

	<p style="text-align: center;">EJÉRCITO DE CHILE COMANDO DE INDUSTRIA MILITAR E INGENIERÍA <u>Instituto de Investigaciones y Control</u> DEPARTAMENTO INGENIERÍA</p>		<p style="text-align: center;">COMITÉ DE PLANIFICACIÓN DE CALIDAD</p>	
<h2>INFORME TÉCNICO</h2>				
PROPÓSITO DEL DOCUMENTO	CONTROL DE NIVEL DE SEGURIDAD PARA CABINA DEL SIFTING EXCAVATOR			
TIPO DE DOCUMENTO	INFORME TÉCNICO.			
IDENTIFICACIÓN DOCUMENTO	INF.TEC IDIC.DIN 02/2008			
Nº O/T LIMS		FECHA DE O/T		
Nº ORDEN ADQUISICIÓN (DLE)		FECHA DE CONTRATO		
NOMBRE DEL PROYECTO	MAQUINA DESMINADO			
PROVEEDOR DE O/ADQUISICIÓN				
NOMBRE DEL ÍTEM	SIFTING EXCAVATOR			
MARCA DEL ÍTEM		VERSIÓN ÍTEM		
IDENTIFICACIÓN DEL ÍTEM		CANTIDAD	1	
FABRICANTE		PAÍS DE ORIGEN	USA	
NOMBRE DEL ÍTEM MAYOR	--	ID. ÍTEM MAYOR	--	
NOMBRE SUBSISTEMAS	--	ID. SUBSISTEMA	--	
FECHA DE DOCUMENTO	01.07.08	Nº DE PÁGINAS		
REFERENCIA FÍSICA	UBICADO EN DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA			
AUTORES	May. (IPM). RAÚL ARRATIA DEL SOLAR IPM Sr. CAMILO GÁLVEZ PARKES			
UNIDAD IDIC	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA			
NÚMERO DE LA REVISIÓN	01	REEMPLAZA A	--	
APROBACIÓN TÉCNICA	DANIEL SANDOVAL BRAVO Mayor Jefe Departamento Ingeniería			
FECHA :				
OFICIALIZACIÓN :	WALTER ARAYA MOURGUES Coronel Director del Instituto de Investigaciones y Control			
FECHA DE OFICIALIZACIÓN:				

INDICE

I. ANTECEDENTES	3
II. MATERIA	3
III. INTRODUCCIÓN.....	4
IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	9
V. RESULTADOS.....	9
VI. CONCLUSIÓN.....	11

ANEXOS:

Respuesta Humana y Estructural frente a
Ondas Explosivas Aéreas de Distinta Intensidad

Anexo N° 1

Informe empresa ASP BLASTRONIC.

Anexo N° 2

I. ANTECEDENTES

- A. OFICIO EMGE.DOE.V.b.(R)N°9000/94 de fecha 05.JUL.2007
- B. OFICIO CAF.GEST.INTEG.(R)N°9000/105 de fecha 11.JUL.2007
- C. OFICIO CINGE.JEFING.I.b.(R)N°9000/181 de fecha 13.JUL.2007

II. MATERIA

- A. Por documento A de Antecedentes, el EMGE informa que la Comisión Nacional de Desminado en conjunto con el Programa de Investigación y Desarrollo del Desminado Humanitario de Estados Unidos (HD R&D), ha ingresado una máquina que permite el desminado (Sifting Excavator), para que sea evaluado en el levantamiento de campos minados. Disponiendo que el IDIC, en coordinación con el CINGE y la CNAD, programe y realice un set de pruebas, para determinar las reales capacidades del sistema indicado, especialmente la evaluación de la protección del operador, ante la explosión de una mina antipersonal y/o antitanque, los efectos de las esquirlas y de la onda expansiva.
- B. Por documento B, el CAF dispone que la ejecución de pruebas determinando:
 - a) La protección que puede brindar a los operadores durante la operación del dispositivo en el levantamiento de un campo minado.
 - b) Comprobar su resistencia ante la explosión de una mina antipersonal y/o antitanque.
 - c) Establecer los efectos de las esquirlas y la onda expansiva.
- C. Por documento C, el CINGE solicita la designación de un oficial delegado, para determinar los cursos de acción.

