



Prof. Alfredo Garasini

EL PODER DE DETENCION

(Stopping Power)

Síntesis del modelo matemático

Datos empleados

1. Formulación de C. Lamm; y el Principio Integral del Dr. Neira.
2. Radio de la cavidad temporaria (propuesto o deseado).
3. Tiempo de Colapso de P_2 Cavidad Temporaria (propuesto).
4. Penetración (propuesto o deseado).
5. Orificio de entrada (propuesto o deseado).
6. Resistencia específica a la compresión mecánica del blanco (podría ser el H_2O).

Soluciones Obtenidas

1. Curva de la evolución espacio temporal de P_2 Cavidad temporaria en el interior del blanco.
2. Velocidad del proyectil.
3. Fórmula de Penetración adaptable a este proceso biofísico en el tejido tisural (Ley de Morin), es una consecuencia de la Fórmula Lamm y del precitado principio integral.
4. Determinación de la masa del proyectil en función del orificio de entrada, explosión de Lamm y el principio integral.
5. Poder de detención (Stopping-Power) en dicha expresión está contenida el parámetro: penetración y es inversamente proporcional al Poder de Detención, luego se advertirá que es una consecuencia también de la Ley de Morin.
6. Se demuestra que el SP se realiza en tiempo mínimo (Principio de Fermat)
7. Volumen aproximado de la Cavidad temporaria
8. Distancia que media entre el máximo del SP y algún centro neurológico.

¿Cómo es posible que las matemáticas encajen con tanta perfección en los hechos de la realidad, siendo un producto del pensamiento humano independiente de la experiencia?

ALBERT EINSTEIN

INTRODUCCION

Se propone un estudio del Stopping-Power, que como es sabido significa “ la capacidad que posee un proyectil para abatir o detener a un hipotético agresor, frustrando una acción ofensiva”.

La misma definición sería válida para un cazador que se hallaba en situación riesgosa.

No es novedad que existen una diversidad de trabajos sobre el tema y expresiones matemáticas que intentan interpretar y medir este proceso tan complejo.

Por lo tanto, y quizás sea posible como aquí lo presentamos, realizar un estudio dinámico de tal fenómeno, cuyo objeto es vincular al “SP” con la asignación de la Cavidad Temporaria”, éste es un proceso biofísico que se produce cuando un proyectil ingresa a un organismo vivo provocando pulsaciones seguido de expansiones, con desgarramiento y arrastrando elementos vitales en su trayecto.

En definitiva este modelo está inspirado en la formulación del Ing francés charles Lamm,¹ pero con ciertos arreglos formales del autor, además se cuenta con el auxilio de un principio integral propuesto por el Dr. Luis Pedro Neira, con estas dos herramientas hemos podido elaborar el precitado modelo matemático que a continuación vamos a desarrollar.

¹ Al final de este trabajo presentaremos los antecedentes del Ingeniero Lamm y el Dr. Neira. Como así también los del autor Alfredo R. Garasini, que se encuentran en la contratapa de su manual “Manual de Balística elemental Aplicada”

DESARROLLO

Cuando un proyectil impacta contra el blanco se origina un cambio de la velocidad, consecuentemente la superficie de este blanco se expande (esta expansión se refiere a la cavidad temporaria) y mientras dicho proyectil va perdiendo velocidad por introducirse en un medio denso, la sección frontal también cambia de tamaño, insistimos la cavidad temporaria por consecuencia, definimos el “ S.P.” según el siguiente integral:

$$SP = \int a d\sigma_{(t)}$$

Donde «a» es la desaceleración, provocada por el resultado del impacto contra el blanco, y « $d\sigma_{(t)}$ » es el elemento de superficie del medio atacado, que depende del tiempo.

Como estamos tratando con fenómenos dinámicos, interviene el tiempo, por lo tanto escribiremos aquella integral de la siguiente manera, quitando integrales y dividiendo por «dt»

$$(1) \quad \boxed{\overset{\circ}{SP} = a \overset{\circ}{\sigma}}$$
 Donde $\left\{ \begin{array}{l} \overset{\circ}{SP} = \frac{d(SP)}{dt} \\ \overset{\circ}{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt} \end{array} \right.$

A continuación vamos a aplicar el “**Principio integral de la extremización del valor medio de una función**”, esto es:

$$(2) \quad \boxed{O = \delta(\langle F \rangle) = \frac{1}{\Delta X} \int_{x_1}^{x_2} F(y', y, x) dx}$$

Donde $\Delta X = X_2 - X_1$.

