

Análisis de requerimientos mediante la aplicación de *AHP* como base para el desarrollo del diseño conceptual de un buque tipo *LCU*

Luis E. Aranibar^a
Rafael L. Callamand^a

Resumen

Este artículo resume el estudio de los requerimientos y necesidades que se tienen en cuenta en el desarrollo del diseño conceptual de un buque de desembarco (*LCU*, por sus siglas en inglés), en el que se usó la metodología de análisis jerárquico *AHP*, con el fin de calificar y clasificar lo solicitado por la Armada de la República de Colombia (ARC), que será la usuaria del buque. De esta manera se logró establecer la importancia que tiene para el armador cada una de las necesidades expuestas, con el fin de incluirlas directamente dentro del proceso de diseño.

Palabras clave: *Landing Craft Utility (LCU)*, desembarco, diseño preliminar, *AHP*.

Abstract

This article summarizes the study of the requirements and necessities which are taken into consideration in the development of the conceptual design of a Landing Craft Utility (LCU), in which the *AHP* hierarchic analysis methodology was used, in order to qualify and classify the requested by the Colombian Navy (ARC), which will be the user of the ship. This way, it was possible to establish the importance which each of the necessities exposed has for the shipbuilder, in order to include them directly in the design process.

Palabras clave: Landing Craft Utility (LCU), landing, preliminary design, *AHP*.

Fecha de recepción: 13 de marzo de 2008

Fecha de aceptación: 12 de mayo de 2008

^aCotecmar. Departamento de Arquitectura Naval.
Autor corresponsal: laranibar@cotecmar.com

Introducción

Este proyecto surge como respuesta a la necesidad de la Armada de Colombia, de incorporar a su flota un buque con capacidad para realizar diferentes operaciones de apoyo logístico y transporte de tropa en las costas y ríos navegables del país. Estas operaciones son realizadas por embarcaciones tipo *LCU (Landing Craft Utility)* clase 1466, construidas por Estados Unidos en la Segunda Guerra Mundial, que por su largo periodo de vida presentan limitaciones dado el deterioro en sus equipos y en la estructura del casco, lo cual dificulta el cumplimiento de la misión asignada.

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de requerimientos con el fin de clasificar y calificar cada una de las necesidades de la Armada, para orientar el diseño de un buque del tipo *LCU*. Con ese objetivo, se implementó la metodología de proceso de análisis jerárquico *AHP* (Saaty, 1990), por sus siglas en inglés, la cual permite identificar los criterios, que desde el punto de vista del armador (Armada Nacional) y de los usuarios

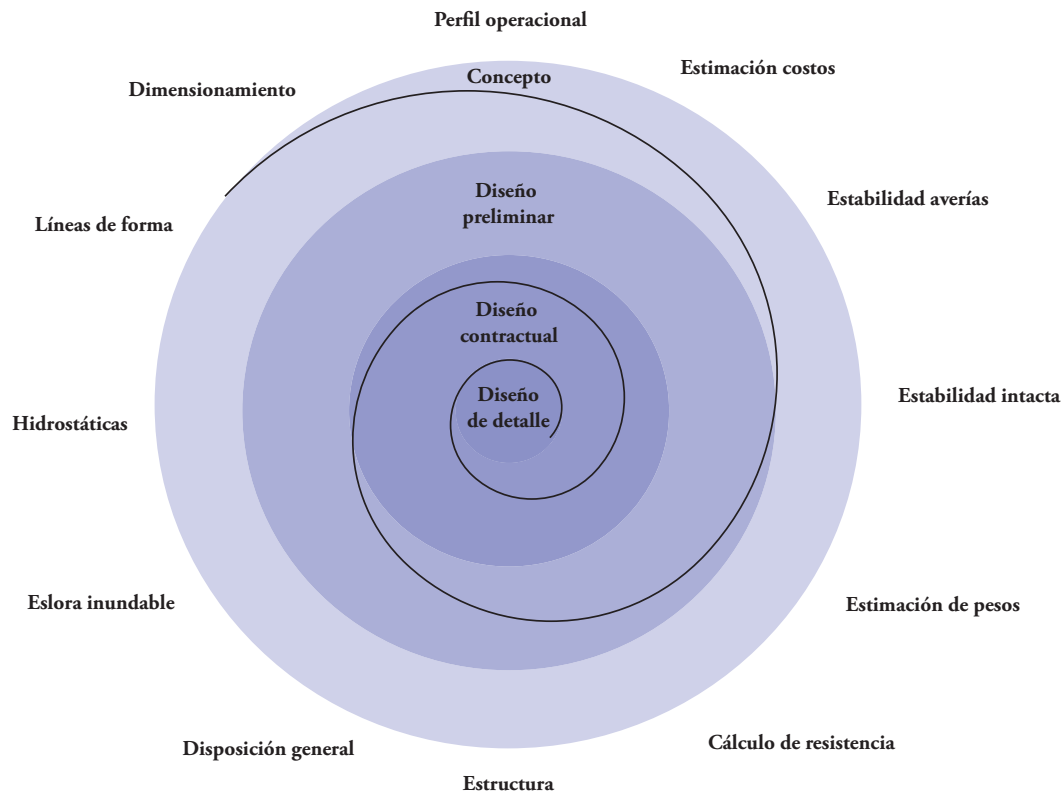
(tripulación) del buque, presentan un mayor grado de importancia en el nivel de satisfacción final, y emplear estos resultados como base para desarrollar el diseño de un buque que cumpla con las expectativas del usuario.

