

UN ENFOQUE TEORICO SOBRE LOS FENÓMENOS DE CHOQUES MECÁNICOS.

Cap. Fragata MsC. Eduardo Arrufat Corripio.
Centro de Investigación y Desarrollo Naval. CID-NAV. Cuba.

Dr. C. T. Alejandro Prieto Fernández.
Centro de Investigación y Desarrollo Naval. CID-NAV. Cuba.

Tte. Nav. MsC. Bladimir de la Hoz Matveeva.
Centro de Investigación y Desarrollo Naval. CID-NAV. Cuba.

RESUMEN

El choque es un fenómeno cotidiano en la actividad naval: cargas contra cubierta, maniobras de atraque, abordaje en el mar.

El principio de conservación de la cantidad de movimiento y la ley de conservación de la energía durante el choque, son herramientas que permiten caracterizar el choque de dos cuerpos que interactúan y que tradicionalmente se usan en la mayoría de la literatura contemporánea.

Una forma más eficiente de conocer las características del choque es a través de un análisis de la potencia del choque, pudiendo llegarse a modelar físicamente aplicando la ley de Aleksandrov con ayuda de un banco de impacto.

GLOSARIO DE TERMINOS.

No	Términos	Significados.
1.	$E_{\text{mec-Arranque}}$.	Energía mecánica obtenida en el arranque del motor.
2.	$E_{\text{mec-banco}}$.	Energía mecánica obtenida en el banco de impacto.
3.	E_{antes} .	Energía mecánica del martillo un instante antes de producirse el impacto en el banco.
4.	$E_{\text{después}}$.	Energía mecánica del martillo un instante después de producirse el impacto en el banco.
5.	E_{perdida} .	Energía mecánica perdida del martillo al producirse el impacto en el banco.
6.	t_{Arranque} .	Tiempo de duración del arranque.
7.	t_{banco} .	Tiempo de duración del impacto.
8.	Fuerza _{empuje} .	Fuerza de empuje del motor durante el arranque.
9.	m_1	Masa en kg del martillo impactador.
10.	m_2	Masa en kg del modelo impactado a ensayar en el banco.
11.	V_1	Velocidad del martillo impactador un instante antes del impacto.
12.	V_2	Velocidad del modelo ensayado un instante antes del impacto.
13.	u_1	Velocidad del martillo impactador un instante después del impacto.
14.	u_2	Velocidad del modelo ensayado un instante después del impacto.
15.	h	Altura seleccionada para dejar caer el martillo impactador.
16.	g	Aceleración de la gravedad.
17.	k	Coefficiente de restitución del choque.
18.	ke	Coefficiente de transmisión de la energía durante el choque.

INTRODUCCIÓN.

La principal causa que motiva el presente trabajo es la ausencia en el Centro de Investigación y Desarrollo Naval,

de un método de ensayos para un banco de impacto construido en 1993. (ver Anexo AA).

Con este banco, (el cual fue posible su construcción, gracias a importantes observaciones hechas por un grupo de investigadores del CID), se pretendió someter a fuerza de impacto a una nueva estructura que en su funcionamiento normal esta sometida a la acción de la fuerza de impacto que crea su motor. Sin embargo al transferirse la tecnología para construir este particular banco, único en el país por su gran dimensión y elevada capacidad de choque, no se previó el método a utilizar para efectuar la simulación, quedando entonces inconcluso este desarrollo, de banco de laboratorio. Entre los factores que influyeron en esto, se pueden citar el diseño rígido escogido de instalación, con escasas posibilidades de configuración del impacto y además, la magnitud y dimensión escogida de masa del martillo que provocó una elevada carga de impacto, muy distante de las magnitudes de fuerzas del motor y tiempo de transmisión de la misma.

Esta crisis en la simulación provocó la utilización de otras vías experimentales más costosas que no aportaron los datos conclusivos, necesarios y suficientes para poder conocer cual es el comportamiento de la estructura ante la acción dinámica que sobre ella ejerce dicho motor impulsor, reafirmandose entonces la necesidad de resolverse los conflictos técnicos que inicialmente impidieron efectuar la simulación en el banco de impacto.