Es de suponer entonces que la relación (2) podría acoplarse a este principio integral, y asumir que el valor medio del “SP” obedece a esta extremización, es decir:

$$0 = \delta(\langle SP \rangle) = \frac{1}{\Delta t} \delta \int_{t_1}^{t_2} \ddot{X} \dot{\sigma} dt$$

(Se entiende que estamos trabajando sobre el eje X)

Siendo « \ddot{X} » la desaceleración, designando reiteradamente que « σ » es la derivación de la superficie frontal respecto del tiempo.

Ahora son válidas las ecuaciones de Euler-Poisson, tenemos 2 ecuaciones a saber.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial \zeta}{\partial \ddot{\chi}} \right) - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \zeta}{\partial \dot{\chi}} \right) + \frac{\partial \zeta}{\partial \chi} = 0 \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \zeta}{\partial \dot{\sigma}} \right) - \frac{d\zeta}{d\sigma} = 0, \text{ con } \zeta = \ddot{\chi} \dot{\sigma} \end{array} \right.$$

$$\text{Pero como: } \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \zeta}{\partial \chi} \right) = 0 \\ \frac{\partial \zeta}{\partial \chi} = 0 \\ \frac{\partial \zeta}{\partial \sigma} = 0 \end{array} \right.$$

Nos quedan dos cíclicas y las mismas se reducen a:

$$\text{Sean: } \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial \zeta}{\partial \ddot{\chi}} \right) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \zeta}{\partial \dot{\sigma}} \right) = 0 \end{array} \right.$$

Operando obtenemos el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales de tercer orden, lineales incompletas:

$$\text{Estas son: } \begin{cases} \dots \\ \chi = 0 \\ \dots \\ \sigma = 0 \end{cases}$$

Por la naturaleza del problema, el sistema se comportaría como uniformemente retardado, de tal forma, que obviamente nos conduce la integración de esas dos ecuaciones diferenciales a las siguientes relaciones.

$$(7) \quad \boxed{x = x_0 t - \frac{1}{2} \beta t^2}$$

$$(6) \quad \boxed{\sigma = \sigma_0 t - \frac{1}{2} \alpha t^2}$$

A continuación comenzaremos por investigar la expresión (6) que regula el comportamiento de la sección frontal de la cavidad temporaria con respecto al tiempo esto es:

$$(6) \quad \boxed{\sigma = \sigma_0 t - \frac{1}{2} \alpha t^2}$$

Ahora bien, tenemos referencia que los tiempos de colapsos rondan alrededor de los 800 microsegundos y la sección frontal de la cavidad máxima estimada en aproximadamente $\sigma_{(\max)} \approx 3,14.5^2 \text{ cm}^2$, luego inferimos que lo alcanzaría en un valor de $t_{\max} \approx 400$ microsegundos, por lo tanto haremos la hipótesis por simplicidad de que:

$$\text{Tiempo de colapso } \begin{cases} \sigma_{(\text{final})} \approx 0 \\ t \approx 800 \text{ microseg.} \end{cases}$$

$\sigma_{(\text{final})}$: Orificio de salida del proyectil, (Nulo por simplicidad).

* Nos referimos a la sección máxima frontal.

De ahí que se presenta el siguiente sistema lineal de primer grado algebraico:

$$\begin{cases} \dot{\sigma}_0(400 \cdot 10^{-6}) - \frac{1}{2}\alpha(400^2 \cdot 10^{-12}) \approx 78,5 \\ \dot{\sigma}_0(800 \cdot 10^{-6}) - \frac{1}{2}\alpha(800^2 \cdot 12^{-12}) \approx 0 \end{cases}$$

Cuyas soluciones son

$$\begin{cases} \alpha \approx 0,00098 \text{ cm}^2 / \text{seg}^2 10^{-12} \\ \dot{\sigma}_0 \approx 0,392 \text{ cm}^2 / \text{seg} 10^{-6} \end{cases}$$

Seguidamente confeccionamos la tabla:

Diámetro cm	Radio cm	Secc. Frontal cm^2	Tiempo Microsegundos
D	y	σ	t
0	0	0	0
6,6	3,3	34,3	100
10	5	78,5	400
8,64	4,32	58,8	600
0	0	0	800

Por supuesto siempre son valores aproximados.

Convenría señalar que a través de la expresión (6) puede calcularse la sección frontal máxima de la CT ésta relación vale:

$$\sigma_{(\max)} = \frac{\sigma_{\circ}^2}{2\alpha} \quad (*)$$

Reemplazamos, tenemos:

$$\sigma_{(\max)} \approx \frac{0,392^2}{2 \cdot 0,00098}$$
$$\sigma_{(\max)} \approx 78,5 \text{ cm}^2$$

Como era de esperar, además hemos verificado que los coeficientes σ_{\circ} y α son correctos.

