



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PRUEBAS DE IMPACTO CON PROYECTILES DE ARMA DE FUEGO EN
UNIDADES DE MAMPOSTERÍA: BLOCKS DE CONCRETO**

Noé David Ren Mateo

Asesorado por el Ing. José Gabriel Ordoñez Morales

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRUEBAS DE IMPACTO CON PROYECTILES DE ARMA DE FUEGO EN
UNIDADES DE MAMPOSTERÍA: BLOCKS DE CONCRETO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

NOÉ DAVID REN MATEO

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ GABRIEL ORDOÑEZ MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
EXAMINADOR	Ing. José Estuardo Galindo Escobar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PRUEBAS DE IMPACTO CON PROYECTILES DE ARMA DE FUEGO EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA: BLOCKS DE CONCRETO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 30 de octubre de 2020.

Noé David Ren Mateo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria.usac.edu.gt



Guatemala, 17 de octubre de 2021

Ingeniero Civil

Hugo Leonel Montenegro Franco

Coordinador del Área de Materiales de Construcción
Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Montenegro:

Por medio de la presente le comunico que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación con el tema **“PRUEBAS DE IMPACTO CON PROYECTILES DE ARMA DE FUEGO EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA: BLOCKS DE CONCRETO”**; elaborado por el estudiante de Ingeniería Civil **Noé David Ren Mateo**, quien se identifica con Registro Académico número **200721993** y Documento Personal de Identificación **2502-41846-0101**, considerando que dicho trabajo cumple los requisitos establecidos por la Escuela de Ingeniería Civil. Por lo anterior, doy mi aprobación y recomiendo para su publicación.

Sin otro particular, me suscribo atentamente,

Ing. Civil José Gabriel Ordoñez Morales

Asesor de trabajo de graduación





Guatemala, 21 de octubre de 2021

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Fuentes,

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **“PRUEBAS DE IMPACTO CON PROYECTILES DE ARMA DE FUEGO EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA: BLOCKS DE CONCRETO”**, desarrollado por el estudiante de ingeniería Civil **Noé David Ren Mateo**, quién contó con la asesoría del Ing. José Gabriel Ordoñez Morales.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo, doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

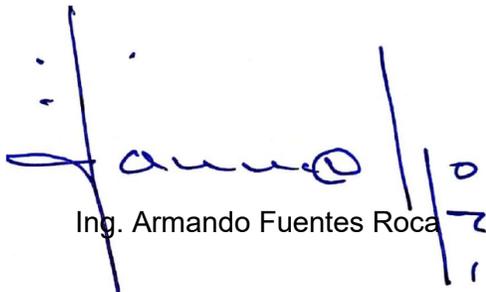
Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Coordinador del área de Materiales de Construcción y obras civiles



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor **Ing. José Gabriel Ordoñez Morales** y del coordinador del área de materiales **Ing. Hugo Leonel Montenegro F** sobre el trabajo de graduación del estudiante **Noé David Ren Mateo**, Quien se identifica con el número de carne **2007 21993** titulado **“PRUEBAS DE IMPACTO CON PROYECTILES DE ARMA DE FUEGO EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA: BLOCKS DE CONCRETO”**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Armando Fuentes Roca



Guatemala, octubre 2021/afr.



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG.565.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PRUEBAS DE IMPACTO CON PROYECTILES DE ARMA DE FUEGO EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA: BLOCKS DE CONCRETO**, presentado por el estudiante universitario: **Noé David Ren Mateo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mi Padre Celestial

Por darme la bendición y privilegio de nacer en el seno de un hogar lleno de amor, comprensión, valores y principios morales.

Mi papá

Augusto Ren (q. e. p. d.), por trabajar tantos años en esta vida llena de pruebas y al final de tu camino luchaste hasta el último momento por criar hijos de bien, con principios y valores. En lo personal me enseñaste a trabajar con dedicación y a ser una mejor persona para la sociedad. Este trabajo de graduación y carrera universitaria va dedicada a ti papá, que por siempre vivirás en mi corazón, te amo.

Mi mamá

Marta Julia Mateo, por darme la vida y por soportar tantas dificultades que se han presentado en tu vida, por tener el coraje de romper cadenas y obtener tantos logros, por esa paciencia que desarrollaste para cuidarme, educarme y nunca cansarte, y siempre creer en mí.

Mis hermanas

Eliza Carolina y Brenda Paola Ren Mateo, por siempre apoyarme durante estos años de universidad y siempre estar ahí en los momentos difíciles de mi vida y familiares.

Mi esposa

Carmen Elena Galdámez Molina, por tener la paciencia y la comprensión de apoyarme en este camino que le llamamos vida, por aceptarme con mis errores y flaquezas y, sin embargo, jamás dejar de creer en mí.

Mi hijo

Guillermo Benjamín Ren Galdámez, por ser esa luz que vino a cambiar mi mundo y el de muchos de la familia y ser ese motor que necesitaba en mi vida para culminar este episodio. Siempre serás mi inspiración.

Mis sobrinos

Sebastián, Nirvana y Bruno Mejía; Valeria y Daniela Sandoval, por darle color y vida a la familia y sobre todo a mis papás.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi *alma mater* y abrigarme en estos años académicos, por prepararme como profesional que aportará algo bueno al país.

Facultad de Ingeniería

Por educarme y formarme como profesional, por brindarme el conocimiento necesario que será de mucha utilidad en estos años venideros.

Mi asesor

Ing. Civil José Gabriel Ordoñez Morales, por apoyarme, confiar en mí y en mis capacidades para el desarrollo de este trabajo de graduación y por ser más que un catedrático, un amigo que siempre me aconseja y me orienta para hacer las cosas bien.

**Mis amigos de la
Universidad**

André Abad, Jorge Aldana, Caleb Alvarado, Katherin de Paz, Josué Navarro, Jaime Rojas, Dulce España, Diego Soto, Darlin Pereda, Marcela Méndez, Sharon Archila, Lucía Castillo, Dulce Debroy, José Estrada, Edgar Choxom, Diego Santiesteban porque sin ustedes y muchos otros mas no hubiera logrado este triunfo.

Amigos de la cuadra

Julio Alecio, Dennis Marroquín, Bryan y Henry Zuleta, por su amistad y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes generales.....	1
1.1.1. Arma más utilizada para cometer homicidios en Guatemala	1
1.1.1.1. Homicidios provocados por armas de fuego.....	3
1.1.1.1.1. Homicidios provocados por armas de fuego en el departamento de Guatemala.....	5
1.2. Problemática de la inseguridad en Guatemala.....	8
1.2.1. Zonas de riesgo en Guatemala.....	8
1.2.2. Causas y efectos provocados en homicidios cometidos con armas de fuego.....	9
1.2.2.1. Balas perdidas.....	10
1.2.3. Viviendas de mampostería en Guatemala.....	11

1.2.4.	Antecedentes de impactos de proyectiles de armas de fuego	13
1.2.4.1.	Impacto de proyectiles de armas de fuego en cuerpos u objetos	13
1.2.4.2.	Impactos de proyectiles de armas de fuego en concreto reforzado.....	16
1.2.4.3.	Penetración de los proyectiles a diferentes distancias y diferentes superficies	17
1.2.5.	Armas de fuego en Guatemala.....	19
1.3.	Generalidades de los blocks de concreto.....	20
1.3.1.	Materiales utilizados para la fabricación de blocks de concreto.....	21
1.3.2.	Blocks de concreto normados	22
1.3.2.1.	Resistencia mecánica y absorción en los blocks de concreto según la Norma COGUANOR NTG 41054	22
1.3.2.2.	Ensayo de absorción o porcentaje de humedad, según la Norma COGUANOR NTG 41054.....	23
1.3.2.3.	Densidad del block de concreto, según la Norma COGUANOR NTG 41054	24
1.3.2.4.	Áreas y volúmenes del block de concreto, según la Norma COGUANOR NTG 41054.....	24
1.3.2.5.	Resistencia a la compresión, según la Norma COGUANOR NTG 41054	25

	1.3.2.6.	Blocks de concreto que no cumplen con la norma.....	26
1.4.		Balística.....	27
	1.4.1.	Antecedentes generales de la balística	27
	1.4.2.	Clasificación de las armas de fuego	28
	1.4.3.	La bala o proyectil.....	29
	1.4.4.	Física de un disparo	31
	1.4.4.1.	Obtención de la velocidad inicial de un proyectil	36
	1.4.5.	Clases de balística.....	41
	1.4.5.1.	Balística interior	41
	1.4.5.2.	Balística exterior	43
	1.4.5.3.	Balística de efectos.....	43
2.		DESARROLLO EXPERIMENTAL	47
2.1.		Diseño del experimento	47
	2.1.1.	Distancia del disparo	47
	2.1.2.	Partes del experimento	48
	2.1.3.	Montaje del experimento	57
2.2.		Recolección de muestras para el experimento.....	60
	2.2.1.	Cantidad de muestras por utilizar	64
	2.2.2.	Ensayos previos al experimento	64
2.3.		Ensayos efectuados	65
	2.3.2.	Peso de las ojivas.....	69
2.4.		Cálculos efectuados	70
	2.4.1.	Cálculo de la energías y fuerza de rozamiento.....	70
2.5.		Resultados obtenidos	71
2.6.		Comparación y análisis de los resultados obtenidos	74
	2.6.1.	Discusión de resultados con arma calibre 9 mm	75

2.6.2.	Discusión de resultados con escopeta calibre 12....	77
2.6.3.	Comparación de la resistencia a la compresión de los blocks de concreto vs. energía residual.....	80
2.6.3.1.	Correlación block de concreto que no cumplen con la norma vs. energía residual.....	81
2.6.3.2.	Correlación block de concreto normado vs. energía residual.....	83
2.7.	Costo del proyecto	84
CONCLUSIONES.....		85
RECOMENDACIONES		87
BIBLIOGRAFÍA.....		89
APÉNDICES.....		93
ANEXOS.....		95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Homicidios anuales registrados del 2001 al 2021	3
2.	Muertes provocadas por proyectiles de armas de fuego 2015-2020.....	6
3.	Viviendas particulares por material predominante en las paredes exteriores	12
4.	Marcas producidas por impactos a diferentes distancias	19
5.	Proyectiles constituidos por varios elementos.....	31
6.	Péndulo balístico	37
7.	Percusión de un cartucho de fuego central	43
8.	Base principal.....	49
9.	Base porta block	50
10.	Aletas	51
11.	Cronógrafo balístico	52
12.	Base porta arma.....	53
13.	Armas.....	54
14.	Calibres por utilizar.....	54
15.	Solicitud para uso de arma M16 dirigida al Servicio de Material de Guerra del Ministerio de la Defensa	55
16.	Respuesta para uso de arma M16 del Servicio de Material de Guerra del Ministerio de la Defensa	56
17.	Fábrica de block en Villa Nueva.....	61
18.	Fábrica de block en Mixco.....	62
19.	Fábrica de block en la zona 18 de la ciudad de Guatemala.....	63
20.	Ojiva atrapada dentro del block de concreto	67

21.	Daños en la pared posterior del block de concreto, producidos por la ojiva calibre 12.....	68
22.	Peso de las ojivas.....	69
23.	Absorción de la energía cinética en un block tipo A.....	77
24.	Penetración de la ojiva calibre 12 en blocks que no cumplen con la norma.....	79
25.	Penetración de la ojiva calibre 12 en blocks normados.....	80

TABLAS

I.	Principales armas utilizadas para cometer homicidios en Guatemala del 2015 al 2020.....	2
II.	Homicidios provocados por proyectiles de armas de fuego del 2015 al 2020.....	4
III.	Reporte de muertes provocadas por proyectiles de armas de fuego 2015-2020.....	5
IV.	Causas y efectos de los homicidios.....	9
V.	Viviendas particulares por material predominante en las paredes exteriores.....	11
VI.	Signos producidos por la pólvora.....	13
VII.	Componentes que conforman los tatuajes.....	14
VIII.	Penetración de proyectiles de armas de fuego a diferentes distancias.....	17
IX.	Penetración de proyectiles de armas de fuego en diferentes materiales.....	18
X.	Materiales.....	21
XI.	Especificaciones para blocks de concreto tipo A, B y C.....	25
XII.	Dimensiones de blocks de concreto tipo A, B y C.....	26
XIII.	Espesores de las paredes de blocks de concreto tipo A, B y C.....	26

XIV.	Montaje del experimento	58
XV.	Fechas de fabricación, ensayos e impactos.....	60
XVI.	Resumen de los ensayos realizados a los blocks de concreto de las tres fábricas seleccionadas	64
XVII.	Disparos con arma 9 mm a 2,5 metros de distancia	65
XVIII.	Disparos con arma 9 mm a 5 metros de distancia	65
XIX.	Disparos con arma 9 mm a 10 metros de distancia	66
XX.	Disparos con escopeta 12 a 2,5 metros de distancia	66
XXI.	Disparos con escopeta 12 a 5 metros de distancia	66
XXII.	Disparos con escopeta 12 a 10 metros de distancia	67
XXIII.	Peso de las ojivas	69
XXIV.	Energías y fuerza de rozamiento a 2,5 m con calibre 9 mm	72
XXV.	Energías y fuerza de rozamiento a 5 m con calibre 9 mm	72
XXVI.	Energías y fuerza de rozamiento a 10 m con calibre 9 mm	72
XXVII.	Energías y fuerza de rozamiento a 2,5 m con calibre 12	73
XXVIII.	Energías y fuerza de rozamiento a 5 m con calibre 12	73
XXIX.	Energías y fuerza de rozamiento a 10 m con calibre 12	73
XXX.	Análisis de resultados para el calibre 9 mm	76
XXXI.	Análisis de resultados para el calibre 12	78
XXXII.	Esfuerzo a la compresión vs. energía residual en blocks que no cumplen con la norma	81
XXXIII.	Esfuerzo a la compresión vs. energía residual en blocks normados....	83
XXXIV.	Costos del proyecto.....	84

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
cm³	Centímetro cúbico
g	Gramo
J	Joule
Kg	Kilogramo
kg/cm²	Kilogramo sobre centímetro cuadrado
kg/cm³	Kilogramo sobre centímetro cúbico
Mpa	Mega pascales
m	Metro
m/s	Metros por segundo
mm	Milímetro
N	Newton
grano	Unidad de masa en el sistema inglés

GLOSARIO

Área bruta	Superficie normal al eje del o de los huecos, sin descontar la superficie del o de los huecos, normal a su eje; es decir, es el producto del largo por el ancho del bloque.
Área neta	Es igual a la superficie bruta menos la superficie de los huecos, se calcula multiplicando el área bruta por la relación del volumen neto al volumen bruto, y también dividiendo el volumen neto entre la altura del bloque.
CFB	Cemento para fabricantes de <i>blocks</i> de alta resistencia inicial.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Cronógrafo balístico	Herramienta que se utiliza para medir la velocidad de un proyectil disparado por un arma de arma.
DIGICAM	Dirección General de Control de Armas y Municiones.
Energía cinética	El producto de la multiplicación de la velocidad del proyectil por su masa.

Energía residual	Es la que conserva el proyectil después de haber perforado el blanco.
Fuerza de rozamiento	Fuerza que se opone a la penetración por el proyectil del arma de fuego y va en sentido contrario al vector velocidad.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
<i>Momentum</i>	Una magnitud física derivada de tipo vectorial que describe el movimiento de un cuerpo en cualquier teoría mecánica. En mecánica clásica, la cantidad de movimiento se define como el producto de la masa del cuerpo y su velocidad en un instante determinado.
MPS	<i>Meters per seconds</i> (metros por segundo).
Ojiva	Parte delantera del proyectil y su sección longitudinal tiene esta forma. También se llama cabeza de guerra o batalla.
PNC	Policía Nacional Civil.
Porcentaje de área neta	Es la relación del volumen neto del bloque al volumen total o bruto de este multiplicado por 100.
SI	Sistema Internacional de Unidades (metro, kilogramo, segundo).

<i>Slug</i>	Tipo de proyectil que, a diferencia de los perdigones es una sola pieza de metal en el extremo superior del cartucho y en el extremo inferior puede ser de cartón o plástico.
thpcmh	Tasa de homicidios por cada cien mil habitantes.
Volumen bruto	Volumen del bloque, calculado con sus medidas principales.
Volumen neto	Volumen del <i>block</i> calculado de dividir la masa seca del <i>block</i> , entre la densidad aparente del mismo.

RESUMEN

En la actualidad, el problema de inseguridad ha ido en aumento. A diario se escucha y se lee en los noticieros, periódicos, redes sociales; situaciones de asaltos, robos, extorsiones, asesinatos. La mayoría de los casos son cometidos con armas de fuego de diferentes calibres. Por consiguiente, todas las personas se encuentran expuestas ante estos hechos de inseguridad. Las viviendas, como parte fundamental para la vida, también están expuestas a estos peligros y son las que deberían de proporcionar un nivel adecuado de seguridad a la población en general.

De acuerdo con el último censo realizado en el 2018, la tipología estructural más utilizada en todo el territorio nacional es la mampostería tipo *block* de concreto.

En este trabajo de graduación se propuso una metodología con la cual se ensayaron impactos de proyectiles de armas de fuego en *blocks* de concreto normados, así como los que no cumplen con la norma. Luego con los datos obtenidos se procedió a realizar una comparación con el fin de evaluar la capacidad que poseen los blocks de absorber energía cinética, energía residual y fuerza de rozamiento. Esto con el fin de determinar qué tan vulnerable es una vivienda familiar.

OBJETIVOS

General

Identificar la resistencia de las unidades de mampostería tipo *block* de concreto, ante la aplicación de cargas de impacto de proyectiles de armas de fuego.

Específicos

1. Comprobar a través de ensayos de laboratorio, la calidad de los *blocks* de concreto sin sello garantía, según Norma COGUANOR NTG 41054.
2. Diseñar un método de ensayo que permita experimentar y determinar la resistencia de los *blocks* de concreto, ante la aplicación de cargas de impacto de proyectiles de armas de fuego.
3. Exponer los *blocks* de concreto a cargas de impacto de proyectiles de armas de fuego de acuerdo con el método de ensayo, previamente diseñado.
4. Establecer la correlación que pueda existir entre la resistencia a la comprensión y la resistencia al impacto.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala existen sectores o zonas vulnerables en el tema de seguridad. Se han clasificado estos como zonas de bajo, medio y alto riesgo. La tasa de homicidios crece cada año. En Guatemala, el porcentaje de viviendas edificadas con *blocks* de concreto es alto, debido a que es la tipología estructural más utilizada por su fácil adquisición.

No existe una metodología que pueda ser utilizada para obtener la resistencia de *blocks* de concreto al aplicarles cargas de impactos por proyectiles de armas de fuego de diferentes calibres. Razón por la cual se diseñó y propuso un método de ensayo, aplicándolo en pruebas de impactos de proyectiles con armas de fuego en los *blocks* de concreto de diferentes resistencias nominales.

Para realizar las pruebas se tomó una muestra de seis *blocks* de diferentes resistencias, los cuales fueron colocados a diferentes distancias, seguido de esto fueron impactados con diferentes calibres de proyectiles de armas de fuego, después se clasificaron por el daño que el proyectil pudo ocasionar en ellos.

El estudio buscó determinar la resistencia de los *blocks* de concreto al ser impactados con los proyectiles de armas de fuego, luego analizar alguna correlación que pudiera existir con la resistencia a la compresión y la resistencia ante la aplicación de cargas de impactos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes generales

En Guatemala, después de la firma de la paz en diciembre de 1996, se esperaba que el índice de inseguridad disminuyera, debido a que una de las causas de homicidios se adjudicaba al conflicto armado interno. En la actualidad la realidad es otra. Las armas más utilizadas para cometer homicidios y asesinatos en todo el territorio nacional son variadas, entre las cuales se pueden mencionar:

- Arma de fuego
- Arma blanca
- Objeto contundente
- Estrangulamiento

1.1.1. Arma más utilizada para cometer homicidios en Guatemala

Como se describió anteriormente, son varias las armas utilizadas para cometer homicidios. Lo cual conlleva a realizar un análisis en relación con cuál de ellas es la más común para delinquir, asechar, intimidar y cometer asesinatos. Además, es necesario fundamentar el porqué del estudio de los proyectiles de armas de fuego. Para lograr esto, se procedió a tamizar todos los homicidios registrados por la PNC del 2015 al 2020, tal como se muestra en la tabla I.