III. INTRODUCCIÓN.

- A. Dado que la Institución ha dispuesto el levantamiento de Campos Minados en la Zona Norte del País y contando con la cooperación de las autoridades de Estados Unidos, se cuenta con una máquina para estos efectos.
- B. La liberación de energía en un corto período de tiempo, típica de toda explosión, genera una onda explosiva que se propaga por el medio circundante. El diseñador de una estructura expuesta a los efectos de la onda explosiva, considerará un dimensionamiento con un específico nivel de robustez. El término robustez, se entiende como la capacidad de la estructura para resistir un determinado nivel de explosión. El factor dominante de una onda explosiva es la magnitud de la energía liberada y las propiedades del medio donde se propaga. No es fácil correlacionar propiedades intrínsecas de los explosivos con su efecto sobre el medio, sin embargo puede afirmarse con una gran aproximación que los efectos en contacto (interacción foco-objeto) dependen de la presión de detonación y los efectos a distancia de la magnitud de energía liberada, lo cual hace que en la teoría de las ondas explosivas sea esta (E_0) el parámetro fundamental.

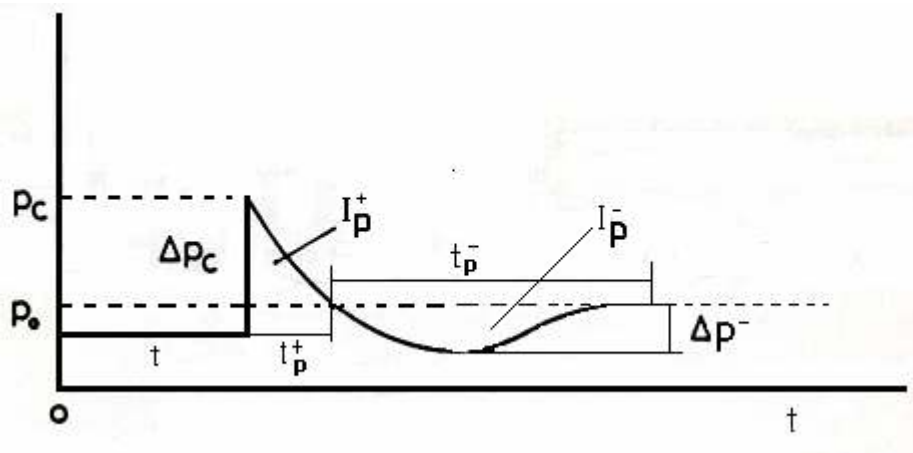


Fig. N° 1: Evolución de la presión en un punto fijo del espacio alcanzado después del tiempo t .

El conocimiento de una onda explosiva requiere el conocimiento de los parámetros del flujo punto a punto en todo instante. De todos ellos son los

más importantes los valores pick o de cabeza de onda y que se designan con el subíndice c . Otros datos importantes el tiempo de llegada a un punto dado t , el impulso de sobrepresión I_p^+ y sus valores reflejados. La Fig.N°1 muestra un perfil de evolución de la presión de una onda explosiva generado por la liberación de energía E_0 , en la zona de sobrepresión la materia emigra del foco explosivo, en la zona de depresión o succión la materia vuelve hacia el foco.

- C. Cuando se produce una explosión puntual se libera una energía E_0 , produciéndose un pulso de presión en la vecindad. Los puntos de mayor presión viajan a mayor velocidad que los que están a menor presión, lo que se traduce en la formación de un choque en la cabeza de la onda. Por otro lado, como consecuencia del incremento de entropía del medio sometido al choque, la energía se disipa e inevitablemente la cabeza pierde presión y velocidad hasta convertirse en una onda sónica.

Tal como se expresara en el párrafo B, el conocimiento de una onda explosiva requiere valorar los parámetros del flujo punto a punto en todo instante, siendo los más relevantes la sobrepresión de choque ΔP_c e impulso de sobrepresión I_p^+ (ambos representados en la Fig.N°1).