Para el desarrollo del proyecto de diseño preliminar del buque se siguió la estructura de la espiral de diseño, abarcando los siguientes temas: análisis de requerimientos, dimensionamiento, estimación de pesos, estructura del casco, cálculo de potencia, disposición general, armamento y estabilidad.

Proceso de decisión

En el ámbito mundial se encuentran gran cantidad de modelos de buques de desembarco desarrollados por diferentes astilleros que pueden ser adaptados a la necesidad existente, sin embargo, la utilización del proceso de análisis jerárquico permite obtener resultados que facilitan la realización de un diseño preliminar, enmarcado en el cumplimiento de las necesidades propias de la Armada de Colombia.

Gráfico 1. Espiral de diseño



Pensando en lo anterior se decidió emplear el método de decisión multicriterio *AHP* (*Analytical Hierarchy Process*) el cual permite, mediante la construcción de un modelo jerárquico, organizar de manera eficiente y gráfica, la información respecto al problema, descomponerla y analizarla por partes.

La metodología *AHP* establecida por Saaty (1990), es un método de decisión multicriterio, el cual permite visualizar la comprensión del problema mediante la construcción de un modelo jerárquico compuesto de tres niveles: objetivo, criterios y alternativas.

Al construir el modelo jerárquico es posible realizar comparaciones entre criterios, subcriterios y alternativas, dentro de las cuales se le asigna, por parte de cada uno de los participantes en el proceso, valores numéricos que representan las preferencias desde el punto de vista de los evaluadores.

Los valores asignados permiten medir el grado de influencia de cada elemento en el nivel superior del cual se desprende; para ello se emplean escalas de razón, en cuanto a preferencia, importancia y probabilidad, sobre la base de una escala numérica que abarca del 1 al 9.

El *AHP* se fundamenta en:

- La construcción del modelo jerárquico
- Priorización de los elementos del modelo
- Comparaciones binarias entre los elementos
- Evaluación de los elementos mediante la asignación de pesos
- *Ranking* de las alternativas de acuerdo con los pesos dados
- Síntesis
- Análisis de sensibilidad

Caso de estudio

En este caso en especial, en el cual se desea realizar el diseño de un buque de desembarco para la Armada Nacional de Colombia, que cumpla con sus expectativas y requerimientos, es fundamental

que el diseñador tenga el conocimiento suficiente para determinar los factores o características que deben ser tenidos en cuenta dentro del proceso de diseño.

Recolección de datos

Dentro de cualquier proceso de toma de decisiones, la calidad y cantidad de información con la que cuente el decisor, tiene un papel de gran importancia debido a que de esto, sumado a otros factores que serán analizados más adelante, depende la racionalidad y el grado de acierto al momento de escoger una u otra alternativa.

Dentro del campo de operación de un buque de la Armada Nacional, se debe tener en cuenta que, durante su periodo de servicio estará sometido a frecuentes cambios de tripulación y variaciones en sus prioridades de operación. Con el fin de disminuir al máximo este factor de incertidumbre se organizaron diferentes grupos de individuos, denominados grupos focales (Reyes, 2004), que de una u otra forma tienen relación con la operación del buque, compuestos por oficiales y suboficiales en diferentes grados, que abarcan las áreas de operación más importantes, tales como mantenimiento a bordo, apoyo logístico y soporte de mantenimiento en tierra.

Para recolectar la información de la manera más eficiente posible se realizaron un total de 45 entrevistas a individuos de los cuatro grupos focales establecidos anteriormente, en las que se les plantearon diversos interrogantes encaminados, en primer lugar, a que los participantes pudieran reflejar de una manera cuantificable las experiencias vividas en la operación de los buques tipo 1466, y por otro lado se brindó la posibilidad de que las tripulaciones plantearan, desde su punto de vista, recomendaciones con el fin de mejorar el desempeño de los *LCU*.

Del análisis de las entrevistas se desprende que los conceptos de operación, para el mismo tipo de buque, varían notablemente entre la Costa Pacífica colombiana y el Litoral Caribe debido principalmente a la falta de medios de aprovisionamiento disponibles, por lo cual los buques *LCU* 1466 que

operan en el Pacífico presentan más dificultades al momento de solucionar problemas de mantenimiento.