Tabla I. **Principales armas utilizadas para cometer homicidios en Guatemala del 2015 al 2020**

Homicidios por	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Arma de fuego	3 899	3 574	3 436	3 102	2 819	1 985
Arma blanca	533	540	470	379	366	317
Objeto contundente	185	232	269	210	162	117
Estrangulamiento	138	144	223	186	190	138

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la PNC.

Con base en los resultados obtenidos después de tamizar todos los homicidios registrados con las principales armas utilizadas, se pudo observar que la más común es la de fuego.

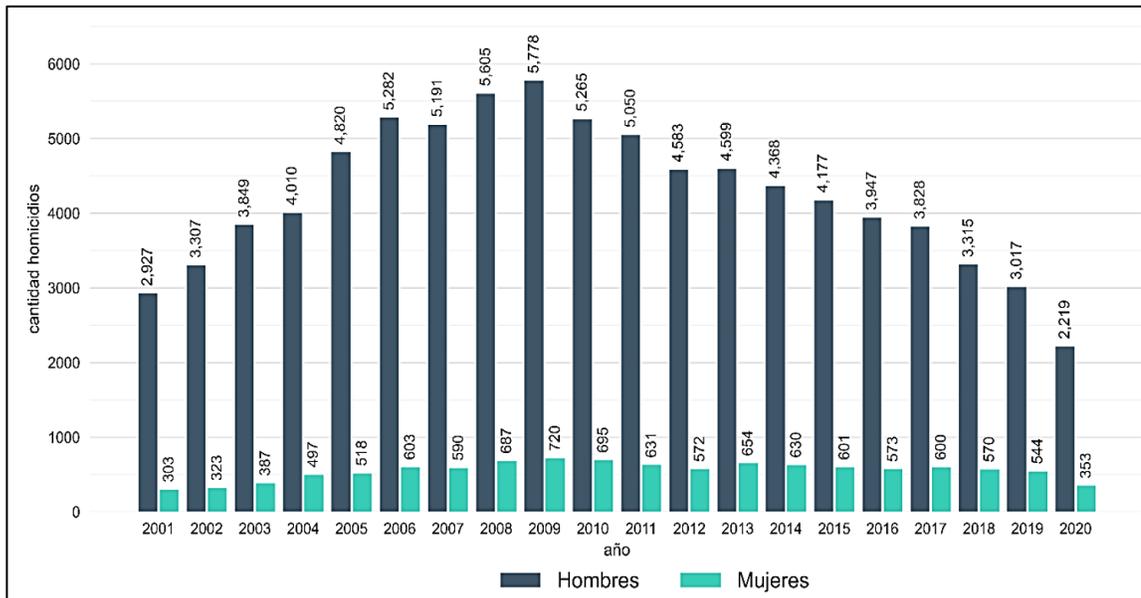
Según el reporte presentado por el economista Carlos Mendoza en diciembre del 2020, asegura que:

Durante el mes de diciembre de 2020, en la República de Guatemala se registró un total de 228 homicidios para ambos sexos (33 mujeres y 195 hombres). En lo que va del año, se ha registrado un total de 2 572 homicidios para ambos sexos (353 mujeres y 2 219 hombres)¹.

En la figura 1 se muestra una gráfica, con datos de los homicidios reportados por la PNC en los últimos 20 años, esto quiere decir que se encuentran todos los homicidios con las diferentes armas anteriormente enlistadas en el inciso 1.1.

¹ MENDOZA, Carlos. *Informe sobre la violencia homicida en Guatemala: diciembre de 2020*. <https://bit.ly/38GZdOr>. Consulta: 5 de septiembre de 2021.

Figura 1. Homicidios anuales registrados del 2001 al 2021



Fuente: MENDOZA, Carlos. *Informe sobre la violencia homicida en Guatemala: diciembre de 2020*. <https://bit.ly/38GZdOr>. Consulta: 5 de septiembre de 2021.

1.1.1.1. Homicidios provocados por armas de fuego

Para reducir el área de estudio y detectar en qué departamentos del país se comenten más homicidios con proyectiles de armas de fuego, se procedió a tamizar los decesos reportados por la PNC a partir del 2015 al 2020, en todo el territorio nacional. Los resultados se presentan en la tabla II.

Tabla II. **Homicidios provocados por proyectiles de armas de fuego del 2015 al 2020**

No.	Departamento	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	Guatemala	1 313	1 398	1 484	1 228	1 191	653
2	El Progreso	46	86	34	42	26	24
3	Sacatepéquez	47	23	35	25	35	16
4	Chimaltenango	96	80	84	82	66	49
5	Escuintla	519	438	341	315	355	267
6	Santa rosa	150	97	129	108	76	81
7	Sololá	8	18	12	9	9	13
8	Totonicapán	3	1	6	4	2	0
9	Quetzaltenango	131	89	120	140	85	80
10	Suchitepéquez	101	68	50	48	33	24
11	Retalhuleu	98	68	62	59	44	41
12	San Marcos	106	89	86	71	77	41
13	Huehuetenango	61	49	46	31	29	24
14	Quiché	13	14	16	13	5	8
15	Baja Verapaz	17	18	15	24	14	7
16	Alta Verapaz	52	65	46	56	40	27
17	Petén	258	231	202	207	144	109
18	Izabal	223	210	175	178	153	162
19	Zacapa	155	126	124	113	124	69
20	Chiquimula	217	158	169	120	111	114
21	Jalapa	111	103	75	101	95	79
22	Jutiapa	174	145	125	128	105	97
	Total	3 899	3 574	3 436	3 102	2 819	1 985

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la PNC.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla II, el departamento de Guatemala es el que presenta el mayor índice de homicidios en todo el territorio nacional.

1.1.1.1. Homicidios provocados por armas de fuego en el departamento de Guatemala

A continuación, en la tabla III se presentan los homicidios reportados por la PNC desde el 2015 al 2020, en el departamento de Guatemala.

Tabla III. **Reporte de muertes provocadas por proyectiles de armas de fuego 2015-2020**

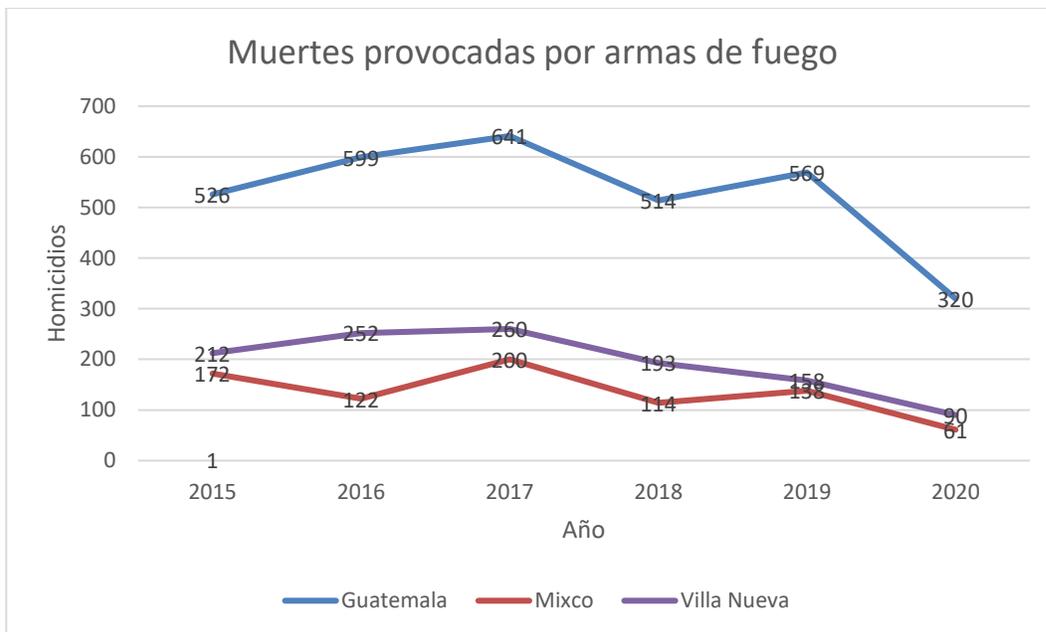
Año	Guatemala	Santa Catarina Pinula	San José Pinula	San José del Golfo	Palencia	Chinautla
2015	526	66	17	0	14	57
2016	599	53	9	1	15	52
2017	641	61	15	0	10	64
2018	514	44	13	0	9	46
2019	569	41	23	1	12	19
2020	320	25	10	1	5	11
Promedio	528	48	15	1	11	42
	San Pedro Ayampuc	Mixco	San Pedro Sacatepéquez	San Juan Sacatepéquez	San Raymundo	Chuarancho
2015	47	172	2	23	0	1
2016	38	122	3	76	1	1
2017	25	200	4	61	5	0
2018	51	114	5	46	0	0
2019	32	138	0	48	0	0
2020	20	61	0	20	3	0
Promedio	36	135	2	46	2	0
	Fraijanes	Amatitlán	Villa Nueva	Villa Canales	Petapa	
2015	18	56	212	61	41	
2016	30	50	252	68	28	
2017	19	47	260	32	40	
2018	27	76	193	54	36	
2019	16	35	158	56	43	
2020	6	30	90	28	23	
Promedio	19	49	194	50	35	

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la PNC.

Según los resultados obtenidos en la tabla III se observa que, de los 17 municipios del departamento de Guatemala, tres son los que tienen el mayor índice de homicidios, siendo estos:

- Guatemala o ciudad capital con un promedio de 528 homicidios por año
- Villa Nueva con un promedio de 194 homicidios por año
- Mixco con un promedio de 135 homicidios por año

Figura 2. **Muertes provocadas por proyectiles de armas de fuego 2015-2020**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la PNC.

Hay que mencionar que la tasa de homicidios está basada por cada 100 000 habitantes. Los indicadores de violencia permiten comparar datos de un país o ciudad con otros países y ciudades. Básicamente, este indicador informa

una proporción de la población total que fue víctima de un homicidio en una masacre establecida un período (generalmente un año).

Esta relación se calcula dividiendo el número total de homicidios registrados (ciudad o país) en determinado período de tiempo y se multiplica por la población total del lugar y luego multiplica por 100 000.

$$(thpcmh) = \frac{\text{Número de homicidios} * 100\ 000}{\text{Población}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

thpcmh = tasa de homicidios por cada 100 000 habitantes

Durante el mes de diciembre de 2020, en el departamento de Guatemala se registró un total de 74 homicidios para ambos sexos (11 mujeres y 63 hombres). En lo que va del año, se ha registrado un total de 826 homicidios para ambos sexos (122 mujeres y 704 hombres). La tasa interanual para ambos sexos al mes de diciembre 2020, fue de 23,4 homicidios por cada cien mil habitantes, lo que representa un cambio de - 44,2 % respecto al año anterior. Para mujeres la tasa interanual fue de 6,6 homicidios por cada cien mil mujeres, lo que representa un cambio de - 53,7 % respecto al año anterior. Y para hombres la tasa interanual fue de 41,4, un cambio de - 42,1 % respecto al año anterior².

Con todo lo descrito anteriormente, se logró identificar el departamento y municipios con el mayor índice de homicidios, con el fin de reducir el área de estudio y, a la vez, conocer en dónde hay que obtener las muestras (*blocks* de concreto) para realizar el experimento.

Quedando como áreas de estudio, ciudad capital, Villa Nueva y Mixco.

² MENDOZA, Carlos. *Informe sobre la violencia homicida en Guatemala: diciembre de 2020*. <https://bit.ly/38GZdOr>. Consulta: 5 de septiembre de 2021.

1.2. Problemática de la inseguridad en Guatemala

Guatemala se ha convertido en un país extremadamente violento y enfrenta serias dificultades en la vida y el desarrollo.

Millones de personas en Guatemala viven en entornos extremadamente vulnerables; la violencia, los linchamientos, las amenazas, la extorsión, el robo, la violación y la muerte son parte del lenguaje y de la vida cotidiana. Ante esto, las autoridades nacionales no han promovido garantías para erradicar esta problemática.

La violencia y la inseguridad son causadas por diferentes factores económicos y sociales. Una de los principales es la falta de empleo y oportunidades en el país. A esto hay que agregar la falta de educación, ignorancia y valores en muchas familias guatemaltecas. Esta mezcla ha abierto el camino para vulgares ladrones, ladrones en motocicletas, narcotraficantes o policías corruptos, criminales organizados, entre otros.

Se puede decir que, todos estos delincuentes usan armas de fuego para asesinar, amedrentar, asechar, delinquir, entre otros.

1.2.1. Zonas de riesgo en Guatemala

Como se demostró en la tabla II, el departamento de Guatemala cuenta con el índice más elevado de delincuencia y homicidios en todo el territorio nacional. Posterior a ello se logró demostrar en la tabla III, que de los 17 municipios de dicho departamento, tres de ellos son las zonas con mayor riesgo, siendo estos: Guatemala, Villa Nueva y Mixco.

1.2.2. Causas y efectos provocados en homicidios cometidos con armas de fuego

Son muchas las causas que se podrían describir en cuanto a un homicidio provocado por un arma de fuego, pero, entre los más comunes se pueden mencionar:

- Por robo o asaltos
- Por venganza
- Extorsiones
- Balas perdidas

Tabla IV. Causas y efectos de los homicidios

Tipo	Causa	Efecto
Robo o asaltos	Despojo de bienes materiales	Pérdida de la vida humana.
Venganza	Generalmente sucede por discusiones entre dos o más individuos, estas pueden ser entre familiares, vecinos, amigos, entre otros.	Pérdida de la vida humana.
Extorsión	Se ha vuelto una de las causas más comunes en el territorio nacional y debido a que, organizaciones conocidas como las maras, pandillas utilizan como método el intimidar. Con esto buscan imponer una cuota mensual, semanal de dinero a muchos comerciantes en el país. Amenazan con quitarles la vida si no pagan dicha cuota impuesta.	Esto ha ocasionada que muchas personas pierdan la vida, sus negocios y que quiebren o simplemente los clausuren.
Balas perdidas	Esto se genera cuando existe algún enfrentamiento entre diferentes bandos. Generalmente policías contra pandillas, organizaciones del narcotráfico, así como individuos que realizan disparos al aire.	Pérdida de la vida humana en personas que posiblemente hayan estado por casualidad cerca del lugar o incluso refugiados en sus viviendas.

Fuente: elaboración propia.

1.2.2.1. Balas perdidas

Como se mencionó en la tabla IV, esta causa es común que se dé en todo el territorio nacional y son muchas las personas que han sido heridas y hasta han perdido la vida de esta manera. Esto lleva a realizar las siguientes preguntas:

- ¿Qué probabilidad existe que pueda ser impactado por una bala perdida?
- ¿Qué tan insegura es la zona, el barrio, la colonia en donde se vive?
- ¿Qué tan segura es la vivienda para salvaguardarse de un impacto de proyectil de arma de fuego?
- ¿Las paredes de la casa tienen la resistencia necesaria para absorber en su totalidad la energía remanente de un proyectil de un arma de fuego en movimiento?
- ¿Existe alguna manera de mejorar la resistencia de los muros de la vivienda y volverla más segura ante una bala perdida?

No es fácil responder a todas estas preguntas debido a que no existen datos recientes que indiquen cuántos homicidios fueron propiciados por balas perdidas. Pero de lo que sí se puede estar seguro es, que los muros y techos de las viviendas están propensas a este tipo de siniestros, y si bien es cierto que no se puede contralar el riesgo, lo que sí se puede reducir es la vulnerabilidad que las casas puedan presentar ante esto y hacer cambios con metodologías constructivas.

1.2.3. Viviendas de mampostería en Guatemala

De acuerdo con el censo realizado por el INE en el 2018, en la tabla V, así se clasifican las viviendas, según su tipología estructural en todo el territorio nacional.

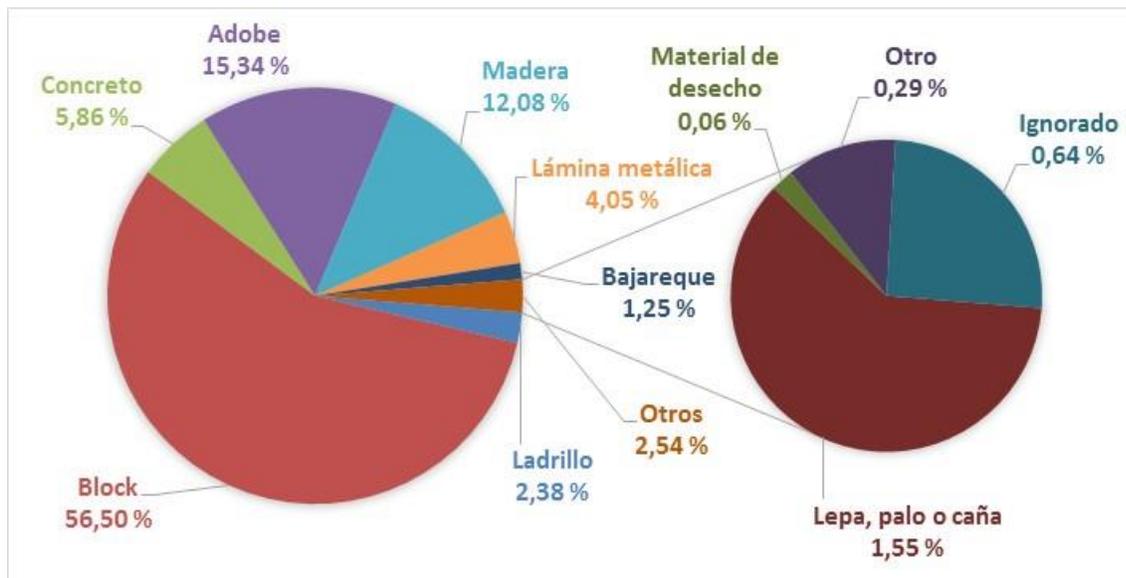
Tabla V. **Viviendas particulares por material predominante en las paredes exteriores**

No.	Departamento	Material predominante en las paredes exteriores										
		Ladrillo	Block	Concreto	Adobe	Madera	Lámina metálica	Bajareque	Lepa, palo o caña	Material de desecho	Otro	Ignorado
	Total nacional	93 843	2 227 221	230 949	604 600	476 307	159 618	49 197	61 066	2 325	11 501	25 415
1	Guatemala	57 515	604 803	90 490	19 386	16 059	64 985	293	2 103	94	990	16 986
2	El Progreso	456	37 194	1 212	7 700	3 356	1 029	2 219	659	52	83	149
3	Sacatepéquez	1 709	68 780	3 580	1 170	1 731	8 171	85	1 145	8	361	1 633
4	Chimaltenango	1 866	110 905	3 273	12 055	4 820	7 270	2 227	1 636	25	291	476
5	Escuintla	2 174	158 073	13 274	513	10 035	21 086	144	2 290	293	727	842
6	Santa Rosa	1 202	78 869	1 316	18 174	7 013	5 991	787	2 379	104	590	228
7	Sololá	501	66 742	1 641	19 860	8 268	3 013	322	473	16	918	165
8	Totonicapán	418	45 382	4 869	54 683	1 158	591	42	178	23	15	243
9	Quetzaltenango	3 060	150 164	21 221	21 464	11 199	5 045	136	652	85	486	467
10	Suchitepéquez	1 202	93 515	9 280	598	22 250	9 537	136	1 858	265	1 310	175
11	Retalhuleu	618	57 214	7 160	312	15 983	4 216	191	1 556	95	368	156
12	San Marcos	2 179	124 297	34 528	68 768	31 395	5 291	581	1 492	149	856	606
13	Huehuetenango	2 007	128 030	10 542	115 441	40 657	4 223	309	1 737	94	616	661
14	Quiché	2 558	59 657	5 916	96 793	47 959	1 753	743	1 539	79	157	566
15	Baja Verapaz	469	31 009	1 192	35 467	11 127	687	715	2 874	35	156	40
16	Alta Verapaz	478	78 168	5 428	1 670	134 580	7 653	1 268	23 944	207	444	365
17	Petén	352	66 010	3 884	1 164	68 629	1 932	493	3 473	169	306	212
18	Izabal	677	61 505	7 495	1 200	32 429	1 295	1 166	6 187	101	863	415
19	Zacapa	673	47 360	1 388	9 809	2 943	1 373	10 731	821	98	248	199
20	Chiquimula	648	46 623	1 126	33 185	757	1 168	21 133	1 595	172	1 457	169
21	Jalapa	2 506	33 187	1 092	44 732	2 843	977	1 505	999	60	45	172
22	Jutiapa	10 575	79 734	1 042	40 456	1 116	2 332	3 971	1 476	101	214	490

Fuente: INE. *Resultados del censo 2018*. <https://www.censopoblacion.gt/explorador>. Consulta:

22 de septiembre de 2021.

