



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO A VIVIENDAS DE HORMIGÓN ARMADO
BAJO LA ACCIÓN DE CARGAS EXPLOSIVAS EN CONTACTO, EN EL
BARRIO EL MIRADOR EN EL SECTOR DEL CERRO EL TABLAZO DE
SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR (ES):

RODRÍGUEZ CORAL KATHERINE LISSETTE
SEGOVIA QUIROZ JORDY STEVEN

TUTOR:

ING. RAÚL ANDRÉS VILLO VERA, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

“IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO A VIVIENDAS DE HORMIGÓN ARMADO BAJO LA ACCIÓN DE CARGAS EXPLOSIVAS EN CONTACTO, EN EL BARRIO EL MIRADOR EN EL SECTOR DEL CERRO EL TABLAZO DE SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

RODRÍGUEZ CORAL KATHERINE LISSETTE
SEGOVIA QUIROZ JORDY STEVEN

TUTOR:

ING. RAÚL ANDRÉS VILLO VERA, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2023

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Jonny Raúl Villao Borbor, MSc.

DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc.

DOCENTE TUTOR



Ing. Vianna Pinoargote Rovello, MSc.

DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Lucrecia Cristina Moreno, Ph.D.

DOCENTE UIC

DEDICATORIA

La vida te presenta muchos obstáculos que solo nosotros decidimos si avanzar o rendirnos. En este año de estudio me han pasado muchas cosas que solo mi familia y amigos conocen porque lo han vivido conmigo , es por ello, que quiero dedicar este trabajo a cada uno de ustedes, a ti papá por enseñarme que todo lo que nos proponemos lo podemos lograr con esfuerzo y dedicación, a mi mamá por siempre darme la mano y levantarme cada vez que caía, ella ha sido mi pilar fundamental y mi más valioso tesoro por creer siempre en mi capacidad para alcanzar mis metas propuestas, a mis hermanas por estar siempre conmigo e incentivarme en cada decisión que tomé por estar presente en las situaciones más tristes y alegres que pasé en el transcurso de mis estudios, a mi gran tesoro, mi hijo, que ha sido mi mayor motivación y fuente de inspiración, y sobre todo quiero dedicar a mi abuelita Julia que fue como mi segunda mamá, siempre estás presente en mi mente, aunque ya no pueda verte.

El esfuerzo no se mide con palabras
Se mide con hechos
Los cuales marcan la diferencia.
(JJSN)

KATHERINE LISSETTE RODRÍGUEZ CORAL

Mael Caleb Segovia Rodríguez, mi gran tesoro, no solo eres la razón más importante por la cual llegue hasta el final, tantos obstáculos tantas malas noches, lágrimas, risas, pero todo tiene su recompensa y en este día especial te quiero dedicar este esfuerzo como padre que, por acto de rebeldía, salí de mi seno familiar a buscar nuevos rumbos lo que me ayudo a ser el hombre que soy; eres el amor de mi vida y todo lo hago por ti. Recuerda que siempre cuentas conmigo y siempre te voy a amar.

A mis padres Jorge Segovia y Patricia Quiroz claros ejemplos de superación siendo el fruto de ese amor su hijo este día cumple una etapa de su vida, gracias a ustedes que me han enseñado los buenos valores y tener constancia en todo lo que hago puedo decir lo he logrado.

A mis hermanas Gabriela y Valentina que son mis princesas soy el ejemplo a seguir de ellas, mis niñas, su hermano siempre las amara hasta que cierren sus ojos.

A Consuelo Argudo y Andrés Cevallos con quien me acogió en su casa y me recibió como un hijo más y a una mujer de superación que la quiero como mi segunda Madre puedo decir gracias por levantarme, cuando iba a soltar la toalla.

Al Ing. Saltos Armando por ser un buen maestro y amigo, por ser esa persona que me daba impulso para ser un buen estudiante y seguir adelante, aunque no estará presente físicamente, sé que dese el cielo estará orgulloso de su alumno.

Abuelito (Muelito) Luis Roberto como ese día en el camión me dijiste mijo “eres igual a tu madre, mijito en el camino tendrás tropiezos, pero ser hombre es levantarse uno y otra vez hasta cruzar la meta y no olvides hijo siempre estaré orgulloso de ti”; hoy puedo decir abuelito lo he logrado después de todo he llegado a la meta.

Nunca abandones tus sueños
Se perseverante en ellos
y veras que cada sueño se cumple.
Sun Tzu

JORDY STEVEN SEGOVIA QUIROZ

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema: "IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO A VIVIENDAS DE HORMIGÓN ARMADO BAJO LA ACCIÓN DE CARGAS EXPLOSIVAS EN CONTACTO, SECTOR EL TABLAZO 2022", elaborado por los estudiantes: Rodríguez Coral Katherine Lissette y Segovia Quiroz Jordy Steven con CI 2400131229 y 0925839060 respectivamente, egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio URKUND, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 8% de la valoración permitida.

Adjunto reporte de similitud

Atentamente



ING. RAÚL VILLAO VERA

Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc.
C.I.: 0924204290

DOCENTE TUTOR



JORDY Y KATHERINE PARA PLAGIO

8% Similitudes
 < 1% Texto entre comillas
 < 1% similitudes entre comillas
 0% Idioma no reconocido

Nombre del documento: JORDY Y KATHERINE PARA PLAGIO.docx
 ID del documento: 12f9883e7b112464e0c641b83cd36fd82327e607
 Tamaño del documento original: 172,33 kB

Depositante: RAUL ANDRES VILLAO VERA
 Fecha de depósito: 11/7/2023
 Tipo de carga: interface
 fecha de fin de análisis: 11/7/2023

Número de palabras: 10.747
 Número de caracteres: 67.389

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

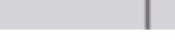
Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.uide.edu.ec https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2205/1/IT-UIDE-1254.pdf	2%		Palabras idénticas: 2% (187 palabras)
2	Documento de otro usuario #7de492 El documento proviene de otro grupo 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (120 palabras)
3	core.ac.uk https://core.ac.uk/download/pdf/143450119.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (59 palabras)
4	repositorio.espe.edu.ec Evaluación de daño en columnas de hormigón armado a e... http://repositorio.espe.edu.ec:8080/bitstream/21000/20833/5/IT-ESPE-039720.pdf.bt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (69 palabras)
5	hdl.handle.net Análisis de la máxima carga operante en las vibraciones a campo le... https://hdl.handle.net/11537/10905 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (73 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.espe.edu.ec Desarrollo de curvas de daño por impacto con cargas expl... http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13384	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (38 palabras)
2	www.buenastareas.com Metodología de construcción de túneles en roca por medi... https://www.buenastareas.com/ensayos/Metodologia-De-Construcción-De-Túneles-Env2273816.html	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
3	Documento de otro usuario #d12b38 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
4	hdl.handle.net Proyecto de voladura tipo http://hdl.handle.net/10902/1664	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
5	Documento de otro usuario #25454c El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 repositorio.espe.edu.ec Desarrollo de curvas de daño por impacto con cargas expl... http://repositorio.espe.edu.ec/8080/bitstream/21000/13384/5/7-ESPE-057337.pdf.txt	16%		Palabras idénticas : 16% (1776 palabras)
2	 www.osso.org.co https://www.osso.org.co/docu/tesis/2003/vibracion/B.pdf	16%		Palabras idénticas : 16% (1782 palabras)
3	 dokumen.tips (PDF) B. CONCEPTOS BASICOS SOBRE VOLADURAS' B.1. Introducci 'o... https://dokumen.tips/documents/b-conceptos-basicos-sobre-voladuras-b1-introduccion-una-dinamita-...	9%		Palabras idénticas : 9% (1031 palabras)
4	 dspace.ucuena.edu.ec Optimización de los parámetros de perforación y voladura ... http://dspace.ucuena.edu.ec/bitstream/123456789/4390/4/tesis.pdf.txt	6%		Palabras idénticas : 6% (631 palabras)
5	 dspace.ucuena.edu.ec http://dspace.ucuena.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/4390/3/tesis.pdf	6%		Palabras idénticas : 6% (617 palabras)
6	 dspace.ucuena.edu.ec http://dspace.ucuena.edu.ec/bitstream/123456789/4390/3/tesis.pdf	6%		Palabras idénticas : 6% (617 palabras)
7	 ingenierosasesores.com Usos del hormigón armado en la construcción Ingenieros ... https://ingenierosasesores.com/actualidad/usos-del-hormigon-armado-en-la-construccion/#:~:text=D...	6%		Palabras idénticas : 6% (608 palabras)

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
8	 ingenierosasesores.com Usos del hormigón armado en la construcción Ingenieros ... https://ingenierosasesores.com/actualidad/usos-del-hormigon-armado-en-la-construccion/	6%		Palabras idénticas : 6% (608 palabras)
9	 ingenierosasesores.com Usos del hormigón armado en la construcción Ingenieros ... https://ingenierosasesores.com/actualidad/usos-del-hormigon-armado-en-la-construccion/#:~:text=To...	6%		Palabras idénticas : 6% (608 palabras)
10	 ingenierosasesores.com Usos del hormigón armado en la construcción Ingenieros ... https://ingenierosasesores.com/actualidad/usos-del-hormigon-armado-en-la-construccion/#:~:text=Pr...	6%		Palabras idénticas : 6% (608 palabras)
11	 1library.co Carga operante: - Optimización de consumo de explosivo https://1library.co/articulo/carga-operante-optimización-de-consumo-de-explosivo.9yn3j71q	3%		Palabras idénticas : 3% (300 palabras)
12	 www.normalizacion.gob.ec https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/hormas/rta_jnen_3121.pdf	2%		Palabras idénticas : 2% (256 palabras)
13	 hdl.handle.net Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usan... http://hdl.handle.net/20.500.14076/663	1%		Palabras idénticas : 1% (142 palabras)
14	 hdl.handle.net Análisis del fenómeno vibratorio en la ampliación de la cámara de ... http://hdl.handle.net/20.500.12894/3174	1%		Palabras idénticas : 1% (136 palabras)
15	 hdl.handle.net Efecto de las Cámaras de Aire en Taladros de Producción para Meja... https://hdl.handle.net/20.500.12692/11034	1%		Palabras idénticas : 1% (130 palabras)
16	 hdl.handle.net Análisis de las vibraciones generadas por voladuras para la adecua... http://hdl.handle.net/20.500.12894/3177	1%		Palabras idénticas : 1% (129 palabras)
17	 hdl.handle.net Aplicación del principio de la velocidad pico partícula (VPP), para mi... http://hdl.handle.net/20.500.12894/1351	1%		Palabras idénticas : 1% (125 palabras)
18	 1library.co PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS - Proyecto mejoramiento y rehabilita... https://1library.co/articulo/propiedades-explosivos-proyecto-mejoramiento-rehabilitación-carretera-coc...	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (87 palabras)
19	 hdl.handle.net Análisis de consecuencias y Zonas de Planificación para explosiones... http://hdl.handle.net/10201/195	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (62 palabras)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Rodríguez Coral Katherine Lissette y Segovia Quiroz Jordy Steven, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO A VIVIENDAS DE HORMIGÓN ARMADO BAJO LA ACCIÓN DE CARGAS EXPLOSIVAS EN CONTACTO, EN EL BARRIO EL MIRADOR EN EL SECTOR DEL CERRO EL TABLAZO DE SANTA ELENA”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



Rodríguez Coral Katherine Lissette
C.I. 2400131229



Segovia Quiroz Jordy Steven
C.I. 0925839060

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Raul Andres Villao Vera MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo: "IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO A VIVIENDAS DE HORMIGÓN ARMADO BAJO LA ACCIÓN DE CARGAS EXPLOSIVAS EN CONTACTO, SECTOR EL TABLAZO 2022", previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, elaborado por la Srta. RODRÍGUEZ CORAL KATHERINE LISSETTE y el Sr. SEGOVIA QUIROZ JORDY STEVEN, egresados de la CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL, Facultad CIENCIAS DE LA INGENIERÍA de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

Atentamente



RAUL ANDRES VILLOA
VERA

Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc.
C.I.: 0924204290

DOCENTE TUTOR



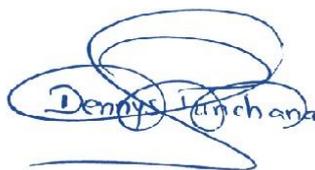
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

Yo, **DENNYS MAURICIO PANCHANA YAGUAL**, en mi calidad de **LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN Y LIDERAZGO EDUCACIONAL**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de ingeniero civil, denominado **“IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO A VIVIENDAS DE HORMIGÓN ARMADO BAJO LA ACCIÓN DE CARGAS EXPLOSIVAS EN CONTACTO, SECTOR EL TABLAZO 2022”** de los estudiantes **RODRÍGUEZ CORAL KATHERINE LISSETTE** y **SEGOVIA QUIROZ JORDY STEVEN**

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo con las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

Es cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 11 de julio del 2023



Lcdo. Dennys Panchana Yagual, Mgtr.

CI. 0919400176

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGISTER EN GERENCIA Y LIDERAZGO EDUCACIONAL
N° DE REGISTRO DE SENEYCYT 1031-2018-1947613

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme acompañado, guiado y dado fuerza y valor para culminar esta etapa profesional.

Le doy gracias a mis padres Santos y Fanny por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. Y sé que están orgullosos de la persona en la cual me he convertido.

A Ricky Yagual, por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera universitaria, por compartir momentos de alegría, tristeza y demostrarme que siempre podré contar con él.

Al tutor Ing. Raúl Villao MSc. por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

A mi querida Ing. Lucrecia Montenegro Ph.D. por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de este proyecto.

Gracias a todos los docentes que han impartido sus conocimientos y apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo y amistad que me transmitieron.

Las adversidades planteadas
Son el mejor texto
Para formar un gran profesional.
JJSN

KATHERINE LISSETTE RODRÍGUEZ CORAL

A Dios, quien nos dio gallardía y el temple necesario durante todo el período universitario de esta maravillosa carrera, la cual supo dar momentos y situaciones difíciles, pero a su vez enseñando paso a paso la magnificencia de dominar esta gran doctrina, para así con el mayor ímpetu decir que logramos obtener el título de Ingenieros Civiles, compromiso arduo que ha traído grandes bendiciones y fe para superar cualquier adversidad que se nos presentó una y varias veces.

A nuestras familias, motivo y razón de estudiar día tras día para concretar el éxito para metas planteadas y sueños que hoy se convierten en realidad, dando un fuerte apoyo a lo largo del trayecto encaminado.

A los docentes de nuestra Carrera de Ingeniería Civil por todo el conocimiento facilitado mediante las cátedras impartidas y cada uno de los conocimientos adquiridos hoy en día, posibles para la elaboración del proyecto de titulación y formar nuestro carácter técnico y profesional.

A nuestro tutor de tesis, Ing. Raúl Villao MSc., quien orientó este proceso de investigación y la guía profesional necesaria para culminar este proyecto de Titulación.

Las personas no forman personas,
forman líderes y profesionales
que nos dan una oportunidad
para defendernos en la vida.

JJSN

JORDY STEVEN SEGOVIA QUIROZ

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	I
DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	viii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ix
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA	x
AGRADECIMIENTOS	xi
TABLA DE CONTENIDO	xiii
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE TABLAS	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	20
1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	21
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	23
1.2 ANTEDECENTES	24
1.3 HIPÓTESIS	26
1.3.1 Hipótesis General.	26
1.3.2 Hipótesis Específicas.	26
1.4 OBJETIVOS	27

1.4.1	Objetivo General.....	27
1.4.2	Objetivos Específicos.....	27
1.5	ALCANCE	27
1.6	VARIABLES.....	29
1.6.1	Variable Dependiente.....	29
1.6.2	Variable Independiente.....	29
2.	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	30
2.1.	Antecedentes investigativos.....	30
2.2.	Fundamentación teórica	31
2.3.	CARGAS EXPLOSIVAS.....	32
2.3.1.	Breve reseña de los explosivos.....	33
2.3.2.	FENÓMENO FÍSICO DE LA ONDA DE CHOQUE A TRAVÉS DEL USO DEL MODELO MATEMÁTICO (KINGERY – BULMASH) PARA CONOCER LOS EFECTOS QUE ESTE OCASIONA EN LA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO DE LAS VIVIENDAS.	34
2.3.3.	Hormigón Armado.....	55
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	59
3.1	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	59
3.1.1.	Tipo.....	59
3.1.2.	Nivel.....	59
3.2.	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN....	60
3.2.1.	Método.....	60
3.2.2.	Enfoque.....	60
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	61

3.3.1. Diseño.....	61
3.3.2. Población.....	61
3.3.3. Muestra.....	61
3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	62
3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	62
3.6. EXPLOSIVOS, TÉCNICAS Y SU RELACIÓN CON LAS VIBRACIONES.....	63
3.6.1. Método de uso del explosivo.....	67
3.6.2. Reducción de niveles de vibración.....	69
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	81
4.1. MEDICIÓN DE LOS DAÑOS OCASIONADOS POR LAS ONDAS SÍSMICAS PRODUCTO DE LAS DETONACIONES DE EXPLOSIVOS	
81	
4.2. CÁLCULOS.....	81
4.3. INFORME DE ENSAYO.....	89
4.3.1. Información general.....	90
4.3.2. Información del hormigón.....	90
4.3.3. Descripción del área de prueba.....	90
4.3.4. Información del martillo.....	90
4.3.5. Información sobre el número de rebote.....	90
4.4. PRECISIÓN.....	91
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
5.1 CONCLUSIONES.....	93
5.2 RECOMENDACIONES.....	94