(*) Surge de hallar el máximo en la 6 y despejar el tiempo, colocándose en la misma ecuación.

Cálculo de la velocidad del proyectil

Pero nos preguntamos: para provocar esa cavidad temporaria en un $t \sim 800$ microsegundos, ¿qué velocidad poseerá el proyectil?

En primer lugar si la naturaleza se pronuncia aproximadamente con un movimiento uniformemente retardado podemos utilizar la (7).

Por otra parte ya sabemos que la penetración es máxima cuando: (haciendo $x = 0$, en la (7))

Con el consecuente mecanismo del cálculo de máximos obtenemos:

$$x_{\max} \cong \frac{\dot{x}_0^2}{2\beta}$$

Por lo tanto tenemos el sistema siguiente:

$$\begin{cases} 400 \dot{x}_0 - \frac{1}{2} \beta 400^2 = x \\ \dot{x}_0^2 \approx x_{(\max)} \end{cases}$$

Las incógnitas son “ \dot{x}_0 y β ”.

Asumimos que una posible penetración máxima deseada podría ser $x_{(\max)} \approx 0,30 \text{mts}$.

Por el sistema , (sustituido los valores)

$$\text{Luego } \begin{cases} 400 \dot{x}_0 - \frac{1}{2} \beta 400^2 \approx 0,15 \\ \frac{\dot{x}_0^2}{2\beta} \approx 0,30 \end{cases}$$

(Sistema de ecuaciones algebraicas de segundo grado con 2 incógnitas).

Primero , entre ambas eliminamos “ β ”

Y resulta:

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{\dot{x}_0^2}{0,30} 400^2 - 400 \dot{x}_0 \approx 0,15$$

La ecuación reducida valdrá:

$$400^2 \dot{x}_0^2 - 608 \dot{x}_0 + 0,18 \approx 0$$

Empleando la resolvente:

$$\dot{x}_0 \approx \frac{480 \pm \sqrt{480^2 - 4400^2 \cdot 0,18}}{2400^2}$$

o bien:

$$\dot{x}_0 \approx \frac{480 \pm \sqrt{230400 - 115200}}{320000}$$

Incluimos los microsegundos:

$$\dot{x}_0 \approx \frac{(480 \pm 339)10^{-6}}{320000 \cdot 10^{-12}}$$

Consideramos el valor

$$\dot{x}_0 \approx \frac{141 \cdot 10^{-6}}{320000}$$

Resulta finalmente:

$$\dot{x}_0 \approx 439 \text{ mts/seg}$$

Nota: el valor de “ β ” interviene cuando determinemos el “S.P.”.

Ley de Morin

Son muy discutidos en Balística Terminal, los fenómenos biofísicos de penetración, o mejor dicho, la penetración de una bala en un organismo vivo ¿sigue alguna ley física?

Sin embargo parece ser que la naturaleza y según este nuevo principio integral o adicional, los procesos de penetración en tejidos orgánicos aparentemente se pronuncian por una ley “**Tipo Morin**”.

Es decir, véase que simultáneamente estamos deduciendo dicha ley, o con otras palabras, la Ley de Morín vendría incorporada a este principio integral.

En efecto, habíamos visto que:

$$(9) \quad x_{(\max)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\dot{x}_0^2}{\beta}$$

Es lo mismo (si multiplicamos ambos miembros por la masa del proyectil):

$$(10) \quad m_0 \beta \cdot x_{\max} = \frac{1}{2} m_0 \dot{x}_0^2$$

Advertimos de hecho que tal relación “no es ni más ni menos que el principio de la conservación de la energía”

O sea, toda la energía cinética entregada al blanco forma parte del proyectil $\frac{1}{2} m_0 \dot{x}_0^2$ debe ser equivalente al trabajo mecánico consumido por el blanco $m_0 \beta \cdot x_{\max}$ (despreciando los efectos plásticos por la emisión del calor).

Luego, como:

$$(11) \quad m_0 \beta = R_e \langle S \rangle$$

Siendo R_e , la resistencia específica a la impresión mecánica que acusa el blanco y $\langle S \rangle$, sección media frontal del impacto contra dicho blanco.

Resulta finalmente la "Ley de Morin":

$$(12) \quad X_{(\max)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_p}{g} \cdot \frac{\dot{x}_0^2}{R_e \langle S \rangle}$$

Siendo $m_c \frac{P_p}{g}$, " P_p ", peso del proyectil y " g " es la aceleración de la gravedad.

Cálculo de la masa del proyectil

Quiere decir entonces que para provocar una cavidad temporaria, en un colapso de $t \sim 800$ microsegundos, seguida de una expansión de la misma, de alrededor de 100mm de diámetro, debemos impulsar un proyectil a la velocidad de $439 \frac{mts}{seg}$.