Figura 3. **Viviendas particulares por material predominante en las paredes exteriores**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del censo 2018, INE.

De acuerdo con el censo de 2018 y lo descrito en la figura 3, el material más utilizado para la edificación de muros para viviendas es la mampostería. Quiere decir que el 56,50 % de viviendas están edificadas con *blocks* de concreto, en todo el territorio nacional. Estos resultados son un indicador de que este sistema constructivo ha sido muy aceptado y en consecuencia han aparecido muchas fábricas de *blocks* de concreto, tanto normadas como no normadas. Es aquí donde surge otra pregunta:

- ¿Un *block* de concreto que no está fabricado bajo norma tiene la misma capacidad de absorción de energía residual, comparado con un *block* que sí esté fabricado con las normas que han sido establecidas en Guatemala?

Esta última pregunta sirvió de apoyo para realizar la investigación y el experimento que se propuso en este trabajo de graduación. Para lograrlo fue necesario recopilar información de otros trabajos realizados en cuanto al tema de impactos provocados por proyectiles de armas de fuego.

1.2.4. Antecedentes de impactos de proyectiles de armas de fuego

Para tener una idea más clara en el desarrollo experimental de este trabajo de graduación, se recopiló información de otras fuentes, en cuanto a investigaciones, ensayos, pruebas recopiladas de lugares en donde se han cometido homicidios provocados con proyectiles de armas de fuego, para luego entender el comportamiento de estos al momento de impactar en diferentes materiales, cuerpos u objetos.

1.2.4.1. Impacto de proyectiles de armas de fuego en cuerpos u objetos

Los proyectiles provocan daños en los objetos, superficies o cuerpos en los que impactan y, al mismo tiempo, las señas o marcas se atribuyen a la pólvora, al momento que entran en contacto.

Tabla VI. **Signos producidos por la pólvora**

Signo	Significado
Tatuaje	Deflagración completa o incompleta de la pólvora.
Tatuaje propiamente dicho	Se compone por la quemadura, chamuscamiento o fagonazo, sin olvidar el grano de pólvora. Este no desaparece por el lavado. Este se conoce porque deja incrustaciones de pólvora en la superficie de contacto.

Continuación de la tabla VI.

	Otra forma de reconocerlo es por el hecho que al momento de impactar en el objetivo no solo quedan incrustaciones en la superficie, sino que también quedan incrustaciones de pólvora alrededor del orificio provocado.
Tatuaje falso, pseudotatuaje o ahumamiento	Este como su nombre lo indica, se le denomina falso, pseudo o ahumamiento, por el simple hecho que solo se da por encima de la piel, oscureciendo, por lo que desaparece con el lavado, ya que no se impregna como el tatuaje propiamente dicho.

Fuente: MUÑOZ LUN, Estefany Evanely. *Análisis y comparaciones de los efectos producidos por proyectiles de arma de fuego en la víctima y en superficies dentro de escenas del crimen mixtas.* p. 46.

Para lograr definir el tipo de tatuaje es necesario delimitar los componentes del tatuaje descritos en la tabla VII.

Tabla VII. **Componentes que conforman los tatuajes**

Quemadura	Las quemaduras son producidas por los disparos a boca de jarro y a quemarropa, siendo los disparos de corta distancia o en contacto con la víctima u objeto. La lesión que estos disparos producen son quemaduras de primer grado, las expectativas más altas, para que esto suceda se da mediante el uso de pólvora negra, siendo así muy difícil con pólvora blanca.
Granos de pólvora	No entran en combustión y al momento de salir, debido a la violencia con que fueron expulsados; se alojan en la superficie externa e interna, formando así el tatuaje.
Anillo de <i>fisch</i>	Este anillo es conformado por el halo de enjugamiento y el halo de contusión, es solamente exclusivo del orificio de entrada, y si faltase alguno de estos dos, halo no sería anillo de <i>fisch</i> . Este solo se puede observar en cuerpos que al recibir el impacto estaban con vida.

Fuente: MUÑOZ LUN, Estefany Evanely. *Análisis y comparaciones de los efectos producidos por proyectiles de arma de fuego en la víctima y en superficies dentro de escenas del crimen mixtas.* p. 47.

- Heridas provocadas a diferentes distancias

Al momento de activar el arma y disparar, esta muchas veces se impacta en distintas distancias, y la distancia es un factor del que depende el efecto que producen las lesiones. Entre las cuales están: en contacto firme, a corta distancia, media distancia, a larga distancia.

- En contacto firme: la boca del cañón está en contacto con la superficie en el momento del disparo. Estas heridas se clasifican en:
 - Herida con una escoriación chamuscada
 - Herida estrellada
 - Impronta de la boca del arma
- Heridas a corta distancia: se da cuando su alcance es suficientemente corto para causar el tatuaje de pólvora sobre la superficie. El arma es accionada en distancias inferiores a los 10 mm. Sus características son:
 - El anillo de *fisch*
 - El tatuaje
- Heridas a media distancia: se caracterizan por la presencia de un tatuaje de pólvora alrededor del orificio de entrada. Este tatuaje de pólvora radica en varias lesiones puntiformes, las cuales tienden a rodear el orificio de entrada, la coloración va desde marrón-rojizo hasta rojo-anaranjado. La diferencia con la de corta distancia se refleja en las marcas alrededor del orificio de entrada que deja el proyectil al penetrar un cuerpo.

- Heridas a larga distancia: no poseen ni restos de hollín ni tatuaje. A veces son redondeadas u ovals, y poseen bordes en sacabocados. Las lesiones que un arma de fuego provoca son peligrosas, ya que debido a la velocidad a la que viaja el proyectil puede impactar, penetrar y salir.

1.2.4.2. Impactos de proyectiles de armas de fuego en concreto reforzado

En su investigación titulada *Caracterización del impacto, penetración y perforación de un proyectil multi-rol*, Diago Morena describe el comportamiento de la penetración de los proyectiles con arma de fuego calibre 30 mm, impactados en placas de concreto reforzado; ensayados en laboratorios de la Defensa de España.

También explica, según estudios realizados por Craz en 1921, descubrió que mientras el proyectil se encontraba más cerca del cañón, su poder de penetración era menor y que, a medida que se iba a alejando, su velocidad de rotación aumentaba y el resultado final era una mayor penetración en el blanco.

Además, demuestra que con la ecuación de conservación del *momentum* se puede obtener la velocidad de un proyectil y con esto se puede calcular la energía remanente al momento de impactar en el objetivo.

Al obtener las velocidades iniciales y finales de un proyectil y el espesor del objeto o blanco, se puede calcular la penetración de este. Con estos resultados se determina la cantidad de energía que puede absorber el material penetrado. A esto se le conoce como: energía remanente.

La energía remanente es aquella que un cuerpo u objeto puede absorber después de ser impactado por un proyectil; puede ser total o parcial y esto va de acuerdo con la velocidad con la que es arrojado o lanzado dicho proyectil. También hay que tomar en cuenta la rigidez o dureza que posea el cuerpo u objeto.

1.2.4.3. Penetración de los proyectiles a diferentes distancias y diferentes superficies

Para este inciso se tomó como referencia dos investigaciones para fundamentar la penetración de los proyectiles de las armas de fuego.

- Carlos Guzmán, en su libro titulado *Manual de balística* confirma, lo que Crazn y Moreno indican, con relación a la penetración de los proyectiles de armas de fuego. En las tablas VIII y IX se muestra esta indicación.

Tabla VIII. **Penetración de proyectiles de armas de fuego a diferentes distancias**

Distancia en metros	Penetración en centímetros	
	Súper velocidad 7,12 gramos	Winchester 10,24 gramos
6,40	5,08 cm	4,44 cm
11,00	5,08 cm	5,08 cm
22,00	7,62 cm	6,35 cm

Fuente: GUZMÁN, Carlos. *Manual de balística*. p. 280.

Tabla IX. **Penetración de proyectiles de armas de fuego en diferentes materiales**

Distancia en metros (boca cañón-blanco)	Profundidad de penetración en centímetros		
	Arena	Tierra suelta	Roble
10	11	25	20
50	18	39	19
100	32	62	18
300	46	77	17
600	38	63	15

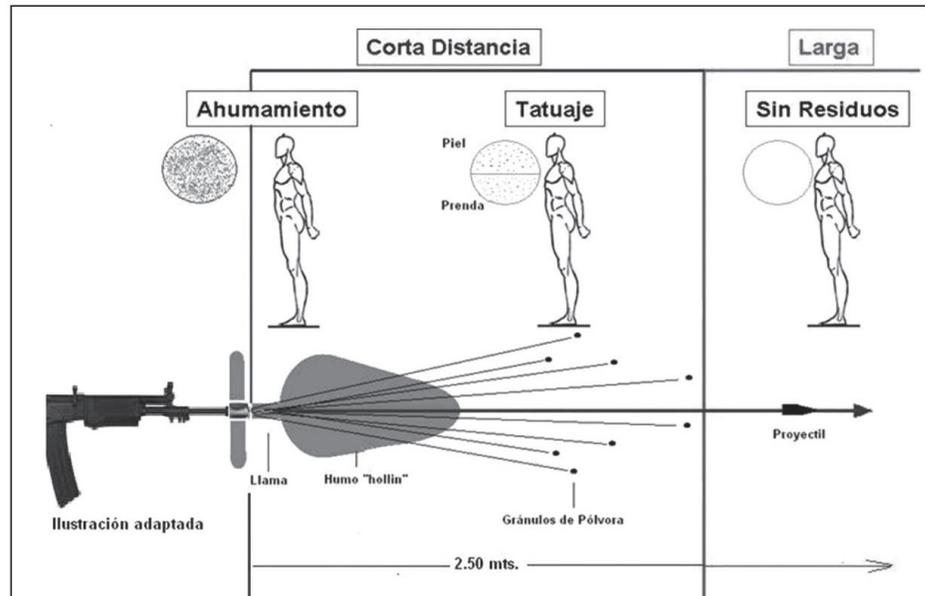
Fuente: GUZMÁN, Carlos. *Manual de balística*. p. 281.

En la tabla IX se puede observar que, en materiales sueltos como la arena o tierra, la penetración aumenta, mientras que en materiales en donde sus partículas se encuentran más unidas, la penetración disminuye, este último dato sirvió como antecedente para proponer la distancia a la cual se colocaron las muestras (los blocks de concreto) en el experimento descrito en el capítulo 2.

- En el artículo titulado *Distancia de disparo y su interpretación frente a la conducción de hostilidades en el conflicto armado colombiano*, los autores después de realizar varias pruebas con un calibre determinado demostraron los efectos producidos a distancias de cero hasta 2,5 metros. Estas distancias se proponen basándose en las heridas provocadas por cortas distancias, medias y largas distancias (estas se pueden ver en el inciso 1.2.4.1.).

En la figura 4 se observan las marcas que se producen por los proyectiles de armas de fuego al penetrar en el blanco a diferentes distancias.

Figura 4. **Marcas producidas por impactos a diferentes distancias**



Fuente: ROMERO ANTURI, Luis Eduardo; NORVEY ZAMBRANO, Jhon; ESPINOSA BLANCO, Nelson Eduardo. *Distancia de disparo y su interpretación frente a la conducción de hostilidades en el conflicto armado colombiano*. p. 302.

1.2.5. **Armas de fuego en Guatemala**

Guatemala es uno de los pocos países que cuenta con leyes que respalda la tenencia de armas de fuego por cada habitante, no importando si este es ciudadano o extranjero, esto, de acuerdo con el artículo 62 de la Ley de Armas y Municiones. Otro país con una ley similar son los Estados Unidos

Del año 2009 al 2014, según Rodrigo Baires Quezada en su artículo titulado *En Guatemala hay un arma por cada 25 habitantes* afirma que:

La Dirección General de Control de Armas y Municiones de Guatemala (DIGECAM), registró 628 932 armas de fuego de diferente calibre a nivel nacional. Es decir, una

tasa de 3 979 armas por cada 100 mil habitantes. O lo que es lo mismo: un arma de fuego por cada 25 guatemaltecos³.

En otro artículo indica que en el 2018 se inscribieron 24 109 armas de fuego y en el 2019 fue un total de 29 165 armas de fuego. Hubo un incremento del 20,97 % de armas inscritas en tan solo un año. De acuerdo con estas cifras descritas anteriormente, se concluye:

La violencia en Guatemala incrementa con el pasar de los años; aunque en el país desde 2010 a la fecha tiene un descenso de homicidios, el problema es que, los más afectados de la delincuencia en su patrimonio o vida son los ciudadanos. Tienen menos recursos y la única alternativa es tener un arma para defender su hogar o su actividad fuera de su casa”, advirtió Mario Mérida, coronel retirado del Ejército⁴.

Con base en todo lo descrito se llegó a la conclusión que es de suma importancia realizar un ensayo de absorción de energía a los *blocks* de concreto normados, así como *blocks* que no cumplen con la norma, debido a que los muros de las viviendas se encuentran expuestas a la intemperie y también, por el simple hecho que los blocks son muy utilizados para la elaboración de casas en todo el territorio nacional.

1.3. Generalidades de los blocks de concreto

A partir de 1976, como consecuencia del terremoto de febrero, se incrementó el uso de los *blocks* de concreto como opción para la construcción de muros en viviendas. La gran demanda provocó la proliferación de fábricas, a tal

³ BAIRES QUEZADA, Rodrigo. *En Guatemala hay un arma por cada 25 habitantes*. <https://www.plazapublica.com.gt/content/en-guatemala-hay-un-arma-por-cada-25-habitantes#:~:text=Desde%20abril%20de%202009%20a,por%20cada%20100%20mil%20habitantes>. Consulta: 28 de enero de 2021.

⁴ CHUMIL, Katerin. *Ciudadanos registraron 116 armas a diario durante 2019*. <https://www.prensalibre.com/guatemala/justicia/ciudadanos-registraron-112-armas-a-diario-durante-2019/>. Consulta: 28 de enero de 2021.

grado que no se tiene un dato exacto de cuantas existen en el país y cuáles de ellas sí utilizan las normas establecidas para la elaboración de estos elementos.

1.3.1. Materiales utilizados para la fabricación de blocks de concreto

Los materiales utilizados en la fabricación de unidades de mampostería o *blocks* de concreto se describen en la tabla X.

Tabla X. **Materiales**

Material	Características físicas y propiedades mecánicas	Comentario
Cemento Portland CFB	5 800 psi	Cemento de alta resistencia inicial. Utilizado por los fabricantes de blocks para sacar el producto a la venta en el menor tiempo posible.
Arena pómez	700 kg/m ³	El peso específico absoluto está considerado en condiciones de superficie seca y saturada.
*Arena de río	1 350 kg/m ³	
*Arena triturada	1 450 kg/m ³	
**Agregado grueso	1 600 kg/m ³	El peso específico está considerado en muestras sin compactar y en condiciones secas y saturadas. **Esto dependerá del tipo de roca de donde provienen estos agregados.
Agua	1 000 kg/m ³	

Fuente: elaboración propia.

1.3.2. Blocks de concreto normados

Se les llama así a todos los que son fabricados bajo norma, esto quiere decir que están diseñados y elaborados con parámetros establecidos por la misma. Las empresas que los fabrican garantizan que su producto cumple con las características físicas y propiedades mecánicas establecidas para Guatemala por la Norma NTG 41054.

1.3.2.1. Resistencia mecánica y absorción en los blocks de concreto según la Norma COGUANOR NTG 41054

Por su gran aceptación en la construcción se han creado diferentes tipos de *blocks* de concreto con diferentes resistencias de acuerdo con el uso estructural que se les dará.

Las clases de *blocks* que se deben fabricar en Guatemala están especificadas en la Norma COGUANOR NTG 41054; la cual establece tres clases o tipos de resistencias para los *blocks*, siendo estas:

- Block clase o tipo A: se identifica con el color azul y debe tener una resistencia mínima de 133 kg/cm² a los 28 días de madurez (área neta). Es de uso estructural debido a que cuenta con baja absorción de humedad con un máximo de 10 %. Entre los usos que se le dan a este tipo de blocks están:
 - Para uso en muros exteriores o interiores que soportan esfuerzos axiales por debajo o sobre el nivel del suelo; también son utilizados para muros de contención, muros de cimentación, muros de división que soportaran cargas o esfuerzos.
 - Para edificaciones con áreas mayores de 100 m² de construcción, de uno o dos niveles.
 - Para edificaciones de más de dos niveles se debe cumplir con los requisitos de diseño estructural de la Norma AGIES NSE 7.4 y requisitos para edificaciones de mampostería estructural.
 - Debido a su baja absorción estos pueden ser utilizados con o sin recubrimiento protector contra las inclemencias del tiempo.

- Block clase o tipo B: se identifica con el color rojo y debe tener una resistencia mínima de 100 kg/cm² a los 28 días de madurez (área neta). De acuerdo con la norma este debe contar con una absorción no mayor al 15 %. En la construcción estos pueden ser utilizados para:
 - Muros exteriores o interiores que soportan carga sobre el nivel del suelo,
 - Para edificaciones con un área máxima de 100 m² de construcción y distribución simétrica, de uno o dos niveles.
 - Los bloques externos o expuestos deben usarse con recubrimiento protector contra las inclemencias del tiempo.

- Block clase o tipo C: se identifica con el color verde y poseen una resistencia de 66 kg/cm² a los 28 días de madurez (área neta). Son de uso no estructural y son de alta absorción de humedad con un máximo del 20 %. Entre los usos que se le pueden dar a estos blocks se tienen:
 - Se puede utilizar para muros exteriores o interiores sobre el nivel del suelo, que no soportan carga.
 - Se pueden utilizar en muros de edificaciones de un nivel menores de 50 m² de construcción con distribución simétrica.
 - También para muros colindantes entre terrenos; si son muros exteriores debe aplicárseles un recubrimiento o acabado protector contra las inclemencias del tiempo⁵.

1.3.2.2. Ensayo de absorción o porcentaje de humedad, según la Norma COGUANOR NTG 41054

El fin de este ensayo es determinar la porosidad de un block de concreto a través del porcentaje de absorción de agua que este pueda llegar a tener en un determinado período de tiempo. Este ensayo se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Abs} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} * 100 \qquad \text{Ec. A}$$

Donde:

% Abs: porcentaje de absorción.

M₂: masa saturada de superficie seca en kg (para obtener este resultado ver el anexo 1).

M₁: masa seca al horno del block de concreto en kg⁶.

⁵ PRECSA. *¿Por qué exigir productos normados o certificados?* <https://www.precsa.com.gt/por-que-exigir-productos-normados-o-certificados/>. Consulta: 22 de enero de 2021.

⁶ COGUANOR. *NTG 41054. Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones.* p. 7.

1.3.2.3. Densidad del block de concreto, según la Norma COGUANOR NTG 41054

Es la relación entre la masa y el volumen del block de concreto y esta se determina a través de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{M_1}{M_2 - M_3} * D_a \quad \text{Ec. B}$$

Donde:

D: densidad del block en kg/m³.

M₃: masa suspendida sumergida del block en kg (para obtener este resultado ver el anexo 1 de la norma).