- D. El fenómeno de la interacción de una onda explosiva aérea con un obstáculo es en general de alta complejidad y los esfuerzos a que se ve sometido dependen de su forma, dimensiones, naturaleza y posición respecto de la carga explosiva. La onda explosiva aérea se caracteriza porque lleva asociada a ella una sobrepresión estática y un impulso, que tiende a desplazar y comprimir el mencionado obstáculo. El presente trabajo pretende estimar los potenciales daños, en consecuencia se adoptaran los criterios siguientes:

- Valorar las características de la onda producida por la explosión, presión estática e impulso. Trabajo desarrollado por la empresa ASP BLASTRONICS S.A., cuyo informe se adjunta como Anexo N°2.
- Utilizar una tabla de daños que emplee como entrada las características de presión estática. Tabla que se adjunta como Anexo N°1 “Respuesta Humana y Estructural frente a Ondas Explosivas Aéreas de Distinta Intensidad”.

- E. Veremos a continuación los Daños sobre el Personal: el binomio sobrepresión-impulso asociado a las ondas explosivas aéreas es el responsable de los daños producidos a los seres humanos. Estos daños son muy variables, pero los más importantes son los asociados a los puntos críticos del hombre, bien por su sensibilidad, bien por su peligrosidad. Otro aspecto relevante a considerar es la proximidad de una superficie reflectora que puede causar un incremento de la sollicitación de la carga explosiva.

De ellos se consideran los siguientes:

- a. Daños en el oído.
- b. Daños pulmonares.
- c. Daños por impacto en la cabeza.

- a. Daños en el Oído: El oído es la parte más sensible del organismo frente a sobrepresión impulso, a tal extremo que un oído joven en buen estado es capaz de detectar presiones tan bajas como $2,9 \times 10^{-9}$ psi lo que equivale a un desplazamiento del tímpano del orden del radio de una molécula de hidrógeno. Para determinar una predicción del daño se puede emplear las curvas propuesta por Baker¹, tal como se indica gráficamente en la Fig.N°2 siguiente.

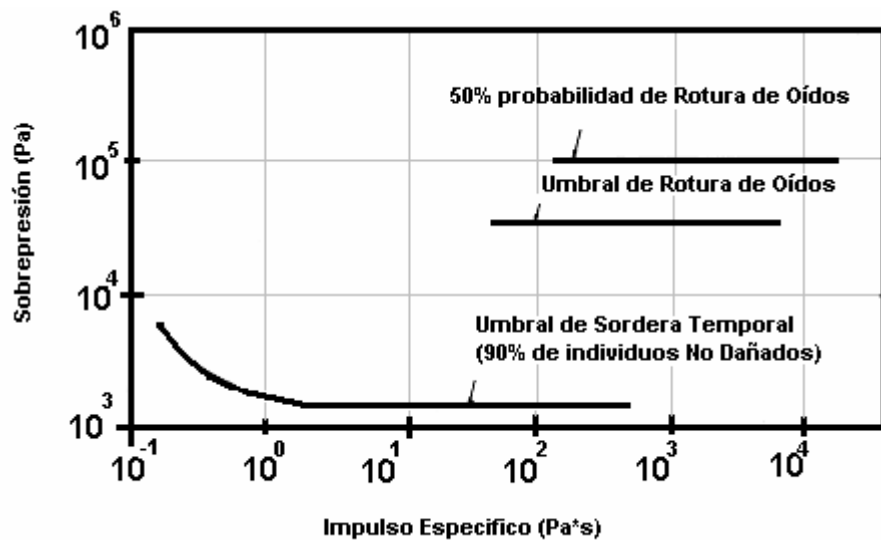


Fig.N°2: Curvas de daños en oídos para ondas explosivas aéreas con incidencia normal

¹ W.E. BAKER, J.J.KULESZ, R.E. RICKER, R.L. BESSEY WESTINE, V.B PARR, y G.A.OLDHAM, "WorkBook for Predicting Pressure Wave and Fragments Effects of Exploding Propellant Tanks and Gas Storage Vessels"

Se declara que los resultados de este Informe no pueden ser reproducidos en forma parcial, sin la autorización escrita del laboratorio.

- b. Daños Pulmonares: Cuando una onda explosiva interactúa con el torso dos respuestas ocurren; una onda de esfuerzo y la compresión de este: Cual de las dos es más relevante es incierto.