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo de validación de modelo matemático	35
Figura 2. Presión según distancia escalada Z (Brode, 1955)	38
Figura 3. Curva de Presión	39
Figura 4. Presión según distancia escalada Z.....	42
Figura 5. Curva de presión III, según peso del explosivo y distancia escalada Z..	42
Figura 6. Análisis en función de la carga explosiva.....	43
Figura 7. Presiones Actuales	44
Figura 8. Esquema de distribución de presión en la probeta de hormigón armado	46
Figura 9. Detonación al aire libre.....	47
Figura 10. Propiedades de los explosivos	48
Figura 11: Fuerza o potencia de los explosivos	49
Figura 12. Ondas expansivas.....	50
Figura 13: Densidad y gravedad específica de los explosivos.....	52
Figura 14: Presión de detonación de los explosivos	53
Figura 15: Sensibilidad de los explosivos.....	53
Figura 16: Resistencia al agua	54
Figura 17: Emanaciones.....	55
Figura 18:Ventajas del hormigón armado.....	58
Figura 19:Técnicas de voladuras con una sola carga.	63
Figura 20:Secuenciación típica de mallas	66
Figura 21: Esquema para el uso del explosivo.....	68
Figura 22: Sismógrafo.....	72
Figura 23. Equipos de Medición de ondas	75
Figura 24. Ondas expansivas.....	77
Figura 25. Norma Alemana DIN 4150 (2001, efectos sobre estructuras).....	78
Figura 26:Esclerómetro PCE-HT 22.....	79
Figura 27. Esclerómetro	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Cálculo de presiones actuantes, según ecuación de (Brode, 1955).....	37
Tabla 2. Cálculo de presiones actuantes, según ecuación de (Henrych, 1979).....	40
Tabla 3. Cálculo de presiones actuantes, según ecuación de (Baker W. E., 19741).	41
Tabla 4. Cálculo de presiones actuantes, según (SaferGuard-UN, 2017)	44
Tabla 5. Relación de resultados entre ecuaciones de presión	45
Tabla 6. Carga Puntual Equivalente, según ecuación de (Henrych, 1979)	46
Tabla 7. Ondas expansivas	51
Tabla 8: Propiedades de los geles explosivos	70
Tabla 9. Cálculo de la velocidad de la Onda P para los frentes de estudio.....	73
Tabla 10. Factores influyentes en las vibraciones.....	76
Tabla 11. Valores admitidos por la Norma Alemana.....	79
Tabla 12: MOTEL AMORMIO: COLUMNA 1A (25x25), EDAD 15 AÑOS	81
Tabla 13 COLUMNA 2A (25X25)	82
Tabla 14. COLUMNA 3A (25X25)	82
Tabla 15. COLUMNA 4A (25X25)	83
Tabla 16 COLUMNA 5A (25X25)	83
Tabla 17 COLUMNA 1A (15X15)	84
Tabla 18. COLUMNA 2A (15X15)	84
Tabla 19. COLUMNA 3A (15X15)	85
Tabla 20. COLUMNA 4A (15X15)	85
Tabla 21. VIGA 1A (20X20)	86
Tabla 22. VIGA 2A (20X20)	86
Tabla 23. COLUMNA 1A (15X15)	87
Tabla 24. COLUMNA 2A (15X15)	87
Tabla 25. VIGA 1A (20X20)	88
Tabla 26. VIGA 2A (20X20)	88
Tabla 27. COLUMNA 1A (15X15)	89
Tabla 28. COLUMNA 2A (15X15)	89
Tabla 29. Tabla de Resumen de resultados de estudios a viviendas del Sector Barrio El Mirador, de las construcciones más afectadas usando el Esclerómetro	92

“IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO A VIVIENDAS DE HORMIGÓN ARMADO BAJO LA ACCIÓN DE CARGAS EXPLOSIVAS EN CONTACTO, EN EL BARRIO EL MIRADOR EN EL SECTOR DEL CERRO EL TABLAZO DE SANTA ELENA”

Autores: Rodríguez Coral Katherine Lissette y Segovia Quiroz Jordy Steven

Tutor: Ing. Raúl Villao, MSc.

RESUMEN

Esta investigación tiene por objetivo establecer el comportamiento de los materiales que componen las columnas de hormigón armado ante el impacto de cargas con explosivos. Los parámetros considerados incluyen: condiciones de diseño, construcción, ensayo y efectos de daño. La presente investigación tuvo como objetivo general, el identificar el daño a viviendas de hormigón armado bajo la acción de cargas explosivas en contacto. La metodología empleada fue No Experimental porque se recolecta la información con el propósito de describir y analizar la influencia de los niveles, sin la manipulación deliberada de variables. Es de mencionar que los principales resultados establecen que las cargas de dinamita que utilizan los artesanos en las minas si afecta a las casas que se encuentran en las cercanías. Por lo que se deben establecer acciones que conlleven a considerar zona de riesgos para la construcción de viviendas por el daño que ocasiona a las mismas.

PALABRAS CLAVE: Viviendas de hormigón armado. Cargas explosivas. El Tablazo.

“IDENTIFICATION OF DAMAGE TO REINFORCED CONCRETE HOUSES UNDER THE ACTION OF EXPLOSIVE CHARGES IN CONTACT, IN THE NEIGHBORHOOD OF EL MIRADOR IN THE SECTOR OF EL TABLAZO HILL IN SANTA ELENA”

Authors: Rodríguez Coral Katherine Lissette y Segovia Quiroz Jordy Steven

Tutor: Ing. Raúl Villao, MSc.

ABSTRACT

The objective of this research is to establish the behavior of the materials that make up the reinforced concrete columns before the impact of explosive charges. The parameters considered include: design conditions, construction, testing and damage effects. The present investigation had as a general objective, to identify the damage to reinforced concrete houses under the action of explosive charges in contact. The methodology used was non-experimental because the information is collected with the purpose of describing and analyzing the influence of the levels, without the deliberate manipulation of variables. It is worth mentioning that the main results establish that the dynamite charges used by artisans in the mines do affect the houses that are nearby. Therefore, actions must be established that lead to considering a risk area for the construction of houses due to the damage caused to them.

KEY WORDS: Reinforced concrete houses. Explosive charges. The Tablazo.

1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Una onda expansiva producida por una detonación a una distancia mayor de 20 m puede causar daños a la fachada de edificaciones, generar un mínimo daño en los elementos estructurales. Sin embargo, para una onda a un rango de corto alcance los elementos estructurales pueden sufrir daños importantes; por lo que es indispensable evaluar el estado final de daño y su capacidad residual. (Guevara Patiño, 2016).

Este trabajo investigativo presenta información referente a la temática de estudio sobre daños estructurales realizados a viviendas que se hallan cerca de canteras, minas y que en su momento sufrieron los efectos que produce la detonación de cargas explosivas en contacto sobre columnas de hormigón armado (columnas H.A.), las que serán validadas en función de los ensayos experimentales realizados en (Peralta, 2019).

La comprensión de la interacción de una onda de choque con una estructura y su correspondiente afectación es fundamental para llevar acciones de demoliciones controladas, o de trabajos que se lleven a cabo sobre demolición de “material” en canteras que se hallan cerca de viviendas. (Yanes, 2017). A la fecha, investigadores han estudiado el desempeño dinámico de columnas HA bajo la acción de ondas de choque para diferentes condiciones como diferente tipo-geometría-masa-ubicación del explosivo y parámetros de diseño de la columna. (Silva, 2017)

A criterio de (Morales-A, 2018) llevaron a cabo estudios analíticos y computacionales sobre la respuesta dinámica de columnas HA. El estudio analítico utilizó un modelo de un grado de libertad y el estudio computacional fue desarrollado en el software ABAQUS. Los resultados denotan que cargas axiales moderadas o bajas incide directamente a una falla por flexión-corte. Mientras tanto que, una cantidad de explosivo considerable incide en una falla por corte directo.

El incremento del porcentaje de refuerzo longitudinal influye en la capacidad residual de la columna. Además, cuando la relación de refuerzo longitudinal fue mayor en una columna, se resistió más carga de explosión. Los efectos secundarios debidos al gran desplazamiento harán que dicha columna sea incapaz de soportar la carga diseñada. (Franco, 2016)}

Hurtado (2018) estudió, numérica y experimentalmente, la respuesta dinámica de muros no estructurales de una edificación. Los resultados infieren que los muros carecen de capacidad estructural, por lo que columnas y vigas son afectadas directamente ya que soportan todas las cargas inducidas.

Tena y Vargas (2017) estudiaron la respuesta dinámica de columnas HA circulares reforzadas para campo lejano y cercano. Los resultados muestran que el reforzamiento reduce considerablemente el desplazamiento lateral máximo, así como el daño al hormigón y el acero de refuerzo.

Contreras, (2019), estudió la respuesta dinámica de columnas HA para determinar niveles de daño a diferentes cantidades de explosivo y diferentes armados de columnas. Los resultados denotan que un mayor porcentaje de acero reduce significativamente el grado de daño inducido por la explosión y el posterior colapso de las columnas HA.

Villareal (2018) analizó el comportamiento de un edificio de (Mutualidad Argentina de Israel) sometido a cargas explosivas. Los resultados muestran que las columnas más cercanas al centro de la explosión fallaron por el efecto directo de la presión reflejada de la explosión. Las columnas en el extremo más alejado del edificio perdieron la conexión con las vigas superior e inferior. Esto podría deberse al efecto de tensión impartido por el empuje hacia arriba en la losa del primer piso en esa región.

Con estos antecedentes de estudios previos sobre el tema que se analiza, sirven de sustento práctico para llevar a cabo esta investigación y generar información relevante sobre las afectaciones que soportan las viviendas en los barrios El Mirador Cerro El Tablazo de Santa Elena.

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la provincia de Santa Elena, específicamente en la capital de provincia existe un sector denominado el Tablazo, que años atrás se explotó de manera indiscriminada material pétreo por los habitantes del sector, utilizando explosivos; este trabajo se lo realizaba de forma artesanal y rudimentariamente, a través de los años, ingresaron empresas mineras a explotar este sector. En primera instancia no se causaba daños a las edificaciones por situarse bastante lejos, y que las ondas expansivas, producto de estas explosiones no les llegaba (Ugel Garrido, 2018).

Pero, hoy, estas edificaciones se encuentran en las faldas del cerro, donde personas construyeron sus casas, sin tomar en cuenta la serie de recomendaciones dadas por personal técnico del GAD cantonal y, además, porque personeros municipales dieron los permisos respectivos para que se construyan estas edificaciones que hoy son consideradas que fueron construidos en un sitio de alto riesgo por las cercanías a las canteras de materiales pétreos y de construcción (Roller, 2021).

El análisis de las estructuras que están sometidas a cargas explosivas, muestran un amplio espectro del comportamiento de las mismas, las cuales dependen directamente de variables referentes a: propiedades físicas y mecánicas; por su parte el uso de explosivos implica establecer variables vinculantes como: composición, forma, cantidad y punto de aplicación; esta interacción de variables determina la naturaleza del campo de estudio para establecer el grado de afectación de las mismas (Gallegos, 2020).

Otras de las observaciones detectadas en la investigación en este sector son que existe informalidad en la construcción de las viviendas del cerro Tablazo, por lo que se debe establecer si las cimentaciones que tienen las viviendas cumplen con la normativa técnica para el área de la construcción de viviendas y cuáles son las afectaciones que reciben por las explosiones de la explotación minera (Ugel Garrido, 2018).

Toda persona busca el bienestar propio y de su familia, pero debe considerar que antes que nada está la seguridad de todos sus miembros, por lo que se requiere establecer cuáles son los puntos críticos y de riesgos a la que están sometidos estas edificaciones y cuáles son las principales alternativas para evitar los daños que causan las ondas expansivas producidas por la detonación de explosivos, pero teniendo en cuenta el costo y seguridad que va a tener la estructura, en pocas palabras hacer un análisis técnico y económico considerando los requerimientos que exigen las normas referentes a esta situación para lograr una edificación resistente, dúctil y sobre todo estable para la zona de estudio (Díaz, 2017).

1.2 ANTEDECENTES

Es importante conocer todo lo concerniente a situaciones que se pueden presentar en el área de la construcción, en relación a demoliciones controladas, ondas sísmicas por acción de cargas explosivas que se llevan a cabo en cercanías de sitios habitados, por lo que se requiere conocer la acción de ondas de choque que puede afectar a una estructura de hormigón armado para diferentes condiciones como: tipo – geometría – masa – ubicación del explosivo y parámetros de diseño de la columna, para generar seguridad y protección (San Bartolomé, 2020).

Por lo tanto, se requiere conocer cuáles son los avances en materia de investigación sobre la temática que se investiga; por lo que se presenta el trabajo de Ugel Garrido, (2018), en su tesis de titulación **VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES PORTICADAS COMPUESTAS DE ACERO Y HORMIGÓN ARMADO**, donde expusieron que las curvas de fragilidad y los índices de daño fueron determinados con dos metodologías distintas a fin de revisar el comportamiento en términos de confiabilidad y se evidencia que en algunos sistemas estructurales existe una gran probabilidad de daño nulo mientras que en otros existen altas probabilidades de daño que incursionan en los estados límites moderado, severo y colapso. Todas estas señales son compatibles con el espectro elástico normativo de la zona en estudio.

Por último, se analizó el trabajo de titulación de Mora (2017), cuya temática giraba en torno a: PROGRAMA DE SIMULACIÓN PARA DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS PORTICADAS EN CONCRETO CON UTILIZACIÓN DE EXPLOSIVOS, donde se establece que: La demolición con explosivos reduce considerablemente el tiempo de trabajo, la maquinaria requerida, la cantidad de operarios necesaria, la mugre producida en obra y los costos totales; comparada con la tradicional demolición mecánica, además, el programa permite calcular y evaluar rápidamente diferentes alternativas de demolición, conjugando variables como: diámetro de explosivo.

En el contexto nacional, es de mencionar el trabajo de Vásquez Jarrin (2017), cuya temática fue: DESARROLLO DE CURVAS DE DAÑO POR IMPACTO CON CARGAS EXPLOSIVAS EN COLUMNAS DE HORMIGÓN ARMADO, donde se estableció dos modelos: carga puntual equivalente en función de cuatro ecuaciones de presión y un modelo bajo la ley de conservación de la energía, donde cada uno de ellos mostró características diferentes en su estructura.

En el plano local se hace imprescindible mencionar el trabajo de Ramírez y otros (2015), quienes realizan una evaluación estructural y rehabilitación sísmica del Hotel Samarina de propiedad de la Universidad Península de Santa Elena, para la creación de un modelo disipador de energía, se evidencia que el Ecuador y principalmente en la Provincia de Santa Elena, presenta una alta sismicidad por estar ubicada cercana a la zona de subducción de la placa de nazca y la placa sudamericana.

A través de una evaluación y diagnóstico estructural, conforme a las normas ecuatorianas NEC 2011 o códigos uniformes de edificación UBC 97 la actual edificación no cumple el diseño sismorresistente, y de acuerdo al conocimiento actual se elaboró un diseño moderno donde se mejoró su nivel de desempeño o comportamiento sismo resistente ante la acción de un sismo moderado, y con la aplicación de un software libre denominado ETAB's se implementó un modelo con sistema de reforzamiento, compuesto de disipadores de energía colocados en las caras laterales y reforzamiento de columnas en los cuatro niveles que componen el edificio, para tener una mejor resistencia (Ramírez, y otros, 2015).

Estos trabajos que se han analizado, con posterioridad sirven de base para el estudio que se desea investigar donde se buscará plantear nuevos datos técnicos, sobre las ondas expansivas en el uso de explosivos y como afecta a las edificaciones que se encuentran cerca de estos sitios, por lo que se buscará plantear cuales son las medidas en relación a que las estructuras de hormigón no se vean afectadas al momento de diseñar y construir nuevas edificaciones, para satisfacer las necesidades del ser humano y su entorno (Villareal, 2018).

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis General.

La identificación de daños a viviendas de hormigón armado bajo la acción de cargas explosivas en contacto mediante una evaluación estructural permitirá analizar el nivel de riesgo latente en el barrio el Mirador en el sector del cerro el tablazo de Santa Elena.

1.3.2 Hipótesis Específicas.

H.E1.: El análisis del fenómeno físico de la onda de choque a través del Modelo Matemático (Kingery – Bulmash) permitirá conocer los efectos que este ocasiona en la estructura de hormigón armado de las viviendas.

H.E2.: La revisión de las propiedades físicas de la onda de choque mediante la evaluación estructural del Hormigón Armado con esclerómetro permitirá conocer la interacción con las estructuras.

H.E3.: El establecimiento del nivel de daño por causa de la acción de cargas explosivas en las viviendas de hormigón armado; mediante un sondeo con observación directa: FEMA-154 para determinar una zona de riesgo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General.

Identificar el daño a viviendas de hormigón armado bajo la acción de cargas explosivas en contacto mediante una evaluación estructural para analizar el nivel de riesgo latente en el barrio el Mirador en el sector del cerro el tablazo de Santa Elena.

1.4.2 Objetivos Específicos.

O.E1.: Analizar el fenómeno físico de la onda de choque a través del uso de un Modelo Matemático (Kingery – Bulmash) para conocer los efectos que este ocasiona en la estructura de hormigón armado de las viviendas.

O.E2.: Revisar las propiedades físicas de la onda de choque mediante la evaluación estructural del Hormigón Armado con esclerómetro para conocer la interacción con las estructuras.

O.E3.: Establecer el daño por causa de la acción de cargas explosivas que se generan por las ondas expansivas en las viviendas de hormigón armado; mediante la observación directa: FEMA-154 para determinar una zona de riesgo.

1.5 ALCANCE

Al considerar que una estructura de hormigón armado forma parte importante de una infraestructura, es necesario tomar en cuenta que toda la estructura está expuesta a un ambiente que puede tener una enorme influencia en la durabilidad, y que esto repercute en cómo fueron hechas las cimentaciones para poder edificar una vivienda, si estas cumplieron con las normas técnicas o son construcciones informales que no tienen ningún tipo de funcionalidad y estabilidad en el sector motivo de estudio (Sanchez, 2021).