D_a: densidad del agua (1 000 kg/m³)⁷

1.3.2.4. Áreas y volúmenes del block de concreto, según la Norma COGUANOR NTG 41054

- Área bruta: se determina a través de la ecuación:

$$Ab = L * W \quad \text{Ec. C}$$

Donde:

Ab = área bruta en cm²

L = largo promedio en cm

W = ancho promedio en cm

- Volumen bruto: se determina a través de la ecuación:

$$Vb = L * W * H \quad \text{Ec. D}$$

Donde:

Vb: volumen bruto en cm³

H: alto promedio en cm

- Volumen neto: se determina a través de la ecuación:

$$Vn = (M_2 - M_3) * 1\,000 \quad \text{Ec. E}$$

Donde:

Vn: volumen neto en cm³

- Área neta: se determina a través de la ecuación:

$$An = Ab * \left(\frac{Vn}{Vb}\right) \quad \text{Ec. F}$$

⁷ COGUANOR. NTG 41054. Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones. p. 7.

Donde:

An = área neta en cm²⁸.

1.3.2.5. Resistencia a la compresión, según la Norma COGUANOR NTG 41054

Este ensayo se realiza a través de una ecuación como lo indica la Norma COGUANOR NTG 41054, siendo esta:

$$R_n = R_b * \frac{A_b}{A_n} \quad \text{Ec. G}$$

Donde:

Rn = resistencia a la compresión con base en el área neta, en kg/cm² (Mpa).

Rb = resistencia a la compresión con base en el área total o bruta, en kg/cm² (Mpa).

Ab = área bruta, en centímetros cuadrados en cm²

An = área neta, en centímetros cuadrados en cm²

Cuando no se cuenta con una ficha técnica de algún block de concreto será necesario realizar estos ensayos para determinar sus características físicas y propiedades mecánicas y de acuerdo como se muestra en las tablas X, XI y XII, identificarlo para saber a cuál de las clases establecidas por la Norma COGUANOR NTG 41054 a la que pudiera pertenecer⁹.

Tabla XI. **Especificaciones para blocks de concreto tipo A, B y C**

Clase	Color	Resistencia a la compresión en kg/cm ²	Absorción (en % de masa)	Densidad en kg/m ³
A	Azul	133	≤ 10	> 2 000
B	Rojo	100	≤ 15	≥ 1 680
C	Verde	66	≤ 20	≤ 1 680

Fuente: COGUANOR. *NTG 41054. Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones.*

p. 4-6.

⁸ COGUANOR. *NTG 41054. Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones.* p. 9.

⁹ *Íbid.*

Tabla XII. **Dimensiones de blocks de concreto tipo A, B y C**

Uso	Medidas principales nominales o modulares (centímetros)			Medidas principales reales (centímetros)		
	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo
Bloque de muro	20	20	40	19	19	39
	15	20	40	14	19	39
Medio bloque de muro	20	20	20	19	19	19
	15	20	20	14	19	19
Bloque de tabique	10	20	40	9	19	39
Medio bloque de tabique	10	20	20	9	19	19

Fuente: COGUANOR. NTG 41054. *Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones.*
p. 6.

Tabla XIII. **Espesores de las paredes de blocks de concreto tipo A, B y C**

Ancho nominal del bloque en centímetros	Espesor mínimo de las paredes frontales, promedio de 3 bloques en mm	Espesor mínimo de los tabiques, promedio de 3 bloques en mm	Espesor mínimo equivalente de tabique, en mm/m lineal
10	19	19	136
15	25	25	188
20	32	25	188
25	32	29	209
30	32	29	209

Fuente: COGUANOR. NTG 41054. *Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones.*
p. 7.

1.3.2.6. **Blocks de concreto que no cumplen con la norma**

Son todos aquellos que no han sido fabricados bajo la norma anteriormente descrita, esto quiere decir que las fábricas que los elaboran no pueden garantizar las características físicas ni las propiedades mecánicas que la misma exige.

Ningún *block* que no cumple con la norma debería ser utilizado para muros estructurales o muros que soporten cargas como techos o niveles superiores, debido a su poca capacidad de carga y su alto porcentaje de absorción. Sin embargo, son muchas las viviendas construidas con estos materiales de baja calidad.

En el inciso 2.1.2. se presentan un resumen de los ensayos realizados en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, en los cuales se describen los resultados de las tres fábricas seleccionadas de tres diferentes puntos del municipio de Guatemala. Hay que mencionar que ninguno de los blocks de concreto cumple con las propiedades mecánicas establecidas por la Norma COGUANOR NTG 41054.

1.4. Balística

Es una rama de mecánica aplicada, que trata del movimiento y características del comportamiento de los proyectiles, así como de los fenómenos que los acompañan, considerando que la mecánica es la rama de la física relacionada con el movimiento o estado de los cuerpos materiales. El estudio general de la balística comprende la gran variedad de manifestaciones que se suscitan desde que la pólvora contenida en el cartucho es deflagrada. Ello origina las altas presiones que, a su vez desplazan al proyectil a lo largo del cañón del arma, para posteriormente ser expulsado por la boca de este, involucrando su trayectoria en el espacio y los estragos que este provoca al impactarse sobre cualquier estructura¹⁰.

1.4.1. Antecedentes generales de la balística

Desde remotos orígenes el hombre hizo uso de su fuerza muscular para arrojar proyectiles, perfeccionando esta habilidad imprescindible para su supervivencia con la invención de dispositivos como arcos y hondas que almacenaban dicha fuerza muscular y la liberaban a voluntad.

Con la aparición de la pólvora la fuerza bruta es reemplazada por una mezcla de sustancias químicas que al ser encendida es capaz de impulsar proyectiles

¹⁰ CIBRIAN VIDRIO, Octavio. *Balística técnica y forense*. p. 8.

orientados en una dirección determinada merced al uso de un tubo o cañón obturado en uno de los extremos¹¹.

1.4.2. Clasificación de las armas de fuego

Un arma de fuego es toda aquella que posea un cañón y que puedan lanzar una bala o proyectil. También debe ser accionada por un combustible propulsor.

Se les ha denominado armas de fuego debido a que estas son accionadas por los gases que se generan cuando la pólvora entra en contacto con el calor y esta a su vez genera una reacción termodinámica haciendo que el proyectil ubicado en la recámara del arma salga con una velocidad inicial considerable.

Existe una infinidad de armas de fuego y, estas a su vez, han sido clasificadas de acuerdo con su uso, manejabilidad, capacidad de destrucción entre otros. A continuación, se enlista una clasificación de armas:

- Según la longitud del cañón
 - Armas de fuego cortas
 - Revólveres
 - Pistolas automáticas
 - Pistolas ametralladoras
 - Armas de fuego largas
 - Escopetas de caza

¹¹ Monografías. *Antecedentes históricos de la balística*.
<https://www.monografias.com/docs/Antecedentes-historicos-de-la-balistica-FK9A9QTFJDUNY>.
Consulta: 28 de enero de 2021.

- Fusiles
 - Carabinas
 - Fusiles o ametralladoras
 - Subfusil o metralletas
- Según el tipo de anima
 - Anima rayada
 - Armas largas
 - Anima lisa
 - Escopetas

1.4.3. La bala o proyectil

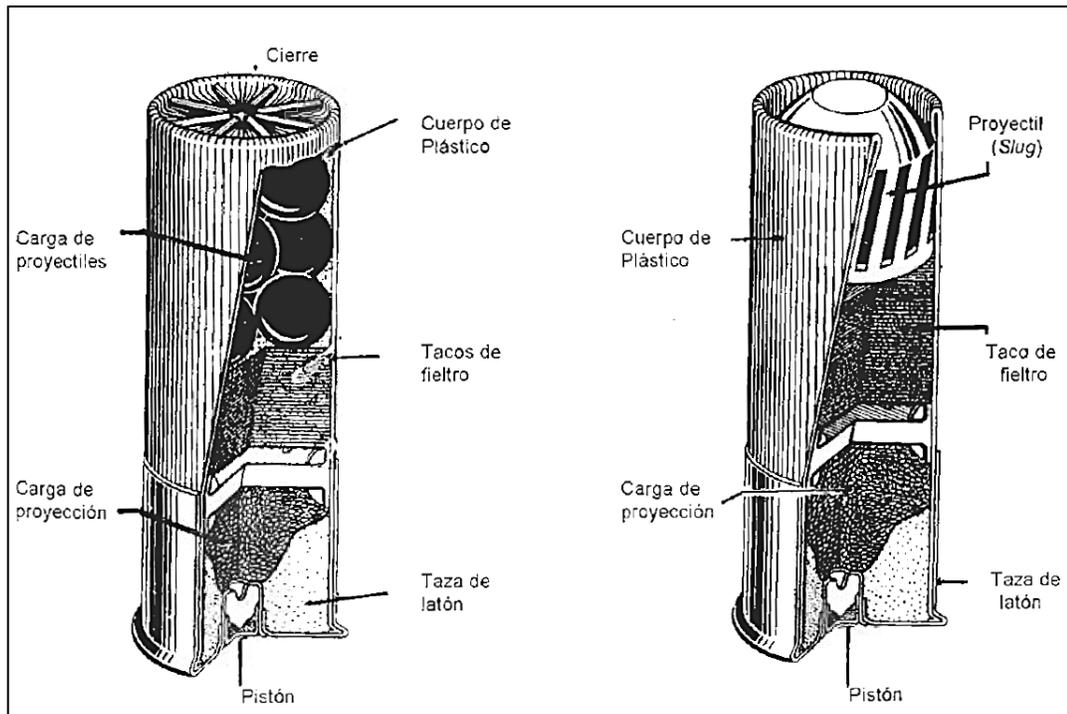
La palabra proyectil proviene del latín *projectus*, significa hacia delante, en este caso un proyectil es cualquier cuerpo sólido que por su velocidad de lanzamiento puede alcanzar al objetivo y afectarlo. Tal definición puede ser universal porque involucra objetos que provocan consecuencias cuando son lanzados hacia cualquier objeto, no importando el método utilizado para ser lanzado.

El término bala se refiere a un proyectil específico disparado por un arma de fuego, por lo que se podría decir que, todas las balas son proyectiles, pero no todos los proyectiles son balas. Para algunos expertos en balística, es incorrecto utilizar el término proyectil cuando se habla de una bala estacionaria, ya que creen que debido a que la bala no se desplaza, no se puede considerar como proyectil.

Los proyectiles se clasifican de acuerdo con los elementos que los conforman, en otras palabras por su estructura, estos pueden ser:

- Proyectiles constituidos de un solo elemento: pueden ser macizos o huecos, habiéndolos de plomo, de latón, de bronce, de hierro, de aluminio o de cuproníquel. Inclusive de madera, de cartón, de plástico, entre otros.
- Proyectiles compuestos de dos elementos: generalmente se les llama como ordinarios o blindados (estos son los más usados por su poder de destrucción), constan en general de un núcleo que por lo regular es plomo, pero también se emplea el acero u otros materiales, el que es recubierto por una camisa, funda, blindaje o envuelta de otro metal, entre los que destacan el cobre, el cuproníquel (60 % de cobre y 40 % de níquel), el aluminio, el acero puro o latonado.
- Proyectiles constituidos por varios elementos: son aquellos que incluyen un tercer o cuarto material, destacando las balas convencionales compuestas con un núcleo de acero, una envuelta de plomo y un blindaje externo de cobre, o bien, de los proyectiles militares donde se involucran otros materiales, tales como sustancias explosivas, incendiarias, trazadoras, entre otros.

Figura 5. **Proyectiles constituidos por varios elementos**



Fuente: CIBRIAN VIDRIO, Octavio. *Balística técnica y forense*. p. 47.

1.4.4. **Física de un disparo**

Para estudiar la trayectoria de un proyectil al momento que abandona el cañón de un arma de fuego se deben de tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- La resistencia del aire
- La fuerza de gravedad de la tierra
- La influencia del viento
- La rotación impartida por el rayado del cañón
- El control que se ejerce sobre el arma

Pero, con la finalidad de llegar a una idea más precisa sobre la trayectoria de un proyectil, es necesario despreciar en forma momentánea cuatro de los factores antes expuestos, excepto la fuerza de la gravedad.

La trayectoria que resulta de estas condiciones se le conoce como tiro parabólico, cuya forma es bastante conocida en la geometría básica.

El efecto parabólico tiene una estrecha relación con el alcance y la altura del proyectil, pues la distancia a la que puede llegar una bala dependerá del ángulo de elevación del cañón con respecto al plano horizontal, en el caso de que se excediera el ángulo máximo de elevación, entonces el alcance extremo del proyectil se vería disminuido.

El tiro parabólico, según como lo indica Octavio en su libro *Balística técnica y forense* está constituido por dos principales variantes, las cuales son:

- Tiro horizontal

Con una velocidad inicial del proyectil, la distancia horizontal recorrida es proporcional al tiempo y esta dada por la ecuación:

$$X = V * t$$

(Ec. 1)

Donde:

X = distancia recorrida

V = velocidad inicial del proyectil

t = tiempo de vuelo del proyectil

Para calcular la trayectoria teórica de un proyectil, inicialmente es conveniente despreciar el rozamiento del aire y luego, si es necesario, hacer las correcciones para la resistencia del aire. Como regla general, los factores conocidos y concernientes a un proyectil determinado son, la velocidad inicial y el ángulo de elevación del disparo, que siempre se mide con respecto a la horizontal, los factores por calcular son:

- Tiempo de la trayectoria
 - La altura máxima conseguida
 - El alcance máximo logrado
-
- Tiro vertical

Para calcular la altura y el alcance de un proyectil, la velocidad inicial o de proyección se descompone en dos componentes, una vertical y otra horizontal, llamando V a la velocidad de tiro y θ al ángulo de elevación del cañón del arma, los componentes X y Y de la velocidad están dadas por las siguientes funciones trigonométricas.

$$\sin \theta = \frac{V_y}{V} \quad \text{y} \quad \cos \theta = \frac{V_x}{V}$$

(Ec. 2 y 3)

Donde:

V_y = velocidad en la componente Y

V_x = velocidad en la componente X

θ = ángulo con respecto a la horizontal del arma de fuego

Si se transpone V al otro miembro de cada ecuación se obtiene:

$$V_y = V * \sin \theta; V_x = V * \cos \theta$$

(Ec. 3 y 4)

El recorrido de la trayectoria verdadera de un proyectil es una combinación de dos movimientos, uno el movimiento de una partícula proyectada verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial V_y , el otro una velocidad horizontal V_x que permanece constante. En otras palabras, una partícula lanzada verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial v_y se elevaría a la misma altura y en el mismo tiempo que la otra proyectada en un ángulo θ y con una velocidad V , puesto que, el tiempo requerido para alcanzar el punto más alto es igual al tiempo necesario para caer a la misma distancia, entonces la fórmula que se usará para la caída libre de un objeto en reposo será:

$$V_y = g * t$$

(Ec. 5)

Donde:

g = gravedad de la Tierra

Por transposición y sustitución de la ecuación se encontrará que:

$$t = \frac{V_y}{g} = \frac{V * \sin \theta}{g}$$

(Ec. 6)

Porque t es el tiempo de elevación o el tiempo de caída, el tiempo total de vuelo será $2t$, por lo tanto, tiempo de vuelo es, por consiguiente:

$$t = \frac{2V * \sin \theta}{g}$$

(Ec. 7)

Para encontrar la altura H se usa la ecuación:

$$(V_y)^2 = 2gH$$

(Ec. 8)

Despejando H se tiene:

$$H = \frac{(V_y)^2}{2g}$$

(Ec. 9)

Donde:

H = altura alcanzada por el proyectil

Usando la ecuación tres se sustituye $V * \sin \theta$, por V_y , y se tiene:

$$H = \frac{(V * \sin \theta)^2}{2g}$$

(Ec. 10)

Para encontrar el alcance R , se usa la ecuación uno. Reemplazando la literal X por R , V por $V * \cos \theta$ y t por el tiempo total de vuelo de la ecuación siete se obtiene:

$$R = V * \cos \theta * \frac{2V * \sin \theta}{g}$$

(Ec. 11)

En otras palabras:

$$R = \frac{2V^2 * \sin \theta * \cos \theta}{g}$$

(Ec. 12)

Utilizando relaciones trigonométricas en la ecuación 12 se puede decir que:

$$R = \frac{V^2 * \operatorname{sen} 2\theta}{g}$$

(Ec. 13)

De acuerdo con estas ecuaciones se puede decir que: para una velocidad dada el alcance es extremo cuando $\operatorname{sen} 2\theta$ es máximo. Pues el seno tiene su mayor valor igual a la unidad para un ángulo de 90° , el mayor ángulo θ será de 45° . Aún, el alcance para cualquier ángulo de un número de grados mayor que 45° , será igual al alcance para un número igual de grado menor de 45° .

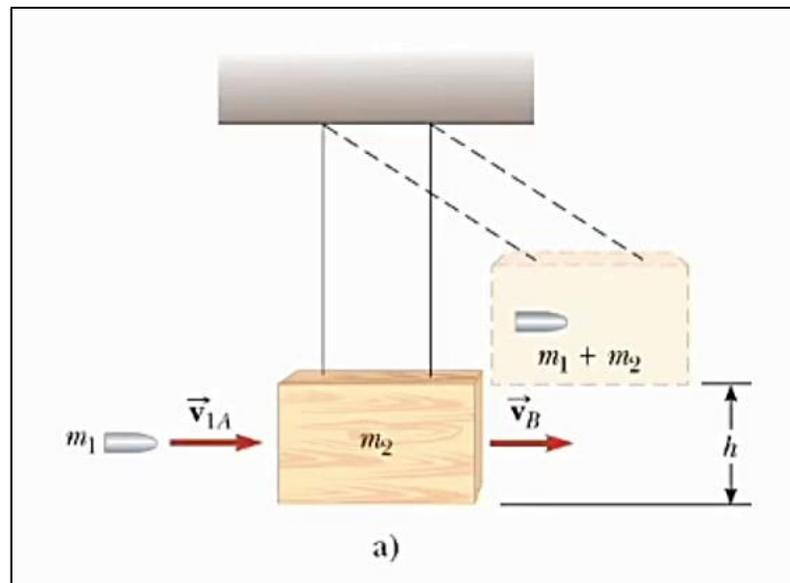
1.4.4.1. Obtención de la velocidad inicial de un proyectil

En el inciso 1.4.4. se detalla cómo obtener el alcance de un proyectil a partir de una velocidad inicial teórica, pero, esto es para condiciones ideales en donde se desprecia la fricción del cañón, la resistencia del aire y la influencia del viento.

Para obtener una velocidad experimental, se puede deducir a partir de la ecuación de conservación del *momentum*.

Tal como lo explica Luis Sánchez en su trabajo titulado *Péndulo balístico*, al realizar una demostración para la obtención de la velocidad inicial de un proyectil.

Figura 6. **Péndulo balístico**



Fuente: UOL. *Péndulo balístico*. <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/pendulo-balistico.htm>.

Consulta: 11 de julio de 2021.

Como se muestra en la figura 6, se puede decir entonces que:

$$m_{pro} * V_{pro} + m_{blo} * V_{blo} = m_{pro} * V_{con} + m_{blo} * V_{con}$$

(Ec. 14)

Donde:

m_{pro} = masa del proyectil

V_{pro} = velocidad del proyectil

m_{blo} = masa del bloque

V_{blo} = velocidad del bloque

V_{con} = velocidad del conjunto

En otras palabras, el péndulo por estar en reposo no posee energía cinética, mientras que el proyectil sí la posee por contar con una velocidad, pero, al momento de hacer contacto con el péndulo esa energía cinética se convierte en energía potencial debido a que el bloque se desplazara a una altura h , tal y como se aprecia en la figura 6.

