



Costo de ciclo de vida de las unidades de la Armada Nacional

Juan Carlos Galindo Orozco

Trabajo de grado para optar al título profesional:

Curso de Estado Mayor (CEM)

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

2014

5154

COSTO DE CICLO DE VIDA DE LAS UNIDADES DE LA ARMADA NACIONAL

COMANDO GENERAL FUERZAS MILITARES

ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA

El Costo del Ciclo de Vida es una herramienta económica de gerencia diseñada para evaluar los costos asociados al desarrollo, adquisición y tenencia de un equipo, instalación o proyecto durante su vida útil, expresadas en términos de costo equivalente en el tiempo, tomando como línea base el inicio del proyecto o adquisición del equipo o instalación.

Desde el punto de vista de la gerencia de recursos, el Costo de Ciclo de Vida CCV es la consideración más crítica para un administrador privado tomar la decisión de proceder con el diseño y construcción de una nueva instalación. El propietario analiza la tasa interna de **COSTO DE CICLO DE VIDA DE LAS UNIDADES DE LA ARMADA NACIONAL**

La adopción de herramientas que permitan la generación de ganancias en la toma de decisiones, como el costo de ciclo de vida, es un servicio para satisfacer las necesidades de seguridad nacional y defender las libertades de un ciudadano. La valoración de proyectos mediante el CCV es crítica considerando las limitaciones presupuestales de los países para la adquisición de los **CC GALINDO OROZCO JUAN CARLOS**

motivo los diseños del futuro reduciendo en el diseño para mantenibilidad maximizando el desempeño operacional y maximizando la vida en servicio producida (Spar Associates Inc., 2013).

Las herramientas diseñadas para el CCV sirven de elemento de juicio para apoyar una toma de decisiones en comparación con otros factores como son efectividad operacional, riesgos técnicos, restricciones, etc. Entre sus aplicaciones se encuentran:

BOGOTA D.C.

2014

- Determinación de ganancias de los futuros gastos
- Cooperación entre diversas propuestas de solución de un proyecto

COSTO DE CICLO DE VIDA DE LAS UNIDADES DE LA ARMADA NACIONAL

El Costo del Ciclo de Vida (Life Cycle Cost – LCC) es una herramienta económica de gerencia diseñada para evaluar los costos asociados al desarrollo, adquisición y tenencia de un equipo, instalación o proyecto durante su vida útil, expresadas en términos de costo equivalente en el tiempo, tomando como línea base el inicio del proyecto o adquisición del equipo o instalación.

Desde el punto de vista de la industria marítima, el Costo de Ciclo de Vida CCV es la consideración más crítica para un armador privado tomar la decisión de proceder con el diseño y construcción de una nueva embarcación. El propietario analiza la tasa interna de retorno y el tiempo que requiere para recuperar su inversión.

La adquisición de buques navales no contemplan la generación de ganancias en la toma de decisiones, los buques son puestos en servicio para satisfacer las necesidades de seguridad nacional y defender los intereses de un estado. La valoración de proyectos mediante el CCV es crítica considerando las limitaciones presupuestales de los estados para la adquisición de los buques destinados para la seguridad y defensa nacional. Por este motivo los diseños del futuro enfatizan en el diseño para mantenibilidad maximizando el alistamiento operacional y procurando lograr la vida en servicio propuesta (Spar Associates Inc., 2013).

Los resultados obtenidos por el CCV sirven de elemento de juicio para soportar una toma de decisiones en compañía de otros elementos como son efectividad operacional, riesgos técnicos, restricciones, políticas industriales, etc. Entre sus aplicaciones se encuentra:

- Determinación de pronóstico de los futuros gastos
- Comparación entre diversas propuestas de solución de un proyecto

- Soportar el proceso de evaluación de un proponente o seleccionar entre proponentes
- Comparación de sistemas de soporte logístico o de mantenimiento para la embarcación
- Toma de decisiones respecto a desactivar o repotenciar una embarcación

El estudio de CCV puede ser aplicado como herramienta para toma de decisiones en diferentes niveles tecnológicos,

1. Decisiones de diseño
2. Alteración, modificación o conversión de buques
3. Selección de equipos
4. Configuraciones de planta
5. Reemplazo o repotenciación de unidades, equipos o sistemas
6. Sustitución de materiales, métodos, sistemas, procesos de ingeniería y/szo manufactura

El Costo de Ciclo de Vida de un buque o equipo está asociado a cuatro etapas (ver figura 1):

- **Concepción del buque:** Incluye las fases de definición de misiones, estudio de pre y factibilidad y definición del proyecto.
- **Adquisición:** La adquisición puede ser de un diseño ya probado, o puede incluir el diseño, desarrollo y construcción (ver figura 1).
- **Buque en operación.** Incluye todas las actividades relacionadas con operación y mantenimiento, soporte y modificaciones del buque o equipos a través de toda su vida operacional.
- **Desactivación y disposición final.** Todas las actividades necesarias para sacar del servicio el buque y sus equipos.

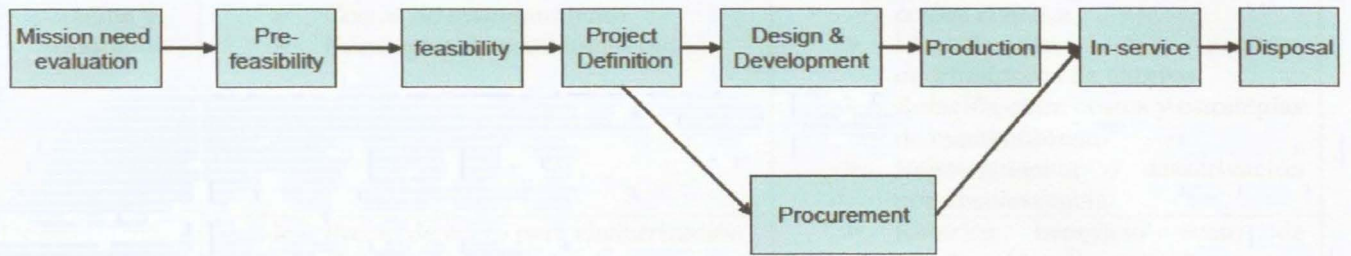


Figura 1. Fases del Ciclo de Vida de un Buque, NATO- TR-SAS-054

El uso de CCV del buque debe soportar la toma de decisiones en cada una de las fases del ciclo de vida. En la tabla se encuentran ejemplos de productos del análisis de CCV en diferentes etapas del producto (NATO- TR-SAS-054, 2007).