Por lo tanto, se debe mitigar el daño que causa una onda expansiva por efectos de cargas explosivas en viviendas que han sido construidas en sectores considerados de alto riesgo y que en ciertos casos ha contribuido al colapso de algunos de ellas, lo que debe generar la aplicación de medidas correctivas a fin de que no se vuelvan a permitir construcciones en zonas de alto riesgo (Barragan, 2017).

El trabajo de investigación contribuirá a la sociedad de ingeniería civil y como un documento de apoyo cuando se requiera investigar el estado actual de estructuras, de viviendas, las cuales proporcionan resultados importantes para determinar de forma técnica y económica la mejor alternativa de intervención y reparación de estas, las cuales han sido afectadas por situaciones de cargas explosivas y de encontrarse en zonas críticas (Villareal, 2018).

Con este instrumento (sismógrafo), se busca promover el uso eficiente de técnicas de evaluación que sean viables y que estén acordes a la realidad de las viviendas afectadas, sin perturbar su entorno físico como ambiental, ni tampoco que promuevan acciones destructivas que comprometan la estructura de otras construcciones y de esta manera contribuir al desarrollo sustentable (Londoño, 2016).

Los deterioros en las viviendas de hormigón surgen por efectos de las situaciones ya planteadas que afectan su vida útil. Estas afectaciones pueden ser: funcionalidad, estabilidad y estética de las estructuras, llegando éstas, en ocasiones a no cumplir los fines para los que fueron diseñadas (Ugel Garrido, 2018).

Estos daños y deterioros que afectan a las estructuras obligan a intervenirlas con el fin de garantizar su funcionalidad y seguridad durante su vida útil o de servicio. Con la evaluación se puede pronosticar la naturaleza de la estructura, la cual puede ser causada por una o varias acciones y que se manifiestan a través de grietas, deterioro del material, y es ahí de donde se parte al momento de evaluarlas (Kwaffo, 2017).

1.6 VARIABLES

1.6.1 Variable Dependiente.

Analizar el radio de onda producidas por las cargas explosivas que se generan por las ondas expansivas en las viviendas de hormigón armado, para establecer las normas de seguridad para este tipo de actividad.

1.6.2 Variable Independiente.

Acción de cargas explosivas, características estructurales en las viviendas de hormigón armado.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

A través de los años, muchos investigadores se han dedicado a analizar la acción de las cargas explosivas que se generan por las ondas expansivas que afectan a las viviendas de hormigón armado que se encuentran en las cercanías, para establecer las normas de seguridad para este tipo de actividad. Pero estos conocimientos no llegan a todas las personas que se dedican a la explotación de materiales para la construcción o la industria, por los costos, capacitaciones y otras causas (López Jimeno, 1994).

Los manuales que existen sobre la temática que se investiga, no llegan a los estratos sociales bajos, a aquellas personas que se dedican a la minería artesanal, pues estos trabajos en algunos casos son inaccesibles y en ocasiones el lenguaje técnico que se emplea es de difícil comprensión, por lo tanto, la explotación de yacimientos, en relación a las ondas expansivas que se generan por las cargas explosivas, seguirán afectando a las viviendas que se construyen en las cercanías de estas zonas de alto riesgos (Handbook, 2016).

El desconocimiento de las personas que se dedican a la explotación de materiales para la industria de la construcción, relacionada a la aplicación correcta de las más elementales normas de seguridad en el uso de explosivos en voladuras a cielo abierto, hace necesario la opinión, conocimientos y experiencia de expertos, técnicos especiales en perforación, explosivos, para la realización del diseño, y aplicación de los diferentes elementos constitutivos de la perforación y voladuras en la apertura de sitios de trabajo (Hurtado, 2018). Por lo tanto, las empresas legalmente constituidas en el Ecuador iniciaron procesos de capacitación sobre este tema, incluso se menciona el décimo seminario internacional de perforación y voladuras realizado en el mes de abril/2007.

Aquí se presentaron y analizaron diferentes técnicas de perforación y voladuras, como también la aplicación de emulsiones, siendo muy necesario tener un conocimiento de las rocas, su composición (manto rocoso), su optimización, la utilización de los diferentes elementos que conforman la perforación y voladura de rocas; las diferentes aplicaciones con productos de cuarta generación como son las emulsiones; las herramientas necesarias que existen en el mercado para la perforación; y la seguridad con las normas que rigen la transportación segura de los diferentes compuestos con el fin de evitar accidentes que pueden ocasionar pérdidas humanas; es necesario tomar en cuenta que con el uso de explosivos “el primer error es el último” (Explocen, 2017).

2.2. Fundamentación teórica

Es importante y necesario recalcar que una onda expansiva producida por una detonación a una distancia mayor de 20 m puede causar daños a la fachada y/o estructura de edificaciones y generar un mínimo daño en los elementos que la componen. Por lo que se debe conocer si es de corto o largo alcance la onda expansiva que provoca para establecer que tipos de daños puede ocasionar; por lo que es indispensable evaluar el estado final de daño y su capacidad residual (Kwaffo, 2017).

Este trabajo presenta un análisis sobre los efectos que produce la detonación de cargas explosivas en contacto sobre columnas de hormigón armado (columnas H.A.), las cuales presentan una interacción con la comprensión de la onda de choque hacia las estructuras (viviendas), y por consiguiente establecer los daños que se presentan cuando se realiza esta labor y así aplicar estrategias de demoliciones controladas, que permitan minimizar los daños que se ocasionan (Vásconez Jarrin, 2017).

En la actualidad existe información disponible sobre el desempeño dinámico de columnas HA bajo la acción de ondas de choque para diferentes condiciones como diferente tipo-geometría-masa-ubicación del explosivo y parámetros de diseño de la columna, por lo que se requiere establecer, en qué condiciones trabajan los miembros de la Cooperativa de producción minera El Tablazo.

Cuáles son los métodos que aplican para minimizar la acción expansiva de los explosivos que se utilizan a diario en su labor de obtener materiales de construcción para la venta y así obtener ingresos económicos que le permitan subsistir con su familia; pero, debe aplicar las más elementales normas de seguridad y protección ambiental (Chávez, 2021).

Para conocer más sobre la temática de estudio, se presentan investigaciones de varios autores, quienes dan su criterio sobre este accionar, entre quienes se menciona a Luccioni, Ambrosin, y Danesi (2014), los mencionados autores, analizaron el comportamiento de un edificio de (Mutualidad Argentina de Israel) sometido a varias cargas explosivas. Los resultados permitieron identificar que las columnas más cercanas al centro de la explosión fallaron por el efecto directo de la presión reflejada de la explosión. Otra de las principales conclusiones obtenidas es que las columnas en el extremo más alejado del edificio perdieron la conexión con las vigas superior e inferior. Esto podría deberse al efecto de tensión impartido por el empuje hacia arriba en la losa del primer piso en esa región (p. 57).

Otro de los trabajos tomados como referencias es el de Korwar (2020), quien realizó un estudio computacional sobre la estabilidad global de un edificio con estructuras de hormigón armado como columnas y vigas, frente a cargas explosivas de campo lejano (ondas expansivas). La conclusión a la que llegó el autor fue que la capacidad residual depende de la parte no dañada de las columnas de hormigón armado en la sección crítica y se evalúan asumiendo que el hormigón no dañado está en estado no confinado, esto debido a la pérdida de confinamiento después de la desintegración del hormigón (Gallegos, 2020).

2.3. CARGAS EXPLOSIVAS

Una carga explosiva y/o explosivo, es una mezcla de componentes químicos, que, cuando es sometido a calor, recibe algún impacto, inducido a fricción o recibe algún choque en sus componentes, desata una reacción en cadena exotérmica liberando una gran cantidad de gas, produciendo altas temperaturas y presiones en un breve instante de tiempo, de acuerdo a la cantidad de explosivos que contenga (Contreras J. , 2019).

2.3.1. Breve reseña de los explosivos.

Se menciona que la pólvora fue desarrollada por los chinos en 1627, y en un comienzo era utilizada exclusivamente en exhibiciones pirotécnicas relacionadas con sus celebraciones. Posteriormente, se introdujo la dinamita en 1868, por lo que se hizo necesario que se comenzaran a realizar pruebas de comportamiento de los explosivos con el fin de establecer comparaciones de desempeño, daños colaterales y usos controlados a fin de salvaguardar la integridad de los seres humanos (San Bartolomé, 2020).

“Así mismo se establece que la sustancia más antigua utilizada como explosivo era la pólvora negra que consistía en una mezcla formada por 75% de nitrato de potasio, 10% de carbón y 15% de azufre” (Handbook, 2016). Durante los últimos 20 años esta industria ha desarrollado explosivos tan sensibles como potentes que con poco material puede causar grandes explosiones, que con la ayuda de la tecnología ha crecido inmensurablemente, convirtiéndola en un eje de desarrollo industrial de alta peligrosidad para los seres humanos, lo que obliga a los estados llevar un mejor control de los productos que se generan a fin de evitar riesgos innecesarios para la industria y los seres humanos (Villareal, 2018),

Estos explosivos utilizan de geles de agua con base de nitrato de amonio, contienen sensibilizadores, tales como los nitratos de amina, el TNT y el aluminio, así como agentes de gelificación y otros materiales, con el fin de alcanzar un grado de sensibilidad deseado (Becker, Nigro, & Idelsohn, 2019).

La industria de la construcción va en constante crecimiento por lo que su desarrollo requiere de la ayuda de los explosivos, lo cual es un producto en constante desarrollo y su uso es a nivel mundial, pues este facilita el trabajo en la construcción de brechas, construcción de presas, sistemas de conducción eléctrica, gasoductos, oleoductos, sistemas de drenaje, vías, canales, túneles, compactación de suelos y muchas otras aplicaciones; es de mencionar que su uso principal radica en canteras a cielo abierto, minas subterráneas y canteras de materiales (Becker P., 2022).

Otro de los aspectos que han sido innovados dentro de la industria es el uso de detonadores electrónicos, este paso se dio, gracias a la ayuda de la tecnología, lo que se constituye en una herramienta muy útil en el avance tecnológico de los explosivos y en la medida en que su comercialización los haga más asequibles su uso aportará grandes beneficios, pues permitirá salvaguardar vidas, habrá reducción de contaminación y mejorará la explotación de los materiales de la construcción (Contreras G. , 2019).

2.3.2. FENÓMENO FÍSICO DE LA ONDA DE CHOQUE A TRAVÉS DEL USO DEL MODELO MATEMÁTICO (KINGERY – BULMASH) PARA CONOCER LOS EFECTOS QUE ESTE OCASIONA EN LA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO DE LAS VIVIENDAS.

Es indispensable considerar un proceso para validar el modelo matemático como solución al problema planteado, esto se realiza con una relación entre la información obtenida de los estudios analíticos y contrastada con los ensayos experimentales.

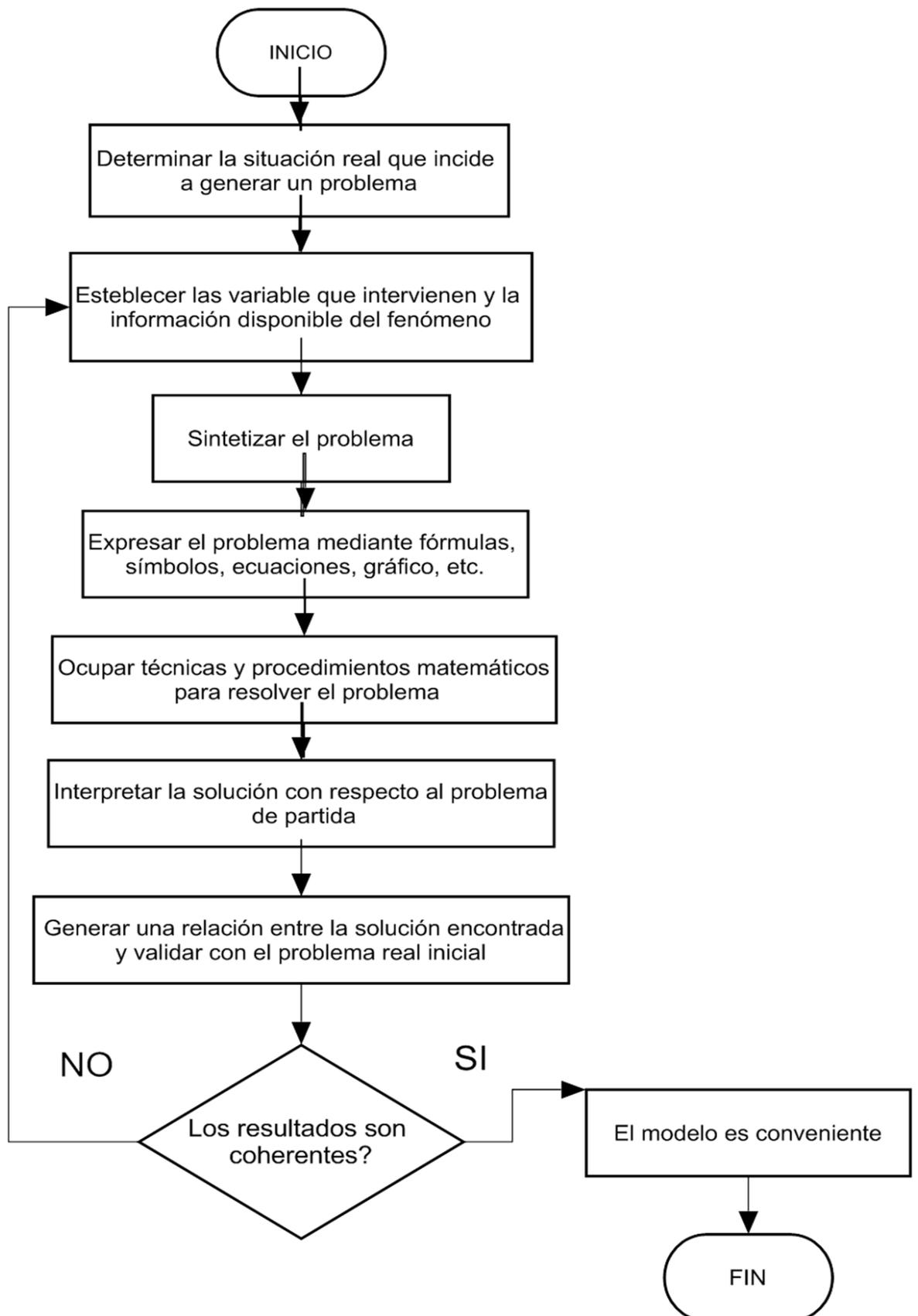
En la Figura 1, se muestra el flujograma correspondiente para validar los resultados, en cuyo análisis gradual se escala cada etapa procedimental.

Debido a que los primeros pasos del proceso son planteados y debidamente delimitados en los capítulos previos, se inicia con el análisis de los valores que ingresan en la ecuación planteada, posteriormente se examina los datos geométricos del elemento ensayado de forma experimental.

En virtud que la solución depende directamente de la fuerza aplicada es necesario conocer su valor numérico; así también la composición geométrica y física de la probeta de hormigón armado.

Figura 1

Diagrama de flujo de validación de modelo matemático.



2.3.2.1. Presión de incidencia en función de la distancia escalada.

En este análisis se determina el valor máximo de la presión en el punto de impacto, por lo que se utiliza la expresión matemática para encontrar la distancia escalada Z , se toma en referencia el reporte técnico MCEER-07-0005, de la Universidad de Buffalo (Fujikura, S. et al., 2007), a través de la relación entre la distancia medida desde el centro de la explosión al punto de impacto expresada en metros (R), y el peso equivalente de la carga explosiva en TNT, expresado en kilogramos W_{TNT} ; como peso equivalente a partir del peso de la (PENTOLITA) $W_{PENTOLITÆ}$, según la ecuación (1).

El valor obtenido de la distancia escalada se ingresa en las ecuaciones de presión (3) y (4) referenciadas de (Brode, 1955), las misma que calculan la presión de la onda explosiva en bares, cerca al lugar de impacto o cuando se encuentra a una distancia considerable.

$$W_{TNT} = 1.355 W_{Pentolita} = 1.355 W_{C4} \quad (1)$$

$$Z = \frac{R}{W_{TNT}^{\frac{1}{3}}} \quad (2)$$

$$P_s = \frac{6.7}{Z^3} + 1 \quad (3)$$

$$p_s = \frac{0.975}{Z} + \frac{1.455}{Z^2} + \frac{5.85}{Z^3} - 0.019 \quad (4)$$

La carga explosiva es aplicada cerca de las probetas de hormigón por lo que se toma el valor de 10 centímetros desde el centro de la explosión al punto de impacto (R), esta distancia se reemplaza en la ecuación de presión (3) con los valores correspondientes al peso del explosivo en cada ensayo; esto permite determinar las diferentes presiones actuantes, mismas se muestran en la Tabla 1 y Figura 2 para

identificar la curva de presión en función del peso del explosivo (PENTOLITA); se evidencia una tendencia creciente de la presión en función de la distancia escalada.

Tabla 1

Cálculo de presiones actuantes, según ecuación de (Brode, 1955)

Ensayos Experimentales [Kg]		Z [m]	p_s	
$W_{PENTOLITA}$	W_{TNT}		[Bar]	[MPa]
0.450	0.609	0.118	4081.35	408.13
0.660	0.893	0.104	5985.51	598.55
0.750	1.015	0.100	6801.58	680.16
0.760	1.029	0.099	6892.25	689.23
0.900	1.218	0.094	8161.69	816.17
0.990	1.340	0.091	8977.76	897.78
1.010	1.367	0.090	9159.11	915.91
1.050	1.421	0.089	9521.81	952.18
1.110	1.502	0.087	10065.85	1006.59
1.350	1.827	0.082	12242.04	1224.20

Como ejemplo de cálculo se utiliza la primera fila de valores descritos en la Tabla 1, en donde el peso de carga explosiva aplicada en una prueba experimental es 450 gramos de explosivo (PENTOLITA), seguidamente este peso equivalente en (TNT) se reemplaza en la ecuación (2), de donde se obtiene la distancia escalada Z, como se expresa en la ecuación (5).