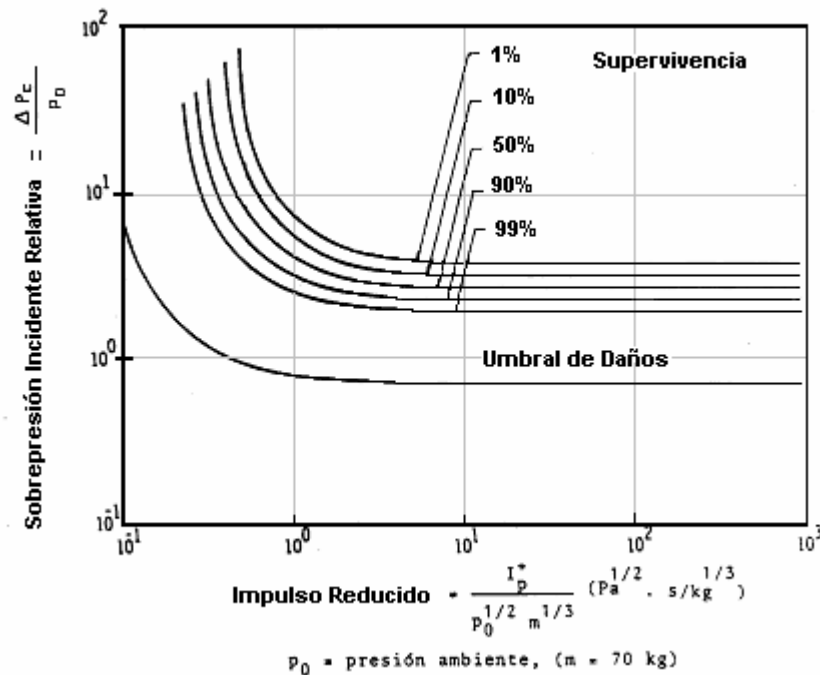


Fig.N°3: Curvas de probabilidad de supervivencia por daños pulmonares de un hombre de pie, sometido frontalmente a una onda explosiva.

El pulmón está compuesto por sacos de aire, denominados alvéolos, siendo menos densos y menos resistentes que los tejidos adyacentes. Un modo de respuesta ante la sollicitación explosiva es la compresión debida a la implosión del pecho y un movimiento hacia arriba del diafragma. Este proceso es muy rápido y los componentes del cuerpo no pueden responder lo suficientemente rápido para acomodarse a los cambios impuestos. Produciendo la distorsión de los pulmones, hemorragias y posiblemente la muerte.

En la Fig.N°3, se presenta un ejemplo particular de supervivencia al daño pulmonar generado por una explosión.

- c. Daños por Impacto en la Cabeza: Por el hecho de ser alcanzado por una onda explosiva aérea, los seres humanos se ven sometidos a un empuje que es consecuencia del impulso de sobrepresión asociado a

la onda y de la superficie del individuo. Como consecuencia de ello, éste es lanzado a una velocidad dependiente de los factores antes enunciados, y que puede ser desde insignificante a peligrosa e incluso mortal.

El peligro de lanzamiento del individuo se debe al impacto contra el suelo o cosas del entorno. Este impacto puede dañar tanto el cuerpo como la cabeza.

- F. Aunque hay muchos factores que influyen en las características de las ondas explosivas aéreas desde la perspectiva de la evaluación de daños a distancia sólo tiene interés la naturaleza, la masa y el confinamiento de la carga explosiva, los que a continuación serán brevemente tratados.

Naturaleza de la Carga: Aunque la influencia de la naturaleza de la carga en la producción de una onda aérea es un fenómeno complejo, desde el punto de vista práctico, con un error muy pequeño, puede suponerse que se reduce al valor de su calor de explosión a volumen constante, como parámetro que define la energía liberada, es decir:

$$E_0 = M_e q_v$$

donde :

E_0 = Energía Liberada en la Explosión

M_e = Masa de Explosivo

q_v = Calor de Explosión a Volumen Constante

Masa de la Carga: Se debe considerar que la masa contemplada corresponde a aquella masa que sobrepasa la correspondiente al valor crítico para que haya detonación y que la iniciación es lo suficientemente intensa para producir una detonación completa.