Tabla 1. Productos del Análisis del Costo de Ciclo de Vida en Diferentes Fases

| ETAPA | ENTRADAS | SALIDAS CCV |
|--|---|--|
| Determinación de misiones y fase de pre factibilidad | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cantidad de plataformas ➤ Tecnologías a ser utilizadas ➤ Tipo de plataforma | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo de tecnología, cantidad y tipo de plataformas más viables y más ajustada al presupuesto disponible ➤ Relación entre efectividad o beneficios y costo de ciclo de vida |
| Factibilidad y definición del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Tecnologías y materiales a ser utilizados en la construcción ➤ Estrategia de soporte logístico | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Requerimientos de diseño ➤ Información más precisa de la relación de costo de ciclo de vida y la estrategia de soporte logístico ➤ Evaluación de propuestas tecnológicas |
| Diseño y desarrollo | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Requerimientos de diseño para proveedores incluyendo un análisis de CCV ➤ Información de confiabilidad y mantenibilidad de equipos ➤ RFI – Request for Information. Cotización. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ciclo de Costo de Vida como parámetro de selección de equipos ➤ Pronostico de ciclo de costo de vida ➤ Relación de ciclo de costo de vida y capacidad militar ➤ Determinación de vectores del gasto |
| Producción | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Posibilidades tecnológicas en procesos ➤ Planeación de recursos propios y terceros | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Relación productividad vs costos asociados |
| Alternativa de adquisición | <ul style="list-style-type: none"> ➤ RFQ-Request for Quotation, Requerimiento de Cotización ➤ ITT-Invitation to Tender, Invitation a licitar ➤ Cuestionario de Ciclo de Vida | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pronostico más detallado de adquisición, soporte y operación durante la vida útil ➤ Soporte de menor ciclo de costo de vida para selección de propuesta |

| | | |
|--|--|---|
| En servicio. Operación y Soporte | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Costos de operación ➤ Costos de mantenimiento ➤ Estrategias de mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Diferencias entre pronósticos y costos actuales ➤ Identificación de posibles oportunidades de ahorros ➤ Relación entre costos y estrategias de mantenimiento ➤ Repotenciación o desactivación por obsolescencia. |
| Desactivación | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Precio de acero para chatarrización ➤ Costo de desmantelamiento ➤ Ofertas para reutilización | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Relación beneficio costo de reutilización con otro fin, venta, repotenciación o chatarrización. |

1. EL COMO DE LA IMPLEMENTACION DE UN MODELO DE COSTO DE CICLO DE VIDA

A continuación se describen los pasos para la implementación de un modelo de Costo de Ciclo de Vida:

1.1 Definir los lineamientos y objetivos del estudio

El objetivo del estudio direcciona la forma como el estudio debe ser realizado.

1.2 Establecer el contenido del estudio, los límites del mismo y sus supuestos.

Referente a los límites del estudio, el primer límite es la definición del sistema en sí, El segundo límite se refiere al espacio en tiempo en que el proyecto va a ser evaluado, y que fases van ser consideradas (prefactibilidad, factibilidad, diseño y desarrollo, etc.). El tercer límite consiste en los costos a ser considerados, costos directos, indirectos, asociados, etc. La figura 2 define los límites de costo asociados a las etapas de ciclo de vida de proyectos navales establecidos por la OTAN en el Technical Report TR –SAS -054.

En este esquema se determina los tipos de costos y determina su ubicación en las diferentes etapas de la vida útil del producto. El costo total del Ciclo de vida se define como el costo de adquisición + costo de operación + costo de desactivación. El costo total del

propietario es igual al costo total del ciclo de vida+ costo indirectos asociados (reclutamiento, entrenamiento, servicio médico etc.).

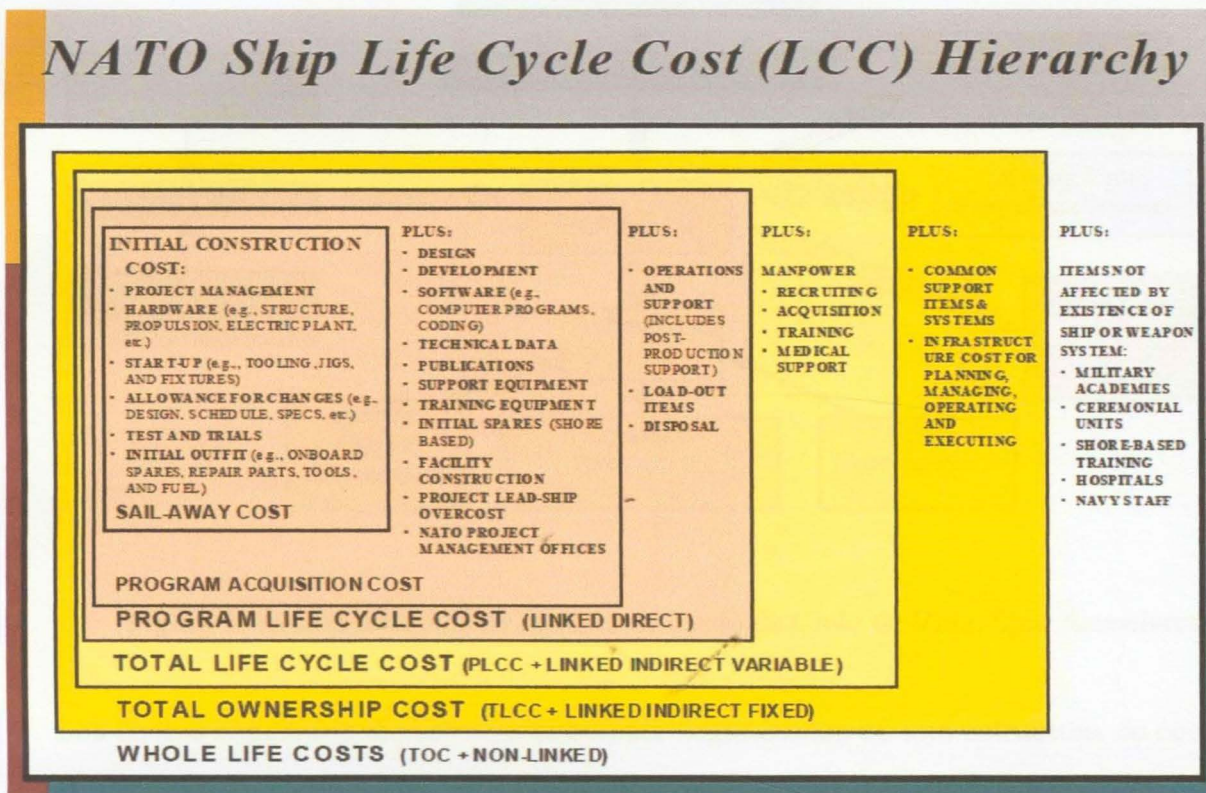


Figura 2. Fronteras de Costos de Ciclo de Vida, NATO- TR –SAS -054

1.3 Desarrollo de la estructura del marco del ciclo de costo de vida.

Con base en el tipo de proyecto, por ejemplo diseño y construcción o adquisición, las etapas a ser consideradas, supuestos, estructura de costos y salidas definidas se desarrolla la estructura del análisis de ciclo de costo de vida. La figura 3 describe una estructura genérica de un modelo de ciclo de costo de vida.