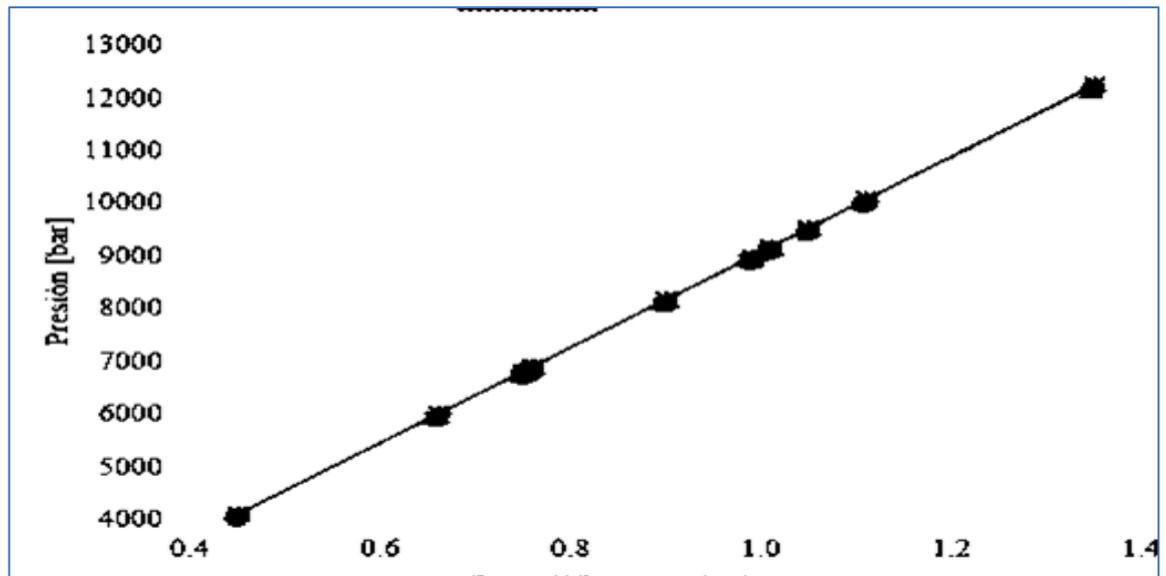
El valor de la distancia escalada Z, permite encontrar la presión de incidencia al desarrollar la ecuación (3), como se describe en la ecuación (6).

$$Z = \frac{0.1}{0.609^{1/3}} = 0.118m \quad (5)$$

$$p_s = \frac{6.7}{0.118^3} + 1 = 4081.35 \text{ bar} \quad (6)$$

Figura 2.

Presión según distancia escalada Z (Brode, 1955)



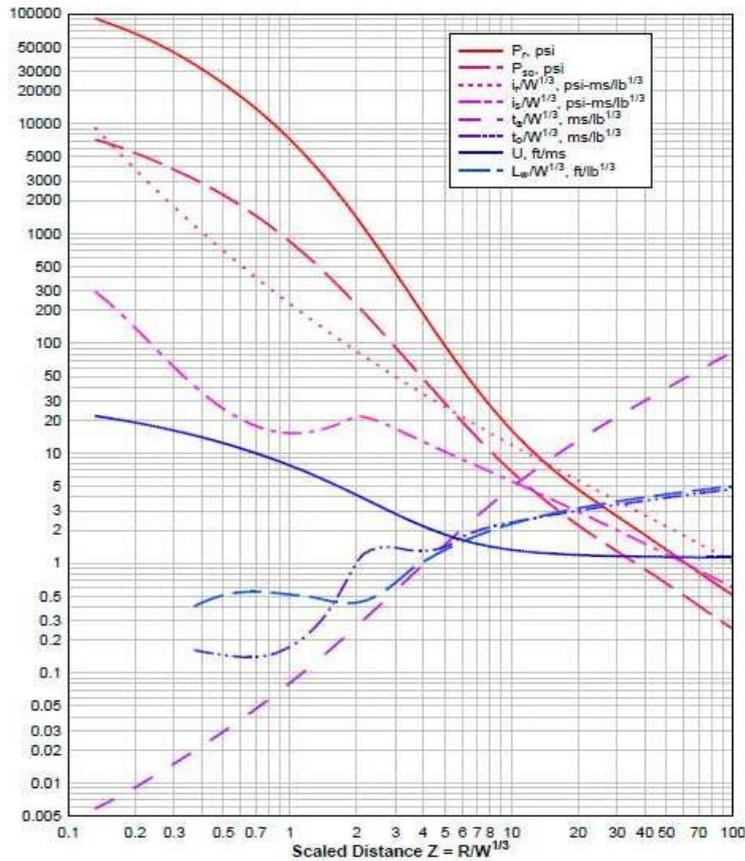
Curva de presión I, según peso del explosivo y distancia escalada Z

Existen varias ecuaciones teóricas de presión usadas con la misma finalidad en los cuales interfiere la relación peso del explosivo y distancia escalada, como se muestra en la ecuación (2), uno de estos modelos se obtiene del manual (U.S. DoD, 2014) el mismo que indica por medio de tablas y gráficas las presiones actuantes de la carga explosiva, como se muestra en la Figura 3; en esta gráfica la distancia escalada se encuentra expresada en pies y el peso del explosivo en libras de TNT.

Debido a la gran cantidad de energía generada en el punto donde reacciona el explosivo, se mantiene una tendencia creciente de presión a medida que la distancia al punto calculado aumenta, dando lugar a presiones extremadamente fuertes cuando la distancia es a centímetros, lo que indica que el modelo es muy sensible ante este parámetro y se considera una distancia prudente de análisis en función de los ensayos experimentales.

Figura 3.

Curva de presión.



Curva de presión II, según peso del explosivo y distancia escalada Z Fuente: (U.S. DoD, 2014)

La ecuación de (Brode, 1955) constituye un punto de partida importante; sin embargo, al revisar un modelo presentado años más tarde (Henrych, 1979), toma en cuenta límites de aplicación con respecto a la distancia escalada, según se observa en las ecuaciones (7), (8) y (9), cuya presión de incidencia se describe en función de la distancia escalada Z con un rango de $(0.1 \leq Z \leq 0.3)$, $(0.3 \leq Z \leq 1)$ y $(1 \leq Z \leq 10)$.

En base a los ensayos experimentales se toman los pesos de las cargas explosivas aplicadas, para luego obtener las presiones máximas a través de la ecuación de (Henrych, 1979), (ver Tabla 2).

$$\frac{1.4072}{z} \cdot \frac{0.554}{z^2} \cdot \frac{0.0357}{z^3} \cdot \frac{0.000625}{z^4} \quad (7)$$

$$\frac{0.619}{z} \cdot \frac{0.33}{z^2} \cdot \frac{0.213}{z^3} \quad (8)$$

$$\frac{0.066}{z} \cdot \frac{0.405}{z^2} \cdot \frac{0.213}{z^3} \quad (9)$$

Tabla 2.

Cálculo de presiones actuantes, según ecuación de (Henrych, 1979)

Ensayos Experimentales [Kg]		Z [m]	[Bar]	p_s [MPa]
$W_{PENTOLITA}$	W_{TNT}			
0.450	0.609	0.118	329.3	32.93
0.660	0.893	0.104	380.5	38.05
0.750	1.015	0.100	398.3	39.83
0.760	1.029	0.099	400.1	40.01
0.900	1.218	0.094	424.0	42.40
0.990	1.340	0.091	437.5	43.75
1.010	1.367	0.090	440.4	44.04
1.050	1.421	0.089	445.9	44.59
1.110	1.502	0.087	453.8	45.38
1.350	1.827	0.082	481.3	48.13

Se verifica los valores obtenidos con las ecuaciones presentadas por (Brode, 1955) y (Henrych, 1979), las mismas son comparadas con otra ecuación propuesta por (Baker W. E., 1973), a fin de conseguir un criterio más claro acerca de las presiones producidas en la zona de impacto. Estas ecuaciones (10) y (11) calculan la presión en función de la distancia escalada dentro del rango ($0.05 \leq Z \leq 0.5$) y ($0.5 \leq Z \leq 70.9$) respectivamente, los resultados de presión son presentados para cada ensayo experimental realizado. (ver Tabla 3).

$$\frac{20.06}{z} \cdot \frac{1.94}{z^2} \cdot \frac{0.04}{z^3} \quad (10)$$

$$\frac{0.67}{z} \cdot \frac{3.01}{z^2} \cdot \frac{4.31}{z^3} \quad (II)$$

Tabla3.

Cálculo de presiones actuantes, según ecuación de (Baker W. E., 1973)

Ensayos Experimentales [Kg]		Z	p_s	
$W_{PENTOLITA}$	W_{TNT}	[m]	[Bar]	[MPa]
0.450	0.609	0.118	285.1	28.51
0.660	0.893	0.104	337.4	33.74
0.750	1.015	0.100	356.9	35.69
0.760	1.029	0.099	359.0	35.90
0.900	1.218	0.094	386.8	38.68
0.990	1.340	0.091	403.3	40.33
1.010	1.367	0.090	406.9	40.69
1.050	1.421	0.089	413.9	41.39
1.110	1.502	0.087	424.1	42.41
1.350	1.827	0.082	462.1	46.21

Al determinar los resultados de presiones en función a la distancia escalada Z, dentro de los rangos expuestos según se muestra en la Tabla 2 y Tabla 3; se establece gráficamente diferencias en la tendencia de resultados (ver Figura 4), esta gráfica determina que no existe una variación amplia de valores en consideración a este criterio, los resultados de presión según (Baker W. E., 1973) pueden darse como válidos a pesar de que el modelo de (Henrych, 1979) es más conservador.

El uso de presiones empíricas es primordial para el análisis de este tipo de cargas, debido a que por la complejidad del comportamiento no es posible tomar como estándar modelos estructurales habituales, dando lugar así a ecuaciones que tengan procedimientos de cálculos con una mayor profundidad.

Se tiene en cuenta estos parámetros para comparar las presiones como lo hacen en su estudio (Tai, Chu, Hu, y Wu, 2011), lo cual beneficia de forma integral el alcance de resultados en favor de la investigación, lo que permite aumentar la confiabilidad del modelo expuesto.

Figura 4.

Presión según distancia escalada Z (Baker, 1973) (Henrych, 1979)

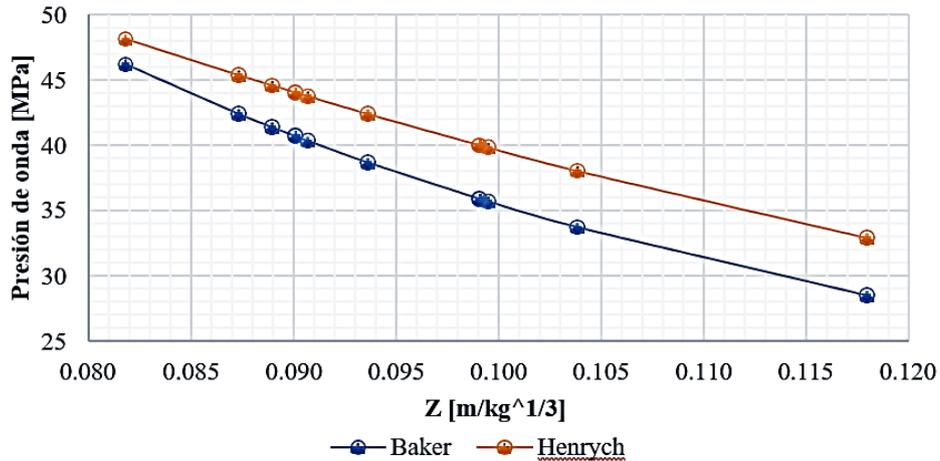
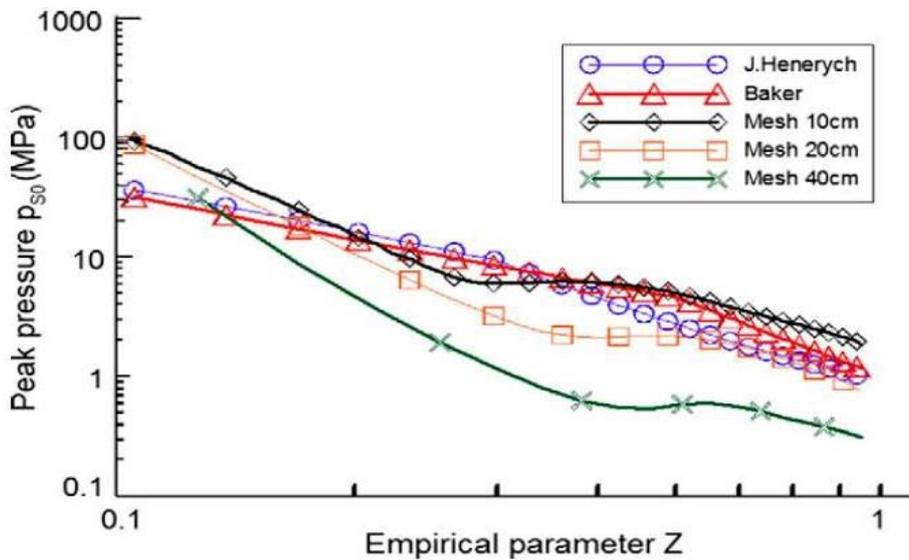


Figura 5.

Curva de presión III, según peso del explosivo y distancia escalada Z



Curva I, según comparación de modelos de presión; peso explosivo Fuente: (Tai, Chu, Hu, y Wu, 2011)

El requerimiento de un análisis en función de la carga explosiva lleva a conocer las presiones generadas por este fenómeno; es así como a través la normativa de Naciones Unidas (ODA-UN, 01.80, 2015) se habilita una calculadora de parámetros blast (Kingery-Bulmash Blast Parameter Calculator), en función del peso equivalente del TNT y un rango de impacto (ver Figura 6).

Figura 6.

Análisis en función de la carga explosiva

<https://www.un.org/disarmament/un-safeguard/kingery-bulmash/>

Kingery-Bulmash Blast Parameter Calculator

Explosive Type: TNT

Charge Weight (kg): .609

Range (m): 0.1

Enter a range between 0.06 and 33 meters.

Calculate Blast Parameters

TNT Weight for Pressure (kg):	0.61	TNT Weight for Impulse (kg):	0.61
Incident Pressure (kPa):	32378.57	Incident Impulse (kPa-ms):	848.42
Reflected Pressure (kPa):	383908.54	Reflected Impulse (kPa-ms):	23602.96
Time of Arrival (ms):	0.02	Positive Phase Duration (ms):	NaN
Shock Front Velocity (m/s):	5395.58		

Aplicación para cálculo de parámetros de carga explosiva, UN

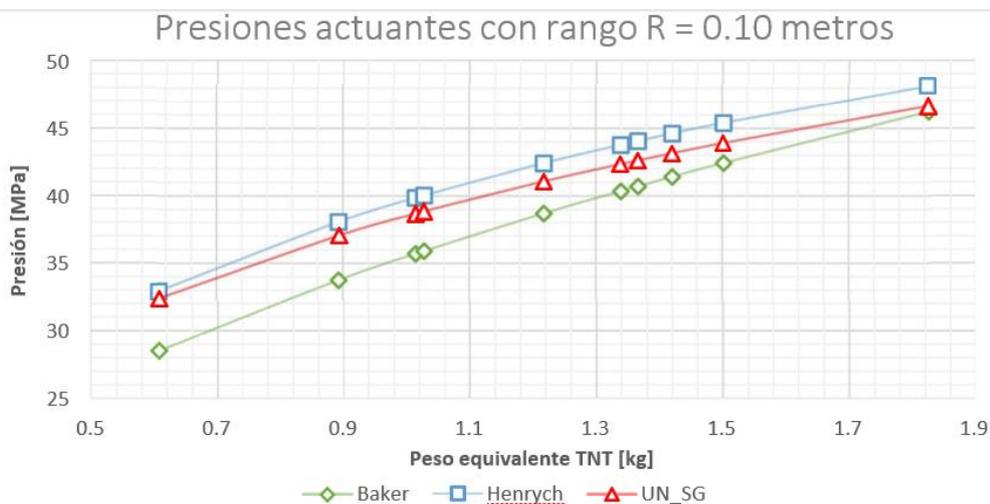
Fuente: (SaferGuard-UN, 2017)

La metodología de cálculo que utiliza (ODA-UN, 01.80, 2015), se fundamenta en las ecuaciones desarrolladas por Charles Kingery y Gerald Bulmash, sobre la base muchas experimentaciones para predecir el comportamiento del material explosivo; en tal virtud se contrasta este procedimiento de cálculo con las experimentaciones realizadas en esta investigación, a una distancia (R) de 0.1 metros, ver Tabla 4.

Tabla 4.*Cálculo de presiones actuantes, según (SaferGuard-UN, 2017)*

Ensayos Experimentales W_{TNT} [Kg]	Incident Pressure [MPa]	Reflect Pressure [MPa]	Time of Arrival [ms]	Shock Front Velocity [m/s]
0.609	32.378	383.908	0.02	5395.58
0.893	37.027	445.119	0.02	5754.96
1.015	38.659	467.077	0.02	5878.27
1.029	38.836	469.478	0.02	5891.56
1.218	41.047	499.971	0.02	6056.65
1.340	42.328	518.092	0.02	6151.26
1.367	42.599	521.967	0.02	6171.12
1.421	43.126	529.584	0.02	6209.78
1.502	43.888	540.704	0.02	6265.27
1.827	46.639	582.323	0.02	6462.34

Debido a la complejidad del fenómeno se compara los resultados presentados en la Figura 4, con los resultados de la aplicación de Naciones Unidas, las cuales establecen una variación mínima y una tendencia similar de la presión en función del peso equivalente en TNT; estas presiones son usadas para predecir el comportamiento de los materiales usados en la experimentación, ver Figura 7.