Por otra parte, es importante resaltar que 95% de los entrevistados se mostró inconforme con el espacio en los buques del tipo 1466, destinado a las áreas de descanso y labores.

Misión

Adicionalmente a las entrevistas, se realizó el análisis estadístico de los informes de operación y cuadros de consumo de los buques en los últimos cuatro años. Debido al carácter confidencial estos datos no se presentan detalladamente (Gráfico 2). Con el fin de determinar la misión asignada a estos buques y para la cual se realizará el diseño, la información fue complementada por la programación de las operaciones proyectadas y la necesidad operacional establecida por la Armada Nacional, con lo que se determinó:

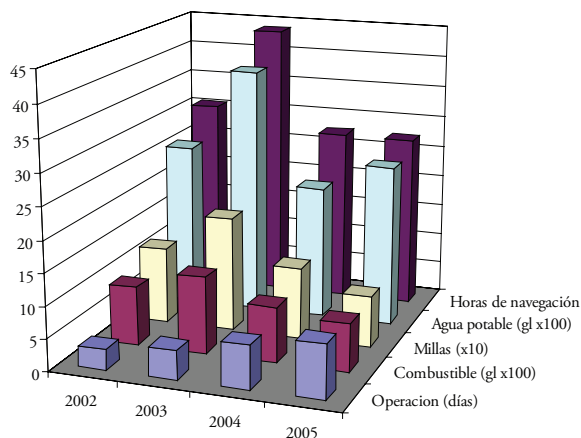
Misión principal

Realizar operaciones de apoyo (Nato, 2004) logístico a bases en tierra de la Armada y realizar transporte de tropa para operaciones militares.

Misión secundaria

Vigilancia y control sobre costas y ríos.

Gráfico 2. Promedios 2002-2005



Análisis de requerimientos

Una vez recolectada la información necesaria, el paso siguiente es su análisis, con el fin de determinar

las prioridades hacia las cuales estará enfocado el diseño.

Para analizar y ponderar los requerimientos, debido a la gran variedad de opiniones existentes sobre las características que debe tener este buque, fue fundamental determinar la importancia de cada uno para la Armada, y con ese objetivo se recurrió al *AHP*, de tal suerte que, en primer término, el producto final cuente con las características que satisfagan las necesidades del armador, y en segundo lugar sea posible realizar la evaluación final del diseño conceptual de la *LCU* con relación a las *LCU* 1466.

El punto clave en cualquier proceso de decisión, es identificar claramente el orden jerárquico en el que se establece el objetivo o meta, y los criterios de clasificación de los requerimientos que en nuestro caso se convierten en las alternativas, tal como se define a continuación.

Objetivo

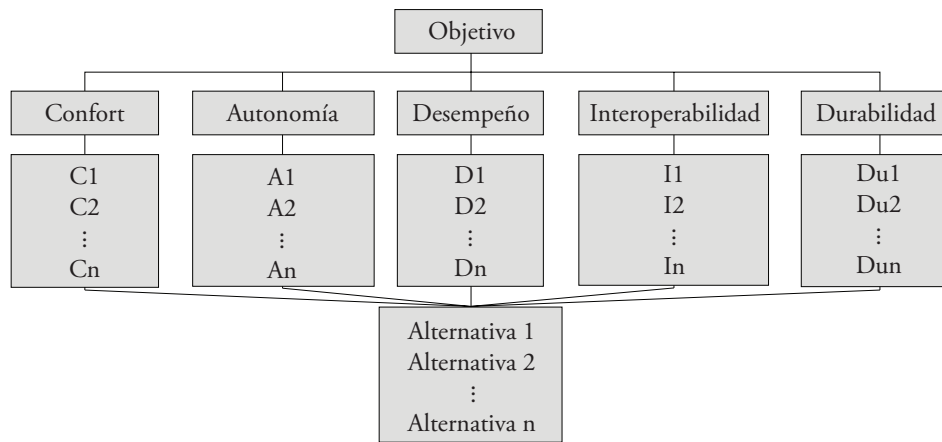
Evaluar las necesidades operacionales presentadas por la Armada para la construcción de un buque de desembarco, de acuerdo con la importancia que representan para el cumplimiento de la misión establecida.

Para el análisis de todos los requerimientos, se conformaron inicialmente grupos denominados afinidades (Tague, 1995), las cuales permiten organizar muchas ideas en grupos naturales, según criterios establecidos por el equipo de trabajo. Debido a que cada grupo de requerimientos asociado a una afinidad característica, afectaba de una manera particular el desarrollo del diseño y las decisiones que al respecto se debían tomar, estas afinidades fueron presentadas como criterios dentro del marco jerárquico del proceso y los requerimientos entregados por la Armada fueron organizados como subcriterios.

