X}_{ai} - t_{1-\frac{\alpha}{2}} (n-1) \frac{S_{ai}}{\sqrt{n_i}} \quad (8)$$

$$b_i = \bar{X}_{ai} + t_{1-\frac{\alpha}{2}} (n-1) \frac{S_{ai}}{\sqrt{n_i}} \quad (9)$$

Intervalo $[a_i, b_i]$ con una probabilidad $1-\alpha$ para la media poblacional. Rango de planificación que puede ser utilizado por el tecnólogo al momento de la defectación por especialidad.

La automatización integral de toda la actividad crea las bases de datos histórica que permiten acumular los resultados del tiempo real por unidad de trabajo terminado, por tipo de calificación, actividad, obrero y objeto de obra donde se pueden obtener los valores $e_{i,j}$ donde fácilmente se puede obtener el promedio muestral por calificación mediante la fórmula siguiente:

$$\bar{X}_{ai} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{ij}$$

Este valor es una estimación puntual por calificación que intervienen, representando el promedio de la calificación expresada en unidades/horas. Cualquier especialista puede inferir que considerar un valor puntual para una actividad compleja no representaría el valor real del trabajo que es necesario desarrollar, conduciendo a la estimación del parámetro poblacional μ_i (media poblacional de la calificación i -ésima) mediante intervalos de confianza. Dada por la fórmula

$$P_i(a_i < \mu_i < b_i) = 1 - \alpha \quad i=1 \dots n=17 \text{ especialidades}$$

Quedando la media poblacional por especialidad en el intervalo $[a_i, b_i]$ con una probabilidad $1 - \alpha$. Esta estimación en intervalo garantiza al tecnólogo un rango para definir el tiempo de la calificación a emplear. Los modelos propuestos se utilizarán al momento de la planificación de los tiempos en cada posición por especialidades.

Uso óptimo de la fuerza laboral disponible.

Un aspecto importante en la actividad es el uso o distribución de la fuerza laboral disponible buscando minimizar el número de obrero a emplear con el objetivo de obtener los mejores resultados económicos mediante solución de modelos de asignación de recursos.

Aspecto teórico de los modelos de asignación.

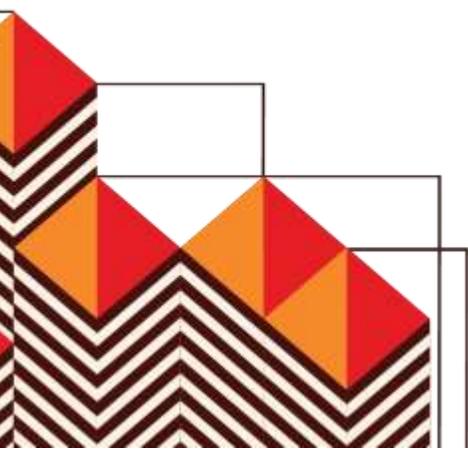
Al analizar los aspectos teóricos a emplear debemos tener en consideración el problema práctico a resolver. En cada taller tenemos especialidades obreras que podemos definirla como, $i=1, 2, \dots, m$ y $j=1, 2, \dots, n$ posiciones en los diferentes objetos de obras. El problema consiste en asignar una cantidad dada por la variable x_{ij} de la i -ésima calificación o la j -ésima posición en un objeto de obra dado.

Es claro que la salida a dicho problema estará resuelta en un modelo de transporte dado por las fórmulas siguientes:

Minimizar

$$Z = \sum_{i=1}^n C_i \sum_{j=1}^m x_{ij}$$

Donde C_i es el coeficiente medio de productividad por especialidad.



$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = K_i$$

Donde K_i capacidad de obrero por especialidad.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = r_i$$

Donde r_i cantidad requerida de las posiciones que entran en el proceso productivo.

La implementación de los modelos anteriores permite una evaluación continua de los trabajos y dinamiza el proceso continuo de toma de decisiones y evaluación de la actividad productiva.

Es evidente que para su implementación y desarrollo se hace imprescindible el uso de sistemas automatizados integrados en redes que permita la interacción entre las diferentes áreas de control y conocimiento de la actividad.

El desarrollo de software impone nuevos enfoques y modelos de organización, así como estilos diferentes de control de recursos, a la vez imponen la búsqueda de nuevas políticas en campo como el control de los costos, inventarios, contratación de fuerza laboral y la utilización de medios técnicos necesarios.

La implementación llevara necesariamente al desarrollo de procedimiento que para la dirección y control de la producción.

5- CONCLUSIÓN

La actividad de reparaciones navales en su complejidad tecnológica esta urgida de la aplicación de modelos económico-matemático que permitan viabilizar la toma de decisiones dinámicas que esta requiere con el objetivo de mantener un proceso productivo eficiente y eficaz.

los estudios de estos modelos han arrojado resultados que propician el desarrollo de investigaciones, todas contemplada dentro del proyecto de reparación naval actualmente en proceso de desarrollo en colaboración con la universidad de oriente y la empresa de astilleros del oriente.

el desarrollo de estos modelos permitirá el estudio y desarrollo de nuevos modelos a diferentes áreas de control administrativo, técnico y económico que elevará la moral productiva y el sentido de pertenecía del colectivo laboral.

6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ronald E. Walpole / Raymonond H. Myers/ Sharon L. Myears. 1999
2. R. Dorfman / P.A. Samuelson / R.M. Solow "Programación Lineal y Análisis Económicos". 1967
3. Damodar N. Gujarati. "Econometría". 2003
4. Charles A. Gallagher y Hugh J. Watson "Métodos Cuantitativos para la toma de decisiones administración". 2005