Figura 7.*Presiones Actuales**Curva II, según comparación de modelos de presión; peso explosivo*

Al correlacionar las curvas de presión descritas en la Figura 6, se puede establecer márgenes de variación para obtener un criterio de selección válido dentro del análisis del modelo por carga puntual equivalente.

Al observar la Tabla 6, se determina que la diferencia máxima entre la curva de presiones según el criterio de (Henrych, 1979) es mayor en un 9% promedio con la curva según el criterio de (Baker W. E., 1973), mientras que esta es mayor en 3% promedio con la curva de (SaferGuard- UN, 2017); consecuentemente las resultantes tienen un margen de diferencia tolerable.

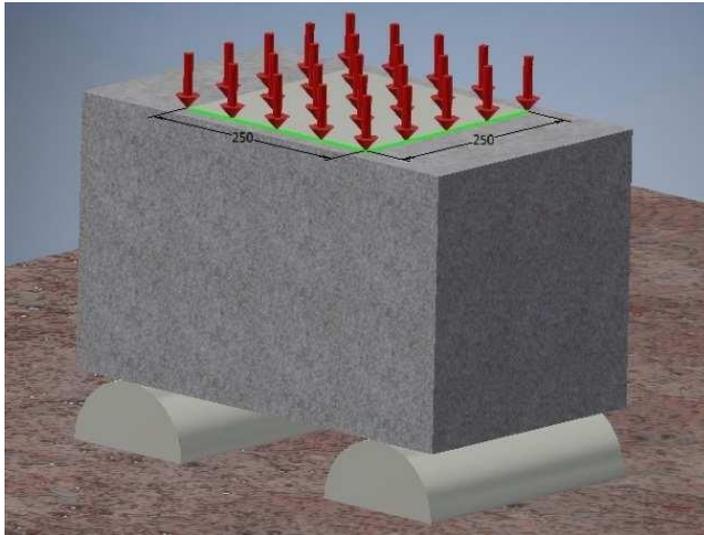
Las presiones máximas resultantes según la Tabla 5 son aproximadas, pues están desarrolladas en función del peso y la distancia de impacto al centro de la explosión, sin embargo, estas ecuaciones, no consideran variables de forma del explosivo y características del material. Para análisis posteriores se referirá a los valores de presión obtenidos por la ecuación de (Henrych, 1979), en razón que los datos numéricos más altos representan la condición más crítica.

Tabla 5.
Relación de resultados entre ecuaciones de presión

p_s Baker [MPa]	Baker vs Henrych [%]	p_s Henrych [MPa]	Henrych vs UN-SG [%]	p_s UN -SG [MPa]
28,51	13%	32,93	2%	32,378
33,74	11%	38,05	3%	37,027
35,69	10%	39,83	3%	38,659
35,90	10%	40,01	3%	38,836
38,68	9%	42,40	3%	41,047
40,33	8%	43,75	3%	42,328
40,69	8%	44,04	3%	42,599
41,39	7%	44,59	3%	43,126
42,41	7%	45,38	3%	43,888
46,21	4%	48,13	3%	46,639

Figura 8.

Esquema de distribución de presión en la probeta de hormigón armado



Definida la presión de incidencia teórica

Se transforma a una fuerza puntual equivalente focalizada en el centro del elemento, es decir se considera que la presión se distribuye uniformemente en el área de impacto en una relación de dos veces la superficie de contacto del explosivo con la probeta, siendo así la sección promedio equivalente de 625 cm², ver Figura 5. Es importante reflexionar que en realidad la presión no puede aplicarse uniforme y que esta se disipa al momento de entrar en contacto con otros materiales; pero por fines de cálculo se aplica la condición planteada,

Tabla 6.

Carga Puntual Equivalente, según ecuación de (Henrych, 1979)

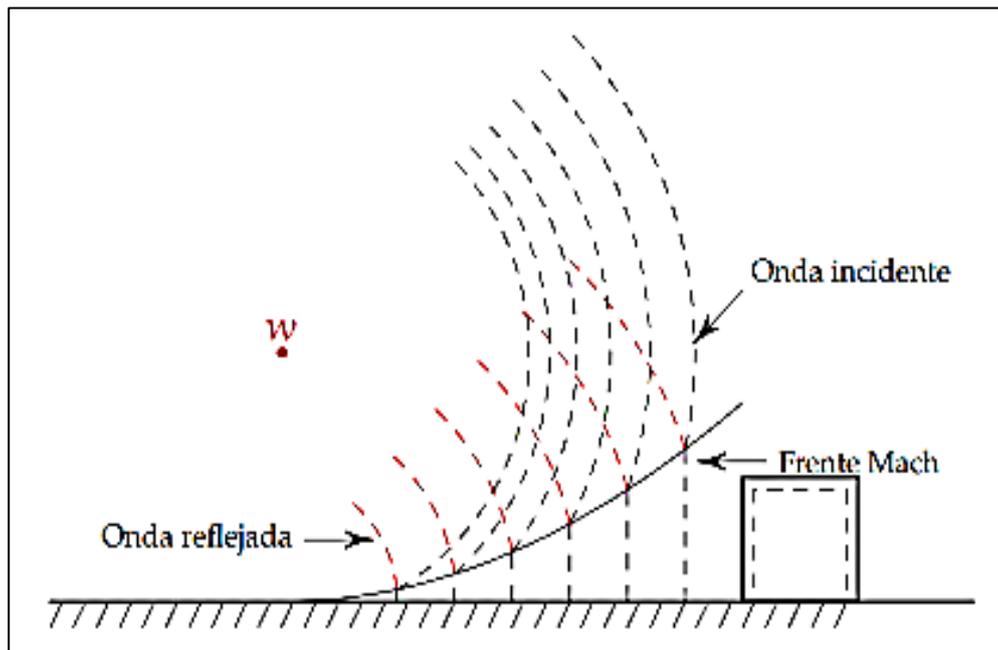
p_s Ecuación Henrych [MPa]	F_m Fuerza equivalente [T]
32,93	201,76
38,05	233,15
39,83	244,05
40,01	245,19
42,40	259,81
43,75	268,10
44,04	269,85
44,59	273,23
45,38	278,06
48,13	294,93

2.3.2.2. *Parámetros de la onda de choque y su interacción con estructuras.*

Existen en la literatura investigativa varios conjuntos de ecuaciones, para predecir los parámetros asociados a la caracterización de la onda de choque, principalmente para la presión incidente. Estos modelos están basados en análisis teóricos, cálculos numéricos, o en el análisis de un gran número de datos experimentales que sirvieron de referencia para ciertas pruebas llevadas a cabo en campo y que determinaron valores, que a través de los años se han ido perfeccionado hasta la actualidad (Barragan, 2017).

Figura 9.

Detonación al aire libre



NOTA: Tomado y adaptado de (Barragan, 2017)

Al usar este tipo de detonación se simplifica la interacción entre la onda de choque y las estructuras bajo análisis debido a que la reflexión existente se presenta en el instante de la detonación, lo cual no ocurre en las detonaciones al aire libre en donde el fenómeno de reflexión ocurrirá hasta que la onda de choque alcance la superficie donde se encuentran ubicadas las estructuras (Barragan, 2017)

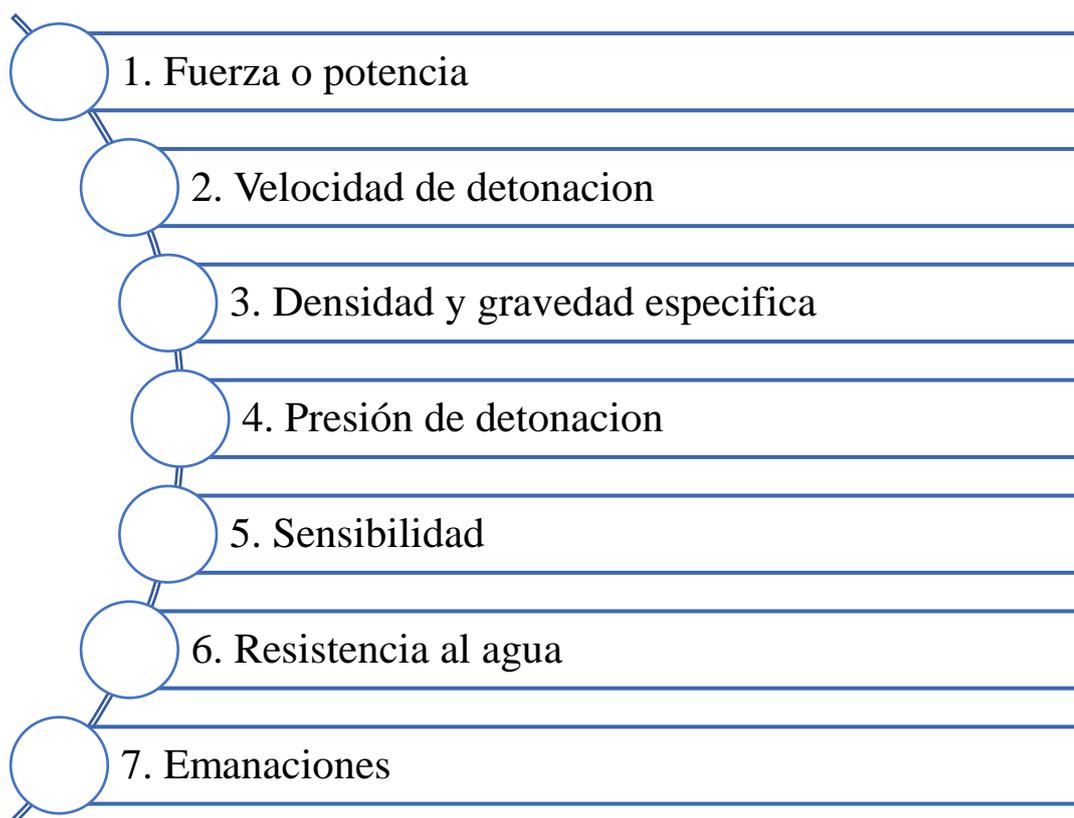
2.3.2.3. *Propiedades de los explosivos.*

Cada tipo de explosivo tiene características propias definidas por sus propiedades, para el mismo tipo de explosivo las características pueden variar dependiendo del fabricante; el conocimiento de tales propiedades es un factor importante en el diseño de voladuras (Explocen, 2017).

Las propiedades más importantes de los explosivos son: fuerza o potencia, velocidad de detonación, densidad y gravedad específica, presión de detonación, sensibilidad, resistencia al agua, emanaciones, las cuales se tratarán a continuación (Kwaffo, 2017).

Figura 10.

Propiedades de los explosivos



Nota: Tomado y Adaptado de (Handbook, 2016)

Cada una de estas propiedades explicadas en la Figura 10, se encuentran detalladas a continuación.

2.3.2.3.1. Fuerza o potencia de los explosivos.

La fuerza en un término tradicionalmente usado para describir varios grados de explosivos, aunque no es una medida real de la capacidad de estos de realizar trabajo; a este término en ocasiones se le llama potencia y se origina de los primeros métodos para clasificar dinamitas.

La fuerza es generalmente expresada como un porcentaje que relaciona el explosivo estudiado con un explosivo patrón (nitroglicerina). El término fuerza fue aplicado cuando las dinamitas eran una mezcla de nitroglicerina y un relleno inerte (normalmente diatomita o también llamada tierra dictomácea), entonces una dinamita al 60% contenía 60% de nitroglicerina por peso de dinamita y era tres veces más fuerte que una dinamita de 20 %.

Las dinamitas nuevas contienen rellenos activos tales como el nitrato de sodio, esto hace que ellas sean hasta 1,5 veces más potentes que las antiguas (Handbook, 2016).

Usualmente en las dinamitas se trabaja con la fuerza por peso, mientras que las gelatinas con la fuerza por cartucho. La fuerza no es una buena base para comparar explosivos, un mejor indicador que permite comparar explosivos es la presión de detonación (Dick, 1968), las cuales se evidencian en la Figura 11.

Figura 11:

Fuerza o potencia de los explosivos



NOTA: Tomado y adaptado de: (Chávez, 2021)

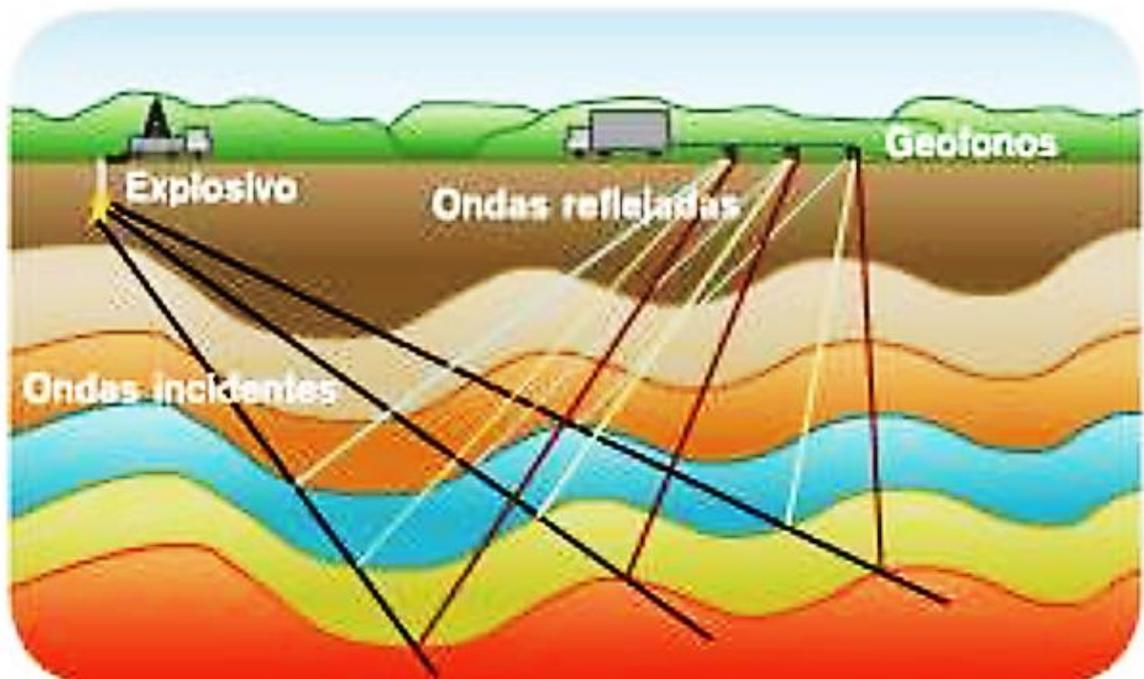
2.3.2.3.2. Ondas expansivas.

Es la velocidad con la cual la onda de detonación viaja por el explosivo, puede ser expresada para el caso de explosivos confinados como no confinados; por sí misma es la propiedad más importante cuando se desea clasificar un explosivo. Como en la mayoría de los casos el explosivo este confinado en un barreno, el valor de velocidad de detonación confinada es el más importante (Handbook, 2016).

La velocidad de detonación de un explosivo depende de la densidad, de sus componentes, del tamaño de las partículas y del grado de confinamiento. Al disminuir el tamaño de las partículas dentro del explosivo, incrementar el diámetro de la carga o incrementar el confinamiento aumentan las velocidades de detonación, tal como se muestra en la Figura 11 y 12.

Las velocidades de los explosivos inconfinaados son generalmente del orden del 70% al 80% respecto a las velocidades de explosivos confinados.

Figura 12.
Ondas expansivas



NOTA: Tomado y adaptado de: (Contreras, 2019)

Tabla 7.*Ondas expansivas*

Diámetro barreno [cm]	Velocidad det. confinada [m/s]	Concentración carga en barreno [kg/m]
3,8	2100 – 2700	0.9 – 1.0
5,1	2600 – 3000	1.6 – 1.9
7,6	3000 – 3300	3.7 – 4.5
10,2	3400 – 3600	6.6 – 7.7
12,7	3500 – 3800	10.3 – 12.2
15,2	3700 – 3900	14.7 – 17.4
17,8	3800 – 4000	19.8 – 23.5
20,3	3800 – 4100	26.2 – 31.0
22,9	3900 – 4100	32.8 – 39.9
25,4	4000 – 4100	40.5 – 48.6
27,9	4000 – 4100	49.2 – 58.7

NOTA: Tomado y adaptado de: (Contreras, 2019)

2.3.2.3.3. Densidad y gravedad específica de los explosivos.

La densidad del explosivo es usualmente indicada en términos de gravedad específica, la gravedad específica de explosivos comerciales varía de 0.6 a 1.7.

Los explosivos densos usualmente generan mayores velocidades de detonación y mayor presión; estos suelen ser utilizados cuando es necesaria una fina fragmentación de la roca.