Criterios

Son los aspectos o características que se consideran influyentes, en mayor o menor grado, para cumplir con la toma de la decisión. Se deben incluir aspectos tanto cualitativos como cuantitativos (Toscano, 2005).

Gráfico 3. Estructura jerárquica



Confort (C)

Características del buque que permite brindarle comodidad y bienestar a su tripulación.

Subcriterios asociados

- Capacidad de alojamiento
- Espacio de máquinas
- Capacidad de baños
- Cocina y capacidad de despensas
- Áreas de esparcimiento y descanso

Autonomía (A)

Características que permiten al buque aumentar su periodo de operación sin requerir de aprovisionamiento.

Subcriterios asociados

- Capacidad de combustible
- Capacidad de agua
- Capacidad de víveres
- Consumo de combustible
- Consumo de agua

Desempeño (D)

Característica del buque que le permite realizar satisfactoriamente el trabajo o la misión para la cual fue diseñado.

Subcriterios asociados

- Velocidad
- Tipo de navegación
- Calado máximo

Capacidad de carga en cubierta
Aprovisionamiento de líquidos

Interoperabilidad (I)

Capacidad del buque para realizar operaciones conjuntas con elementos pertenecientes a otras fuerzas (Ejército, Fuerza Aérea o Policía).

Subcriterios asociados

- Sistemas de comunicaciones
- Transporte de tropa sobre cubierta
- Tipo de motores
- Seguridad durante la operación
- Sistema de desembarco

Durabilidad (DU)

Característica del buque que le permite cumplir con su función por largo tiempo sin necesidad de ser reparado.

Subcriterios asociados

- Material de construcción
- Material de acabados
- Calidad de los materiales
- Protección ante la corrosión
- Equipos de seguridad

Una vez determinada la jerarquía del proceso se desarrolló una matriz de comparación entre los criterios con respecto a la satisfacción del objetivo, y entre los subcriterios con respecto a la satisfacción de cada uno de los criterios. En total fueron eva-

luados 35 requerimientos por parte de diferentes grupos de personas, entre tripulantes y personal de apoyo logístico, denominados grupos focales, que abarcan las diversas áreas de trabajo que tienen influencia en la operación del buque y que cuentan con la experiencia obtenida en las operaciones a bordo de las LCU clase 1466 pertenecientes a la Armada de Colombia.

Para evaluar los subcriterios y criterios se realizaron 25 entrevistas a personal de diferentes áreas de trabajo: tripulación de operaciones, de mantenimiento a bordo, personal de apoyo logístico, personal de planeamiento y oficiales de nivel comando de buque.

Cada uno de los criterios, se comparó con los cinco restantes y contra él mismo, contestando la pregunta: ¿El criterio (X), es más o es menos importante que el criterio (Y), al ser tenido en cuenta en el diseño de un buque tipo LCU?, y se le asignaron valores a cada una de las comparaciones de acuerdo con la escala definida para este propósito (Saaty, 1980), que se puede ver en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Escala de valores de Saaty

| Escala | Explicación |
|--------|--|
| 1 | X y Y tienen la misma importancia |
| 3 | X es ligeramente más importante que Y |
| 5 | X es más importante que Y |
| 7 | X es mucho más importante que Y |
| 9 | X es extremadamente más importante que Y |

Es así como cada uno de los integrantes de los diferentes grupos de expertos, realizaron la comparación entre los criterios asignándole un valor de la escala Saaty a cada comparación.

A manera de ejemplo seguiremos el cálculo desarrollado a la matriz de comparación de criterios realizada por parte de uno de los integrantes de la tripulación de la LCU 1466¹.

¹ Dentro del proceso de cálculo de prioridades se contó con la participación de los oficiales y suboficiales de los buques tipo LCU 1466 asignados a las Fuerzas Navales del Pacífico y del Caribe.

Cuadro 2. Matriz de comparación de criterios

| Criterios | C. | A. | D. | I. | Du |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Confort | 1,0 | 3,0 | 3,0 | 5,0 | 5,0 |
| Autonomía | 0,3 | 1,0 | 1,0 | 5,0 | 0,3 |
| Desempeño | 0,3 | 1,0 | 1,0 | 5,0 | 3,0 |
| Interop. | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 0,3 |
| Durabilidad | 0,2 | 3,0 | 0,3 | 3,0 | 1,0 |

La comparación entre criterios genera una matriz de comparaciones pareadas de la cual es posible el cálculo de la prioridad de cada uno de los elementos por medio de una sinterización. Para este procedimiento se requiere la normalización de las comparaciones por medio de la división de cada elemento de la matriz de comparación por la suma de todos los elementos de la columna correspondiente y así obtener la matriz de comparación normalizada, (Cuadro 3), la cual permite calcular el vector de prioridad de los elementos comparados mediante el cálculo del promedio de los elementos de cada fila.