Ahora bien, la Ley de Morin, permitiría asociar los procesos biofisicos de expansión (C.T. – cavidad temporaria) con la masa del ingenio.

En efecto, dicho sea de paso, conociendo o proponiendo que el diámetro del orificio de entrada produce la bala, es posible determinar la precipitada masa.

Despejamos el peso del proyectil de la (12):

$$(13) \quad P_p = \frac{2g \cdot x_{(\max)} R_e < S >}{x_0^2}$$

Por supuesto para una penetración deseada “ $x_{(\max)}$ ”.

Pero previamente haremos una pequeña digresión al respecto.

Tenemos que conocer como es natural la resistencia específica del blanco (a la compresión mecánica).

En este caso, podría ser la gelatina balística, no obstante este valor no se pudo conseguir y lo hemos reemplazado por el caso del agua² (congelada): perpendicular a la superficie libre natural, cuyo valor es:

$$R_e \approx 1,3 \frac{Kg}{mm^2}$$

Reemplazando tenemos:

$$P_p \approx \frac{19,6 \cdot 0,30 \cdot 1,3 \cdot 7,5^2 \cdot 3,14}{439^2}$$

$$\text{Si } \begin{cases} C_e \cong 7,5mm \\ x_{\max} \approx 0,30mts. \\ < S > = \pi C_e^2 \text{ (valor medio)} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \text{radio del orificio de entrada} \end{array} \right.$$

² Algunos investigadores admiten que es la mejor reemplazante del tejido orgánico. El Dr. G. Fernandez, comenta en su artículo que la balística sub-acuática es muy similar a la tisural ya que las fuerzas que actúan dependen de la velocidad del proyectil y de la densidad del medio, más bien de su viscosidad, por otra parte los tejidos animales son muy ricos en agua llegando a contener hasta un 80% de este fluido.

A modo de guía o de ejemplo confeccionaremos la siguiente tablita de orificio de entrada – peso proyectil.

Peso del Proyectil (gramos)	Diámetro: orificio de entrada (milímetros)
7	15
8	16
10	18
12,4	20

Donde: Penetración: cte.
Re espe: cte.
Velocidad: cte.

Nota importante:

Es de observar que la (13) puede brindar una información importante en lo que respecta a armas de puño de grueso calibre como la 45 (11.25mm).

En efecto:

a) Sean los siguientes datos

$$\left\{ \begin{array}{l} x_0 = 260 \text{ mts/seg} \\ < C_e > \approx 16 \text{ mm} \\ x_{\max} \approx 0,20 \text{ mts} \end{array} \right.$$

Aplicando la (13), resulta:

$$P_p \approx 15,15 \text{ gr.}$$

b) Sea ahora

$$\left\{ \begin{array}{l} x_0 = 260 \text{ mts/seg} \\ < C_e > \approx 15 \text{ mm} \\ x_{\max} \approx 0,25 \text{ mts} \end{array} \right.$$

Aplicando la (13), resulta:

$$P_p \approx 16,65 \text{ gr.}$$

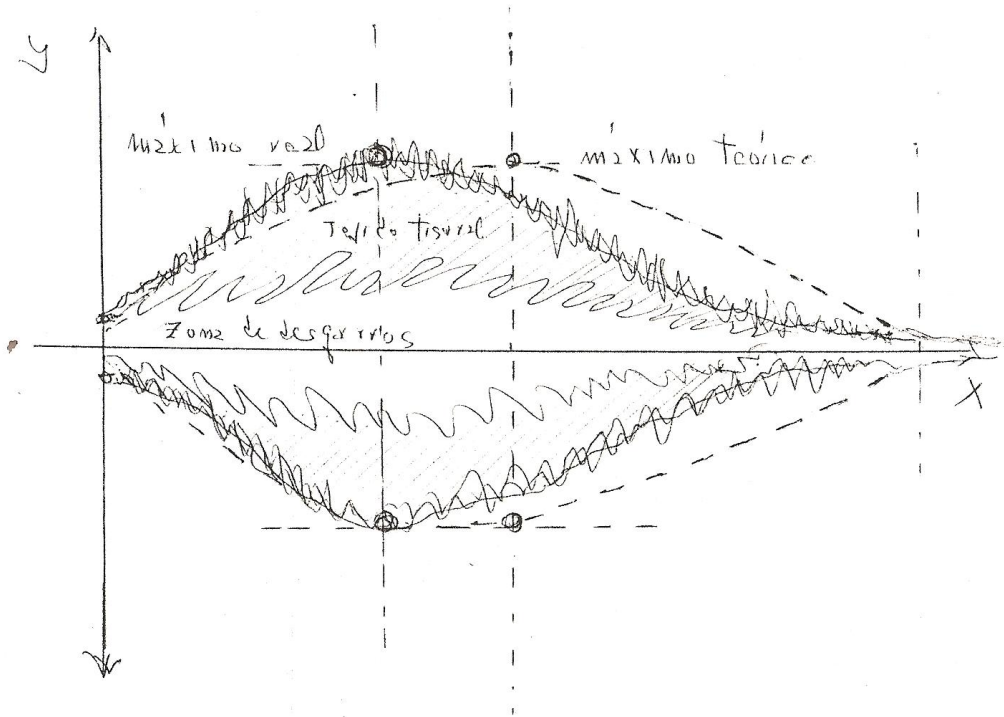
c) Finalmente

$$\begin{cases} x_0 = 260 \text{ mts/seg} \\ \langle C_e \rangle \approx 14 \text{ mm} \\ x_{\max} \approx 0,30 \text{ mts} \end{cases}$$

Aplicando la (13), resulta:

$$P_p \approx 17,40 \text{ gr.}$$

» Gráfico esquemático comparativo entre el proceso biofísico de la cavidad temporaria y el modelo matemático propuesto:

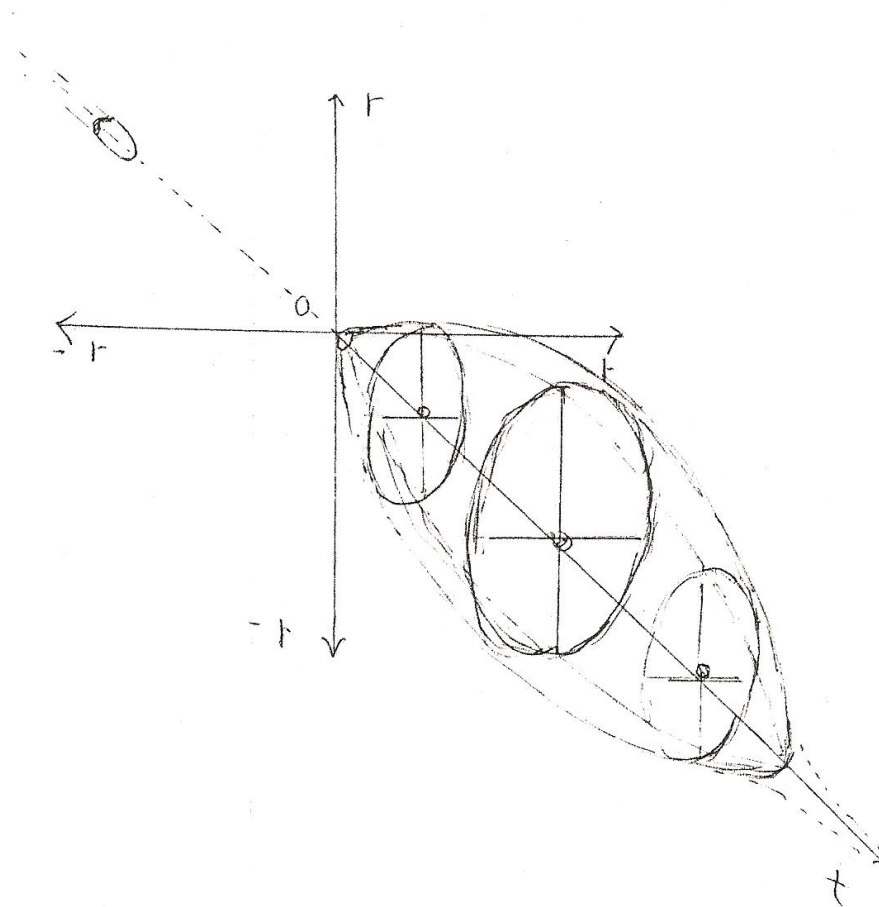


Líneas de trazos: modelo matemático.

Rayas difusas: (pulsaciones) del fenómeno real de la C.T.

Valores máximos (medidos) { Colapso $T_e \sim 819$ micros.
Máximo $T \sim 390$ micros.

» Gráfico esquemático en la evolución: espacio-temporal de la Cavity Temporal del modelo propuesto:



Vale la pena el comentario del Dr. G. Fernandez: “A los 390 microsegundos la expansión es mayor y la cavidad toma la forma de **un elipsoide** mostrando grandes irregularidades en sus paredes.”

» Calculo del volumen de la cavidad temporaria (ideal)

Si consideramos este fenómeno biofísico como un elipsoide de revolución (las secciones transversales son circunferencias).