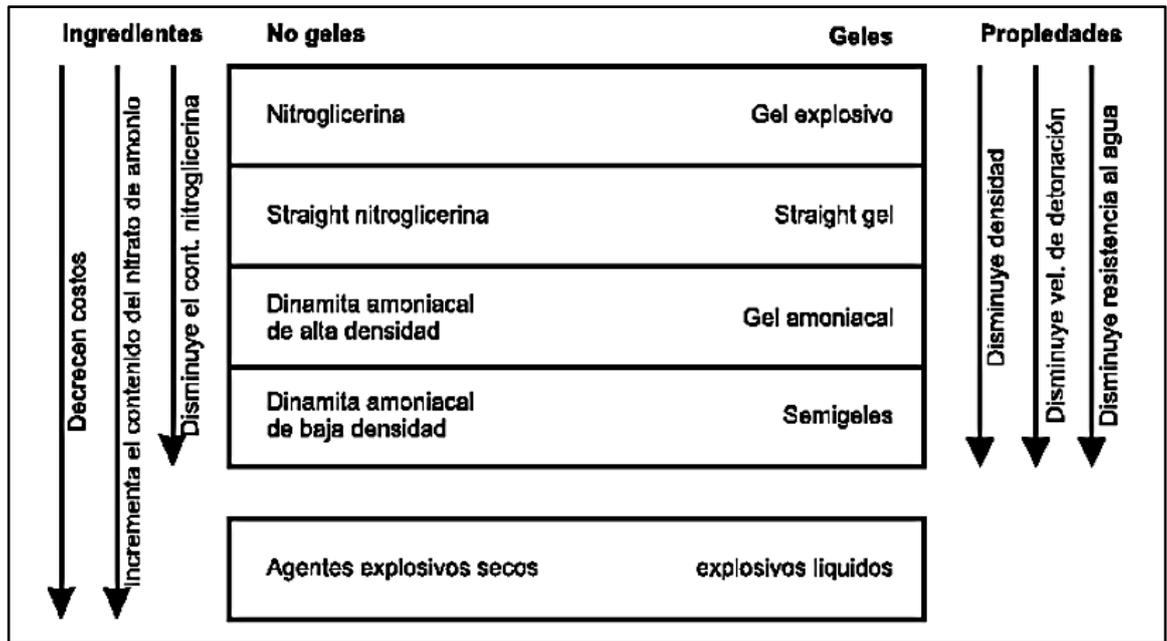
Los explosivos de baja densidad producen una fragmentación no tan fina y son usados cuando la roca está diaclasada o en canteras en las que se extrae material grueso (Contreras J., 2019) (Ver Figura 13).

La densidad de los explosivos es importante en condiciones de alta humedad, ya que una densidad alta hace que el explosivo sea poco permeable.

Un explosivo con gravedad específica menor a 1.0 no se entrapa en agua.

Figura 13:

Densidad y gravedad específica de los explosivos



NOTA: Tomado y adaptado de: (Becker P. , 2022)

2.3.2.3.4. Presión de detonación de los explosivos.

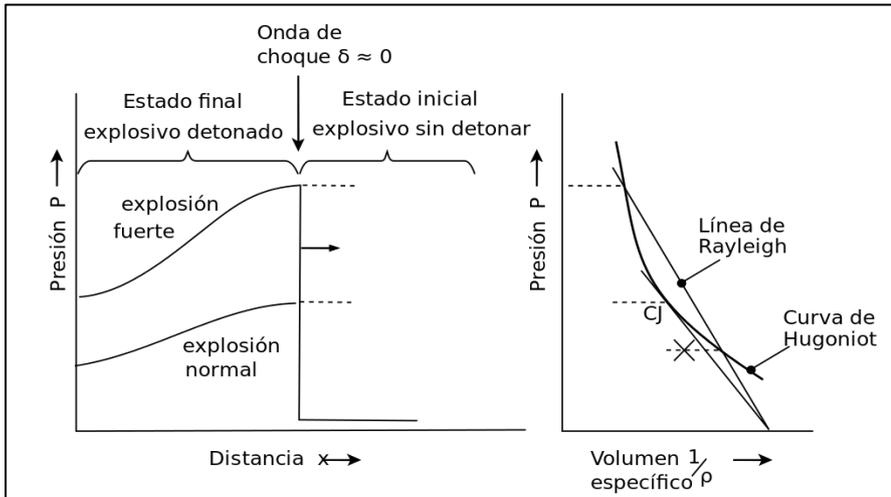
La presión de detonación depende de la velocidad de detonación y de la densidad del explosivo, y es la sobrepresión del explosivo al paso de las ondas de detonación; generalmente es una de las variables utilizadas en la selección del tipo de explosivo.

Existe una relación directa entre la velocidad de detonación y la presión de detonación; esto es, cuando aumenta la velocidad aumenta la presión (Londoño O. , 2016).

Una alta presión de detonación (alta velocidad de detonación) es utilizada para fragmentar rocas muy duras como el granito (7 en la escala de Mohs y una densidad aproximada de 2.5), mientras que en rocas suaves como los esquistos (rocas sedimentarias y metamórficas con menos de 4 en la escala de Mohs) puede ser necesaria una baja presión de detonación (baja velocidad de detonación) para su fragmentación (Ver Figura 14).

Figura 14:

Presión de detonación de los explosivos



NOTA: Tomado y adaptado de: (Bastidas & Chapman-Jouguet, 2017)

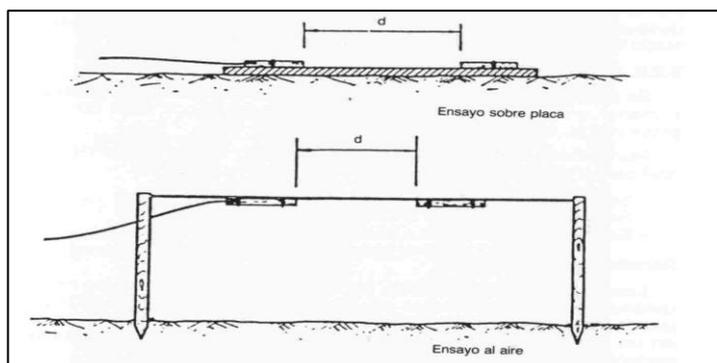
2.3.2.3.5. Sensibilidad de los explosivos.

Es la medida de la facilidad de iniciación de los explosivos, es decir, el mínimo de energía, presión o potencia necesaria para que ocurra la iniciación. Lo ideal de un explosivo es que sea sensible a la iniciación mediante cebos (estopines) para asegurar la detonación de toda la columna de explosivo, e insensible a la iniciación accidental durante su transporte y manejo (Sanchez, 2021).

Adicionalmente para comparar las sensibilidades entre diferentes productos se utilizan fulminantes de diferentes potencias, cuanto más alto sea el número de la cápsula mayor será la sensibilidad del explosivo (Ver Figura 15).

Figura 15:

Sensibilidad de los explosivos



NOTA: Tomado y adaptado de: (Bastidas & Chapman-Jouguet, 2017)

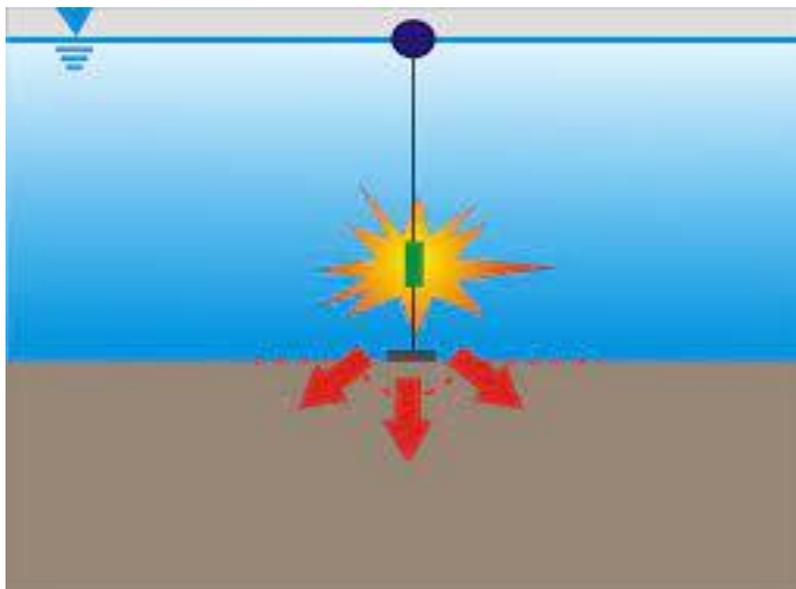
2.3.2.3.6. Resistencia al agua.

Es el número de horas en que un explosivo puede ser cargado en agua y aún detonar en forma segura, confiable y precisa. La resistencia al agua de un explosivo depende de la condición del cartucho (empaque y habilidad inherente de resistir al agua), edad del explosivo y las condiciones del agua como son la presión hidrostática (profundidad), temperatura y naturaleza (Mora, 2017). (estática o en movimiento) (Ver Figura 16).

En dinamitas a pesar del empaque impermeable, los cartuchos absorben poco a poco la humedad y deben por ellos ser empleados lo más pronto posible después de su fabricación.

Figura 16

Resistencia al agua



NOTA: Tomado y adaptado de: (Bastidas & Chapman-Jouguet, 2017)

2.3.2.3.7. Emanaciones.

La detonación de explosivos comerciales produce vapor de agua, dióxido de carbono y nitrógeno, los cuales, aunque no son tóxicos, forman gases asfixiantes como monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno (Ver Figura 17).

Figura 17

Emanaciones

CATEGORIA	VOLUMEN DE GASES NOCIVOS (CO-NO ₂)-dm ³
1. ^a	0 - 4,53
2. ^a	4,53 - 9,34
3. ^a	9,34 - 18,96

NOTA: Tomado y adaptado de: (Bastidas & Chapman-Jouguet, 2017)

2.3.3. Hormigón Armado.

El hormigón es un material de construcción versátil que se obtiene endureciendo una mezcla de cemento, arena, grava y agua en cantidades bien proporcionadas. Como es conocido, el hormigón posee una resistencia a la compresión muy alta pero una resistencia a la tracción baja.

Por eso, dondequiera que intervengan fuerzas de tracción, como en losas y vigas, se recomienda no utilizar hormigón simple de: (Bastidas & Chapman-Jouguet, 2017)

¿Cuál es la solución si se desea trabajar con cargas? Agregar acero al cemento, ya que tiene resistencia a la tracción y también posee una buena resistencia a la compresión. Esta unión entre el hormigón y el acero funciona muy bien.

Cuando ambos se combinan se consigue un refuerzo, obteniendo un material comúnmente conocido como hormigón armado (Villareal, 2018).

2.3.3.1. Ventajas del hormigón armado.

El hormigón armado es capaz de soportar cargas de compresión, tensiones de tracción y fuerzas sobre cualquier estructura.

Tiene una alta fiabilidad como material, ya que combina los mejores elementos del cemento y del acero, razón por la que es uno de los más utilizados en construcción. Estas son las principales ventajas que hacen que los usos del hormigón armado en la construcción sean tan amplios (Chávez, 2021).

2.3.3.1.1. Fuerza.

El hormigón armado tiene muy buena resistencia tanto a tracción como a compresión. Esto hace que el concreto sea uno de los materiales de construcción más deseados y duraderos, es allí donde radica que su composición es de buena calidad para que sea resistente y duradero (Tena & Vargas, 2017).

2.3.3.1.2. Económico.

Los componentes del hormigón están ampliamente disponibles en todo el mundo y, del mismo modo, el coste de producción es muy bajo. Asimismo, debido a la naturaleza duradera del hormigón armado, su coste de mantenimiento también es asequible.

Por otro lado, las estructuras de hormigón reducen los costos operativos relacionados con el consumo de energía operativa gracias a su durabilidad, resiliencia y bajo mantenimiento (Korwar, 2020).

2.3.3.1.3. Durabilidad.

Las estructuras de hormigón armado son duraderas si se diseñan y colocan correctamente. El material no se ve afectado por el clima como la lluvia y la nieve, y puede durar muchos años.

Debido a la baja permeabilidad, el concreto puede resistir químicos disueltos en agua como sulfatos, cloruros y dióxido de carbono, que pueden causar corrosión en el concreto, sin un deterioro grave.

Es por eso el hormigón armado es ideal para aplicaciones subacuáticas y sumergidas como para estructuras de edificios, tuberías, presas, canales, revestimientos y estructuras frente al mar (Bastidas & Chapman-Jouguet, 2017).

2.3.3.1.4. Versatilidad.

El hormigón se puede colocar en varias configuraciones de encofrado y se adapta muy bien a la forma, la superficie, la textura y el tamaño deseado en el sitio de construcción. Esto se debe a que el hormigón fresco es fluido y está en estado líquido. Por lo tanto, es más adecuado para requisitos arquitectónicos (Villareal, 2018).

2.3.3.1.5. Resistencia al fuego.

La naturaleza del hormigón no permite que se incendie ni se queme. Puede soportar el calor de 2 a 6 horas, lo que otorga tiempo suficiente para las operaciones de rescate en caso de incendio.

Los edificios de hormigón armado son más resistentes al fuego que otros materiales de construcción de uso común como el acero y la madera. Es adecuado para acero ignífugo y se utiliza en aplicaciones de alta temperatura y explosión latente (Guevara Patiño, 2016).

2.3.3.1.6. Ductilidad.

El refuerzo de acero imparte ductilidad a las estructuras de hormigón armado. La ductilidad permite que el concreto muestre signos de deterioro, como agrietamiento y deflexión, si el miembro de concreto reforzado experimenta una sobrecarga.

Esto permite a los ingenieros analizar qué medidas son las más adecuadas para prevenir daños en el hormigón, lo que requiere que de manera constante se haga evaluaciones para conocer estos valores y así establecer que es lo más adecuado en el contexto de la construcción (Gutiérrez & De la Vara, 2018).

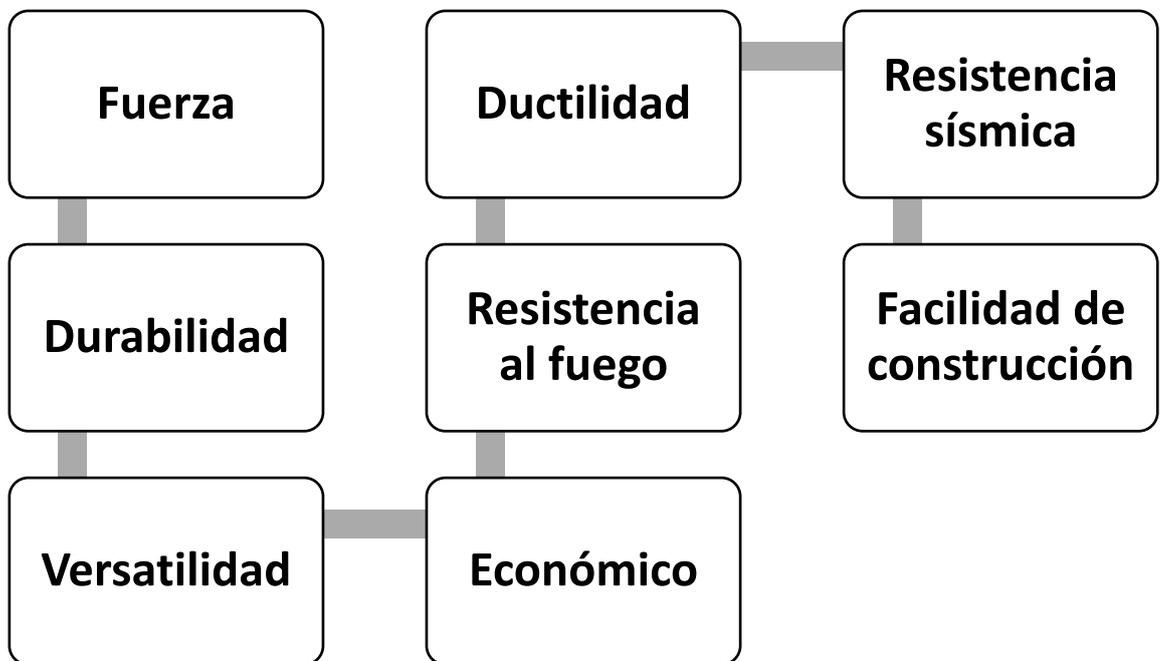
2.3.3.1.7. Resistencia sísmica.

Las estructuras de hormigón armado correctamente diseñadas son extremadamente resistentes a los terremotos, a las ondas expansivas y a todo tipo de movimientos telúricos, como se expresó, que esta cumpla con las normativas de construcción y que no se encuentre en suelos considerados de alta peligrosidad para las personas (Bastidas & Chapman-Jouguet, 2017)

2.3.3.1.8. Facilidad de construcción.

En comparación con el uso de acero en la estructura, el hormigón armado no requiere de una mano de obra altamente cualificada para el montaje de la estructura, solo basta con que la persona tenga los conocimientos, la práctica y la experiencia necesaria para realizar este tipo de trabajos que luego se lo hará habitual (Londoño, Maldonado, & Calderón, 2016). (Ver Figura 18)

Figura 18
Ventajas del hormigón armado



NOTA: Tomado y Adaptado de (Bayona, 2018)

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se expone la metodología de investigación utilizada; para ello, se describe el tipo de investigación y el nivel.

En otro apartado se mencionan el Método, el enfoque y diseño de la investigación, además de las técnicas de recolección de datos empleados.

3.1.1. Tipo.

El tipo de estudio es No Experimental porque se recolecta la información con el propósito de describir y analizar la influencia de los niveles, sin la manipulación deliberada de variables y en lo que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos, así lo afirma Hernández, Fernández, Baptista (Hernández, 2016).

Por lo tanto, el trabajo de minería artesanal que se lleva a cabo en el Sector El Tablazo requiere ser revisado de manera técnica y con las normativas de seguridad que avalan este tipo de actividad, para que en lo posterior no cause daños colaterales a personas o viviendas que se encuentren colindando con la zona de estudio (Hernández, 2016).

3.1.2. Nivel.

El nivel de investigación será exploratorio, descriptivo y explicativo, porque se realizará un análisis de los datos a través de la observación, para luego realizar una descripción del fenómeno que se investiga y posteriormente realizar una explicación de lo observado.

Se debe tomar en cuenta que luego de ello se debe realizar cálculos sobre las ondas expansivas, que tipo de cargas utilizan los mineros y si están cumplen con las normas de seguridad y de trabajo que se requiere para no afectar a las viviendas que se encuentran en las inmediaciones del sitio donde se llevan a cabo la actividad minera (Vargas, 2018).