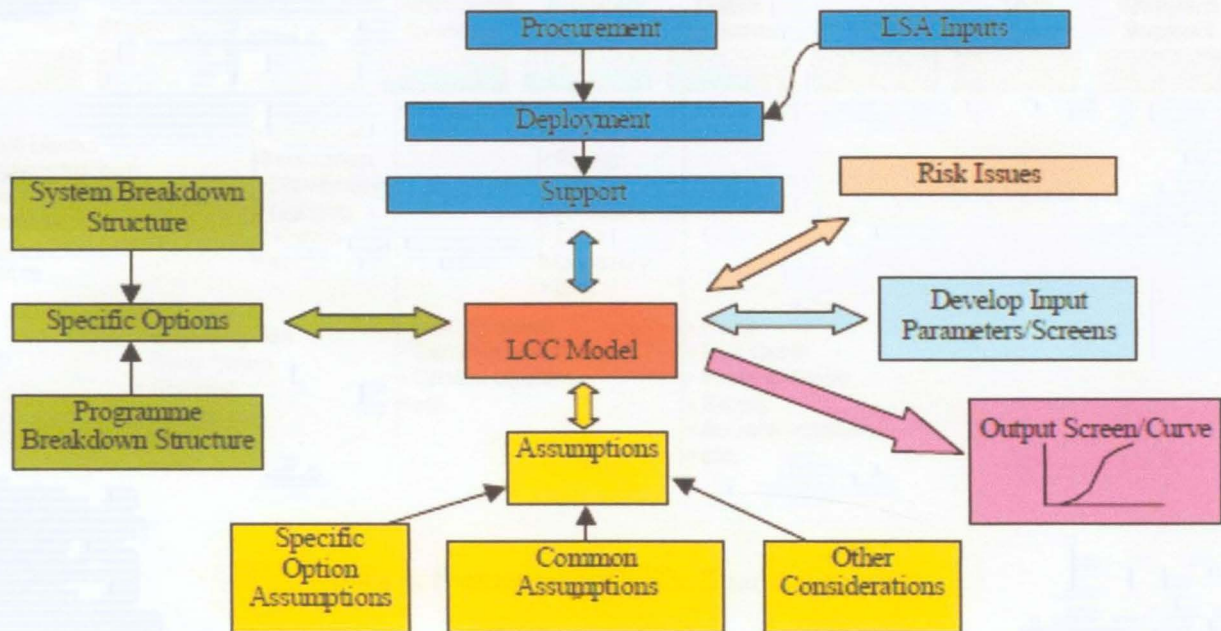


Figura 3. Estructura típica de Modelo de Costo de Ciclo de Vida, Spar Associates.

Los costos asociados al proyecto deben ser organizados en una estructura de costos (Cost Breakdown Structure). Para efectos de adquisición y de costeo es práctica común clasificar los elementos del buque por grupo constructivo o **ESWBS - Expanded Ship Work Breakdown Structure** (ver figura 4). La OTAN en el Technical Report TR-SAS - 054 presenta una estructura de costo basada en la estructura de proyecto (ver figura 5). Spar Associates en su estudio “Spar Cost Model, Estimating Naval Ship Life Cycle Costs” plantea una estructura de costo basado en la recurrencia o no de los gastos y que está alineada con las etapas del ciclo de vida (ver figura 6).

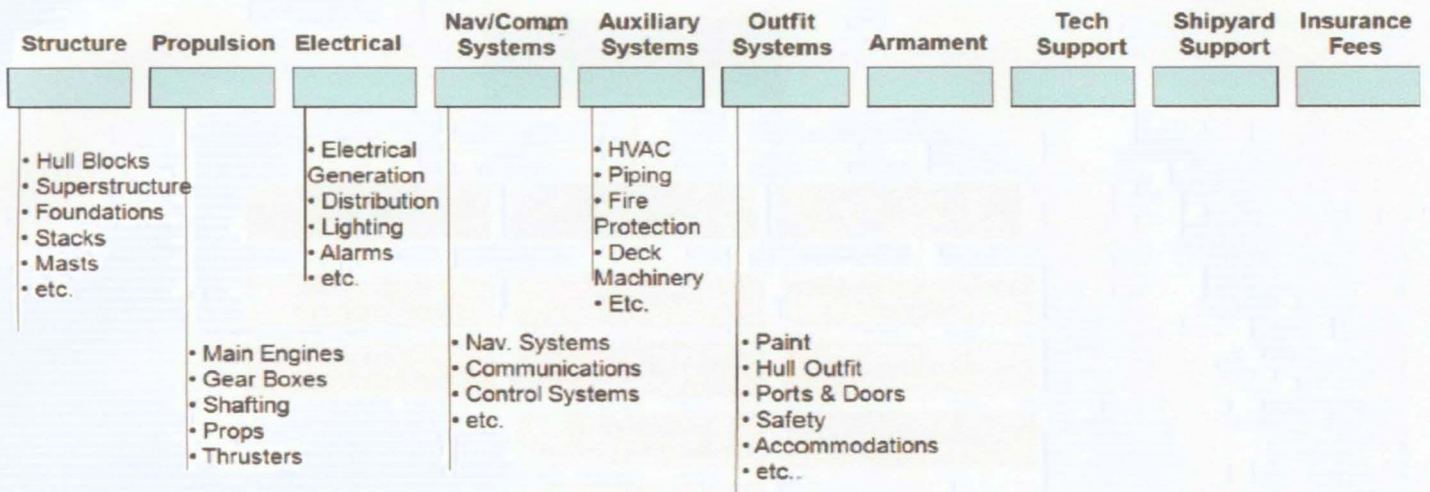


Figura 4. Estructura ESWBS, Spar Associates.