Entonces, por lo anteriormente descrito, se puede decir que:

$$m_{pro} * V_{pro} + \cancel{m_{blo} * V_{blo}} = m_{pro} * V_{con} + m_{blo} * V_{con}$$


Quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$m_{pro} * V_{pro} = m_{pro} * V_{con} + m_{blo} * V_{con}$$

(Ec. 13)

Despejando la velocidad del proyectil V_{pro} y desarrollando factor común del otro lado de la ecuación se obtiene:

$$V_{pro} = \frac{V_{con}(m_{pro} + m_{blo})}{m_{pro}}$$

(Ec. 14)

Para obtener la velocidad del conjunto de la ecuación 14, se puede deducir a partir de la ecuación de la conservación de la energía la cual dice:

$$E_i = E_f + W_{FR} \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

E_i = energía inicial

E_f = energía final

W_{FR} = trabajo de rozamiento

Para este caso, como se observa en la figura 6, el péndulo por estar sostenido, simplemente por cuerdas, no hay pérdida por fricción debido a que no se está considerando que el proyectil atravesará el bloque del péndulo, entonces esta se desprecia quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$E_i = E_f \quad (\text{Ec. 16})$$

Transcribiendo la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$E_{cinetica\ inicial} + E_{potencial\ inicial} = E_{cinetica\ final} + E_{potencial\ final} \quad (\text{Ec. 17})$$

De esta ecuación se puede decir entonces:

$$\left(\frac{1}{2} * m * V^2\right)_{inicial} + (m * g * h)_{inicial} = \left(\frac{1}{2} * m * V^2\right)_{final} + (m * g * h)_{final} \quad (\text{Ec. 18})$$

De acuerdo con la figura 6, se puede observar que al inicio no existe una energía potencial debido a que no hay un desplazamiento h , es decir que en el lado izquierdo de la ecuación 18 la energía potencial es cero. Además, se puede observar que al momento que el conjunto de masa del bloque + masa del proyectil alcanza su h máxima ya no existe energía cinética, por ende, la energía cinética del lado derecho de la ecuación 18 se vuelve cero, reduciéndose la ecuación de la siguiente manera:

$$\left(\frac{1}{2} * (m_{pro} + m_{blo}) * V_{con}^2\right)_{inicial} = ((m_{pro} + m_{blo}) * g * h)_{final} \quad (\text{Ec. 19})$$

Se pueden cancelar las masas de ambos lados de la ecuación y realizando despejes para obtener finalmente la velocidad del conjunto, se obtiene:

$$V_{con} = \sqrt{2 * g * h} \quad (\text{Ec. 20})$$

Entonces, sustituyendo la ecuación 20 en la ecuación 14, se obtiene la ecuación final para un proyectil de cualquier arma de fuego:

$$V_{pro} = \frac{(\sqrt{2 * g * h}) * (m_{pro} + m_{blo})}{m_{pro}} \quad (\text{Ec. 21})$$

Con la ecuación 21 se puede calcular la velocidad inicial de cualquier proyectil disparado por un arma de fuego, esta podría ser una opción al momento que se desee realizar un ensayo de cualquier calibre, siempre y cuando no se cuente con un dispositivo calibrado como lo es un cronógrafo balístico.

1.4.5. Clases de balística

Las ciencias forenses han clasificado el proceso que sufre un proyectil de arma de fuego desde el interior de un cañón hasta el momento en el que se introduce en su objetivo. Es por lo que la balística se divide en:

1.4.5.1. Balística interior

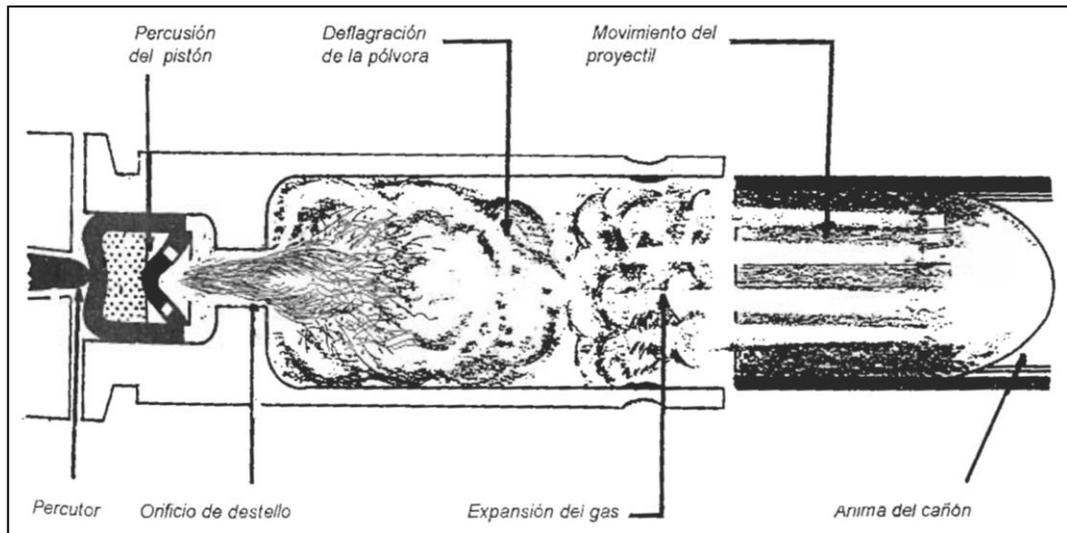
Se le llama así porque estudia los efectos que se producen en el interior del arma al momento de efectuar un disparo. Se presentan varios procesos que ocurren en fracciones de segundo y que se tratan de explicar de la siguiente manera:

- **Percusión:** cuando el cartucho se encuentra alojado en la recámara del arma y, encontrándose herméticamente cerrada por la corredera, el usuario ejerce suficiente presión sobre el llamador para que sean liberados los mecanismos de percusión. En su caso, se abate el martillo que, a su vez, impulsa el percutor que incide sobre el pistón que contiene la mezcla fulminante.
- **Iniciación del pistón:** la mezcla fulminante reacciona al aplastarse el recipiente que la contiene, produciendo la llamarada que se trasfiere a través del orificio de destello al interior del cartucho.
- **Combustión del propelente:** consiste en el quemado relativamente paulatino de los granos de la pólvora, donde la rapidez depende la forma y tamaño de estos, originando un incremento progresivo de la presión y un aumento en el volumen de los gases.
- **Movimiento del proyectil:** en forma instantánea la presión de los gases produce una dilatación del casquillo, ocupando todo el espacio disponible de la recámara del cañón, al mismo tiempo, el proyectil se desprende del casquillo iniciando su movimiento frontal para ingresar al ánima del cañón.
- **Ocupación del rayado:** el impulso obliga al proyectil a incrustarse en el rayado del cañón, cuyos campos se presentan en relieve y que tienden a frenar por fricción el desplazamiento de la bala, sin embargo, el aumento progresivo de la presión produce el impulso necesario para incrementar su velocidad, al mismo tiempo, se inicia la rotación obligada por la forma helicoidal del estriado del ánima. La presión también afecta la parte posterior del casquillo, que hasta esos momentos se encuentra obturado por el bloque de la corredera.

- Velocidad del proyectil: al vencer su propia inercia por los incesantes efectos de la presión, el proyectil incrementa su aceleración, donde algunos granos de pólvora siguen en su proceso de combustión, generando más presión que contribuye al impulso de la bala hasta su salida por la boca del cañón.
- Desalojo del proyectil: los gases iniciales pasan por delante del proyectil y salen primero del cañón, este fenómeno es conocido como viento balístico, que a su vez crea una depresión en la atmósfera por delante del arma, facilitando la entrada del proyectil en el espacio libre, que al seguir impulsado por los gases obtiene un incremento de su aceleración alcanzando su máxima velocidad. De esta manera el proyectil y los gases tienden a romper la barrera del sonido (dependiendo de la potencia del cartucho), escuchándose el estruendo característico de las armas de fuego. Los restantes granos de pólvora, que aun se siguen quemando, producen el clásico fogonazo que acompaña a la descarga.
- Expulsión del casquillo: después que el proyectil abandona el cañón, los gases se liberan en la atmosfera, disminuyendo drásticamente la presión en el interior del arma y, el empuje posterior de los gases remanentes obliga al carro a iniciar su apertura. A su vez, el casquillo aun alojado en la recamara tiene a recuperar su forma original para facilitar su remoción, donde la uña extractora incrustada en el surco del casquillo lo desplaza hacia afuera y un segundo mecanismo, conocido como expulsor, golpea sobre el culote para botarlo por la ventana del arma¹².

¹² CIBRIAN VIDRIO, Octavio. *Balística técnica y forense*. p. 84-85.

Figura 7. **Percusión de un cartucho de fuego central**



Fuente: CIBRIAN VIDRIO, Octavio. *Balística técnica y forense*. p. 85.

1.4.5.2. **Balística exterior**

No es más que el comportamiento que presenta un proyectil al momento de ser expulsado del ánima.

1.4.5.3. **Balística de efectos**

Estudia la energía residual o remanente depositada en un cuerpo. Esta energía es la que transporta el proyectil al momento de impactar. En su investigación: *Caracterización del impacto, penetración y perforación de un proyectil multi-rol*, Diago Morena demuestra la manera de cómo calcular dicha energía cinética de la siguiente manera:

$$E = \frac{1}{2} * m * V^2$$

(Ec. 22)

Donde

E = energía cinética del proyectil

m = masa del proyectil

V = velocidad del proyectil al momento de impactar

Para este trabajo de graduación se hizo un estudio de la energía remanente, depositada en los blocks de concreto impactados. También se calculó la fuerza de rozamiento; con el fin de obtener la fuerza de oposición que ejercen las paredes de los blocks al ser impactadas por el proyectil.

Para obtener dicha fuerza se utilizó la siguiente ecuación de conservación de energía (ecuación 15).

Sustituyendo la ecuación se obtiene:

$$\frac{1}{2} * m * V_1^2 = \left(\frac{1}{2} * m * V_2^2 \right) + F_R * \Delta X * \cos \alpha$$

(Ec. 23)

Donde:

V_1 = velocidad de entrada en la pared del block

V_2 = velocidad de salida de la pared del block

m = masa del proyectil

F_R = fuerza de rozamiento

ΔX = espesor de la pared del block

α = ángulo con respecto a la horizontal

Despejando y reduciendo la ecuación de ambos lados se obtiene:

$$F_R * \Delta X * \cos \alpha = \frac{1}{2} * m(V_2^2 - V_1^2)$$

(Ec. 24)

Como la fuerza de rozamiento es en dirección contraria a la energía cinética del proyectil, entonces se forma un ángulo de 180 grados, quedando entonces la ecuación de la siguiente manera:

$$F_R = \frac{\frac{1}{2} * m(V_2^2 - V_1^2)}{\Delta X}$$

(Ec. 25)

Como se sabe, el resultado de $\cos 180^\circ$ es igual a -1, entonces, la ecuación 25, la fuerza de rozamiento queda con signo positivo que se cancela con el -1, por lo antes mencionado, como es una fuerza de oposición, esta será contraria a la dirección que lleve el proyectil.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. Diseño del experimento

Con base en lo descrito en el capítulo uno y de acuerdo con los objetivos de este trabajo de graduación, se procede a describir el diseño del experimento.

2.1.1. Distancia del disparo

Con base en lo indicado en los incisos 1.4.4.1. al 1.4.4.3. y de acuerdo con el tipo de muestra que se utilizó en el experimento, se llegó a la conclusión que se deben realizar disparos a tres diferentes distancias, las cuales fueron:

- 2,5 metros: distancia en donde aún se aprecia la huella del proyectil (ver figura 4. Además, porque se puede tomar como la distancia medida desde el centro de una calle estrecha hacia el muro perimetral de una vivienda.
- 5 metros: distancia intermedia entre la distancia máxima de una huella según la figura 4 y la distancia mínima utilizada en la penetración de un material rígido como lo es el roble, según la tabla VIII. Además, porque se puede tomar como la distancia medida desde el centro de una calle ancha hacia el muro perimetral de una vivienda.

- 10 metros: distancia mínima utilizada por Cranz (ver tabla IX), para demostrar la penetración en materiales rígidos. Además, se puede tomar como una distancia medida desde el extremo de una calle ancha hacia el muro perimetral de una vivienda.

Con esas distancias se pretende simular una situación de siniestros en el cual se produzcan disparos en diferentes posibles escenarios, ya sea que se efectúen desde un vehículo o desde el extremo opuesto a un muro perimetral, o sea, la banqueta opuesta a un muro perimetral de una vivienda.

2.1.2. Partes del experimento

Después de analizar posibles métodos para desarrollar el experimento, se presentan y se describen las partes que lo conformaron.

- Pedestal

Está conformado por tres piezas de acero de diferentes calibres, esto con el fin de que fuera pesada para que, al momento de ser impactada, la energía cinética del proyectil no la moviera y permaneciera estable.

Figura 8. **Base principal**



Fuente: Villa Hermosa, San Miguel Petapa.

- Base porta *block*

Es una base hecha con angulares de acero negro. Posee un perno en cada uno de sus extremos, la función de estos es la de ajustar los *blocks*. Las dimensiones de la base son de 15 x 20 x 40 centímetros.

Esta se sujeta con cuatro pernos a la base principal y en uno de los lados más cortos posee un tornillo estabilizador. La función del tornillo estabilizador es la de balancear el peso del *block* al momento de colocar la base porta *block* sobre el pedestal.

Figura 9. **Base porta block**



Fuente: Villa Hermosa, San Miguel Petapa.

- Aletas

Son dos piezas de acero negro con un ancho de 1 ¼ pulgadas. Estas se colocan en dos de los costados del pedestal y su función es la de sostener los cronógrafos balísticos. A estas se les puede ajustar la altura de acuerdo con el blanco en el cual se desee impactar.

Figura 10. **Aletas**



Fuente: Villa Hermosa, San Miguel Petapa.

- **Cronógrafo balístico**

Este es un aparato, cuya función es la de medir la velocidad de un proyectil en metros por segundo o pies por segundo. Para este experimento se utilizaron dos cronógrafos modelo Caldwell #720001, los cuales se conectaron a dos dispositivos móviles con sistema operativo iOS. Cada cronógrafo cuenta con los siguientes componentes:

- 1 cronógrafo
- 4 barras soporte
- 25 pies de cable con *jack* 2,0 mm en cada extremo
- 2 pantallas solares

Figura 11. Cronógrafo balístico



Fuente: Villa Hermosa, San Miguel Petapa.

- Base porta arma

Esta base está conformada por dos partes.

- Base inferior: está hecha por un tubo de acero de dos pulgadas; en uno de sus extremos se encuentra una punta cónica la cual su función es la de penetrar el suelo en donde será colocada, mientras que en su otro extremo es hueco para que la base superior pueda encajar. La longitud de esta base es de 70 centímetros y en el extremo hueco cuenta con dos pernos los cuales su función es la de ajustar la base superior.

- Base superior: está constituida por un tubo de acero de 1 ¾ pulgadas. En su extremo superior se encuentra una cabeza que puede girar 180 grados y su función es la de soportar el cañón del arma y esta cuenta con un tornillo el cual al momento de nivelar el cañón se debe apretar con el fin de impedir su movimiento.

Figura 12. **Base porta arma**



Fuente: Villa Hermosa, San Miguel Petapa.

- Armas

Se utilizarán las siguientes armas: calibre 9 mm y escopeta 12. Cada una de ellas será utilizada por personas con conocimiento y experiencia.

Figura 13. **Armas**



Fuente: Villa Hermosa, San Miguel Petapa.

Figura 14. **Calibres por utilizar**



Fuente: Villa Hermosa, San Miguel Petapa.

Figura 15. **Solicitud para uso de arma M16 dirigida al Servicio de Material de Guerra del Ministerio de la Defensa**

 **USAC**
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

 **ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Horario de atención: lunes a viernes de 08:00 a 12:00 horas y de 14:00 a 18:00 horas. Teléfono: 2438-9131 Correo Electrónico: eic@ugc.usac.edu.gt

Guatemala de la Asunción 9 de julio de 2021
Asunto: Solicitud de apoyo

Coronel de Material de Guerra DEM
Jefe del Servicio de Materiales de Guerra
Maynor Enrique Rodríguez Juárez

Por medio del presente, le reitero un cordial saludo y a su vez me permito solicitar información concerniente a pruebas realizadas en materiales de construcción tales como: blocks de concreto, concreto armado y todo lo relacionado en cuanto a ensayos realizados con proyectiles de armas de fuego en diferentes tipos de materiales, esto con el fin de completar mi trabajo de graduación para optar al título de Ingeniero Civil de esta casa de estudios. Al mismo tiempo solicito apoyo con las siguientes armas: Calibre 9.00 mm, rifle de asalto M16, escopeta calibre 12 las cuales serán utilizadas en ensayos en diferentes tipos de blocks de concreto. Estas armas fueron las propuestas en mi trabajo de graduación (el documento aprobado por la Facultad de Ingeniería esta adjunto a este oficio) (Ver numeral 9 de ese documento).

Sin otro asunto, me despido, esperando su respuesta.

Atte.

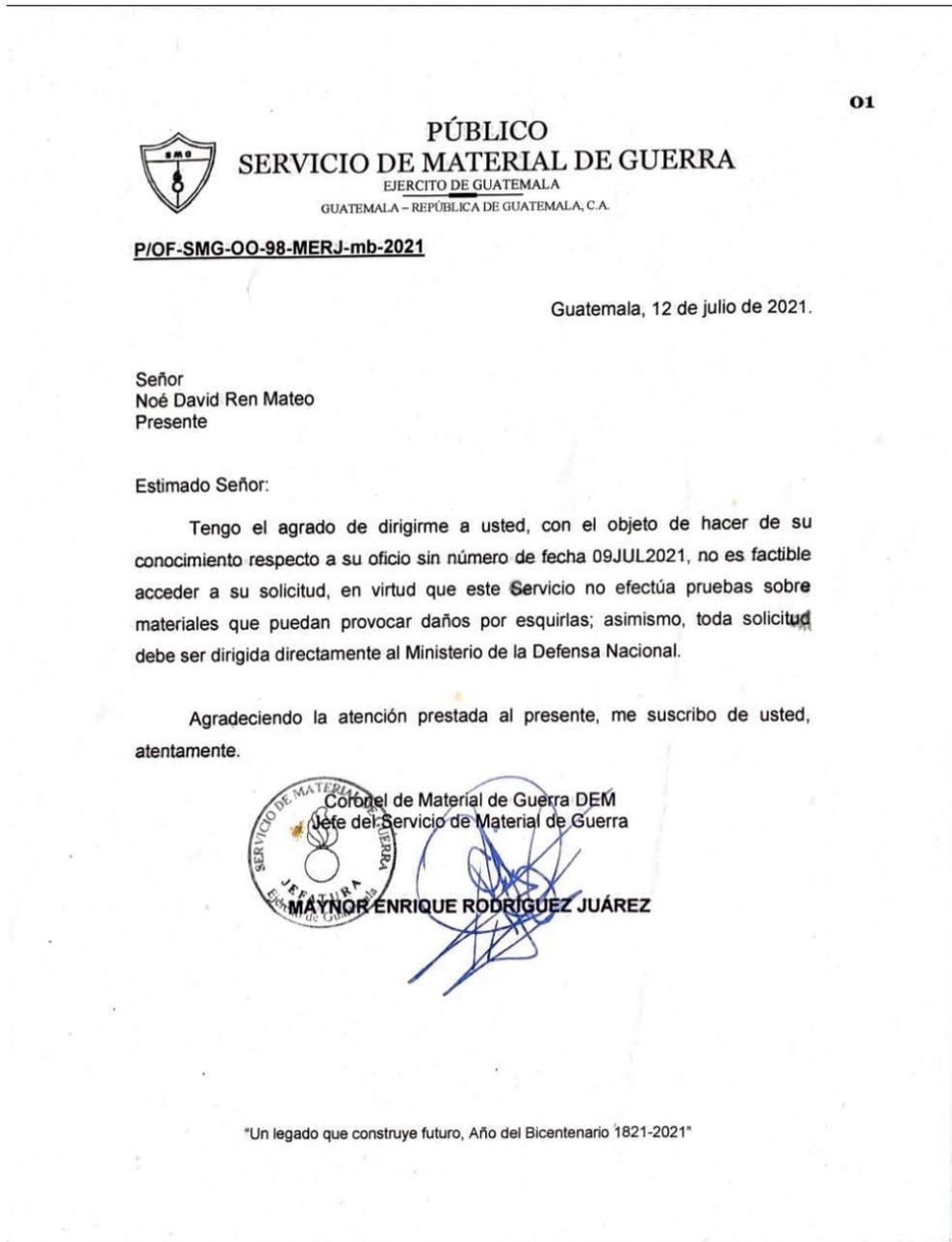
Noé David Ren Mateo
Estudiante de Ingeniería Civil
Tel 5970-6488


INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 3807
Ing. Civil José Gabriel Ordoñez Morales
Asesor de Tesis

SERVICIO DE MATERIAL DE GUERRA
RECEBIDO
09 JUL 2021
REGISTRO N.
HORA 10 MINUCIOS 20

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Respuesta para uso de arma M16 del Servicio de Material de Guerra del Ministerio de la Defensa**



Fuente: Servicio de Material de Guerra, Ministerio de la Defensa.