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método.

En este trabajo investigativo se aplicará un trabajo de campo, en el mismo sitio de los hechos para conocer de cerca la problemática y establecer acciones que permitan conocer cuáles son los efectos de las ondas expansivas que causa el usar explosivos cerca de edificaciones.

En base a esto poder analizar sus comportamientos de acuerdo con las cargas aplicadas, facilitando resultados que servirán de referencias para ser comparados con las normas internacionales (Ortega, 2023)

3.2.2. Enfoque.

El enfoque del estudio es de carácter mixto, es decir, cualitativo y cuantitativo.

Por una parte, fue preciso desarrollar una observación detallada de las cualidades presentes en el contexto, lo que resulta complementario con el estudio cuantitativo realizado a través de procesos de cálculo de modelados.

Se desarrollaron, por tanto, una observación y un análisis documental para obtener una caracterización adecuada del objeto; además, se desarrolló el proceso cuantitativo para determinar los parámetros bajo los que trabajan los miembros de la cooperativa “Cerro El Tablazo” (Vargas, 2018)

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Diseño.

La investigación realizada es de carácter teórico-empírico no experimental, con temporalidad transversal, y de alcance descriptivo.

Se utilizará un modelado de la metodología seleccionada para calcular los parámetros de perforación y voladura en un talud final de un caso particular, y se complementará con recopilación de información en campo, de manera que la metodología propuesta sea adecuada para conseguir factores de seguridad adecuados, resultados eficientes en los trabajos que se realizan y cuáles son las afectaciones que se generan a las edificaciones que se encuentran en las cercanías, especialmente del Barrio “El Mirador” del sector El Tablazo del cantón Santa Elena (2018).

3.3.2. Población.

Espinosa, (2018), define como un conjunto de todos los elementos que son objeto del estudio estadístico. En su uso habitual hace reseña a un grupo de personas que viven en un determinado lugar accionando secuencias de trabajo, actividades u otro tipo de acción, la misma sirve para coger como referencia a cierto lugar y considerarlo para alguna investigación de campo.

Para este estudio de investigación se consideró a los miembros de la Cooperativa Minera “El Tablazo”, quienes llevan a cabo sus labores de manera sostenida en este sector de Santa Elena – Ecuador.

3.3.3. Muestra.

Como muestra se va a tomar una parte de la población, referida, en este caso se aplicó la fórmula para conocer cuantas personas iban a ser consideradas para la aplicación de la encuesta y así obtener datos referentes a la problemática que se investiga:

$$n = \frac{z^2 P Q N}{E^3 (N - 1) + z^2 P Q} \quad (12)$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de población

Z = Valor crítico normal que depende del nivel de confianza

P = Proporción de la población que tiene la característica de interés

Q = 1 - P

E = Margen de error o nivel de precisión

Pero como se trabajará con el total de la población, se expresa lo siguiente:

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la ejecución de este proyecto, se realizó un análisis de los diferentes tipos de explosivos, sus aplicaciones técnicas, los mismos que se ejecutaron en la zona de trabajo, para posteriormente realizar comparaciones con las normas técnicas que regulan esta actividad y así establecer parámetros de seguridad que estén comprometidos y que afecten a terceros.

3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Una vez terminado y revisado la documentación respectiva, se ha procedido a elaborar los respectivos resultados sobre las actividades que realizan este grupo de personas (minería artesanal), sintetizando las actividades cumplidas, los logros alcanzados y el nuevo manual de aplicación de explosivos en voladuras a cielo abierto con optimización de recursos, y aplicando las debidas medidas de seguridad para este tipo de actividades (Roller, 2021).

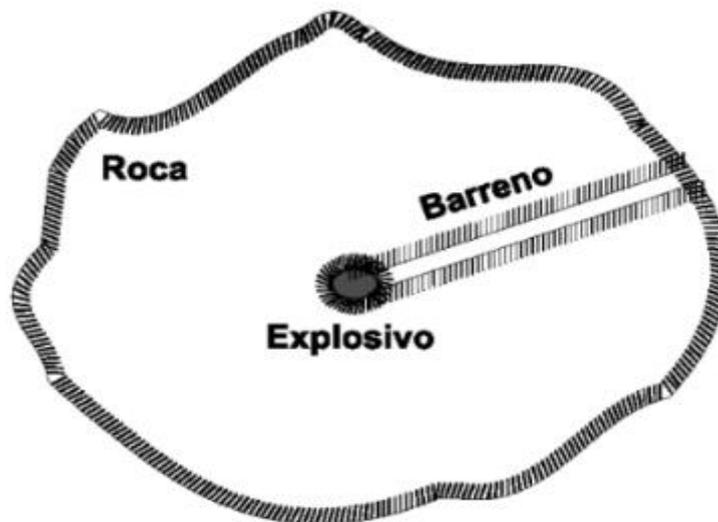
3.6. EXPLOSIVOS, TÉCNICAS Y SU RELACIÓN CON LAS VIBRACIONES

En el caso de las voladuras la energía (capacidad de realizar trabajo) es usada en el fracturamiento y movimiento de las rocas, así como en la generación y transmisión de vibraciones y ondas en el suelo y el aire. El trabajo realizado en el proceso de la voladura depende de la cantidad (peso) del explosivo utilizado. Para propósitos prácticos, puede suponerse que es (Ver Figura 19).

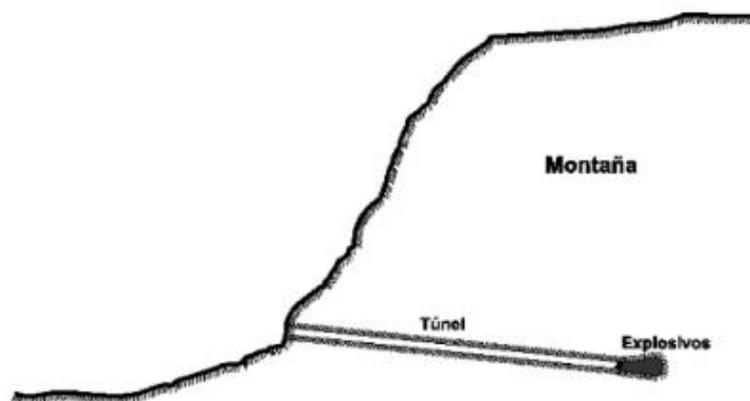
Figura 19.

Técnicas de voladuras con una sola carga.

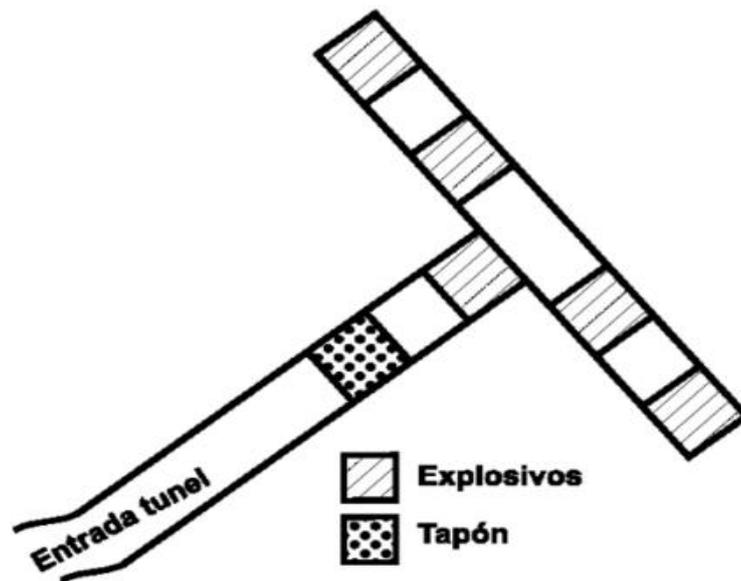
(a) Barreno para fragmentación de roca



(b) Vista en perfil de un túnel hueco de serpiente



(c) Vista en planta de un túnel Coyote



Todos los explosivos comerciales utilizados en la actualidad tienen la misma energía por r unidad de peso.

La cantidad de explosivos detonados por instante de tiempo (definido generalmente como 8 ms) es la que determina la energía total liberada en la explosión.

En física la energía es una cantidad que se expresa en unidades de fuerza por distancia, aunque no es estrictamente cierto, pero es útil en voladuras la energía se relacionada con el peso del explosivo utilizado (Chávez, 2021).

El grado de confinamiento de un explosivo determina la fracción de energía aprovechada en el fracturamiento de la roca y la magnitud de las vibraciones transmitidas al suelo y al aire.

A mayor confinamiento, más energía es utilizada en el fracturamiento de la roca y generación de vibraciones y menos en la generación de ondas acústicas.

Adicionalmente el espaciamiento y la secuenciación de la voladura influyen en el grado de confinamiento de los explosivos (Handbook, 2016).

El tipo de roca tiene una débil influencia en la velocidad de partícula máxima. Cuando la densidad de las rocas es mayor (mayor velocidad de onda compresional -P-), es también mayor la velocidad de partícula cerca a la voladura, sin embargo, a grandes distancias puede ocurrir lo contrario (Tena & Vargas, 2017).

La atenuación es la variación de la velocidad de partícula pico con la distancia, para las voladuras generalmente se expresa como:

$$V_{res} = K \left(\frac{R}{W^m} \right)^{-n} \quad (13)$$

Donde A y n son parámetros estimados (denominados α o β en secciones anteriores), R es la distancia de la voladura a un sitio determinado (sitio de medición), W es la carga por unidad de tiempo (8 ms), y V_{res} es la máxima velocidad de partícula en el sitio de medición.

Para una explosión totalmente confinada y esférica en un medio infinito y elástico, la teoría indica que $m = 1/3$ y $n = 1$ ó 2 dependiendo de la distancia desde la explosión.

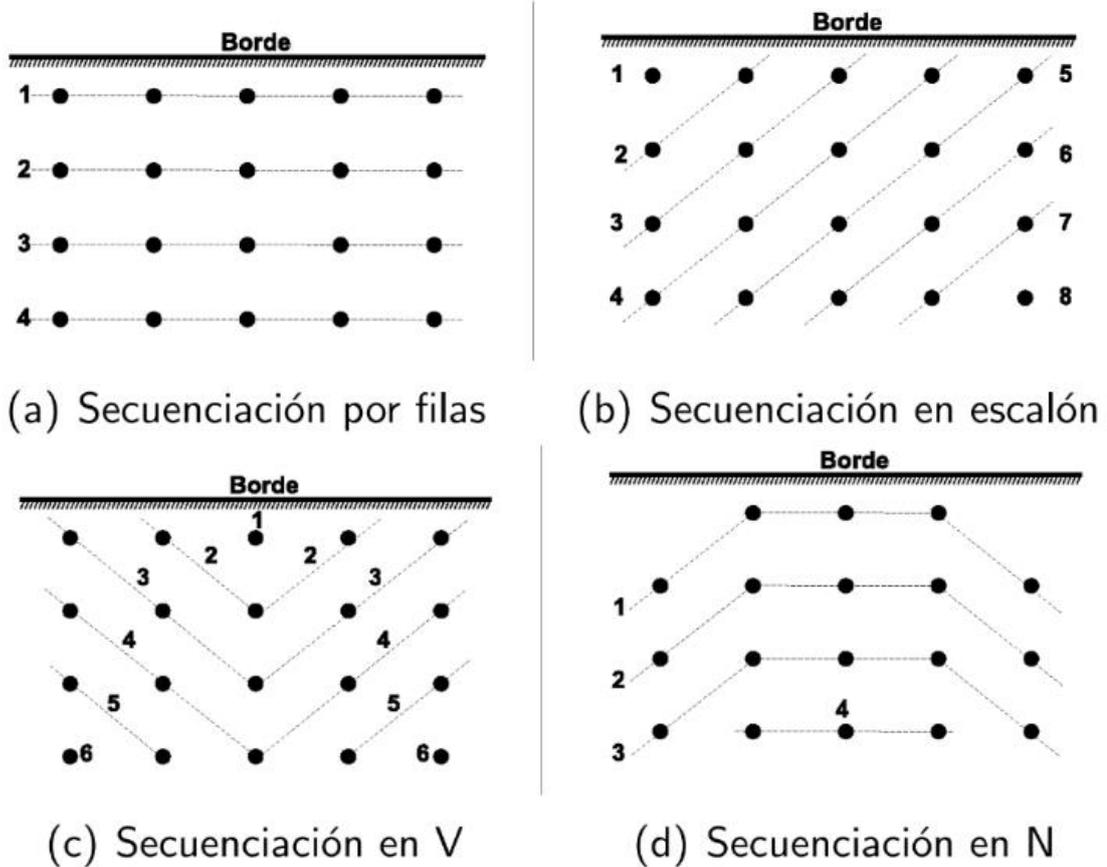
Las cargas usadas en la práctica son cilíndricas y no esféricas, además el medio no es infinito porque hay una superficie libre que en muchos casos es vertical.

Por medio de un análisis dimensional se puede llegar a un valor de $m = 1/2$ para cargas cilíndricas, mientras que el valor de n varía entre 1.4 y 1.8 (Becker P. , 2022). Las vibraciones del suelo causadas por una explosión dada varían en frecuencia, así como en amplitud con respecto a la distancia (R).

Como resultado de una explosión un rango amplio (Ver Figura 20).

Figura 20

Secuenciación típica de mallas



De frecuencias se presentan en las vibraciones del suelo, pero algunas frecuencias o rangos de frecuencias se presentan predominantemente. Estas frecuencias dominantes decrecen con la distancia desde la explosión. El rango de frecuencias registrados en vibraciones inducidas por voladuras esta entre 0.5 y 200 Hz. En algunos casos la frecuencia predominante está asociada con el borde y la velocidad de onda P (CP), estando definida como:

$$f_1 = \frac{C_p}{2B} \quad (14)$$

También se puede relacionar con la altura (H) de la cara y la velocidad de ondas SCS), en cuyo caso será:

$$f_2 = \frac{C_s}{4B} \quad (15)$$

Estas ecuaciones se derivan de observaciones de vibraciones en el suelo (OCE, 1972; USACE, 1989). Cuando las mediciones se hacen en afloramiento de roca, las frecuencias predominantes usualmente están entre 10 y 100 Hz; cuando las mediciones se realizan sobre un depósito de suelo de más de 3 metros la frecuencia predominante está en el rango de 1 a 40 Hz. Un gran número de voladuras secuenciales micro – retardadas incrementan el contenido de bajas frecuencias en las vibraciones.

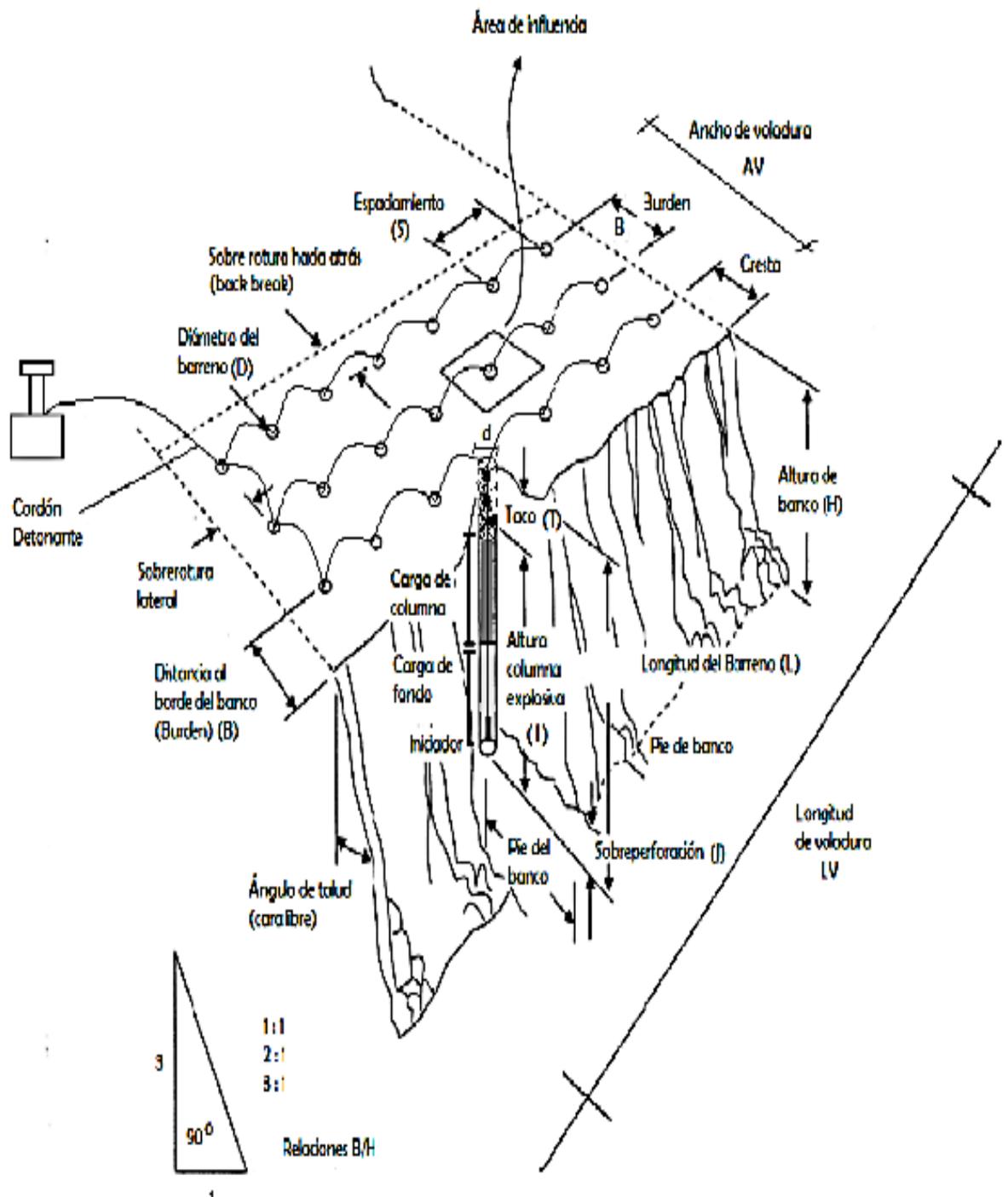
3.6.1. Método de uso del explosivo.