Los problemas relacionados con el impacto, no solo tienen importancia y aplicación con fines militares, se puede encontrar su aplicación en otros campos, por ejemplo si se considera el efecto de terremotos sobre estructuras pudiera ser interesante y necesario saber bajo que condiciones se puede esperar el derrumbamiento completo o que partes de la estructura será las primeras en sufrir seriamente, otro problema pudiera ser los daños que se originan en la estructura de un buque a causa de caídas sobre cubierta de cargas, desde una determinada altura. Los proyectos de estructuras con determinado elevado grado de resiliencia cobran cada día mas importancia, sobre todo en aquellos en donde en su funcionamiento cotidiano se originan con regularidad dichas cargas de impacto

OBJETIVOS.

El objetivo central fue el de elaborar un método para simular en banco de impacto, el efecto que crea el motor sobre la estructura dañada, para ello, nos trazamos los siguientes:

Objetivos secundarios:

1. Consolidar la base teórica general de los fenómenos impulsivos.
2. Evaluar el efecto que crea dicho motor impulsor a la estructura, desde resultados experimentales obtenidos en un banco de impacto, a escala real.

DESCRIPCIÓN

Las experiencias anteriores permitieron llegar a la conclusión de que la energía con que impacta el motor con la estructura no es solo el parámetro a reproducir en el banco de impacto, esta energía va acompañada del tiempo de transmisión de la misma, por lo tanto teniendo en cuenta de que la relación entre energía y tiempo es POTENCIA, arribamos a la condición fundamental a lograr de semejanza en el banco.

En este banco la potencia tiene la peculiaridad que variará solo en función de la energía de impacto, pues el tiempo de transmisión de la energía es constante ya que no varía el material de los cuerpos que interactúan en el impacto.

Por lo tanto la potencia con que el motor impacta a la estructura constituye el agente externo, principal causante y posible destructor de la misma. Con esta hipótesis se reafirma la necesidad de evaluar el comportamiento de la estructura ante la acción sobre ella de la potencia creada por el motor impulsor.

Este nuevo enfoque de solución del problema, brinda la posibilidad superar la obligatoria condición que existía de igualar la fuerza y el tiempo del arranque, en el banco de impacto, para lograr simular el efecto provocado.

Lo anterior expuesto, expresa entonces lo siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{La **Potencia** con que} \\ \text{impacta el motor con la} \\ \text{estructura al culminar el} \\ \text{régimen de arranque del} \\ \text{motor.} \end{array} = \begin{array}{l} \text{La **Potencia** con que impacta} \\ \text{el martillo a la **estructura** al} \\ \text{culminar el choque} \\ \text{mecánico.} \end{array} \quad (1)$$

O lo que es lo mismo:

(2)

$\tau_{\text{arranque}} \qquad \tau_{\text{banco}}$

Despejando en la expresión (2), se obtiene una nueva expresión que permite hallar la energía mecánica necesaria a lograr en el banco de impacto:

$$E_{\text{mec-banco}} = E_{\text{mec-arranque}} \cdot \frac{\tau_{\text{banco}}}{\tau_{\text{arranque}}} \quad (3)$$

Partiendo de que se conoce la magnitud de la fuerza de empuje del motor y el tiempo en que alcanza su valor y aplicando la segunda ley de Newton se llega a conocer la aceleración, con ella la velocidad que inicialmente adquiere esta estructura producto de la aplicación de la fuerza y de ella se obtiene a la expresión con la cual se determina la energía mecánica de impacto en el arranque:

$$E_{\text{mec-arranque}} = \frac{(\text{Fuerza}_{\text{Empuje}} \cdot \tau_{\text{arranque}})^2}{8 \cdot m_2} \quad (4)$$

Ahora bien, la energía mecánica obtenida en el banco es una energía cinética calculable a través de su expresión. Osea:

$$E_{\text{mec-banco}} = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot (u_2)^2 \quad (5)$$

Sustituyendo en (5) la expresión de la velocidad del cuerpo golpeado después del choque obtenida al aplicar el principio de conservación de la cantidad de movimiento, para el caso de un impacto contra un cuerpo inicialmente en reposo, se obtiene finalmente la siguiente expresión:

$$E_{\text{mec-banco}} = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \left(\frac{m_1 \cdot v_1 (1+k)}{m_1 + m_2} \right)^2 \quad (6)$$

Partiendo de que el martillo cae libremente, se puede conocer aplicando la ley de conservación de la energía mecánica, la velocidad antes de producirse el choque, la cual se determina a través de la siguiente expresión:

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (7)$$

Luego sustituyendo (7) en (6) y despejando h, se puede conocer la altura que es necesario descolgar la masa del martillo.

$$h = \frac{E_{\text{mec-banco}}}{g \cdot (1+k)^2} \left(\frac{(m_2 + m_1)^2}{m_2 \cdot (m_1)^2} \right) \quad (8)$$