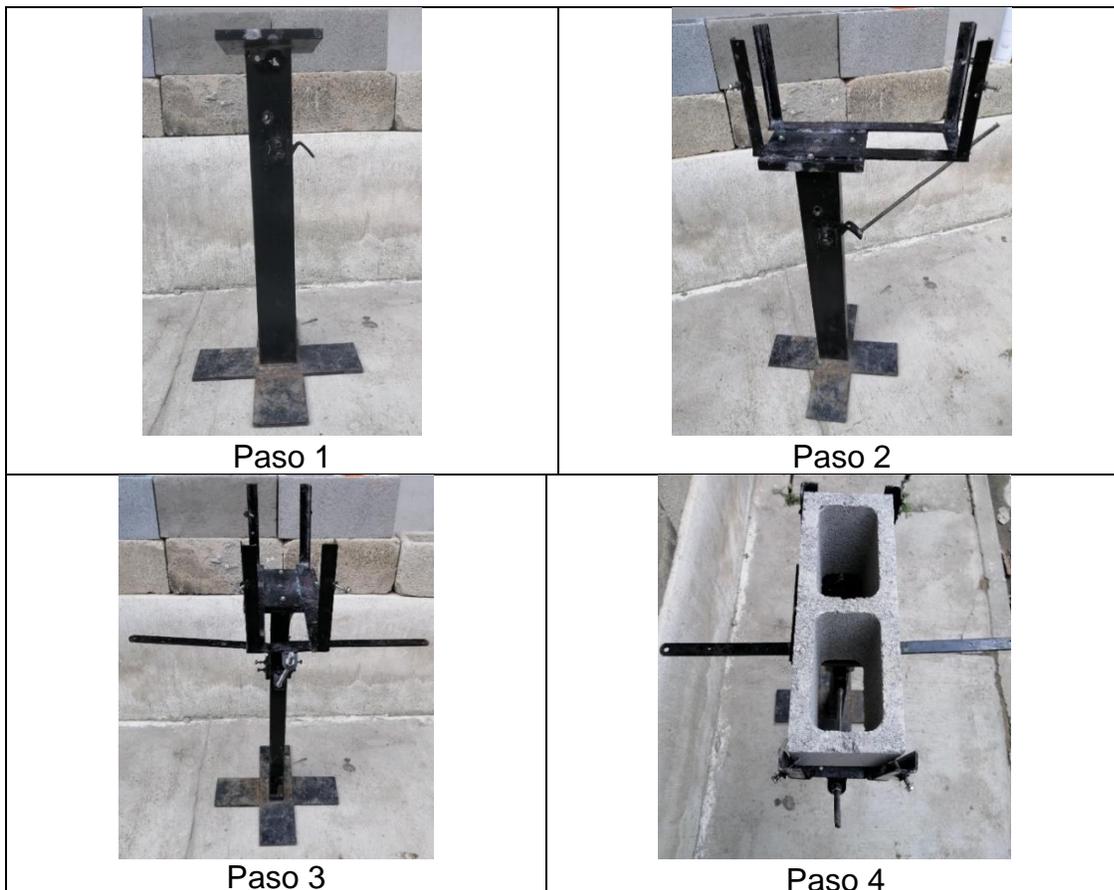
Por motivos que se describen en la figura 16, no se pudieron realizar ensayos con arma M16, ya que esta es de uso militar, por tanto, personas civiles no pueden tener acceso a ese tipo de arma de fuego.

2.1.3. Montaje del experimento

- Paso 1: se coloca el pedestal en una superficie plana para que tenga estabilidad y se le deben colocar pesos en sus patas para que sirvan de soporte.
- Paso 2: al colocar el pedestal, se procede a poner la base porta *blocks* ajustando los tornillos hacia la base principal.
- Paso 3: se procede a colocar las aletas en cada extremo del pedestal.
- Paso 4: se coloca un *block* de concreto en la base porta con *blocks*, esto con el fin de ajustar el tornillo estabilizador.
- Paso 5: a cada muestra a ensayar se debe de medir los espesores de las paredes.
- Paso 6: se procede a colocar los cronógrafos sobre cada aleta y se ajusta con los pernos que se encuentran debajo de cada aleta.
- Paso 7: se procede a medir la primera distancia para anclar la base inferior del porta armas.
- Paso 8: al momento de anclar la base inferior del porta armas se procede a correr niveles con una manguera transparente llena de agua, esto con el fin de buscar el centro de una de las paredes del *block*. El paso 7 y 8 se debe repetir para las distancias de 5 y 10 metros.
- Paso 9: se procede a conectar los cronógrafos a los dispositivos móviles y al encenderlos se deben de configurar en la opción MPS.
- Paso 10: se procede a realizar una tabla para recopilar datos con la siguiente información:

- Tipo de sistema
 - Tipo de *block*
 - Espesor de paredes
 - Velocidad de entrada del proyectil en m/s
 - Velocidad de salida del proyectil en m/s
 - Distancia en m
- Paso 11: se procede a disparar a las muestras seleccionadas, y por cada disparo, se anotan los resultados obtenidos, según el listado del paso 10. Esto se repite por cada muestra y cada distancia.

Tabla XIV. **Montaje del experimento**



Continuación de la tabla XIV.

 <p>Paso 5</p>	 <p>Paso 6</p>																																													
 <p>Paso 7 y 8</p>	 <p>Paso 9</p>																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO</th> <th>Block</th> <th>Entrada</th> <th>Salida</th> <th>Distancia. (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FPS</td> <td>78</td> <td>1190</td> <td>512</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>MPS</td> <td>MIXCO</td> <td>357</td> <td>521</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>MPS</td> <td>VILLALBA</td> <td>354</td> <td>110</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>MPS</td> <td>C</td> <td>362</td> <td>359</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>MPS</td> <td>C</td> <td>357</td> <td>No Paso Punto Z</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MPS</td> <td>B</td> <td>358</td> <td>No Paso Punto Z</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>MPS</td> <td>B</td> <td>352</td> <td>No Paso Punto Z</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MPS</td> <td>A</td> <td>No Paso</td> <td>No Paso</td> <td>2,5</td> </tr> </tbody> </table> <p>Paso 10</p>	TIPO	Block	Entrada	Salida	Distancia. (m)	FPS	78	1190	512	2,5	MPS	MIXCO	357	521	2,5	MPS	VILLALBA	354	110	2,5	MPS	C	362	359	2,5	MPS	C	357	No Paso Punto Z		MPS	B	358	No Paso Punto Z	2,5	MPS	B	352	No Paso Punto Z		MPS	A	No Paso	No Paso	2,5
TIPO	Block	Entrada	Salida	Distancia. (m)																																										
FPS	78	1190	512	2,5																																										
MPS	MIXCO	357	521	2,5																																										
MPS	VILLALBA	354	110	2,5																																										
MPS	C	362	359	2,5																																										
MPS	C	357	No Paso Punto Z																																											
MPS	B	358	No Paso Punto Z	2,5																																										
MPS	B	352	No Paso Punto Z																																											
MPS	A	No Paso	No Paso	2,5																																										

Fuente: km 15,2, San José, Villa Nueva.

2.2. Recolección de muestras para el experimento

Para la realización de este estudio se decidió tomar muestras de tres diferentes lugares del departamento de Guatemala, zonas que abastecen tanto a los capitalinos como a sus alrededores. Además, hay que mencionar que estos sectores de acuerdo con lo descrito por Emisoras Unidas en su artículo llamado: *Estas son las áreas que están catalogadas como zonas rojas en la capital*, y según lo tabulado en la tabla III, son los que presentan el mayor índice de homicidios en todo el territorio nacional.

Las tres fábricas seleccionadas se encuentran en:

- Zona 18 de la ciudad capital
- Municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala
- Municipio de Mixco, departamento de Guatemala

Los ensayos a la compresión en el CII y los impactos de los proyectiles de armas de fuego se realizaron pasados los 28 días después de la adquisición de las muestras, esto con el objetivo que alcanzarán su resistencia máxima tal como lo indica la Norma NTG 41054.

Tabla XV. **Fechas de fabricación, ensayos e impactos**

Fecha de fabricación	Fecha de ensayos en CII	Fecha de impactos con proyectiles de armas de fuego
10 de febrero de 2021	17 de marzo de 2021	8 de octubre de 2021

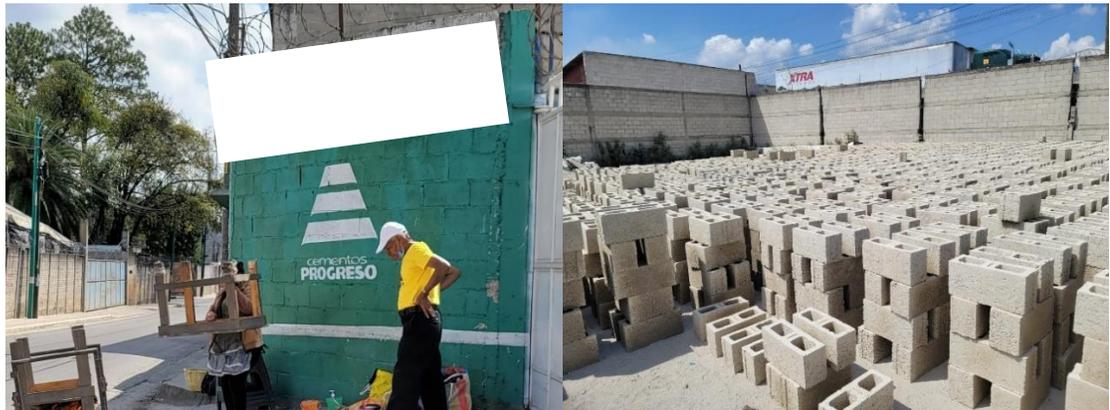
Fuente: elaboración propia.

Estos municipios y zonas, por ser de alta densidad poblacional, cuentan con varias fábricas de blocks de concreto, las cuales la mayoría de estas, elaboran sus productos sin regirse a la Norma COGUANOR NTG 41054.

- **Villa Nueva:**
 - Su población es de 433 734 de habitantes de acuerdo con datos del año 2018.
 - Extensión territorial: son 114 kilómetros cuadrados de área en total, de la que una parte de su extensión se encuentra dentro de la cuenca del Lago de Amatitlán.
 - Organización: 1 Villa (zona central), 5 aldeas y 11 caseríos (varias fincas) Bárcena, Rancho Santa Clara, El Frutal, Villalobos, Santa Catalina (El Zarzal y Guillén), El Paraíso, El Zarzal, San Francisco, La Selva, Concepción, Santa Isabel, Roldán, Las Lomas y El Rosario.

Algunas de estas colonias son residenciales y cuentan con los servicios básicos; también se encuentran en Villa Nueva, asentamientos muy saturados poblacionalmente, uno de ellos el más grande de Centro América, El Zarzal y el otro Peronia¹³.

Figura 17. Fábrica de block en Villa Nueva



Fuente: km 15,2, San José Villa Nueva.

¹³ Municipalidad de Villa Nueva. *Ubicación y localización*. <https://www.villanueva.gob.gt/monografia-de-villa-nueva-guatemala/>. Consulta: 24 de julio de 2021.

- **Mixco:**

- Tiene una población de 465 733 habitantes de acuerdo con datos del año 2018.
- El municipio de Mixco es considerado de primera categoría, puesto que cuenta con más de 100 000 habitantes y está totalmente integrado a la ciudad capital de Guatemala. Lo conforman 11 zonas, todas ellas urbanas.

Entre sus aldeas principales están: El Campanero, San José La Comunidad, Lo de Coy, Lo de Bran, Lo de Fuentes, El Naranjito, Sacoj, Buena Vista, El Aguacate, El Manzanillo. En cuanto a sus colonias principales, sobresalen: El Milagro, Primero de Julio, San Francisco, El Caminero, Carolingia, Las Brisas, La Brigada, Belén, Monserrat, Las Minervas, Monte Real, Monte Verde, El Castaño, Pablo VI, Belencito, Molino de las Flores, Ciudad San Cristóbal, Lomas de Portugal, Bosques de San Nicolás¹⁴.

Figura 18. Fábrica de block en Mixco



Fuente: Planes de Minerva, Mixco.

¹⁴ Wikiguate. *Mixco*. <https://wikiguate.com.gt/mixco/>. Consulta: 24 de julio de 2021.

- Zona 18 de la ciudad de Guatemala:
 - Se estima una población de 185 mil.
 - Entre colonias y asentamientos, suman cerca de 300 en un espacio de 42 kilómetros cuadrados.

La zona 18 abarca desde la colonia Atlántida a Llano Largo y de la carretera Jacobo Árbenz a Pinares del Norte¹⁵.

Figura 19. **Fábrica de block en la zona 18 de la ciudad de Guatemala**



Fuente: km 8,3, zona 18, Guatemala.

¹⁵ Wikiguate. *Zona 18 de la ciudad de Guatemala*. <https://wikiguate.com.gt/mixco/>. Consulta: 24 de julio de 2021.

2.2.1. Cantidad de muestras por utilizar

De las tres fábricas se utilizaron 11 muestras por cada una y cada fábrica produce por día un promedio de 500 *blocks*.

La razón por la cual se decidió realizar ensayos con *blocks* que no cumplen con la norma es para obtener un cuadro comparativo entre las tres fábricas y determinar cuál de las tres zonas elegidas cuenta con una mejor producción a pesar de que no son elaborados bajo la norma mencionada anteriormente. También se desea realizar una comparación con *blocks* normados tipo A, B y C. Esto con el fin de obtener la energía remanente tanto de los *blocks* normados como como para los que no cumplen con la norma.

2.2.2. Ensayos previos al experimento

Para obtener la resistencia de los *blocks* de concreto de las tres fábricas seleccionadas, se sometieron a ensayos cinco unidades o especímenes por cada fábrica, en donde se les practico el ensayo a la compresión, porcentaje de absorción y densidad, según como lo indica la Norma NTG 41054, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XVI. **Resumen de los ensayos realizados a los blocks de concreto de las tres fábricas seleccionadas**

Lugar	Unidades ensayadas	% de absorción promedio	Esfuerzo neto promedio (kg/cm ²)	Densidad promedio (kg/m ³)
Zona 18	5	24,44	26,94	1 147
Mixco	5	23,71	37,12	1 112
Villa Nueva	5	23,74	32,04	1 013

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del laboratorio del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se puede observar en la tabla XVI que ninguna de las tres fábricas cumple con los parámetros mínimos que exige la Norma NTG 41054. De acuerdo con lo descrito en la tabla XI, XII y XIII.

2.3. Ensayos efectuados

Para cada muestra los ensayos fueron realizados de acuerdo con el procedimiento de la tabla XIV. A continuación, se presentan los datos obtenidos por cada disparo.

Tabla XVII. **Disparos con arma 9 mm a 2,5 metros de distancia**

Sistema de cronógrafo	Muestra	Sumatoria del espesor de las dos paredes (cm)	Velocidad de entrada en m/s	Velocidad de salida en m/s	Distancia en metros
MPS	Zona 18	6,4	363,0	95,0	2,5
MPS	Mixco	6,0	357,0	54,0	2,5
MPS	Villa Nueva	6,2	354,0	110,0	2,5
MPS	Tipo C	5,4	357,0	No lectura	2,5
MPS	Tipo B	6,0	358,0	No lectura	2,5
MPS	Tipo A	5,6	361,0	No lectura	2,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Disparos con arma 9 mm a 5 metros de distancia**

Sistema de cronógrafo	Muestra	Sumatoria del espesor de las dos paredes (cm)	Velocidad de entrada en m/s	Velocidad de salida en m/s	Distancia en metros
MPS	Zona 18	6,4	352,0	88,0	5,0
MPS	Mixco	6,0	349,0	48,0	5,0
MPS	Villa Nueva	6,2	354,0	98,0	5,0
MPS	Tipo C	5,4	345,0	No lectura	5,0
MPS	Tipo B	6,0	351,0	No lectura	5,0
MPS	Tipo A	5,6	352,0	No lectura	5,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Disparos con arma 9 mm a 10 metros de distancia**

Sistema de cronógrafo	Muestra	Sumatoria del espesor de las dos paredes (cm)	Velocidad de entrada en m/s	Velocidad de salida en m/s	Distancia en metros
MPS	Zona 18	6,4	312,0	63,0	10,0
MPS	Mixco	6,0	318,0	32,0	10,0
MPS	Villa Nueva	6,2	322,0	59,0	10,0
MPS	Tipo C	5,4	314,0	No lectura	10,0
MPS	Tipo B	6,0	318,0	No lectura	10,0
MPS	Tipo A	5,6	321,0	No lectura	10,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Disparos con escopeta 12 a 2,5 metros de distancia**

Sistema de cronógrafo	Muestra	Sumatoria del espesor de las dos paredes (cm)	Velocidad de entrada en m/s	Velocidad de salida en m/s	Distancia en metros
MPS	Zona 18	6,4	422,0	146,0	2,5
MPS	Mixco	6,0	425,0	157,0	2,5
MPS	Villa Nueva	6,2	407,0	148,0	2,5
MPS	Tipo C	5,4	431,0	112,0	2,5
MPS	Tipo B	6,0	425,0	92,0	2,5
MPS	Tipo A	5,6	409,0	78,0	2,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Disparos con escopeta 12 a 5 metros de distancia**

Sistema de cronógrafo	Muestra	Sumatoria del espesor de las dos paredes (cm)	Velocidad de entrada en m/s	Velocidad de salida en m/s	Distancia en metros
MPS	Zona 18	6,4	416,0	138,0	5,0
MPS	Mixco	6,0	420,0	156,0	5,0
MPS	Villa Nueva	6,2	415,0	152,0	5,0
MPS	Tipo C	5,4	417,0	95,0	5,0
MPS	Tipo B	6,0	422,0	87,0	5,0
MPS	Tipo A	5,6	412,0	64,0	5,0

Fuente: elaboración propia.

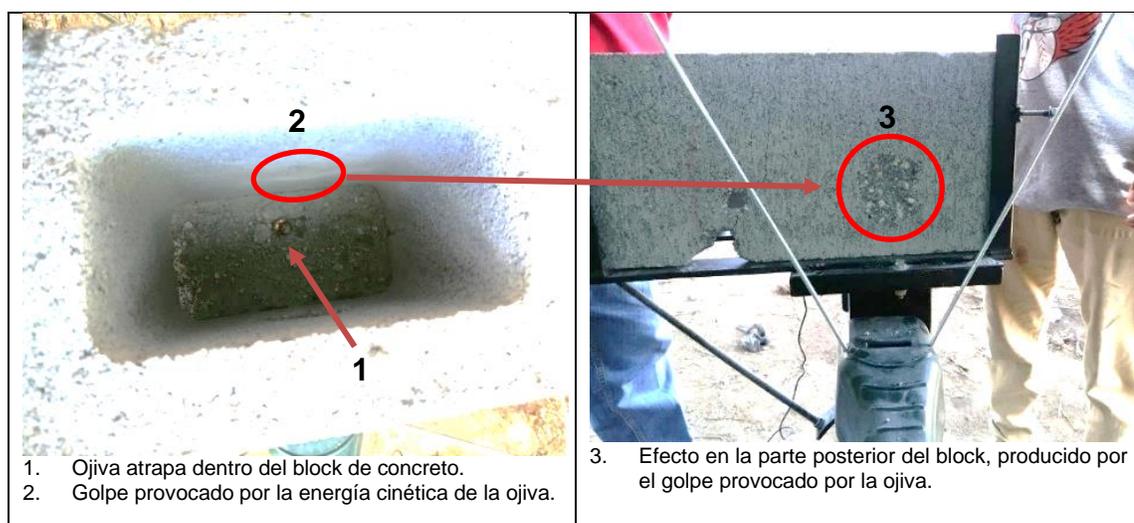
Tabla XXII. **Disparos con escopeta 12 a 10 metros de distancia**

Sistema de cronógrafo	Muestra	Sumatoria del espesor de las dos paredes (cm)	Velocidad de entrada en m/s	Velocidad de salida en m/s	Distancia en metros
MPS	Zona 18	6,4	403,0	118,0	10,0
MPS	Mixco	6,0	403,0	132,0	10,0
MPS	Villa Nueva	6,2	406,0	137,0	10,0
MPS	Tipo C	5,4	402,0	82,0	10,0
MPS	Tipo B	6,0	404,0	71,0	10,0
MPS	Tipo A	5,6	402,0	53,0	10,0

Fuente: elaboración propia.