Cuadro 3. Matriz normalizada

| Criterios | C. | A. | D. | I. | Du |
|-------------|------|------|-------|-------|-------|
| Confort | 0,44 | 0,34 | 0,511 | 0,238 | 0,492 |
| Autonomía | 0,14 | 0,11 | 0,170 | 0,238 | 0,033 |
| Desempeño | 0,14 | 0,11 | 0,170 | 0,238 | 0,295 |
| Interop. | 0,08 | 0,02 | 0,034 | 0,048 | 0,033 |
| Durabilidad | 0,08 | 0,34 | 0,057 | 0,143 | 0,098 |

| | |
|-----------------------|------|
| Prioridades/criterios | 0,4 |
| | 0,14 |
| | 0,19 |
| | 0,04 |
| | 0,14 |
| | 0,07 |

Al analizar y comparar con detenimiento las evaluaciones realizadas por cada uno de los grupos se pudo corroborar claramente la existencia de diversas preferencias entre ellos. Sin embargo, el resultado final, es decir, la priorización de los criterios, dio una preferencia igual para los grupos conformados por tripulantes, mantenimiento y operaciones, y continuó marcando la diferencia el

grupo conformado por los encargados del apoyo logístico en tierra, para el cual presenta una mayor importancia la durabilidad.

Cuadro 4. Matriz de comparación

| Confort | A | B | C | D | E |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| A | 1,0 | 0,2 | 0,1 | 0,5 | 0,5 |
| B | 5,0 | 1,0 | 2,0 | 5,0 | 1,0 |
| C | 7,0 | 0,5 | 1,0 | 5,0 | 2,0 |
| D | 2,0 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 0,1 |
| E | 2,0 | 1,0 | 0,5 | 7,0 | 1,0 |

Una vez obtenidas las prioridades de los criterios con respecto al objetivo global fue necesario obtener de las prioridades de los subcriterios con respecto al criterio asociado; esto se logró con el mismo procedimiento anteriormente descrito, aplicando la comparación mediante matrices. El Cuadro 4 muestra la matriz de comparación de los subcriterios con respecto al confort.

A cada una de las matrices de comparación le fue verificado su nivel de consistencia por medio del cálculo de la razón de consistencia (Saaty, 1980), la cual se mantuvo por debajo de 0,1, considerado aceptable.

A continuación se presentan los vectores de prioridades de cada uno de los subcriterios con respecto a los criterios principales.

Cuadro 5. Matriz de prioridades subcriterios

| | C. | A. | D. | I. | DU |
|---|------|------|------|------|------|
| A | 0,30 | 0,30 | 0,37 | 0,36 | 0,31 |
| B | 0,23 | 0,35 | 0,31 | 0,34 | 0,25 |
| C | 0,22 | 0,20 | 0,12 | 0,07 | 0,23 |
| D | 0,15 | 0,02 | 0,09 | 0,08 | 0,11 |
| E | 0,10 | 0,13 | 0,11 | 0,15 | 0,09 |

El paso siguiente dentro del proceso de análisis jerárquico debería ser la evaluación de cada una de las alternativas ante los criterios ya determinados, sin embargo, debido a que el propósito final del tra-

bajo es el diseño conceptual del buque, se decidió desarrollarlo sobre la base de las prioridades determinadas por los participantes.

Al término de este trabajo y una vez se cuente con el diseño conceptual debidamente desarrollado, se empleará el modelo jerárquico presentado para examinar alternativas con buques ya diseñados y construidos y el diseño del LCU de este trabajo.

Diseño conceptual

En esta primera fase se logra determinar la viabilidad del proyecto. Para dar inicio a esta etapa, definida la misión del buque y la importancia de los criterios evaluados, se tendrá presente la información obtenida mediante el modelo jerárquico y se trabajará estrechamente con el armador (Armada Nacional).

Con el fin de dar a conocer las características iniciales del proyecto, luego de estudiar los requerimientos recolectados en las reuniones llevadas a cabo con el personal que compone los grupos focales para este proyecto, se exploraron alternativas a escala internacional, de buques similares, principalmente en las flotas de las diferentes armadas del mundo, empleados tanto en operaciones de desembarco de tropas como para transporte y suministro logístico en lugares de difícil acceso. Esto se convierte en una herramienta bastante útil para reafirmar las dimensiones propuestas, estableciendo la similitud a partir de las regresiones estadísticas obtenidas.

La eslora y la manga fueron establecidas como dimensiones críticas, debido a su influencia determinante sobre las demás características del buque y a la necesidad de que este cuente con una suficiente capacidad dimensional sobre cubierta para realizar transporte de maquinaria pesada y de botes de elementos de combate fluvial.

Las tendencias de las relaciones adimensionales marcadas por la población de buques analizados permitieron ubicar en un espacio determinado el diseño del nuevo LCU.