Cada vez que se produce un choque elástico entre dos cuerpos, la energía mecánica antes del choque es igual a la suma de la energía mecánica después del choque mas la energía mecánica perdida no aprovechada durante el mismo, luego entonces despejando se puede llegar a conocer la

energía mecánica perdida y con ella la eficiencia del impacto provocado.

$$E_{\text{perdida}} = E_{\text{antes}} - E_{\text{despues}} \quad (9)$$

Como el impacto se produce a altura cero, sin variación de la misma, solo antes y después del mismo existirán energías cinéticas, las cuales pueden hallarse a través de las siguientes expresiones:

$$E_{\text{antes}} = \left(\frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 \right) + \left(\frac{1}{2} m_2 \cdot v_2^2 \right) \quad (10)$$

$$E_{\text{despues}} = \left(\frac{1}{2} m_1 \cdot u_1^2 \right) + \left(\frac{1}{2} m_2 \cdot u_2^2 \right) \quad (11)$$

Sustituyendo (10) y (11) en (9), se obtiene la siguiente expresión:

$$E_{\text{perdida}} = \left[\left(\frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 \right) + \left(\frac{1}{2} m_2 \cdot v_2^2 \right) \right] - \left[\left(\frac{1}{2} m_1 \cdot u_1^2 \right) + \left(\frac{1}{2} m_2 \cdot u_2^2 \right) \right] \quad (12)$$

Haciendo arreglos, agrupando masas y sacando factor común en la expresión (12), llegamos a que:

$$E_{\text{perdida}} = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} \cdot \left[(v_1 + v_2)^2 - (u_2 - u_1)^2 \right] \quad (13)$$

Evaluación de la eficiencia del impacto

La energía entregada durante el choque es una energía cinética y el coeficiente de transmisión de la energía o eficiencia del choque se determina de la manera siguiente:

$$ke = 1 - \frac{E_{\text{perdida}}}{E_{\text{entregada}}} \quad (14)$$

Sustituyendo (13) en (14), y teniendo en cuenta que la energía entregada es una cinética, obtenemos que:

$$ke = 1 - \frac{\frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} \cdot \left[(v_1 + v_2)^2 - (u_2 - u_1)^2 \right]}{\left(\frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 \right)} \quad (15)$$

Haciendo arreglos, considerando que el modelo a ensayar en el banco inicialmente está en reposo:

$$ke = 1 - \frac{1}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \cdot (1 + k^2) \quad (16)$$

Como se puede apreciar la eficiencia del impacto depende de la relación de las masas que interactúan durante el impacto y el coeficiente de restitución del impacto k.

Evaluando la expresión (16) para un coeficiente de restitución 5/9 correspondiente al de un choque de acero contra acero.

Si se hace variar a m1 desde 2 hasta 1050, manteniendo constante m2 con un valor de 10 kg, se obtiene el siguiente resultado (ANEXO B). Cumpliéndose la ley de Aleksandrov, que plantea.

...”con un choque elástico el coeficiente de transmisión de la energía depende de la relación de las masas

de los cuerpos que chocan hasta un valor crítico de esta relación, la cual se determina por la configuración, de los cuerpos que chocan.

Con el ulterior aumento de la relación de las masas de los cuerpos que chocan el coeficiente de transmisión de la energía se determina no por la relación de las masas reales, sino solo por dicho valor crítico de esta relación”.

El análisis anterior permitió llegar a la gráfica mostrada en el Anexo C donde para diferentes valores de masa del martillo se hizo variar la masa del cuerpo a ensayar en el banco obteniéndose una familia de curvas relacionadas entre sí linealmente a partir del valor crítico de relación de masas donde ya no influye la altura seleccionada para soltar el martillo.

CONCLUSIONES.