En las tablas XVII a la XIX, en la columna velocidad de salida, algunas casillas aparecen con la frase: no lectura, esto se debió a que durante el experimento la ojiva logro atravesar la primera pared del *block*, pero impactar en la segunda pared, no logró atravesarla quedando atrapada adentro del mismo y, por ende, no se pudo registrar lectura de salida.

Figura 20. **Ojiva atrapada dentro del block de concreto**



Fuente: km 15,2, San José, Villa Nueva.

Se alejó el cronógrafo de salida, para que la explosión de los impactos provocados por el calibre 12 no alcanzara los sensores de movimiento, con el fin de que las esquirlas del *block* no se interpusieran y se pudieran obtener las lecturas requeridas.

Figura 21. **Daños en la pared posterior del block de concreto, producidos por la ojiva calibre 12**

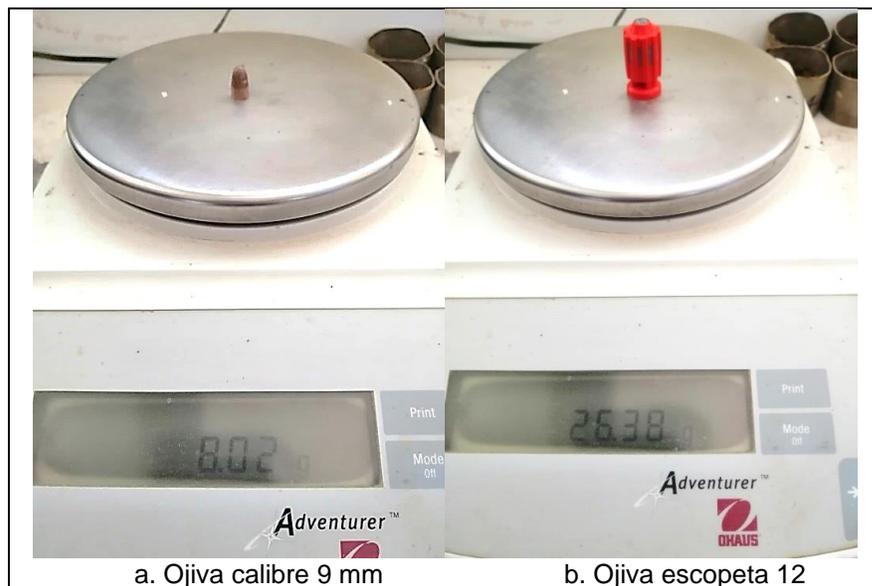


Fuente: km 15,2, San José, Villa Nueva.

2.3.2. Peso de las ojivas

Para realizar los cálculos necesarios en cuanto a la energía cinética, energía remanente y fuerza de rozamiento fue necesario obtener el peso de las ojivas tanto de la bala calibre 9 mm, así como la escopeta calibre 12 como se observa en la figura 22.

Figura 22. **Peso de las ojivas**



Fuente: Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXIII. **Peso de las ojivas**

Arma	Calibre	Peso de la ojiva en kg
Jericho 9, 3ra. edición	9 mm	0,00802
Escopeta	12	0,02638

Fuente: elaboración propia.

2.4. Cálculos efectuados

Para realizar los cálculos era necesario apoyarse en las ecuaciones mencionadas en el capítulo uno.

2.4.1. Cálculo de la energías y fuerza de rozamiento

Como ya se ha mencionado, la energía cinética es obtenida por la velocidad del proyectil y la masa del proyectil. Para este cálculo se usó la ecuación 22, la cual está descrita de la siguiente manera:

- Datos obtenidos de la muestra de la zona 18 a una distancia de 2,5 metros.

Datos:

Peso de la ojiva = 0,00802 kg

Velocidad de entrada = 363 m/s

Velocidad de salida = 95 m/s

- Energía cinética de entrada

$$E = \frac{1}{2} * 0,00802 \text{ kg} * \left(363 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$E_{C \text{ entrada}} = 528,4 \text{ joules}$$

- Energía remanente o residual

$$E = \frac{1}{2} * 0,00802 \text{ kg} * \left(95 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$E_{Residual} = 36,2 \text{ joules}$$

- Absorción de energía por parte del *block* de concreto

$$E_{abs} = E_{C\ entrada} - E_{C\ salida}$$

$$E_{abs} = 528,4\ joules - 36,2\ joules$$

$$E_{abs} = 492,2\ joules$$

- Para obtener la fuerza de rozamiento se hizo uso de la ecuación 25. Los datos obtenidos de la muestra tipo C a una distancia de 2,5 metros son los siguientes:

Datos:

Masa de la ojiva = 0,00802 kg

Velocidad de entrada = 357 m/s

Velocidad de salida = 0 m/s

Espesor del block de concreto = 0,027 m

$$F_R = \frac{\frac{1}{2} * 0,00802\ kg * \left(\left(0 \frac{m}{s} \right)^2 - \left(357 \frac{m}{s} \right)^2 \right)}{0,027\ m}$$

$$F_R = 18\ 928,5\ N$$

2.5. Resultados obtenidos

Con base en la demostración de cálculos en el inciso 2.4.1. En las tablas de la XXIV a la XIX se describen los resultados obtenidos para cada muestra sometida a los impactos de los proyectiles en estudio.

Tabla XXIV. **Energías y fuerza de rozamiento a 2,5 m con calibre 9 mm**

Muestra	Distancia en metros	Energía de entrada (J)	Energía residual (J)	Energía absorbida por el block (J)	Fuerza de rozamiento (N)
Zona 18	2,5	528,4	36,2	492,2	7 690,7
Mixco	2,5	511,1	11,7	499,4	8 323,0
Villa Nueva	2,5	502,5	48,5	454,0	7 322,5
Tipo C	2,5	511,1	0,0	511,1	18 928,5
Tipo B	2,5	513,9	0,0	513,9	17 131,3
Tipo A	2,5	522,6	0,0	522,6	18 663,8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Energías y fuerza de rozamiento a 5 m con calibre 9 mm**

Muestra	Distancia en metros	Energía de entrada (J)	Energía residual (J)	Energía absorbida por el block (J)	Fuerza de rozamiento (N)
Zona 18	5,0	496,9	31,1	465,8	7 278,2
Mixco	5,0	488,4	9,2	479,2	7 986,4
Villa Nueva	5,0	502,5	38,5	464,0	7 484,0
Tipo C	5,0	477,3	0,0	477,3	17 677,4
Tipo B	5,0	494,0	0,0	494,0	16 467,9
Tipo A	5,0	496,9	0,0	496,9	17 744,8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Energías y fuerza de rozamiento a 10 m con calibre 9 mm**

Muestra	Distancia en metros	Energía de entrada (J)	Energía residual (J)	Energía absorbida por el block (J)	Fuerza de rozamiento (N)
Zona 18	10,0	390,4	15,9	374,4	5 850,5
Mixco	10,0	405,5	4,1	401,4	6 690,0
Villa Nueva	10,0	415,8	14,0	401,8	6 480,9
Tipo C	10,0	395,4	0,0	395,4	14 643,3
Tipo B	10,0	405,5	0,0	405,5	13 516,9
Tipo A	10,0	413,2	0,0	413,2	14 756,9

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Energías y fuerza de rozamiento a 2,5 m con calibre 12**

Muestra	Distancia en metros	Energía de entrada (J)	Energía residual (J)	Energía absorbida por el block (J)	Fuerza de rozamiento (N)
Zona 18	2,5	2 348,9	281,2	2 067,8	32 308,9
Mixco	2,5	2 382,4	325,1	2 057,3	34 288,7
Villa Nueva	2,5	2 184,9	288,9	1 896,0	30 580,6
Tipo C	2,5	2 450,2	165,5	2 284,7	42 309,9
Tipo B	2,5	2 382,4	111,6	2 270,8	37 846,7
Tipo A	2,5	2 206,4	80,3	2 126,2	37 967,7

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Energías y fuerza de rozamiento a 5 m con calibre 12**

Muestra	Distancia en metros	Energía de entrada (J)	Energía residual (J)	Energía absorbida por el block (J)	Fuerza de rozamiento (N)
Zona 18	5,0	2 282,6	251,2	2 031,4	31 740,9
Mixco	5,0	2 326,7	321,0	2 005,7	33 428,7
Villa Nueva	5,0	2 271,7	304,7	1 966,9	31 724,3
Tipo C	5,0	2 293,6	119,0	2 174,6	40 269,6
Tipo B	5,0	2 348,9	99,8	2 249,1	37 484,9
Tipo A	5,0	2 238,9	54,0	2 184,9	39 016,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Energías y fuerza de rozamiento a 10 m con calibre 12**

Muestra	Distancia en metros	Energía de entrada (J)	Energía residual (J)	Energía absorbida por el block (J)	Fuerza de rozamiento (N)
Zona 18	10,0	2 142,2	183,7	1 958,5	30 601,8
Mixco	10,0	2 142,2	229,8	1 912,4	31 872,5
Villa Nueva	10,0	2 174,2	247,6	1 926,6	31 074,6
Tipo C	10,0	2 131,6	88,7	2 042,9	37 830,9
Tipo B	10,0	2 152,8	66,5	2 086,3	34 772,1
Tipo A	10,0	2 131,6	37,1	2 094,5	37 401,9

Fuente: elaboración propia.

2.6. Comparación y análisis de los resultados obtenidos

Para entender los resultados obtenidos es importante explicar la agresividad de un proyectil, en otras palabras, la severidad y daño que puede causar un proyectil al momento de penetrar en el cuerpo humano.

De acuerdo con un artículo publicado por la Municipalidad de Ciudad de Fernández en México, aseguran que:

Por lo general, se necesita que un proyectil de arma de fuego alcance una velocidad entre los 60 y 70 m/seg para causar una lesión en nuestro organismo, se estima que se necesita una velocidad de entre 100 a 120 m/seg para atravesar con facilidad un hueso de nuestro cuerpo¹⁶.

En su trabajo de graduación, Welner Figueroa afirma que la velocidad necesaria para que un proyectil de arma de fuego pueda atravesar la piel es de 36 m/s y para atravesar estructuras óseas se necesitan 61 m/s.

De acuerdo con estas afirmaciones, se puede decir que un proyectil a una velocidad menor a 40 m/s puede causar daño en el cuerpo de una persona. Comparada esta velocidad con un choque automovilístico, las heridas de la víctima serían poco severas y poca la probabilidad de que la persona pierda la vida, mientras que un proyectil en una zona como la cabeza, corazón, hígado, bazo o arterias principales del cuerpo, ocasionarían la muerte.

Entonces, se puede decir que un proyectil calibre 9 mm con una energía cinética de 5,20 Joules podría causar una lesión en el cuerpo de una persona y

¹⁶ Municipalidad de Ciudad de Fernández. *Balística ¡el peligro de disparar al aire!* <https://cdfdz.gob.mx/seguridad-publica/balistica-el-peligro-de-disparar-al-aire/>. Consulta: 14 de octubre de 2021.

el mismo calibre con una energía de 14,92 Joules podría atravesar un hueso humano.

Mientras que un *slug* (ojiva de escopeta 12) con una energía de 17,09 Joules podría causar lesiones en el cuerpo de una persona y si posee una energía cinética de 49,08 Joules podría perforar los huesos.

A diferencia de un calibre 9 mm y un calibre 12 de escopeta, el calibre 12 por ser de mayor diámetro su poder de destrucción y penetración es de mayor alcance al impactar en el cuerpo de una persona y puede destruir varios órganos y huesos al mismo tiempo. Mientras que un calibre 9 los daños que ocasiona pueden ser varios, pero dependerá de la energía que posea, o sea, que al entrar al cuerpo el rebote es el que provoca daños en órganos y huesos uno después del otro.

Con base en lo descrito anteriormente entonces, se puede realizar una tabla comparativa como las que se muestra en los incisos 2.6.1. y 2.6.2.

2.6.1. Discusión de resultados con arma calibre 9 mm

En la tabla XXX se puede observar que los *blocks* que no están fabricados bajo norma no son capaces de defender a una persona en cuanto a situaciones de siniestro o ataque con arma de fuego calibre 9 mm. Mientras que los *blocks* fabricados bajo norma son capaces de defender a una persona contra un ataque con arma calibre 9 mm.

Hay que agregar que durante los ensayos los blocks de concreto tipo A, a una distancia de 2,5 m hasta 10,0 m fueron capaces de absorber toda la energía cinética del proyectil sin ser penetrados en la primera pared. En la figura 23 se puede observar el daño provocado por la ojiva en el mismo.

Para obtener las velocidades de los proyectiles impactados en los *blocks* tipo A fue necesario alejar el cronógrafo balístico, esto con el objetivo de obtener lecturas y de este modo obtener la energía cinética de entrada.

Tabla XXX. **Análisis de resultados para el calibre 9 mm**

Muestra	Distancia en (m)	Energía residual (J)	Energía necesaria para causar lesión (J)	Energía necesaria para causar fractura ósea (J)	Defiende contra lesiones	Defiende contra fracturas
Zona 18	2,5	36,2	5,2	14,92	No	No
Mixco	2,5	11,7	5,2	14,92	No	Sí
Villa Nueva	2,5	48,5	5,2	14,92	No	No
Tipo C	2,5	0,0	5,2	14,92	Sí	Sí
Tipo B	2,5	0,0	5,2	14,92	Sí	Sí
Tipo A	2,5	0,0	5,2	14,92	Sí	Sí
Zona 18	5,0	31,1	5,2	14,92	No	No
Mixco	5,0	9,2	5,2	14,92	No	Sí
Villa Nueva	5,0	38,5	5,2	14,92	No	No
Tipo C	5,0	0,0	5,2	14,92	Sí	Sí
Tipo B	5,0	0,0	5,2	14,92	Sí	Sí
Tipo A	5,0	0,0	5,2	14,92	Sí	Sí
Zona 18	10,0	15,9	5,2	14,92	No	No
Mixco	10,0	4,1	5,2	14,92	Sí	Sí
Villa Nueva	10,0	14,0	5,2	14,92	No	Sí
Tipo C	10,0	0,0	5,2	14,92	Sí	Sí
Tipo B	10,0	0,0	5,2	14,92	Sí	Sí
Tipo A	10,0	0,0	5,2	14,92	Sí	Sí

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Absorción de la energía cinética en un block tipo A**



Fuente: km 15,2, San José, Villa Nueva.

2.6.2. Discusión de resultados con escopeta calibre 12

A diferencia de los resultados obtenidos con el arma calibre 9 mm, para el calibre 12 de escopeta ninguno de los blocks es capaz de defender a una persona de acuerdo con la tabla XXX, en otras palabras, ninguno de los especímenes fue capaz de absorber suficiente energía cinética de cada disparo.

Tabla XXXI. **Análisis de resultados para el calibre 12**

Muestra	Distancia en metros	Energía residual (J)	Energía necesaria para causar lesión (J)	Energía necesaria para causar fractura ósea (J)	Defiende de lesiones	Defiende de fracturas
Zona 18	2,5	281,2	17,1	49,1	No	No
Mixco	2,5	325,1	17,1	49,1	No	No
Villa Nueva	2,5	288,9	17,1	49,1	No	No
Tipo C	2,5	165,5	17,1	49,1	No	No
Tipo B	2,5	111,6	17,1	49,1	No	No
Tipo A	2,5	80,3	17,1	49,1	No	No
Zona 18	5,0	251,2	17,1	49,1	No	No
Mixco	5,0	321,0	17,1	49,1	No	No
Villa Nueva	5,0	304,7	17,1	49,1	No	No
Tipo C	5,0	119,0	17,1	49,1	No	No
Tipo B	5,0	99,8	17,1	49,1	No	No
Tipo A	5,0	54,0	17,1	49,1	No	No
Zona 18	10,0	183,7	17,1	49,1	No	No
Mixco	10,0	229,8	17,1	49,1	No	No
Villa Nueva	10,0	247,6	17,1	49,1	No	No
Tipo C	10,0	88,7	17,1	49,1	No	No
Tipo B	10,0	66,5	17,1	49,1	No	No
Tipo A	10,0	37,1	17,1	49,1	No	Sí

Fuente: elaboración propia.

Los *blocks* que no cumplen con la norma presentaron un patrón de penetración, siendo este el de conservar el diámetro de entrada de la ojiva, pero al momento que la ojiva abandonaba por la parte posterior de la muestra ensayada, lograba desprender gran porción de este, se debe a que las partículas de estos *blocks* se encuentran más dispersas a las de un *block* normado.

Figura 24. **Penetración de la ojiva calibre 12 en blocks que no cumplen con la norma**



Fuente: km 15,2, San José, Villa Nueva.

Los *blocks* normados, por poseer partículas más juntas entre sí, es decir, que son menos porosos o más compactos, al momento de ser impactos provocaban mayores fracturas en la parte frontal y en la parte posterior una porción más grande se desprendió a comparación con los que no cumplen con la norma.

Figura 25. **Penetración de la ojiva calibre 12 en blocks normados**



Fuente: km 15,2, San José, Villa Nueva.

2.6.3. Comparación de la resistencia a la compresión de los blocks de concreto vs. energía residual

Para lograr una correlación entre la resistencia a la compresión y la energía residual, es necesario obtener los promedios de la resistencia compresión, el espesor de las paredes, el porcentaje de absorción y la densidad de los blocks que no cumplen con norma, versus el promedio de la energía remanente de los disparos realizados a 2,5, 5 y 10 metros respectivamente, obteniendo los siguientes resultados.

2.6.3.1. Correlación block de concreto que no cumplen con la norma vs. energía residual

A continuación, en la tabla XXXII se presentan los datos obtenidos del CII y los promedios de la energía residual por cada calibre de arma ensayado.

Tabla XXXII. **Esfuerzo a la compresión vs. energía residual en blocks que no cumplen con la norma**

ARMA CALIBRE 9 mm									
Lugar	No.	Espesor pared 1+2 (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Promedio de esfuerzo en (kg/cm ²)	% de absorción	Promedio del % de absorción	Densidad en kg/m ³	Promedio de la densidad en kg/m ³	Promedio de energía residual (J)
Zona 18	1	6,4	32,34	26,90	25,28	24,44	1 140	1 147	27,7
	2		23,29		24,68		1 145		
	3		27,21		24,45		1 147		
	4		27,26		24,53		1 146		
	5		24,62		23,26		1 158		
Mixco	1	6	47,45	37,10	17,85	23,72	1 167	1 112	8,4
	2		40,42		24,02		1 109		
	3		25,5		25,89		1 092		
	4		36,12		24,60		1 104		
	5		36,07		26,23		1 090		
Villa Nueva	1	6,2	37,98	32,04	24,36	23,15	1 003	1 013	33,7
	2		23,3		21,49		1 027		
	3		34,32		22,08		1 022		
	4		28,68		24,53		1 002		
	5		35,9		23,27		1 012		
ESCOPETA CALIBRE 12									
Lugar	No.	Espesor pared 1+2 (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Promedio de esfuerzo en (kg/cm ²)	% de absorción	Promedio del % de absorción	Densidad en kg/m ³	Promedio de la densidad en kg/m ³	Promedio de energía residual (J)
Zona 18	1	6,4	32,34	26,9	25,28	24,44	1 140	1 147	238,7
	2		23,29		24,68		1 145		
	3		27,21		24,45		1 147		
	4		27,26		24,53		1 146		
	5		24,62		23,26		1 158		
Mixco	1	6	47,45	37,1	17,85	23,72	1 167	1 112	292,0
	2		40,42		24,02		1 109		
	3		25,5		25,89		1 092		
	4		36,12		24,60		1 104		
	5		36,07		26,23		1 090		
Villa Nueva	1	6,2	37,98	32,04	24,36	23,15	1 003	1 013	280,4
	2		23,3		21,49		1 027		
	3		34,32		22,08		1 022		
	4		28,68		24,53		1 002		
	5		35,9		23,27		1 012		

Fuente: elaboración propia.