Gráfico 4. L/B vs L

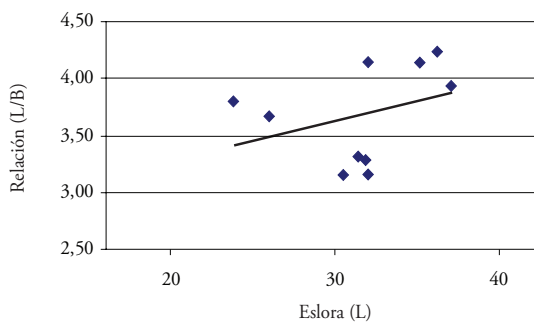
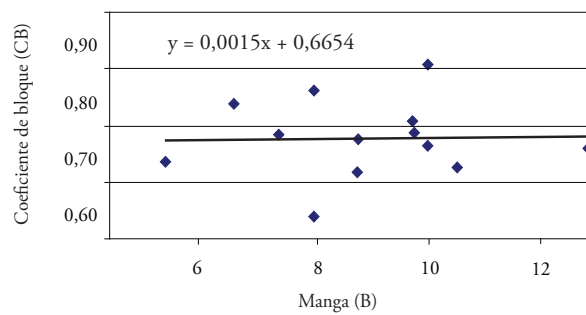


Gráfico 5. CB vs Manga (B)



Dimensiones críticas

Teniendo en cuenta la necesidad de que el buque pueda realizar el transporte de material logístico y de botes de los elementos de combate fluvial, se determinaron las dimensiones críticas que rigieron el dimensionamiento inicial de la siguiente manera:

Esloza

Está regida por el espacio de la cubierta de carga, la cual debe contar por lo menos con 20 metros de espacio disponible para recibir los botes de los elementos de combate con sus respectivos tráileres. Adicionalmente se contemplo 20% de la esloza total para maniobras de desembarco y 30% para la superestructura, teniendo en cuenta el valor de prioridad asignado al confort de la tripulación dentro del proceso de *AHP*. Considerando lo anterior se propuso una esloza total de 45 metros.

Manga

Por las mismas razones tenidas en cuenta para la esloza se debe contar con una manga mínima de 11 metros.

Calado

Dadas las características de las playas en las costas Caribe y Pacífica del país, al igual que las profundidades de los ríos navegables de la región, se determinó un promedio de 6 pies (1,8 m) el calado de entrada a los puertos y bahías con la marea media.

Basados en lo anterior y de acuerdo con lo mostrado por buques similares, se propondrá un calado de 1,7 m con el fin de cumplir con las restricciones expuestas.

Una vez definidas las dimensiones críticas dentro de las cuales se debe enmarcar el diseño, se define el dimensionamiento del buque basado en las tendencias de las relaciones adimensionales descritas anteriormente en los gráficos 1 y 2, de donde se derivan las siguientes relaciones:

$$L/B = 0,0342L + 2,5633$$

$$B/T = 0,3487B + 2,1884$$

Las tendencias encontradas anteriormente, junto con la esloza como dato de entrada y el calado como parámetro crítico en el diseño del buque, permite generar una base de combinaciones de parámetros y dimensiones principales relacionados con diferentes medidas de la esloza, que sirven para definir las características principales, de manera que se encasillen dentro de las necesidades del armador.

Características generales

Teniendo en cuenta el propósito de este trabajo y las prioridades establecidas por el personal de expertos participantes en el proceso de análisis jerárquico, a continuación se definen algunas de las características generales que alcanzaron la ponderación más alta, con las que el buque deberá contar y que serán detalladas en una etapa posterior.

Capacidad de carga

Dentro del marco de operaciones se espera que el buque realice misiones de apoyo logístico a las diferentes bases en tierra, transportando maquinaria pesada, equipos y materiales de intendencia. Este aspecto se vio reflejado en la priorización de criterios de los participantes. Debido a lo anterior el buque deberá contar

Cuadro 6. Dimensiones propuestas

| L_{OA} (m) | B (m) | T (m) | L/B (1) | B/T (2) | CB (3) | Lpp (m) | Despl ton |
|-----------------|----------|----------|------------|------------|-----------|------------|--------------|
| 44,00 | 10,82 | 1,70 | 4,07 | 5,96 | 0,88 | 43,00 | 555,09 |
| 45,00 | 10,97 | 1,70 | 4,10 | 6,01 | 0,88 | 40,95 | 536,31 |

con el espacio y equipos necesarios para poder transportar los volúmenes de carga deseados.

Acomodaciones

El confort fue uno de los aspectos prioritarios para el personal, por lo tanto se consideró la inclusión de camarotes individuales para oficiales, con capacidad necesaria para recibir un oficial femenino dentro de la tripulación permanente, también contará con una cámara para la tripulación y espacios de esparcimiento para la tropa.

Velocidad

Si bien este factor no fue dominante dentro de la exploración de conceptos, se pudo apreciar la inconformidad con la velocidad actual desarrollada por los LCU 1466. El nuevo LCU tendrá la propulsión necesaria para alcanzar un mínimo de nueve nudos.