Luego, aplicando la conocida fórmula:

$$(14) \quad \boxed{V_{ct} = \frac{4}{3} \pi r^2 x}$$

$$\text{Donde} \quad \left\{ \begin{array}{l} r = r_{(\max)} \approx 5 \text{ cm} \\ x = \frac{1}{2} x_{(\max)} \approx 15 \text{ cm} \end{array} \right.$$

Reemplazando, tenemos:

$$V_{ct} \approx \frac{4}{3} 3,14 \cdot 5^2 15 \text{ cm}^3$$

$$\boxed{V_{ct} \approx 1570,8 \text{ cm}^3}$$

Determinación del Poder de Detención o Stopping Power según el criterio

C-Lamm – L P. Neira – A.R. Garasini

Habíamos visto que el poder de detención según este modelo matemático, vale en primera instancia:

$$(15) \quad \boxed{Sp' = m_0 \beta \sigma_{(t)}}$$

(Hemos asociado a la masa los factores “ $\beta \sigma_{(t)}$ ” por ser elemento determinante para evaluar el SP)

Pero es conveniente escribir el parámetro de desaceleración “ β ” en función de la velocidad y de la penetración.

Por otra parte, como la sección frontal “ $\sigma_{(t)}$ ”, depende del tiempo es necesario aplicar la expresión (8), que proporciona la máxima sección frontal y no está demás decir que es la que controla la configuración geométrica del proyectil, como así también si son expansivos o no, ya que el estado lo decide, naturalmente la experiencia y tal vez dependería del tejido tisural.

Entonces la 14 vendrá expresada así:

$$SP' = \left(\frac{m_0 \dot{x}_0^2}{2 x_{(\max)}} \right) \cdot \left(\frac{\dot{\sigma}_0^2}{2\alpha} \right)$$

En definitiva:

$$(16) \quad \boxed{\langle SP' \rangle = \left(\frac{m_0 \dot{x}_0^2 \dot{\sigma}_0^2}{4\alpha \cdot x_{(\max)}} \right)}$$

Dado que si trabajan con centímetros vamos a obtener varias cifras, en cambio emplearemos metros, luego reemplazando: (si $m_0 = \frac{0,008 \text{ kg} \cdot \text{seg}^2}{9,8 \text{ mts}}$)

$$\langle SP' \rangle = \frac{0,008 \cdot 439^2 \cdot 0,392^2}{9,8 \cdot 0,30 \cdot 2 \cdot 0,00098} \cdot 10^{-4}$$

Luego:

$$\boxed{\langle SP' \rangle \approx 2,055 \text{ Kgmts}^2}$$

» Consideremos el calibre 5.56 que posee los siguientes datos:

$$\text{Datos: } \left\{ \begin{array}{l} V_0 \approx 960 \text{ mts/seg} \\ P_p \approx 3,5 \text{ gr.} \\ \text{Cavidad Temporal Máxima} = \pi r^2 \sim 0,05^2 \pi \\ \text{Penetración máxima} \sim 0,40 \text{ mts.} \end{array} \right.$$

Aplicando la expresión (16):

$$\langle SP' \rangle \approx \frac{0,0035 \cdot 960^2 \cdot 0,00785}{19,6 \cdot 0,40}$$

Resulta:

$$\langle SP' \rangle \approx 3,22 \text{ kgmts}^2$$

Esta magnitud “3,22”, parece corresponderse con un buen poder de parada.

Véase el siguiente resultado de la eficiencia de este proyectil (encamisado ojival)

$$\text{Poder de parada} \sim 96\%$$

Dato extraído por internet “Poder de Parada” (estudio de un artículo suministrado por Brasil).

Existen datos que pasando por 900 mt/seg, la Cavidad Temporal adquiere valores máximos.

A continuación suministramos una serie de Stopping Power de los calibres más importantes

(los valores de las cavidades temporarias máximos y las penetraciones son estimativas), aplicando la fórmula propuesta:

1) .38 Spl (TP)

$$SP \cong \frac{0,007 \cdot 303^2 \cdot 0,0050}{19,6 \cdot 0,25}$$

$$SP \cong 0,655 \text{ Kgmts}^2$$

2) .0357 (Magnum)

$$SP \cong \frac{0,008 \cdot 440^2 \cdot 0,00785}{19,6 \cdot 0,20}$$

$$SP \cong 3,10 \text{ Kgmts}^2$$

3) 9mm Pera (NATO)

$$SP \cong \frac{0,00615 \cdot 412^2 \cdot 0,0050}{19,6 \cdot 0,20}$$

$$SP \cong 1,33 \text{ Kgmts}^2$$

4) .44 (Magnum)

$$SP \cong \frac{0,00196 \cdot 453^2 \cdot 0,00785}{19,6 \cdot 0,30}$$

$$SP \cong 3,55 \text{ Kgmts}^2$$

5) .45 ICP (TP)

$$SP \cong \frac{0,00149 \cdot 345^2 \cdot 0,00785}{19,6 \cdot 0,30}$$

$$SP \cong 2,36 \text{ Kgmts}^2$$

Es significativo añadir, que la expresión (15) presta una información muy importante.