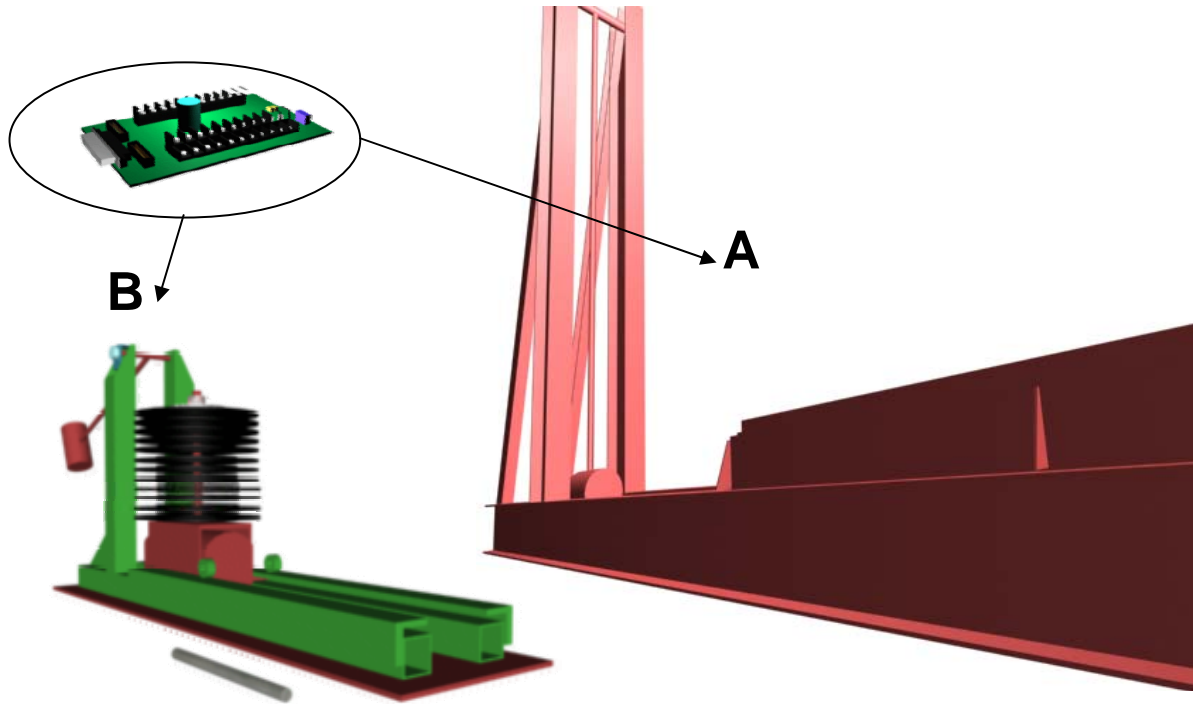
1. El enfoque energético utilizado permite la modelación a escala en instalaciones experimentales, considerándose la igualdad entre la potencia mecánica de la fuerza de empuje del motor impulsor y la potencia mecánica con que impacta el martillo en el banco. Con lo que queda demostrada la segunda hipótesis secundaria.
2. Se establecieron las expresiones que facilitan la modelación en los bancos. Las mismas validan la ley de Aleksandrov acerca de la relación crítica de las masas durante los impactos, con lo queda demostrada la hipótesis principal.
3. Se estableció los procedimientos para la caracterización del fenómeno de impacto a través de: Magnitud de la fuerza de impacto, tiempo de transmisión de la energía del choque y aceleración de la estructura.
4. Se estableció la dinámica del proceso de destrucción de la estructura de modelos con arquitectura de tubos de aire exterior sometidos a fenómenos de impactos, con lo que queda demostrada la primera hipótesis secundaria.
5. Se estableció un nuevo método para simular en banco de impacto, de un fenómeno impulsivo.

RECOMENDACIONES.

1. Profundizar en la evaluación de las deformaciones de la estructura a fenómenos impulsivos por medio de otras técnicas experimentales.
2. Profundizar en los métodos de simulación por análisis numéricos.
3. Las instalaciones experimentales permiten la realización de ensayos impulsivos a otros equipamientos.