Personal sobre cubierta

La dificultad existente para transportar sobre cubierta, personal de infantería de marina o tropa en general, con las condiciones de comodidad mínimas para afrontar las inclemencias del clima, es un factor importante en el grado de insatisfacción presente en los LCU 1466. Con el ánimo de solucionar esta falencia el nuevo diseño cuenta con un sistema de techo corredizo (telescópico).

Evaluación de alternativas

La evaluación de las alternativas se hizo teniendo en cuenta los LCU existentes en el ámbito internacional, la gran mayoría al servicio de las Armadas de diferentes naciones. La información disponible en internet fue la base para este

análisis; a continuación se exponen algunas de las características más importantes de los buques analizados.

Cuadro 7. Alternativas

| | Eslora (m) | Manga (m) | Calado (m) | Despl. (t) |
|-----------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| LCU 1466 | 33,25 | 10,5 | 1,6 | 360 |
| LCU Tenix | 33,25 | 8 | 1,8 | 374 |
| LCU 1600 | 37,41 | 8,8 | 1,7 | 390 |
| LCU M42 | 38,22 | 9,75 | 1,75 | 450 |
| LCU 2000 | 48,23 | 12,8 | 2,6 | 1087 |

La intención fue emplear la exploración de concepto realizada inicialmente con miras a obtener una valoración final del diseño realizado con respecto a los buques del mismo tipo que se encuentran en operación, por tal motivo se incluyeron aquellos cuyas características de operación eran similares a las requeridas por el concepto.

Esta evaluación fue realizada por un grupo de ocho personas entre oficiales y suboficiales, pertenecientes a la tripulación de los LCU 1466 y a los grupos de apoyo en tierra, a los cuales se les entregó toda la información disponible sobre cada uno de los buques, incluyendo el concepto realizado.

Contando con las prioridades obtenidas anteriormente para cada uno de los criterios y subcriterios, el paso siguiente es determinar la prioridad de cada una de las alternativas con respecto a cada uno de los criterios. En el Cuadro 7 se puede apreciar la matriz de comparación de cada una de las alternativas con respecto al criterio “capacidad de alojamientos”.

Cuadro 8. Matriz de comparación alternativa

| | I | II | III | IV | V |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I | 1,0 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,1 |
| II | 3,0 | 1,0 | 3,0 | 5,0 | 0,5 |
| III | 3,0 | 0,3 | 1,0 | 5,0 | 1,0 |
| IV | 2,0 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 0,1 |
| V | 7,0 | 2,0 | 1,0 | 7,0 | 1,0 |

I: LCU 1466; II: Concepto; III: LCU Tenix; IV: LCU 1600, y V: LCU 2000.

El siguiente es el vector de prioridades de las alternativas con respecto al criterio capacidad de alojamiento.

$$\text{Prioridades} = \begin{matrix} \text{I} \\ \text{II} \\ \text{III} \\ \text{IV} \\ \text{V} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,06 \\ 0,29 \\ 0,22 \\ 0,06 \\ 0,37 \end{bmatrix}$$

La evaluación se realizó para cada uno de los cinco subcriterios que hacen parte del criterio confort. La siguiente es la matriz de prioridades de las alternativas con respecto al confort.

Cuadro 9. Matriz de prioridades alternativas/subcriterios

| | A | B | C | D | E |
|-----|------|------|------|------|------|
| I | 0,06 | 0,11 | 0,34 | 0,07 | 0,08 |
| II | 0,29 | 0,07 | 0,11 | 0,35 | 0,05 |
| III | 0,22 | 0,10 | 0,06 | 0,27 | 0,23 |
| IV | 0,06 | 0,33 | 0,09 | 0,21 | 0,32 |
| V | 0,37 | 0,38 | 0,40 | 0,10 | 0,31 |

Cada una de estas matrices resultantes se multiplican por el vector de prioridades de los subcriterios con respecto al criterio superior. Este producto matricial arroja como resultado el vector de prioridades de las alternativas con respecto al confort.

$$\text{Alternativas/confort} \begin{bmatrix} 0,137 \\ 0,184 \\ 0,167 \\ 0,176 \\ 0,331 \end{bmatrix}$$

Para el cálculo de la prioridad global de las alternativas se realiza el producto de la matriz formada por cada uno de los vectores de prioridad de alternativas con respecto a los criterios, por el vector de prioridades de los criterios con respecto a la meta global.

Cuadro 10. Matriz de prioridades alternativas/criterios

| | C | A | D | I | DU |
|-----|-------|------|------|------|------|
| I | 0,137 | 0,13 | 0,12 | 0,05 | 0,09 |
| II | 0,184 | 0,3 | 0,33 | 0,38 | 0,23 |
| III | 0,167 | 0,22 | 0,21 | 0,12 | 0,15 |
| IV | 0,176 | 0,04 | 0,03 | 0,2 | 0,23 |
| V | 0,331 | 0,31 | 0,31 | 0,25 | 0,31 |

El anterior cálculo permitió ponderar cada una de las alternativas con respecto al objetivo global, de la siguiente manera.