Confinamiento: Este parámetro es básico en el estudio de la onda explosiva, dado que influye en la energía liberada. Experimentalmente se ha comprobado que una carga desnuda de explosivo produce menores sobrepresiones en su entorno que una carga explosiva de masa, forma, densidad, sustancia y dimensiones, pero cubierta por un recubrimiento muy ligero.

IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

- A. Para ponderar el impacto de la onda explosiva y mensurar la sobrepresión generada por esta, se contrataron los servicios de la empresa ASP BLASTRONICS, dado que cuenta con un equipamiento adecuado, que le permite verificar los parámetros establecidos por el actual estado del arte.
- B. En conjunto con la Comisión Nacional de Desminado se definió un área de pruebas a una altura de 600 msnm, localizada en Pampa Chaca al sur de Arica, frente al lugar denominado “Loma Espectador”.
- C. La tarea consistió en la medición de sobrepresiones, la que se realizó en dos etapas. La primera de ella, consistía en preparación y set-up de los sensores y equipos de medición y la segunda en la prueba con el Sifting Excavator.
- D. Los criterios y procedimientos empleados en la evaluación se encuentran señalados en el Informe de ASP BLASTRONICS, identificado por la referencia PROT-T-08-C06.

V. RESULTADOS.

- A. Se encuentran detallados en el Informe ya identificado bajo el numeral 5.1 y 5.2. Los valores de sobrepresión máximo registrados permiten afirmar la ausencia de daño pulmonar al interior de la cabina del Sifting Excavator.
- B. En lo relacionado con el máximo nivel de ruido observado, medido a través de la variable Presión Sonora, es de 130dB(A), requiriéndose el empleo de una protección doble de los oídos del operador.
- C. La Tabla siguiente, muestra el registro de los datos de Presión Sonora correspondiente a las detonaciones efectuadas. Tal como se indicara precedentemente, el dispositivo de medición se instaló en el interior de la cabina del operador.

Se declara que los resultados de este Informe no pueden ser reproducidos en forma parcial, sin la autorización escrita del laboratorio.

TABLA: Registro de valores de la Presión Sonora medido en dB_A

Exp. 1	Condición: 1 mina	6,8 kg Mina	18 m.	Sonometro dB _A 119,6	Tiempo mseg 4
Exp. 2	Condición: 1 mina	6,8 kg Mina	14 m.	Sonometro dB _A 119,5	Tiempo mseg 4
Exp. 3	Condición: 1 mina	6,8 kg Mina	10 m.	Sonometro dB _A 128,6	Tiempo mseg 4
Exp. 4	Condición: 1 mina Sobre Herramienta	6,8 kg Mina	7 m.	Sonometro dB _A 124,4	Tiempo mseg 4
Exp.5	Condición: 2 mina	6,8 kg Mina 6,8 kg Mina 13,6 Kg	14 m.	Sonometro dB _A 123,7	Tiempo mseg 4
Exp.6	Condición: 2 mina	6,8 kg Mina 6,8 kg Mina 13,6 Kg	10 m.	Sonometro dB _A 129	Tiempo mseg 4
Exp.7	Condición: 2 mina	6,8 kg Mina 6,8 kg Mina 13,6 Kg	14 m.	Sonometro dB _A 126,9	Tiempo mseg 4

Se declara que los resultados de este Informe no pueden ser reproducidos en forma parcial, sin la autorización escrita del laboratorio.

VI. CONCLUSIÓN:

Como Conclusión General se puede inferir:

1. El Sifting Excavator esta adaptado para resistir la onda explosiva generada por una bomba antitanque PRB-M3 de fabricación belga a la distancia de operación, no inferior a 7 metros de la posición del operador. Más aún y tal como lo indica el informe Blastronics, basándose en la evidencia disponible (derivada de los datos obtenidos en terreno) se afirma que para una condición de dos minas PRB-ATK-M3 detonadas a una distancia de 10 metros, la cabina del operador es capaz de deprimir la sobrepresión a valores considerados seguros.
2. Se requiere que el personal operador este dotado de doble protección auditiva.