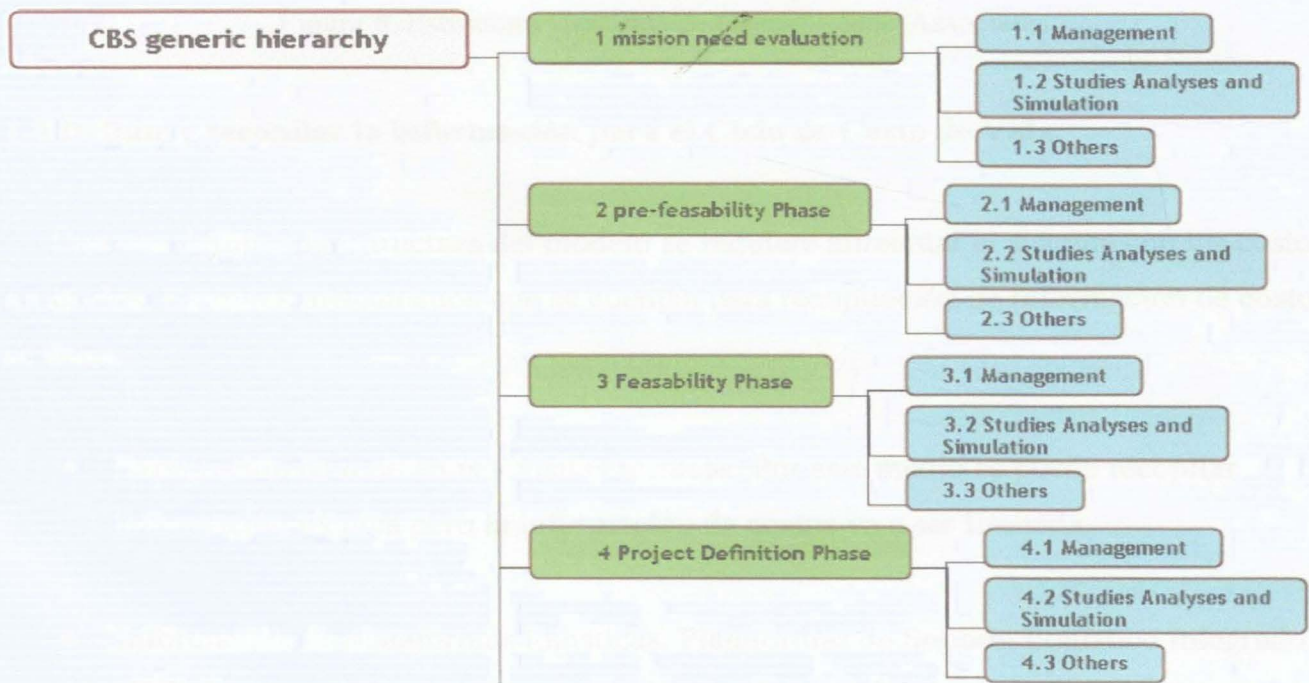


Figura 5. Estructura Genérica de Gastos – NATO, TR-SAS -054.

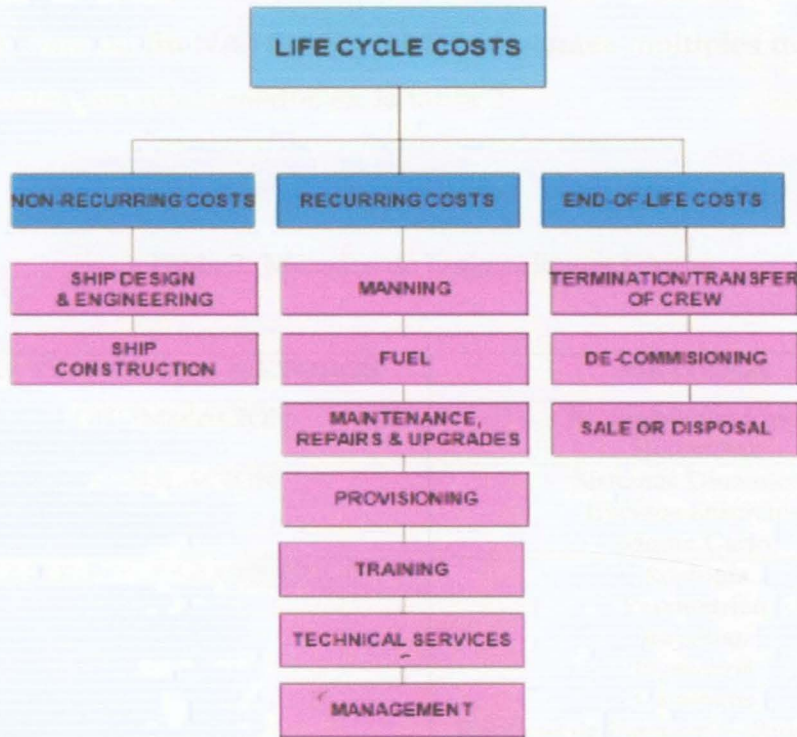


Figura 6. Estructura Genérica de Gastos – Spar Associates.

1.4 Definir y recopilar la información para el Ciclo de Costo de Vida.

Una vez definida la estructura del modelo se requiere alimentar el sistema con los costos asociados. Entre los mecanismos que se cuentan para recopilación de información de costos se tiene:

- Exploración de mercados y visitas técnicas. Por este medio se puede recopilar información técnica pero la información de costos va a ser limitada.
- Información de plataformas logísticas. Plataformas de Soporte Logístico Integrado (ILS- Integrated Logistic Support) y los Análisis de Soporte Logístico (LSA – Logistic Support Analysis) de proyectos análogos son fuentes de información de costos, y de cadena de suministros. Estos análisis también deben ser realizados para el proyecto en evaluación para diseñar el plan logístico.

Cuando la información no se tiene disponible se debe proceder a realizar una estimación del costo de vida. Para tal fin NATO TR –SAS 054 plantea múltiples métodos de estimación los cuales son relacionados en la tabla 2.

Tabla 2. Métodos de Estimación de Costos

| CATEGORIA DE METODOS | METODOS |
|--------------------------------|---|
| OPTIMIZACION | Programación Lineal Heurístico |
| SIMULACION | Sistemas Dinámicos Eventos Discretos Monte Carlo |
| CALCULOS PARAMETRICOS | Analogía Paramétrico Bayesian Ingeniería Catálogos Prácticas de Ingeniería –Rule of Thumb Opinión de Expertos |
| SOPORTE DE TOMAS DE DECISIONES | Proceso Jerárquico Analítico Análisis de Decisiones Multicriterio |

1.4.1 Métodos de Optimización

- Programación lineal. La programación lineal es una técnica de modelamiento matemático diseñada para optimizar la utilización de recursos limitados. El modelo de programación lineal cuenta con tres partes; variables de decisión, condiciones de frontera y objetivo que requiere ser optimizado.
- Metodo Heuristico. Basado en método heurísticos y cuyas valoraciones iniciales se realizan en aquellos puntos que son utilizados como valores de referencia y que son validados por los expertos (rule of the Thumb value).

1.4.2 Métodos de Simulación

Sistemas dinámicos y simulación de eventos discretos son formas de simulación que permiten la representación de las actividades del sistema en el tiempo. La simulación de Monte Carlos adicional a la simulación involucra la aplicación de distribuciones estadísticas.

1.4.3 Método de cálculo y estimaciones.

- Método de Analogía. El método de la analogía compara a un nuevo sistema con un sistema existente similar, de cual se tiene costos e información técnica precisa. El analista debe realizar una valoración del impacto que tiene las diferencias entre el sistema de interés y el histórico existente a ser utilizado como referencia.
- Método de parametrización. El método paramétrico realiza estimativos de costos basado en varias características o atributos medibles del sistema. Este método depende de la relación matemática entre los costos y estos parámetros, definiendo el costo como la variable dependiente de las otras variables.
- Técnica Bayesiana. La técnica Bayesiana se basa en el conocimiento previo de un sistema y posibles modificaciones a la luz de información adicional. El parámetro a ser estimado es conocido en el estado previo, y está asociado a una incertidumbre y una distribución probabilística previa. Información adicional generará un nuevo valor y una nueva distribución probabilística para este parámetro. La Inferencia Bayesiana permite que estos dos set de valores sean combinados para dar el valor más probable (y con menor incertidumbre) para el parámetro en estudio y su distribución probabilística.
- Estimación de Ingeniería (bottom-up). Es el método más detallado de todos los métodos y el más costoso de implementar. El método se inicia en el nivel inferior de

la estructura de trabajo, definiendo el costo para todas las subtareas hasta llegar a estimar el total del proyecto.