Véase que la penetración es inversamente proporcional al SP', en general cuando se eleva la velocidad, también crece la penetración en el blanco, pero si por alguna razón: la masa, la velocidad y la sección frontal de la C.T. permanecen constante, mientras que la penetración aumenta, advertimos que la expresión (15) nos informa que el Stopping Power se desmejora, ¡Cómo así sucede! ^{3*}.

Por último. Otra forma de escribir la (15), es la siguiente que resulta ser la más cómoda:

$$SP' = \frac{\omega}{X_{(\max)}} \sigma_{(\max)}$$

Dónde “ ω ” es la energía cinética del proyectil, vale decir que el SP' es la energía entregada al blanco por unidad de penetración al mismo, y por la sección frontal de la C.T.(máxima).

³ Véase que la que delata esta información importantísima y rigurosamente cierta es la “Ley de Morin”.

Cómo corolario a este trabajo, y a continuación, demostraremos que los procesos biofísicos del SP se realizan en tiempo mínimo:

En efecto, partimos de la relación (1), esto es:

$$\dot{SP} = \alpha \dot{\sigma}, \text{ o bien } \dot{SP} = \beta \dot{\sigma}$$

Entonces $\langle \dot{SP} \rangle = \beta \langle \dot{\sigma} \rangle$ (Valores medios).

Aplicamos el operador variacional “ δ ” a ambos miembros. Luego:

$$\delta(\langle \dot{SP} \rangle) = \beta \cdot \delta(\langle \dot{\sigma} \rangle)$$

Habíamos probando que: $\delta(\langle SP \rangle) = 0$ y como $\beta \neq cte.$, es entonces $\delta(\langle \dot{\sigma} \rangle) = 0$.

Ahora sabemos que $\dot{\sigma} = \dot{\sigma}_0 - \alpha t$, reemplazamos: $\delta(\langle \dot{\sigma}_0 - \alpha t \rangle) = 0$, distribuimos el operador variacional y resulta:

$$\delta t = 0 \text{ minimum}$$

Al igual, que el Principio de Fermat, el Stopping-Power se realiza en el tiempo mínimo (en su valor medio).

Comentario final y conclusiones

Este modelo predice la existencia de un máximo del Stopping Power con respecto al tiempo y coincidiría con la cavitación temporaria máxima acompañada de las pulsaciones.

A partir de ese instante las ondas de presión causarían el famoso “Shock hidráulico”, cuando alcanzan algún centro neurológico, por supuesto luego sobreviene cierto retardo, recordemos que en el Test de Straburgo, se han medido los Tiempos Promedios de Incapacitación (TPI) y oscilan entre 4.40 y 33.68 segundos.

También esta experiencia reveló que la cavidad temporaria que se genera por delante de la punta, puede ser la causa de incapacitación por el primer pico que ocasiona y con el cual coincide.

Quizás esto picos sean la suma del valor máximo de la cavidad temporaria, a su vez tenemos un dato relevante: el precitado modelo predice que para cada orificio de entrada (de la C.T.) debe corresponderle cierta masa al proyectil.

Además si se propone el radio máximo de la cavidad temporaria, el tiempo de colapso, y una penetración deseada, es posible obtener qué velocidad debe poseer el proyectil en cuestión.

Por otra parte como la cavidad temporaria tiene una configuración geométrica aproximadamente el volumen de esa cavidad (ideal).

Finalmente este lineamiento también aporta otros datos significativos:

Sabemos que las ondas de presión, viajan a una velocidad de $1400 \frac{mts}{seg}$ (H_2O) y cuando la cavidad temporaria alcanza su máximo, esto es $t \sim 400$ microsegundos, entonces estas ondas recorrerán:

$$D \sim 1400 \frac{mts}{seg} \cdot 0,0004 seg$$

Obtenemos:

$D \sim 56cm.$

Quiere decir que si un individuo recibe un disparo aproximadamente a la altura del abdomen la distancia que media entre dicho órgano y el cerebro es precisamente unos 56cm (si consideramos individuos de estaturas estándar), luego coincidiría con el máximo Stopping-Power, y con la máxima expansión de la cavidad temporaria.