De los resultados de la tabla XXXII, se puede observar que la energía residual depende de los espesores de las paredes, la resistencia a la compresión, el porcentaje a la absorción y la densidad, sabiendo esto, entonces:

- Para arma calibre 9 mm

Un *block* con una densidad mayor a los $1\ 100\text{ kg/m}^3$, mayor será su fuerza de oposición o rozamiento a la penetración de proyectiles calibre 9 mm.

- Para escopeta calibre 12

Para una ojiva calibre 12 el espesor de las paredes será el factor que más influirá para la penetración de este.

Hay que aclarar que las velocidades de los proyectiles no son constantes y eso genera incertezas en los cálculos. Otro factor que influye es la calidad de los materiales, ya que se observó que las tres fábricas no utilizan los mismos materiales para elaborar sus productos.

Con lo descrito anteriormente se puede decir que, no existe ninguna correlación entre la resistencia a la compresión y la energía remanente en blocks de concreto que no cumplen con la norma, ya que es de otros factores de los que depende la penetración de los proyectiles de las armas de fuego en estudio. Esta discusión es solo para blocks de concreto que no cumplen con la norma.

2.6.3.2. Correlación block de concreto normado vs. energía residual

A continuación, en la tabla XXXIII se presentan los promedios de la energía residual obtenida de los impactos de los proyectiles en blocks tipo A, B y C.

Tabla XXXIII. **Esfuerzo a la compresión vs. energía residual en blocks normados**

ARMA CALIBRE 9 mm	Tipo	Esfuerzo (kg/cm ²)	Energía residual (J)	Promedio de energía residual (J)
	C	66	0	0
			0	
			0	
B	100	0	0	
		0		
		0		
A	133	0	0	
		0		
		0		
ESCOPETA CALIBRE 12	Tipo	Esfuerzo (kg/cm ²)	Energía residual (J)	Promedio de energía residual (J)
	C	66	165,46	124,4
			119,04	
			88,69	
	B	100	111,64	92,66
			99,84	
			66,49	
	A	133	80,25	57,11
			54,03	
			37,05	

Fuente: elaboración propia.

Para la tabla XXXIII, se observa que para impactos con arma calibre 9 mm no existe energía residual, esto se debe a que durante la realización de los ensayos la ojiva no contó con la suficiente energía cinética como para atravesar ambas paredes.

Para los impactos con escopeta 12 de acuerdo con la tabla XXXIII, se observa que a mayor resistencia a la compresión menor es la energía residual.

Se puede decir que, para *blocks* fabricados bajo norma, sí existe una correlación en cuanto a la compresión versus la energía residual; presentan un comportamiento uniforme siendo este: a mayor resistencia a la compresión y menor absorción mayor resistencia a la penetración causada por la energía cinética y, por ende, menor energía residual existente.

2.7. Costo del proyecto

A continuación, se describe detalladamente los gastos realizados para la realización del método propuesto.

Tabla XXXIV. Costos del proyecto

No.	Descripción	Cantidad	Unidad medida	Precio unitario (Q)	Importe (Q)
1	Pedestal	1	Unidad	350,00	350,00
2	Porta blocks	1	Unidad	350,00	350,00
3	Base para arma	1	Unidad	200,00	200,00
4	Trípode	2	Unidad	100,00	200,00
5	Cronógrafo	2	Unidad	1 100,00	2 200,00
6	Blocks de Villa Nueva	18	Unidad	3,50	63,00
7	Blocks de Mixco	18	Unidad	3,50	63,00
8	Blocks de zona 18	18	Unidad	3,25	58,50
9	Blocks tipo A	10	Unidad	4,35	43,50
10	Blocks tipo B	10	Unidad	3,99	39,90
11	Blocks tipo C	10	Unidad	3,45	34,50
12	Municiones para escopeta calibre 12	20	Unidad	22,50	450,00
13	Municiones para pistola 9 mm	65	Unidad	3,20	208,00
				Total	Q4 260,40

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. En las tablas XXIV a la XIX se logró obtener la energía residual y fuerza de rozamiento por cada muestra ensayada, tanto para calibre 9 mm como para calibre 12 de escopeta. En las tablas XXXI y XXXII se identificó que los blocks normados A, B y C son aptos para absorber impactos calibre 9 mm a una distancia de 2,5 hasta 10 metros. Mientras que los *blocks* que no cumplen con la norma de las tres fábricas seleccionadas no son capaces de absorber dicha energía. Pero, ningún *block* tanto normado como los que no cumplen con la norma son lo suficientemente resistentes para absorber la energía cinética de un impacto de calibre 12 de escopeta desde una distancia de 2,5 hasta 10 metros.
2. De las tres fábricas seleccionadas, según la tabla XVI, ninguna de estas cumple con los parámetros requeridos por la Norma NTG 41054.
3. Se logró diseñar un método de ensayo y una estructura metálica, con ellas se obtuvieron registros de cada muestra ensayada, las velocidades, las cuales fueron necesarias para obtener la energía residual y la fuerza de rozamiento.
4. El método propuesto logró cumplir con el objetivo de impactar y obtener resultados de seis *blocks* por cada fábrica y seis por cada tipo de *block* normado, obteniendo datos necesarios para cálculos por cada uno de ellos.

5. Se logró establecer una correlación en cuanto a la resistencia versus energía residual de los *blocks* normados. También se demostró que no existe ninguna correlación entre la resistencia a la compresión versus energía residual en los *blocks* que no cumplen con la norma, demostrando que los *blocks* normados tienen mejor capacidad de absorción de energía cinética y presentan una mejor oposición a la penetración.

RECOMENDACIONES

A la población en general:

1. Utilizar *blocks* normados para la edificación de sus viviendas. Construyendo de esta manera se reducirá la vulnerabilidad de las paredes y aumentará su resistencia ante la penetración de proyectiles de armas de fuego.
2. Reforzar las paredes de viviendas que ya se encuentren edificadas con alguna metodología constructiva, la cual contribuya al aumento a la resistencia a la penetración de proyectiles de armas de fuego.

A las fábricas de *blocks* que no cumplen con la norma:

3. Mejorar la calidad de sus productos, como los blocks de concreto que elaboran, apegándose a las especificaciones de la Norma NTG 41054.
4. Utilizar materiales pétreos normados debido a que estos materiales como la arena triturada posee mejores propiedades mecánicas y menos porcentaje de absorción al ser sometida a la compresión, a diferencia de la arena de pómez.

A las fábricas de *blocks* normados:

5. Invertir en investigaciones sobre este tema, con el fin de buscar maneras o metodologías de fabricación que ayuden para que sus productos mejoren su resistencia a la penetración ante proyectiles de armas de fuego.

A las fábricas de otros materiales:

6. Tomar en cuenta este tema de impactos de proyectiles de armas de fuego en futuros ensayos que realicen a sus materiales. Ayudará a dar una mejor garantía de sus productos y, a la vez, sus materiales permitirán disminuir el riesgo de ser alcanzado por un proyectil lanzado al aire (bala perdida).

BIBLIOGRAFÍA

1. BAIRES QUEZADA, Rodrigo. *En Guatemala hay un arma por cada 25 habitantes.* [en línea]. <<https://www.plazapublica.com.gt/content/en-guatemala-hay-un-arma-por-cada-25-habitantes#:~:text=Desde%20abril%20de%202009%20a,por%20cada%20100%20mil%20habitantes>>. [Consulta: 28 de enero de 2021].
2. CHUMIL, Katerin. *Ciudadanos registraron 116 armas a diario durante 2019.* [en línea]. <<https://www.prensalibre.com/guatemala/justicia/ciudadanos-registraron-112-armas-a-diario-durante-2019/>>. [Consulta: 28 de enero de 2021].
3. CIBRIAN VIDRIO, Octavio. *Balística técnica y forense.* México: Editorial PAC, S.A. de C.V., 1998. 302 p.
4. COGUANOR NTG 41054. *Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones.* Guatemala: Ministerio de Economía, 2015. 14 p.
5. Emisora Unidas. *Estas son las áreas que están catalogadas como 'zonas rojas' en la capital.* [en línea]. <<https://emisorasunidas.com/2019/11/15/areas-catalogadas-zonas-rojas-en-la-capital/>>. [Consulta: 27 de julio de 2021].

6. FIGUEROA CHANG, Welner Guillermo. *Caracterización clínica y epidemiológica de pacientes con fracturas producidas por proyectil de arma de fuego*. Trabajo de graduación de Médico y Cirujano. Facultad de Medicina. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2018. 104 p.
7. GUZMAN, Carlos. *Manual de balística*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones la Rocca, 2000. 539 p.
8. INE. *Resultados del censo 2018*. [en línea]. <<https://www.censopoblacion.gt/explorador>>. [Consulta: 22 de septiembre de 2021].
9. MENDOZA, Carlos. *Informe sobre la violencia homicida en Guatemala: diciembre de 2020*. [en línea]. <<https://bit.ly/38GZdOr>>. [Consulta: 5 de septiembre de 2021].
10. Monografías. *Antecedentes históricos de la balística*. [en línea]. <<https://www.monografias.com/docs/Antecedentes-historicos-de-la-balistica-FK9A9QTFJDUNY>>. [Consulta: 28 de enero de 2021].
11. MORENA DE DIAGO, Luis. *Caracterización del impacto, penetración y perforación de un proyectil multi-rol*. España: Ministerio de la Defensa, 2015. 98 p.
12. Municipalidad de Ciudad de Fernández. *Balística ¡el peligro de disparar al aire!* [en línea]. <<https://cdfdz.gob.mx/seguridad-publica/balistica-el-peligro-de-disparar-al-aire/>>. [Consulta: 14 de octubre de 2021].

13. Municipalidad de Villa Nueva. *Ubicación y localización*. [en línea]. <<https://www.villanueva.gob.gt/monografia-de-villa-nueva-guatemala/>>. [Consulta: 24 de julio de 2021].
14. MUÑOZ LUN, Estefany Evanelly. *Análisis y comparaciones de los efectos producidos por proyectiles de arma de fuego en la víctima y en superficies dentro de escenas del crimen mixtas*. Trabajo de graduación de Licenciatura en Investigación Criminal y Forense. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales. Universidad Rafael Landívar. 94 p.
15. PRECSA. *¿Por qué exigir productos normados o certificados?* [en línea]. <<https://www.precsa.com.gt/por-que-exigir-productos-normados-o-certificados/>>. [Consulta: 22 de enero de 2021].
16. ROMERO ANTURI, Luis Eduardo; NORVEY ZAMBRANO, Jhon; ESPINOSA BLANCO, Nelson Eduardo. *Distancia de disparo y su interpretación frente a la conducción de hostilidades en el conflicto armado colombiano*. Colombia: Revista Científica General José María Córdova, 2014. 30 p.
17. SÁNCHEZ, Luis. *Péndulo balístico*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/AlejandroSanchez155/luis-sanchez-21143702-44275158>>. [Consulta: 10 de octubre de 2021].
18. UOL. *Péndulo balístico*. [en línea]. <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/pendulo-balistico.htm>>. [Consulta: 11 de julio de 2021].

19. Wikiguate. *Mixco*. [en línea]. <<https://wikiguate.com.gt/mixco/>>. [Consulta: 24 de julio de 2021].

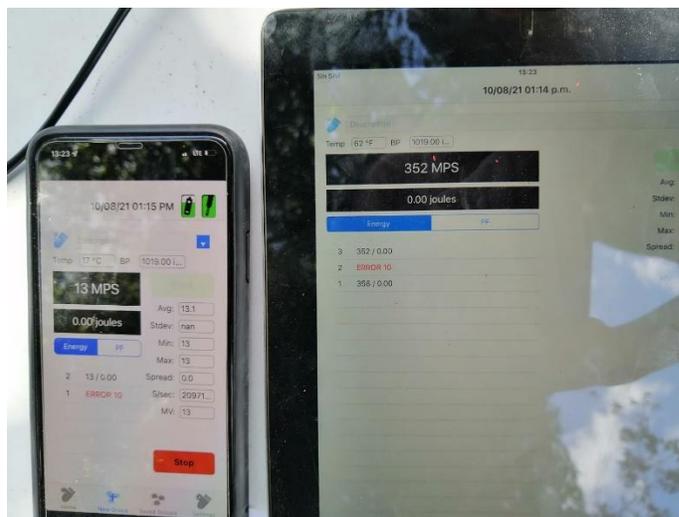
20. _____. *Zona 18 de la ciudad de Guatemala*. [en línea]. <<https://wikiguate.com.gt/mixco/>>. [Consulta: 24 de julio de 2021].

APÉNDICES

Apéndice 1. Ensayos realizados a blocks de concreto



Continuación del apéndice 1.



Fuente: km 15,2, San José, Villa Nueva.

ANEXOS

Anexo 1. Ensayo de compresión, blocks fábrica de Villa Nueva



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



BLOCKS

No. 14285

O.T. No. 40715	INFORME No. 27-M
INTERESADO: NOE DAVID REN MATEO	
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION TITULADO TESIS "PRUEBAS DE IMPACTO CON PROYECTILES DE ARMAS DE FUEGO EN UNIDADES DE MAMPOSTERIA: BLOCKS DE CONCRETO".	
ASUNTO: ENSAYO DE COMPRESION EN BLOCKS	
FECHA: GUATEMALA, 12 DE ABRIL DE 2021.	

ANTECEDENTES

El estudiante NOE DAVID REN MATEO, CARNE No. 200721993, de la carrera de Ingeniería Civil, solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara, ensayo de compresión en 15 blocks, los ensayos en cuestión son parte del trabajo de tesis, "PRUEBAS DE IMPACTO CON PROYECTILES DE ARMAS DE FUEGO EN UNIDADES DE MAMPOSTERIA: BLOCKS DE CONCRETO".

RESULTADOS

Identificación	Medidas en cm			Peso kg	Absorción %	Esfuerzo		Densidad
	Largo	Ancho	Altura			neto (kg/cm ²)	bruto (kg/cm ²)	
1								
AMARILLO	40,03	14,80	19,60	8,13	24,36	37,98	26,03	1003
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
2								
AMARILLO	40,10	14,73	20,20	7,63	21,49	23,30	14,59	1027
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
3								
AMARILLO	40,07	14,73	19,87	8,045	22,08	34,32	23,05	1022
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
4								
AMARILLO	40,00	14,73	20,00	7,755	24,53	28,68	18,47	1002
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
5								
AMARILLO	40,03	14,73	20,00	7,485	23,27	35,90	22,30	1012
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								

SECCIÓN METALES Y PRODUCTOS
MANUFACTURADOS



FACULTAD DE INGENIERIA – USAC –
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 2. Ensayo de compresión, blocks fábrica de Mixco



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



BLOCKS

No. 14286

O.T. No. 40715	INFORME No. 27-M
INTERESADO: NOE DAVID REN MATEO	
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION TITULADO TESIS "PRUEBAS DE IMPACTO CON PROYECTILES DE ARMAS DE FUEGO EN UNIDADES DE MAMPOSTERIA BLOCKS DE CONCRETO".	
ASUNTO: ENSAYO DE COMPRESION EN BLOCKS	
FECHA: GUATEMALA, 12 DE ABRIL DE 2021.	

6								
Identificación	Medidas en cm			Peso kg	Absorción %	Esfuerzo		Densidad
	Largo	Ancho	Altura			neto (kg/cm ²)	bruto (kg/cm ²)	
MORADO	40,03	14,93	20,10	8,795	17,85	47,45	29,59	1167
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
7								
Identificación	Medidas en cm			Peso kg	Absorción %	Esfuerzo		Densidad
	Largo	Ancho	Altura			neto (kg/cm ²)	bruto (kg/cm ²)	
MORADO	40,07	14,87	19,60	7,745	24,02	40,42	22,85	1109
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
8								
Identificación	Medidas en cm			Peso kg	Absorción %	Esfuerzo		Densidad
	Largo	Ancho	Altura			neto (kg/cm ²)	bruto (kg/cm ²)	
MORADO	40,00	14,73	20,07	7,54	25,89	25,50	13,85	1092
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
9								
Identificación	Medidas en cm			Peso kg	Absorción %	Esfuerzo		Densidad
	Largo	Ancho	Altura			neto (kg/cm ²)	bruto (kg/cm ²)	
MORADO	40,37	15,13	20,00	7,37	24,60	36,12	18,56	1104
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
10								
Identificación	Medidas en cm			Peso kg	Absorción %	Esfuerzo		Densidad
	Largo	Ancho	Altura			neto (kg/cm ²)	bruto (kg/cm ²)	
MORADO	40,23	15,03	20,07	7,405	26,23	36,07	18,75	1090
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								

SECCION METALES Y PRODUCTOS
MANUFACTURADOS



FACULTAD DE INGENIERIA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 3. Ensayo de compresión, blocks fábrica de zona 18



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



BLOCKS

O.T. No. 40715 INFORME No. 26-M
INTERESADO: NOE DAVID REN MATEO
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION TITULADO TESIS "PRUEBAS DE IMPACTO CON PROYECTILES" **14287**
ASUNTO: ENSAYO DE COMPRESION EN BLOCKS
FECHA: GUATEMALA, 12 DE ABRIL DE 2021.

11								
Identificación	Medidas en cm			Peso kg	Absorción %	Esfuerzo		Densidad
	Largo	Ancho	Altura			neto (kg/cm ²)	bruto (kg/cm ²)	
AZUL	40,07	14,97	19,87	8,025	25,28	32,34	18,91	1140
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
12								
Identificación	Medidas en cm			Peso kg	Absorción %	Esfuerzo		Densidad
	Largo	Ancho	Altura			neto (kg/cm ²)	bruto (kg/cm ²)	
AZUL	39,97	14,97	19,87	7,455	24,68	23,29	13,65	1145
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
13								
Identificación	Medidas en cm			Peso kg	Absorción %	Esfuerzo		Densidad
	Largo	Ancho	Altura			neto (kg/cm ²)	bruto (kg/cm ²)	
AZUL	40,00	14,97	19,90	8,265	24,45	27,21	15,91	1147
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
14								
Identificación	Medidas en cm			Peso kg	Absorción %	Esfuerzo		Densidad
	Largo	Ancho	Altura			neto (kg/cm ²)	bruto (kg/cm ²)	
AZUL	39,93	14,80	19,93	7,865	24,53	27,26	16,12	1146
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								
15								
Identificación	Medidas en cm			Peso kg	Absorción %	Esfuerzo		Densidad
	Largo	Ancho	Altura			neto (kg/cm ²)	bruto (kg/cm ²)	
AZUL	39,97	15,00	19,90	7,795	23,26	24,62	14,38	1158
BLOQUE HUECO DE HORMIGON CLASE C, LIVIANO								

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

SECCIÓN METALES Y PRODUCTOS
MANUFACTURADOS
M.Sc. Ing. Pablo Christian Rodríguez
Jefe de Metales y Productos
Manufacturados
/cbr

Atentamente,
"ID Y ENSAÑAD A TODOS"

Vo.Bo.
Inga. Telma Marcela Cano Morales
DIRECTORA C.I.I.



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