Cuadro 11. Pesos globales

| | |
|-----------|---------|
| LCU 1466 | 0,10233 |
| Concepto | 0,21908 |
| LCU Tenix | 0,14873 |
| LCU 1600 | 0,13573 |
| LCU 2000 | 0,27359 |

Con los resultados obtenidos se pudo determinar la preferencia por parte del usuario referente al confort, principalmente por las malas experiencias tenidas durante la operación de los buques LCU 1466.

En el proceso de evaluación de alternativas se destacó con la prioridad más alta la LCU 2000 de la Armada estadounidense, que se caracteriza por contar con grandes espacios de carga y disponibilidad de áreas amplias para el uso de la tripulación, sin embargo, este buque no cuenta con la adecuación necesaria para transporte de tropa sobre cubierta, ya que está diseñada especialmente para operaciones de apoyo logístico.

El diseño conceptual realizado sobre la base de la priorización de requerimientos obtuvo una prio-

riedad de 0,219, que lo ubica por encima de los otros modelos analizados, con excepción de la LCU 2000.

Características principales

- Material casco
Acero ASTM 131 grado A
- Características tácticas
Velocidad: 9-10 nudos
Autonomía: 1850 Mm@9.5 nudos
- Dimensiones principales
Eslora Total: 44.5 m
Manga: 11 m
Calado medio: 1.55 m
Desplazamiento: 641 ton
- Capacidades
Diesel: 10.200 gal
Agua: 10.386 gal
- Propulsión
2 x Caterpillar C18
350 bkw@1800 rpm
2 x bombas Schootel SPJ82
- Personal
Tripulación: 2 oficiales
10 suboficiales
Tropa: 74 Infantes de Marina.

Conclusiones

La metodología de análisis de AHP, permitió estudiar los requerimientos de la Armada colombiana para el diseño conceptual de un buque tipo LCU. La interacción con los futuros usuarios del buque, sirvió para conocer el peso de cada una de las demandas expresadas, y determinar la necesidad de mejorar las condiciones de habitabilidad y alojamiento de la tropa, junto con la capacidad de carga, como los puntos más importantes que deben ser tenidos en cuenta durante el proceso de diseño.

Como resultado del análisis AHP y de la priorización de criterios, se logró establecer la importancia de factores como el confort y la interoperabilidad, que fueron tenidos en cuenta para la escogencia de los diferentes equipos y configuraciones del buque.

Con el diseño conceptual de esta LCU se buscó un buque que permita la realización de importantes operaciones de desembarco y apoyo logístico, sin las falencias de los LCU 1466. En este diseño se incorporó la instalación de un sistema de techo abatible sobre la cubierta de carga, el cual brinda protección al personal que se transporta sobre cubierta, contra la exposición directa al sol y al agua lo cual es una limitante en las LCU 1466.

Gráfico 6. Vista LCU



Referencias

American Society for Testing and Materials, F1166-95a2000, *Standard Practice for Human Engineering Design for Marine Systems, Equipment and Facilities*.

David G. M. Watson, *Practical Ship Design*, vol. 1, Elsevier Ocean Engineering Book Series.

Holtrop, J. and G. G. Mennen, A Approximate Power Prediction Method.

Kamal M. Al-Subhi Al-Harbi (1999, 19 May), *Application of the AHP in project management*, Department of Construction Engineering and Management, King Fahd University of Petroleum & Minerals.

Lloyd's Register (1999 July), Provisional Rules for the Classification of Naval Ships, vol. 1, Pt 4, cap. 2.

NATO Naval Group 6 Specialist Team on Small Ship Design (2004, May), "NATO/PfP Working Paper on Small Ship Design", pp. 3.

- Navsea, (1996, August), Naval Ship's Technical Manual, Weights and Stability, S9086-C6-STM-010/CH-096R1.
- NES 109 (2000, April) *Stability Standard for Surface Ships*. U. K. Ministry of Defense, Issue 1.
- Reyes, Tomás (2004), "Métodos Cualitativos de investigación, los grupos focales y estudio de caso".
- Saaty, T. L. (1980), "The Analytical Hierarchical Process", J Wiley, New York.
- Saaty, T. L. (1990) *How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process*. European Journal of Operational Research. North-Holland; 48: 9-26.
- Tague, Nancy R. (1995), "The Quality Toolbox", ASQC Quality Press, Estados Unidos.
- The Society of Naval Architects and Marine Engineers, (1995, June) Barge Model Resistance data Sheets.
- Toscano Hurtado, Gerard (2005), *El proceso de análisis jerárquico como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores*, Lima.