- Prácticas de ingeniería (Rule of Thumb). Se refiere a relaciones determinísticas de una variable con el costo. Ellas están validadas con análisis de costos.
- Estimativos de Handbooks o catálogos y opinión de expertos.

1.4.4 Método de Soporte de Decisiones

La metodología de Proceso Jerárquico Analítico (Analytical Hierarchy Process- AHP) o el Análisis de Decisiones Multicriterio (Multi-criteria Decision Analysis – MCDA) son herramientas útiles para ordenar y jerarquizar los aspectos decisivos en la toma de decisiones de un proyecto naval; la lista de tareas operacionales o lista de requerimientos estratégicos con sus costos asociados.

En la tabla 3 se ilustra como las naciones que participaron en la elaboración del RTO Technical Report TR –SAS- 054-NATO “Methods and Models for Life Cycle Costing” utilizan las metodologías para estimación de costos en las diferentes fases del ciclo de vida de los proyectos navales. Muchas de las estimaciones y en general la estimación global del costo de ciclo de vida, requieren el uso y los resultados de la combinación de varias metodologías.

En la tabla se puede observar que en todas las etapas se da un predominio de la analogía y métodos paramétricos para estimar los costos asociados al ciclo de vida. De los 16 países que participaron en la elaboración del TR –SAS -054- NATO, la mayoría basan sus estimaciones en métodos paramétricos, analogías o estimaciones de ingeniería.

La figura 7 describe de forma genérica el proceso de estimación de ciclo de costo de vida para las diferentes fases. La estructura de costos (Cost Breakdown Structure -CBS) es

alimentada por la información de costos y supuestos. Esta información a su vez alimenta el modelo de Ciclo de Costo de Vida.

Tabla 3. Métodos utilizados por las naciones participantes en NATO TR-SAS-054 en las diferentes fases de CCV, NATO TR-SAS-054.

| Method | | Mission need | Pre-feasibility | Feasibility | Project Definition | Design & Developm. | Production | In-service | Disengagement |
|--------------------------|-----------------|--------------|-----------------|-------------|--------------------|--------------------|------------|------------|---------------|
| Optimisation | Optimization | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Simulation | System Dynamics | ○ | ○ | | | | | ○ | ○ |
| | Discrete Event | | | ○ | ○ | ◐ | ◐ | ○ | ○ |
| Calculation / Estimation | Analogy | ● | ● | ● | ● | ● | ◐ | ◐ | ◐ |
| | Parametric | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ◐ | ◐ |
| | Bayesian | | ○ | | | | | | |
| | Engineering | ○ | ○ | ◐ | ● | ● | ● | ◐ | ◐ |
| | Catalogue | | | | | | | | |
| | Rule of Thumb | ○ | ○ | ○ | ○ | ◐ | ○ | | ○ |
| | Expert opinion | ● | ◐ | ◐ | ◐ | ◐ | ◐ | ○ | ○ |
| Decision Support | AHP | ◐ | ○ | | | | | | |
| | MCDA | | | | | ○ | | | |

Legend

- blank No nation
- 1 nation
- ◐ 2-3 nations
- >3 nations

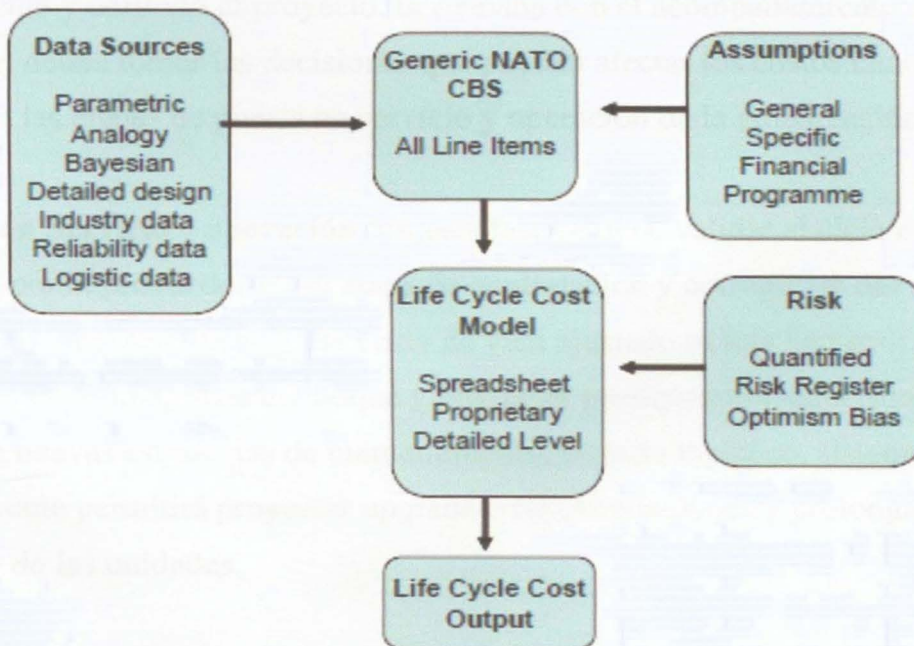


Figura 7. Proceso genérico de Ciclo de Costo de Vida, NATO TR-SAS-054

2 EL ANÁLISIS DEL COSTO DE CICLO DE VIDA EN EL ENTORNO DE LA ARMADA NACIONAL.

Definición de misiones, prefactibilidad, factibilidad y definición del proyecto. En las etapas iniciales del proyecto la Armada Nacional actúa como armador, establece unos términos de referencia en relación a las misiones de los buques a ser adquiridos, su perfil operacional y características de desempeño. En esta fase juegan un papel importante los análisis de ciclo de costo de vida como insumo para el análisis de costo vs beneficio o efectividad, herramienta valiosa para la toma de decisiones. Al no ser el rol de la Armada diseñar y construir buques, delega estas actividades en terceros (firmas de diseño, astillero constructor, consultores etc.). Considerando que en estas etapas la ingeniería preliminar es generada por las firmas proponentes, es necesario que con el concurso de estas la Armada analice los ciclos de costo de vida de los proyectos propuestos para la toma de decisiones no solo del proyecto a ser elegido si no de la estrategia de mantenimiento a ser implementada, sistema logístico de soporte, nivel de automatización y tripulación de la embarcación, tecnologías a ser implementadas, y todas aquellas tomas de decisiones que afectarán los costos de operación y soporte a lo largo de la vida útil de la embarcación.