CAMILO GÁLVEZ PARKES
Ingeniero Politécnico Militar
Asesor Técnico

DANIEL SANDOVAL BRAVO
Mayor
Jefe Departamento Ingeniería

Se declara que los resultados de este Informe no pueden ser reproducidos en forma parcial, sin la autorización escrita del laboratorio.

RESPUESTA HUMANA Y ESTRUCTURAL FRENTE A ONDAS EXPLOSIVAS AÉREAS
 DE DISTINTA INTENSIDAD.

Fuente: Memorial de Ingeniería de Armamento N°95 año 1984

INTENSIDAD		DAÑO
PRESIÓN PSI	dB	
250 - 200	219 - 217	100 % Probabilidad de Muerte
180 - 130	216 - 213	50 % Probabilidad de Muerte
170 - 140	215 - 214	Daños severos a medios, estructura de chapa recubierta con 3 pies de tierra
> 80	> 209	Daños Pulmonares Graves a Personas
70 - 60	208 - 206	1 % Mortalidad para pulsos de 3 ms de duración
53 - 25	205 - 199	Daños severos, casas de una planta con estructura de acero y hormigón.
35 - 17	202 - 195	Daños severos, casas de una planta con estructura de acero y hormigón ligero.
28	200	1 % Mortalidad para pulsos de larga duración (> 50 ms)
22	198	Daños severos a automoviles.
20 - 5,0	197 - 185	Daños quilla barcos de carga.
15	194	50% Probabilidad de Rotura de Oídos. Daños moderados a vehículos.
10	191	Umbral de Daños Pulmonares
6,0 - 4,0	186 - 183	Daños a la superestructura de barcos de carga.
5,8	186	Umbral daños severos a edificios.
4,3	184	Umbral Rotura de Oídos.
3,5 - 2,5	182 - 179	Daños graves casa una planta madera y ladrillos.
3,0	180	Daño severos aviones de transporte en tierra
3,0 - 2,0	180 - 177	Daño severo pared de hormigón no reforzado de 8 a 12 pulgadas de espesor.

Se declara que los resultados de este Informe no pueden ser reproducidos en forma parcial, sin la autorización escrita del laboratorio.

RESPUESTA HUMANA Y ESTRUCTURAL FRENTE A ONDAS EXPLOSIVAS AÉREAS DE DISTINTA INTENSIDAD.

Fuente: Memorial de Ingeniería de Armamento N°95 año 1984

INTENSIDAD		DAÑO
PRESIÓN PSI	dB	
3,0 - 1,0	180 - 171	Daños equipos de navegación de barcos de carga
2,3	178	Umbral daños medios de edificios.
2,0	177	Daños severos a aviones ligeros y helicópteros en tierra. Daños moderados a aviones de transporte en tierra. Daños ligeros automoviles.
2,0 - 1,0	177 - 171	Daños medios construcción albañilería, madera, acero y aluminio coarrugado.
1,5 - 1,0	174 - 171	Arranque puertas, marcos de ventana, caída de escayolas, voladura de tejas.
1,0	171	La mayor parte de cristales y ventanas rompen. Daños moderados aviones ligeros y helicópteros en tierra. Daños ligeros aviones de transporte en tierra.
0,7	168	Umbral daños estructurales a edificios.
0,5	165	Rotura de cristales. Daños ligeros a helicópteros y aviones ligeros en tierra.
0,25	159	Daños aviones de transporte en vuelo.
0,22	157	Umbral sordera temporal (90% no daños)
0,20	157	Daños aviones ligeros y helicópteros en vuelo.
0,10	151	Rotura de cristales y ventanas.
0,072	148	Reclamaciones en número apreciable por rotura de cristales
0,03	140	Ausencia de daños estructurales. Golpeo de ventanas sin cerrar.
0,018	136	Probabilidad de romper 1 por millón de cristales.
0,003	120	Umbral de Dolor
0,002	117	Umbral de reclamaciones (vibración de platos y ventanas)
$3 \cdot 10^{-6}$	60	Conversación ordinaria.
$3 \cdot 10^{-8}$	20	Susurro.
$3 \cdot 10^{-8}$	0	Umbral de audición.

Se declara que los resultados de este Informe no pueden ser reproducidos en forma parcial, sin la autorización escrita del laboratorio.