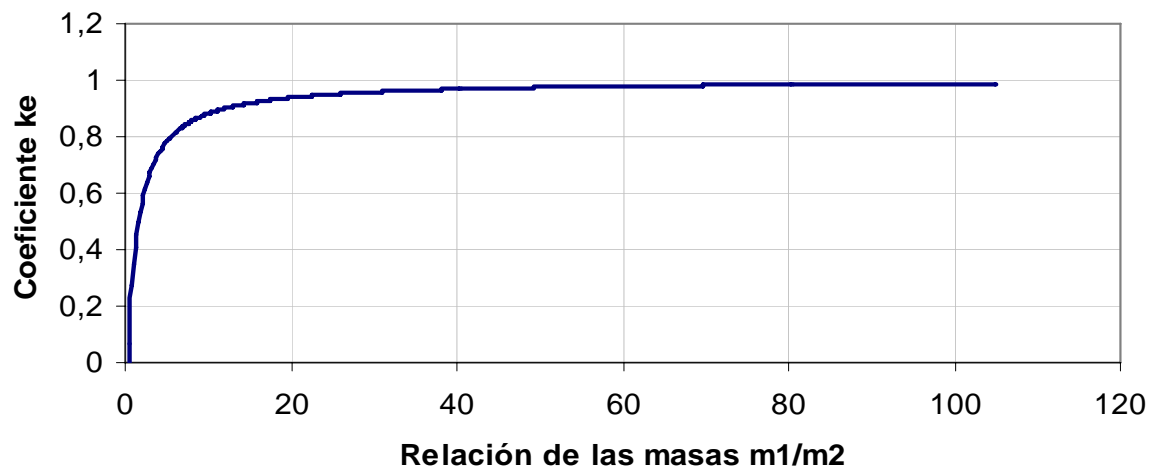
ANEXO A

**DIBUJO DE LOS BANCO DE IMPACTO Y EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS ESCOGIDO,
PARA EFECTUAR LOS EXPERIMENTOS.**



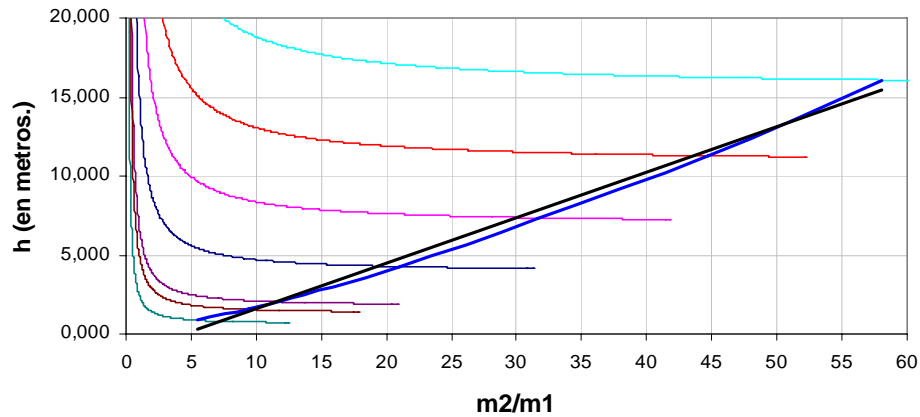
ANEXO B

GRÁFICO DONDE MUESTRA LA DEPENDENCIA DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE LA ENERGÍA, CON LA RELACIÓN ENTRE MASAS QUE INTERACTÚAN DURANTE EL CHOQUE.



ANEXO C

GRÁFICOS DE LAS ALTURAS EN QUE SE DEBE SOLTAR LA MASA DEL MARTILLO EN FUNCIÓN DEL COEFICIENTE DE RELACIÓN DE LAS MASAS.



BIBLIOGRAFÍA

1. E.V. Aleksandrov Patente de ley según solicitud no OT-534 del 9 de enero de 1961. Ley de transmisión de la energía durante el choque. URSS.
2. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm> Curso Interactivo de Física en Internet. Universidad de ingeniería técnica de Eibar. Vasco. 2002.
3. Colectivo de autores Folleto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Predicción de efectos destructores de cargas impulsivas sobre hormigón armado. España. 1968.
4. Arrufat Corripio E. Trabajo referativo. Concepción desarrollo y aplicación de una metodología teórico – Experimental para la evaluación y simulación de fenómenos impulsivos. CIDNAV. Cuba. 1998.
5. Arrufat Corripio E. Trabajo referativo. Tecnología apropiada y desarrollo del armamento naval. Una visión desde la mecánica moderna y su teoría de impacto. CIDNAV. Cuba. 1998.
6. Arrufat Corripio E. Diseño de un banco de impacto. Tesis presentada en opción al título de Master en diseño mecánico. CIDNAV. Cuba. 1996
7. E. Bútkov, A. Bikov, A. Kondrátiev. Física. Editorial MIR. Moscú URSS. 1991.
8. Edward Shigley. Joseph El Proyecto en ingeniería mecánica. Ediciones Revolucionarias. Cuba.1969. Feodosiev
9. Resistencia de materiales Edición Mir. Moscú. URSS .1985
10. Feodosiev. V. I. Diez conferencias sobre Resistencia de Materiales. Editorial Mir. Moscú. URSS. 1973.
1. Ferdinand Wittenbauer. Problemas de mecánica general y aplicada. Edición Mir Moscú. URSS. 1965