Diseño y Construcción. Estas etapas del proyecto en las cuales ya se ha seleccionado un proponente y definido el proyecto, la Armada con el acompañamiento del diseñador y constructor, deben tomar las decisiones que puedan afectar los costos ciclo de vida del proyecto en las etapas de puesta en servicio y operación de la embarcación.

Puesta en Servicio y operación. En esta fase se debe validar el ciclo de costo de vida presentado por el proveedor en su etapa de contratación y corregir las desviaciones pertinentes. Un modelo de ciclo de costo de vida ajustado es una herramienta que nos permite proyectar los gastos del buque y proyectar presupuestos requeridos, evaluar el impacto de nuevas estrategias de mantenimiento, soporte logístico, sistemas y tecnologías, adicionalmente permitirá proyectar upgrade o repotenciones y prolongaciones de la vida de servicio de las unidades.

Desactivación. Un modelo de ciclo de costo de vida ajustado permitirá argumentar la conveniencia económica de desactivar una embarcación y la adquisición de una nueva.

3 DESARROLLO DEL MODELO

3.1 Definición del Objeto de Estudio.

El objetivo de estudio del análisis de ciclo de costo de vida a desarrollar son los buques, no tiene en consideración la logística de soporte o costos asociados a infraestructura que el proyecto requiera para su desarrollo u operación. En esta propuesta no se incluye análisis de riesgo.

3.2 Límites y Supuestos.

Una de las variables a definir en el estudio es la vida útil estimada de la plataforma. El Sistema de Información Logístico Conjunto de las Fuerzas Militares –SILOG clasifica a los buques como maquinaria y por estándares contables se les es asignada una vida útil de 15 años a cualquier tipo de embarcación. Este estándar difiere de los estándares de la industria naval.

En relación a la vida útil de una embarcación Bijwaard y Knapp (2008) aseveran que la posibilidad de que una embarcación sufra siniestros que conduzcan a pérdidas de vidas o posible pérdida de la embarcación se incrementa de manera importante después de los 23 años. Matthew Collette concluye en su estudio “Hull Structure as a System: Supporting Lifecycle Analysis” que para una embarcación de combate tipo, la aparición anual de fisuras estructurales generadas por fatiga se inicia aproximadamente a los 20 años, presentándose una reducción en su capacidad de supervivencia estructural después de los 30 años de servicio. Estos análisis son coincidentes con lo establecido por IACS (International Association of Classification Societies) que señala la estructura como un elemento determinante en la vida útil de una embarcación y estipula que la normatividad

estructural existente está enmarcada para una vida útil de 25 años para embarcaciones de tipo comercial.

La mayor integridad estructural y requerimientos en compartimentación establecidos por la normatividad para diseño naval permitirían aseverar que la expectativa de vida útil de las embarcaciones navales es mayor. Anep- Allied Naval Engineering Publication 49 “Ship Costing” de la OTAN, afirma que una reducción del 17 % en costo en estructura se obtuvo en la construcción de la fragata Floreal, fragata tipo La Fayette pero construida con estándares comerciales. En coincidencia con estas afirmaciones, la Oficina de Presupuesto del Congreso de Estados Unidos CBO (Congress Budget Office), en un estudio del impacto de la operación y soporte en el ciclo de vida de cuatro tipos de buques de la marina americana, estableció para estos tiempos de servicio de 30 a 35 años (ver tabla 4).

Tabla 4. Vida de servicio esperada de buques de la Marina de Estados Unidos, Congress Budget Office

| Tipo de Buque | Vida de Servicio Esperada en Años |
|---|-----------------------------------|
| MCM Avenger Class-Antiminas | 30 |
| FFG-7 Oliver Hazard Perry - Fragata | 30 |
| DDG-51 Flight IIA Arleigh Burke- Destructor | 35 |
| CG -47 Ticonderoga Class- Crucero | 35 |

En el caso de las fragatas Clase ARC Amirante Padilla de la Armada Nacional, después de aproximadamente 25 años de servicio iniciaron en el 2008 una repotenciación de las unidades en el marco del Plan Orión y se proyectó una prolongación de la vida útil de las mismas hasta aproximadamente 2025, para un total proyectado de 40 años de vida útil después del overhaul.

Considerando lo anterior, se establece que para efectos de análisis de ciclo de vida de los buques de la Armada Nacional un periodo de vida útil de 30 años es adecuado.

Los costos a ser tenidos en cuenta son los gastos directos en la etapa de adquisición, operación y desactivación.

La propuesta de análisis de ciclo de vida realizado en este documento está centrado en las fases de adquisición, operación y desactivación, por requerir las fases de concepción del buque la participación directa de los proponentes, o en las fases de diseño y construcción requerir el concurso del armador solo en aquellos aspectos que pueda afectar los costos de operación. En consecuencia, el abordaje aquí propuesto es aplicable para todas las embarcaciones en operación o próximas a entrar en operación en la Armada Nacional, sin embargo, no se debe pasar por alto la importancia que tiene la utilización del análisis de ciclo de costo de vida en los futuros proyectos de adquisición y los requerimientos y exigencias que en este sentido deben ser realizados a los futuros proponentes.

3.3 Desarrollo de la Estructura del Marco del Costo de Ciclo de Vida.

La estructura de costos (Cost Breakdown Structure) planteada para el análisis está basada en la recurrencia de los gastos, estructura que está alineada con las etapas del ciclo de vida (ver figura 6).

Una vez definido el objetivo, la estructura de costos, los supuestos, el alcance, fases a ser incluida y el tiempo de vida útil del proyecto la estructura del modelo está definida.

3.4 Recopilación y Estimación de Información de Costos del Proyecto.

La Armada Nacional no dispone de un sistema información centralizado, validado y consolidado de los costos asociados al soporte logístico de las unidades. Para obtener esta información se tendría que acudir a las mismas unidades. Considerando lo anterior es pertinente seleccionar métodos de estimación de costos para la obtención de estas estimativas como medio alternativo.

Los métodos de estimación de más fácil aplicación y más difundidos son el método paramétrico y la analogía de acuerdo a la tabla 3. Estos son los métodos seleccionados para la propuesta de modelo. El método de analogía depende de la existencia de un buque análogo. En el planteamiento del modelo se proveen unas fórmulas para determinar paramétricamente los costos asociados a las fases de Operación y Desactivación. Estos valores parametrizados deben ser sustituidos por los valores producto de la operación de los buques una vez se tenga consolidada.

3.4.1 Estimación de Costos

3.4.1.1 Estimación de Costos no Recurrentes

Estimación costo de adquisición. El costo de adquisición es un valor único que debe ser concertado con el proveedor. El lineamiento de la Jefatura de Material de la Armada Nacional es la adquisición del buque como un todo, es decir que no contempla la adquisición de equipos con otros proveedores para que el astillero suministre instalaciones adaptadas para la instalación del equipo (FFBNW -Fitted For But Not With). El costo debe incluir el entrenamiento, todas las provisiones y líquidos requeridos para su operación y el menaje del buque.