Vale decir que es muy probable que los tiempos de expansión máximas de la C.T. podrían oscilar entre los **300 y 400 microsegundos**.

La otra información consiste que ésta formulación del Stopping-Power, contiene la penetración, rectificando lo mencionado en la página 25*, ésta penetración puede ser perjudicial si no se conjuga adecuadamente con los efectos de los procesos biofísicos de la cavidad temporaria, y subrayamos así mismo, que la naturaleza, en los procesos biofísicos precitados, obra con tiempos mínimos, es decir:

$$St = 0 \quad (\text{Fermat})$$

* Formalmente hablando:

Poder de Detención $\propto 1$ / Penetración en el blanco

En definitiva este modelo podría ensamblar la polémica trilogía:

**PENETRACIÓN – CAVIDAD TEMPORARIA
PODER DE DETENCION**

Alfredo R. Garasini

“El diseño (modelo) más adecuado surgirá del trabajo en conjunto de equipos interdisciplinarios, aportando ideas y experiencias con el fin de obtener la solución más adecuada, por los innumerables casos a los que se debe enfrentar”.

E.. Rodi
(Profesor de FM “F.L.B.” y Jefe de Ing. De Producto de Infantería)

Bibliografía consultada

- ✓ Análisis Matemático II, Cálculo de Variaciones de F. Vera dinámica Avanzada, Cálculo de Variaciones, de Timosheuko Análisis Matemático II, Cálculo de Variaciones, de Sadusky, Cálculo de Variaciones de Elsgoltz.
- ✓ Mecánica Técnica de Pacorro Ruiz
- ✓ Mecánica Clásica de Goldstein
- ✓ Mecánica Clásica de E. Rutherford
- ✓ Mecanique clasique de L. Z Landau Tomo II
- ✓ Apuntes de Balística Técnica y Practica de E. Mori
- ✓ Manual de Balística Elemental Aplicada de A. Garasini
- ✓ Manual de Ing. Hutte, Tomo III
- ✓ Ingeniería de las oscilaciones de Cazesonoves
- ✓ Apuntes de Balística (Edic. en italiano)
- ✓ Revista Armas y Tiro , art. Del Dr. G. Fernández N° 59
- ✓ Revista Armas y Tiro , art. Del Dr. G. Fernández N° 60
- ✓ Revista de Armas art. De J. Berallo N° 227 -2001
- ✓ Revista Todo Armas art. De J. Cotoreralt, N° 9 1996
- ✓ Apuntes del profesor Manzo Sal
- ✓ Revista Magnum. Art. de E. Rodi, N° 64 1/95
- ✓ Revista Magnum , Art. del Mayor L. Paz N° 173 2/004
- ✓ Revista Magnum, Art. de E. Rodi N° 60 9/94
- ✓ Revista Magnum , Art. de C. Cochi N° 117 6/99
- ✓ Revista Magnum, Art. de E. Rodi N° 177 6/04
- ✓ El test de Strasburgo de E. Samoa
- ✓ Revista Armas y Geostrategn de C. Lamm 6/81

Internet.

- ✓ Kurzzctmesstechmik, de W. Mebl
- ✓ Poder de Detención de J:C: Ferreira, tirotactico@hotmail.com
- ✓ Balística:
- ✓ The hunter page Municoes e Stopping Power
- ✓ Círculo de Tiro cordillera Tiro Práctico
- ✓ Poder de Parada
- ✓ Teoría de Matumas
- ✓ Josse Rand

Antecedentes del Ing. C. Lamm y el Dr. R. P. Neira

1- Ing. Charles Lamm

“Diseñador e inventor de proyectiles, además es el responsable de la firma “KRD” muy considerado en la comunidad de los especialistas del tema y mencionado en al Revista Magnum, por sus trabajos”

2- Dr. Luis Pedro Neira

“Doctor en Física, su especialidad es Astrofísica, Investigador del Instituto de Física Universidad Nacional de Rosario, Jefe del museo Experimental de Ciencias de Rosario, autor de numerosos trabajos publicados en el exterior sobre Materia Extraña y Estrella de Neutrones “

Reconocimientos:

Agradecemos la colaboración en lo que concierne a la investigación bibliográfica al Lic. Juan Pablo Garasini y al Sr. Manuel Augusto Gómez Cornet de León, por sus valiosos aportes.

“Por último vaya mi reconocimiento al Ingeniero Daniel Bora, quien con sus sabias directivas supo conducir la difícil tarea de organizar y concretar los desarrollos que se realizaron en el Departamento de Ingeniería de Producto de Fábrica Militar Fray L. Beltrán.”