Repotenciones o Upgrades. La repotenciación o upgrade es un gasto no recurrente que puede presentarse 1 o 2 veces normalmente en la vida de un buque. Sin embargo es posible que ciertos sistemas como el de armas puedan sufrir varios upgrade durante la vida útil de la plataforma.

3.4.1.2 Estimación de Costos Recurrentes

Los costos recurrentes son asociados normalmente a la operación y mantenimiento de la embarcación.

Costos de remplazó de aceros y recubrimiento.

El costo de remplazo de aceros está dado por las siguientes ecuaciones (Turam & Rigo, 2009):

$$\text{COSR} = (\text{ARS}) \times 1000 \times \text{Pr}_{\text{strp}}$$

$$\text{ARS} = \text{Lightweight} \times 0.0306 \times e^{0.2772 \times \text{Age}/1000}$$

$$\text{COA} = \text{TAC} \times \text{Pr}_{\text{coa}}$$

$$\text{TAC} = \text{ARS} \times 1000 \times / (8 \times \text{Average Thickness})$$

Donde,

COSR = Cost of Steel Replacement, Costo de Cambio de Acero \$

Lightweight (Ton)

ARS= Amount of Replaced Steel (Ton)

Age= Edad del buque

Pr_{strp} = Price of Steel Replacement, Precio Unitario del Cambio de Acero \$/Kg

COA= Cost of Coating \$, Costo del Recubrimiento

TAC= Total Area of Coating, Area Total de Recubrimiento

Average Thickness= Espesor promedio

Pr_{coa}= Precio del Recubrimiento

Esta formulación es dada por para buques tanqueros y el costo de recubrimiento esta dado para una sola de las superficies, en caso de requerirse las dos superficies se multiplica por dos los costos del recubrimiento.

Las diferencias de costos de instalación de un Kg entre un buque de combate o patrullaje y un tanquero, está asociado a que en los cambios en tanqueros son láminas de grandes áreas y los espacios son más accesibles. Por este motivo los precios de Kg instalado pueden variar de acuerdo al nivel de dificultad asociado para su cambio. Miroyannis (2006) establece un factor de complejidad en función de la zona de trabajo (figura 8), de esta manera un Kg de acero instalado sobre cubierta tiene una dificultad de 1, para cuarto de máquinas tiene una dificultad de 1.5 y para dobles fondos de 1.25. Considerando lo anterior, por analogía y como factor de compensación por el nivel de dificultad asociado al cambio de aceros en tanqueros vs buques de la Armada, se aplicará un factor de

corrección en el precio del acero instalado de 1.35 para unidades mayores y de 1.4 para embarcaciones menores.

Costos de mantenimiento de propulsores y generadores

Los costos asociados al mantenimiento de los motores propulsores y generadores y sus repuestos, están especificados de acuerdo al nivel de mantenimiento requerido que es función de las horas de trabajo. Por tal motivo, los costos están directamente relacionados con las horas anuales de operación y es una variable de fácil determinación por intermedio de los representantes de la marca en el país.

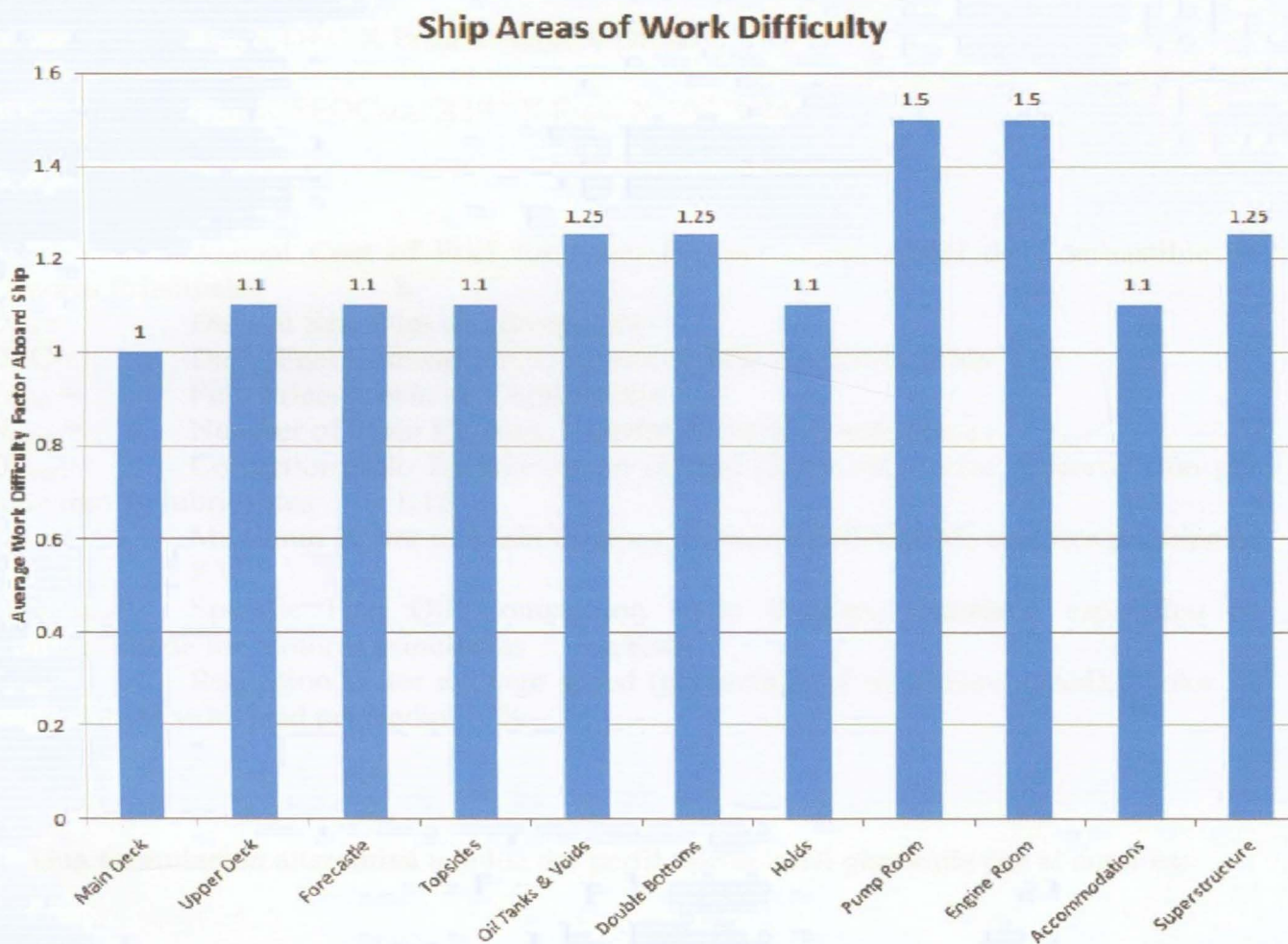


Figura 8. Productividades Típicas en Zonas del Buque – Factores de Complejidad a bordo, Miroyannis, 2006.

Costos de mantenimiento de dique.

De acuerdo a lo que estipula la normatividad IACS, los buques clasificados deben subir a dique para Intermediate Survey cada 2.5 años y por Special Survey cada 5 años. Las subidas a dique de las unidades a flote pueden programarse con estas frecuencias. Con el apoyo de Cotecmar es posible obtener cotizaciones tipo para las subidas a dique en lo referente a línea de ejes, timones, válvulas de fondo, sand blasting y pintura.

Costo de combustible y lubricantes

Turan y Rigo (2009), proponen la siguiente formulación para determinar el costo anual de combustible de los motores principales,

$$ACOF = D_{sea} \times DFC \times Pr_{fuel} \times N_{Main} \times Oil_{cor}$$

$$DFC = P_{max} \times SFOC_{Main} \times 10^{-6} \times F_{Mean} \times 10^{-2} \times 24$$

Donde,

ACOF= Annual Cost of Fuel for Main Engine, Costo Anual de Combustible de Motores Principales \$

D_{sea} = Days at Sea, Días de Navegación

DFC= Daily Fuel Consumption, Consumo Diario de Combustible Ton

Pr_{fuel} = Fuel Price, Precio de Combustible \$

N_{main} = Number of Main Engines, Numero de motores principales

Oil_{cor} = Correction ratio for lubrication oil and diesel oil, Factor de corrección por consumo de lubricantes 1.15

P_{max} = Maximum Power of Main Engines, Maximo poder de los motores principales KW

$SFOC_{Main}$ = Specific Fuel Oil Consumption Main Engines, Consumo especifico de combustible de los motores principales g/Kwh

F_{mean} = Reduction factor average speed (percentage of maximum speed), Factor de reduccion de velocidad promedio %

Una formulación alternativa a la luz del perfil operacional planteada por el autor es:

$$ACOF = \sum_{n=1}^k a_n * Horas_{año} * Consumption Rate_n \frac{gal}{hr} * Pr_{Fuel} \text{ per gal} * Oil_{cor}$$

Donde $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$, son los porcentajes en que la unidad opera a los ratings 1,2,3.....n del perfil operacional del buque y,

$Horas_{año} =$ Horas año de operación del buque

$Consumption Rate_n \text{ gal/hr} =$ Consumo de combustible en gal/hr al rating n

$\sum_{n=1}^k a_n * Horas_{año} =$ Son las horas totales de operación del buque en el año y,

$\sum_{n=1}^k a_n = 1$

De igual manera el autor propone que el costo anual de combustible y lubricantes asociado a los generadores puede ser determinado con la siguiente ecuación,

$ACOF_{Gen} = (Horas_{año} + Horas \text{ de Fondeo}_{año}) * Consumption Rate_n \text{ gal/hr} * Pr_{Fuel \text{ per gal}} * Oil_{cor}$

Donde,

$Horas \text{ de Fondeo}_{año} =$ Horas en que el buque tiene generación pero no está navegando.

Costos de Servicios Técnicos

Servicios técnicos como es el caso del servicio de las casas clasificadoras a las embarcaciones clasificadas son costos recurrentes que deben ser tenidos en cuenta en el ciclo de costo de vida de las embarcaciones.

Costos de Personal

Los costos de personal están determinados por la Tabla de Organización y Equipos TOE, la cual define cantidad de personal y sus rangos. Como costo se debe considerar el sueldo del personal y la carga prestacional que esto implica. Estos costos incluyen los costos en horas hombre de la tripulación que labora en los trabajos de mantenimiento preventivo o correctivo menor al interior de la unidad.

3.4.1.3 Desactivación

El valor de salvamento al desactivar un buque es función de su lightweight y está determinado por la siguiente función,

$$EDIS = Pr_{dism} \times \text{Lightweight}$$

Donde,

$$EDIS = \text{Earning of Dismantling, Ganancia por desmantelamiento \$}$$

$$Pr_{dism} = \text{Unit Price of Dismantling, Precio de acero de desmantelamiento \$/Ton}$$

3.5 Evaluación del Proyecto.

El proyecto se debe evaluar por medio del VPN valor presente neto de todos los gastos anuales generados durante la vida útil del proyecto. Otra forma de presentar la información es como un gasto anual constante. De esta manera es posible comparar el VPN del proyecto con otras alternativas. Como tasa de inflación estimada para proyectar los valores presentes se utilizará una tasa del 3% anual.

CONCLUSIONES

1. El análisis del Costo de Ciclo de Vida es una herramienta que debe ser implementada en la Armada Nacional como herramienta de planeación para sustentar los requerimientos presupuestales de la unidades, proyectar la desactivación o repotenciación de unidades y como herramienta de toma de decisiones para proyectos de adquisición de buques.
2. Es necesario centralizar, consolidar y validar los costos asociados al Costo de Ciclo de Vida de los buques. El Silog- como sistema integrado de información es la herramienta llamada a ser utilizada para este fin.
3. El Costo de Ciclo de Vida de un proyecto es en gran parte definido en su etapa de concepción. Considerando lo anterior es fundamental abordar el análisis de ciclo de costo de vida desde las etapas tempranas del proyecto y debe ser establecido como unos de los requerimientos en el momento de presentar propuestas técnicas y comerciales para la adquisición de nuevos buques.

BIBLIOGRAFIA

- NATO. (2007). Methods and Models for Life Cycle Costing, RTO Technical Report TR-SAS-054
- SPAR Associates inc (2013). SPAR COST MODELS, Estimating Naval Ship Life Cycle Costs
- NATO, ANEP Allied Naval Engineering Publication 49 (2001). Ways to Reduce Cost of Ships
- Congressional Budget Office –CBO (2010). Session Letter
- Turan, O. y Rigo, P. Maintenance/Repair and Production Oriented Life Cycle Cost /Earning Model for Ship Structural Optimization During Conceptual Design Stage. Ships and Offshore Structures, 4 (2) pp. 77.
- Miroyannis, Aristides (2006). Estimation of Ship Constructions Cost. Massachusetts Institute of Technology.
- Collette, Matthew. (2011). Hull Structure as a System: Supporting Life Cycle Analysis. American Society of Naval Engineers (3) 45-55.doi: 10.1111/j.1559-3584.2011.00329.x
- Bijwaard, G. Knapp, S. (2008). Economic Analysis of Ship Life Cycles, are safety inspections effective?. Econometric Institute Report 2008. Econometric Institute, Erasmus University of Rotterdam.

BIBLIOTECA CENTRAL DE LAS FF. MM.
"TOMAS RUEDA VARGAS"



057458