Establecer el método más idóneo para el uso de los explosivos, requiere de analizar una serie de parámetros, entre ellos: la energía a usar, la profundidad de penetración, el diámetro del acero de perforación, los costos, los equipos de seguridad a emplear, el personal humano, la producción a obtener, etc., por lo que a continuación se señala aspectos relevantes para este proceso:

1. Determinar las condiciones bajo las cuales va a ser utilizada la carga explosiva.
2. Estudios en base al ciclo de producción (geometría del yacimiento, esquema de trituración, cuota de producción, fragmentación etc.) de la carga explosiva a ser usada, donde debe considerarse: diámetro de huecos. profundidad, distancia entre huecos (piedra, espaciamiento) etc.
3. Determinar anticipadamente el tipo de suelo en que se va a trabajar, para determinar plenamente el grado de perforabilidad de la misma y poder seleccionar la perforadora más apta, y el acero de perforación más adecuado.
4. Comparación de los parámetros y de los costos por diferentes métodos, incluyendo depreciación de perforadoras, brocas, mantenimiento etc.
5. Selección del sistema de perforación el cual debe satisfacer los requerimientos y obtener el menor costo que sea posible (Ver Figura 21).

Figura 21:

Esquema para el uso del explosivo



Nota: Tomado y Adaptado de (Bayona, 2018)

3.6.2. Reducción de niveles de vibración.

3.6.2.1. Reducir la carga por retardo.

Para reducir el daño debido a vibraciones del suelo, es necesario reducir la relación carga/retardo a un valor en el cual la máxima velocidad de partícula sea menor al criterio de daño. Para lograr la fragmentación deseada, es necesario tener un factor de fragmentación a un nivel mínimo.

El factor de fragmentación está definido como el peso de explosivo (Wt) entre el volumen total de roca extraída. Dependiendo del tipo de roca, el borde, y el máximo tamaño de fragmentos necesario, el factor de fragmentación adecuado estará en el rango de 0.3 a 0.6 kg/m³. Para lograr ambos objetivos (factor de fragmentación y nivel de vibraciones) es necesario incrementar el número de barrenos.

3.6.2.2. Intervalos de retardo.

Existe una relación inversa entre el tiempo de retardo de la voladura y el nivel de vibración que esta genera. El hecho de cambiar el intervalo de retardo de 5 ms a 9 ms implica una reducción de las vibraciones de 2 a 3 veces en su magnitud (Lutton, 1976).

Una causa de tal disminución se debe a que si la onda de presión de un barreno viaja desde éste hasta la cara libre de la voladura y de aquí a otro barreno que está a punto de detonar, entonces el segundo barreno estará más confinado y por lo tanto el explosivo suministrará una mayor cantidad de energía, la cual se utilizará en fragmentación.

Los intervalos de retardo pueden producir interferencia destructiva, esta previene la superposición de picos de vibración fuera del área de la voladura. La interferencia constructiva dentro del área de voladura y contigua produce un mayor grado de fracturamiento de la roca, efecto buscado en muchas minas y canteras.

3.6.2.3. Reducción del borde.

Reduciendo el borde se reduce la duración del confinamiento y menos energía es utilizada en vibraciones del terreno, pero, más energía es convertida a ondas acústicas que recorren más extensión de terreno (Ver Tabla 8).

Tabla 8:

Propiedades de los geles explosivos

Fuerza peso (%)	Fuerza cartucho (%)	Gravedad específica	Velocidad det. confinada (m/s)	Resistencia Agua	Emanaciones
Gel Explosivo					
100	90	1.3	7500 – 8000		
Straight gel					
90	80	1.3	7000	Excelente	Pobre
70	70	1.4	6400	Excelente	Pobre
60	60	1.4	6000	Excelente	Bueno
50	55	1.5	5600	Excelente	Bueno
40	45	1.5	5000	Excelente	Bueno
30	35	1.6	4400	Excelente	Bueno
20	30	1.7	3300	Excelente	Bueno
Gel amoniacal					
80	72	1.3	6000	Excelente	Bueno
70	67	1.4	5800	Excelente	Muy bueno
60	30	1.4	5300	Excelente	Muy bueno
50	52	1.5	5000	Excelente	Muy bueno
40	45	1.5	4800	Excelente	Muy bueno
30	35	1.6	4200	Excelente	Muy bueno
Semigeles					
63	60	1.3	3600	Muy bueno	Muy bueno
63	50	1.2	3600	Muy bueno	Muy bueno
63	40	1.1	3500	Bueno	Muy bueno
63	30	0.9	3200	Aceptable	Muy bueno

NOTA: Tomado y adaptado de OCE (1972)

3.6.2.4. Vibraciones en voladuras.

La vibración es un fenómeno de transmisión de energía mediante la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio. Las voladuras son una forma de generación de vibraciones en las actividades de:

- i. Construcción de obras civiles.
- ii. Extracción de materiales en canteras y minas.
- iii. Demoliciones

3.6.2.5. Características de las vibraciones.

Entre las características de las vibraciones tenemos:

- i. Velocidad de partícula
- ii. Velocidad de propagación
- iii. Amplitud de Vibración
- iv. Velocidad Pico de Partícula (PPV)
- v. Frecuencia
- vi. Aceleración

3.6.2.6. Sistema de medición de la onda sísmica.

La magnitud del movimiento de partículas causado por la onda sísmica se mide con un sismógrafo, los mismos que detectan vibraciones por medio de un geófono que contiene 3 sensores los cuales miden el movimiento de partículas en 3 direcciones (Ver Figura 22):

- i. Vertical (arriba y abajo),
- ii. Transversal (izquierda y derecha), y
- iii. Longitudinal (frente y atrás)

Figura 22:

Sismógrafo



Con la colaboración de Calizas Huayco S.A

Entre los beneficios de la aplicación de un sismógrafo se tiene:

- i. Monitorear, registrar, analizar, desplegar e imprimir las vibraciones y el golpe de aire que son resultado de un evento.
- ii. Medir las curvas sísmicas de energía que son transferidas de un punto a otro.
- iii. Son compactos y ligeros; operados con batería de larga duración para el uso en campo.
- iv. Funcionan con un auto chequeo de operación y calibración.
- v. Incorporan programas de análisis de vibración en las computadoras.

3.6.2.7. Ubicación de los sismógrafos.

- i. Los sismógrafos deben ser colocados fuera de las estructuras a monitorear.
- ii. En caso de que deba ser colocado dentro de la estructura, se debe realizar un análisis completo del efecto de amplificación de la estructura.

- iii. Cuando se monitorea dentro de la estructura o extremadamente cerca de la voladura, un conjunto de sismógrafos debe ser usado en varias ubicaciones para asegurar que se registren lecturas apropiadas.

3.6.2.8. Cálculo de la velocidad de onda p.

Es la velocidad a la cual una roca transmitirá las ondas de compresión. Como a este tipo corresponden las ondas sonoras, también se le refiere como velocidad de onda longitudinal. Es una función del Índice de calidad del túnel (Bieniawski 2019) (Ver Tabla (9)).

Tabla 9.

Cálculo de la velocidad de la Onda P para los frentes de estudio.

RMR	Q	Resistencia a la compresión	Módulo de Young (GPa)	Vp (m/s)
25	0,13	4.39	1.17	2579.18
35	0,35	6.9	1.51	30.68.2
40	0,67	8.3	1.69	33.618

Fuente: Unidad Operativa Selene - Compañía Minera Ares S.A.C. filial de Hochschild (2019)

3.6.2.9. Cálculo de la velocidad pico de partícula crítica (vppc).

Para realizar el modelamiento de las vibraciones antes vamos a realizar el cálculo de la Velocidad Pico Partícula Crítica (VPPC) de los tajos en evaluación tanto con el uso de dinamitas como con el uso de emulsión.

$$V_{ppc} = \frac{0.439 * 2579.18}{1.17} = 967.74 \text{ mm/s} \quad (16)$$

$$V_{ppc} = \frac{0.69 * 3068.20}{1.51} = 1402.03 \text{ mm/s} \quad (17)$$

$$V_{ppc} = \frac{0.83 * 3306.18}{1.69} = 1623.75 \text{ mm/s} \quad (18)$$

3.6.2.10. *Modelamiento de vibraciones.*

Como se ha mencionado anteriormente, los modelos de vibraciones que permitan predecir el nivel de vibraciones se pueden determinar a partir de mediciones de terreno, de estas mediciones se deben obtener principalmente tres antecedentes, a saber:

- i. El nivel de vibraciones que genera la detonación de una carga de explosivo.
- ii. La cantidad de explosivo que genera cierto nivel de vibraciones, y
- iii. La distancia a de la carga al punto a la cual se mide el nivel de vibraciones.

La vibración es el fenómeno de transmisión de energía por la propagación de un movimiento ondulatorio en un medio, pudiendo recurrir grandes distancias. Está caracterizado por un emisor (generador de vibraciones), y medio de transmisión, y un receptor.

En el caso de las voladuras a cielo abierto, la transmisión de dichas vibraciones podrá producirse tanto por el terreno, como por la atmósfera.

3.6.2.11. *Vibraciones.*

Puede distinguirse entre ondas internas y superficiales. Las internas, a su vez, en ondas p (compresivas, ocasionan movimiento en la dirección de propagación, con cambios de volumen, no de forma), s (transversales, originan movimientos de partícula perpendicular al de la onda, con cambios de forma, no de volumen, y velocidad intermedia entre las p y las superficiales).

Las ondas superficiales, Rayleigh (R) y Love (Q), son complejas y no resultan relevantes en el nivel de vibración. Para definir bien las vibraciones, deben distinguirse dos aspectos fundamentales: la propagación o transmisividad en el medio, el movimiento de las partículas del medio debidas a dicha vibración, lo que conlleva la consideración de dos tipos fundamentales de velocidades.

El registro de vibraciones se desarrolla con geófonos, aparatos que transforman las vibraciones del terreno en impulsos eléctricos, e irán conectados al sismógrafo. De las variantes electrodinámica y piezoeléctrica, la segunda es la más interesante para captar las ondas de baja frecuencia, que conllevan las peores consecuencias, y se atenúan más lentamente, por lo que su alcance es mayor.

Se requiere que sea robusto y de elevada autonomía, con registro continuo y frecuencia elevada de muestreo (mínimo 1KHz), con objeto de analizar los valores pico de las ondas y las frecuencias dominantes (ver Figura 23 y Tabla 10).

Figura 23.
Equipos de Medición de ondas



Nota: Con la colaboración de Calizas Huayco S.A

Tabla 10*Factores influyentes en las vibraciones*

TIPO DE EXPLOSIVO	Los explosivos de alta energía de tensión (E.T., elevado poder rompedor), generan más vibraciones.
RETARDO	La dispersión de los retardos respecto al tiempo nominal (5 al 15%) puede ocasionar acoplamiento de cargas subsecuentes.
DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	La carga es función del cuadrado del diámetro, por lo que su aumento es desfavorable para las vibraciones. El barreno podría fraccionarse y secuenciarse en caso de ser necesario
RELACIÓN ALTURA BANCO	Un valor próximo a 2 produce buen arranque con confinamiento razonable
EXCESO DE CONFINAMIENTO	Aumenta el nivel de vibraciones
DESACOPLAMIENTO	En general reduce las vibraciones
TAMAÑO DE LA VOLADURA	Si las secuencias son excesivamente reducidas por el tamaño de la voladura, puede aumentar el nivel de vibración
CONSUMO ESPECÍFICO	El aumento del consumo específico puede aumentar las vibraciones y dar proyecciones, pero una reducción excesiva implica reducir las proyecciones a costa de aumentar las vibraciones (reducción del consumo en un 20% puede triplicar el nivel de vibraciones).
GEOLOGÍA	Las discontinuidades entre la voladura y las estructuras pueden reducir las vibraciones. Si ambas se ubican en un mismo estrato, es posible que por el contrario la vibración se intensifique. Es necesario tener un buen conocimiento de la geología local
DIRECCIONAMIENTO DE LA VOLADURA	Orientar el avance de la voladura en sentido contrario a la ubicación de la estructura puede reducir las vibraciones que ésta experimente
PRECORTES	Las voladuras de pre/corte pueden contribuir a la reducción de las vibraciones a las estructuras, al implicar la generación de un plano de discontinuidad previo a la(s) voladura(s) principal(es) que reducirán las vibraciones transmitidas más allá de dicha superficie

Nota: Tomado y Adaptado de: (López Jimeno, 1994)

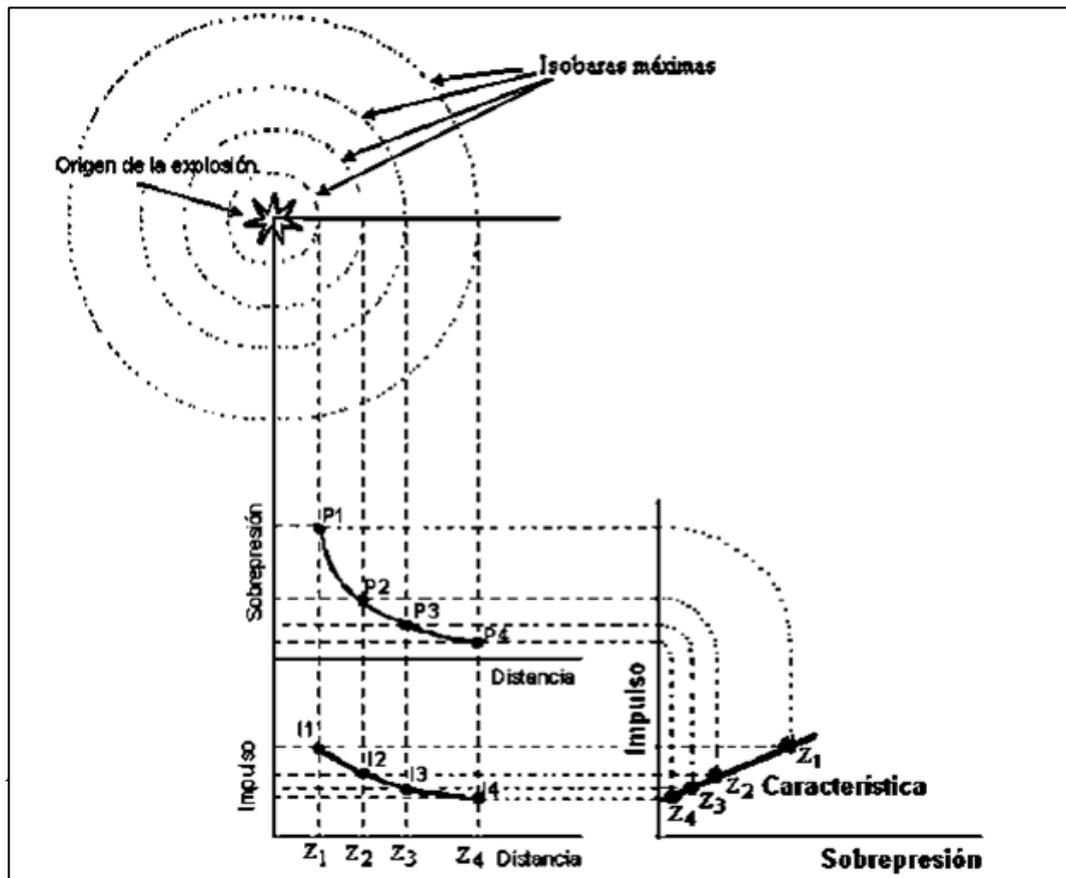
3.6.2.12. Impacto en el área urbana cerca de la cantera.

Establecer las ondas expansivas que produce la detonación de dinamita en el área del Cerro El Tablazo a las viviendas circundantes del sector, conlleva a conocer la cantidad de TNT o su equivalente, lo que permite calcular los efectos de cualquier sustancia explosiva por comparación de la energía generada con la que liberaría una cantidad equivalente de TNT.

De acuerdo con el criterio de López Jimeno, (1994), menciona: “El método Multienergía se utiliza para la determinación de las magnitudes peligrosas de las ondas de presión procedentes de la explosión de TNT, tomando en cuenta que, cuando éstas se inflaman, las mayores sobrepresiones se generan en regiones congestionadas o confinadas de la nube” (p. 55) (Ver Figura 24).

Figura 24.

Ondas expansivas



3.6.2.13. Normas de aplicación para esta problemática.

Las Normas y criterios de prevención de vibraciones en el terreno, deben ser claramente tipificadas a fin de evitar daños a las viviendas que se encuentran en las cercanías de extracción de materiales. Por lo que, de acuerdo con investigaciones realizadas, se menciona que existen más de 16 normas internacionales para el control de vibraciones, se presentan las normativas internacionales vigentes más relevantes. Normas internacionales para el control vibraciones generadas por voladura de rocas:

- Norma Americana USBM RI 8507 (OSMRE). La USBM (Reporte RI8507, U.S. Bureau of Mines), elaboró un gráfico utilizando una combinación de velocidad y desplazamiento, en el cual se presentan los niveles seguros de vibración para diferentes estructuras
- Norma Alemana DIN 4150 (2001, efectos sobre estructuras). La norma alemana DIN 4150 (1986 revisada en el 2001), ofrece valores límites de velocidad de vibración de la partícula en mm/s, considerando el tipo de construcción civil con el intervalo de frecuencia en Hz, (Ver Figura 25 y Tabla 11)

Figura 25.

Norma Alemana DIN 4150 (2001, efectos sobre estructuras).

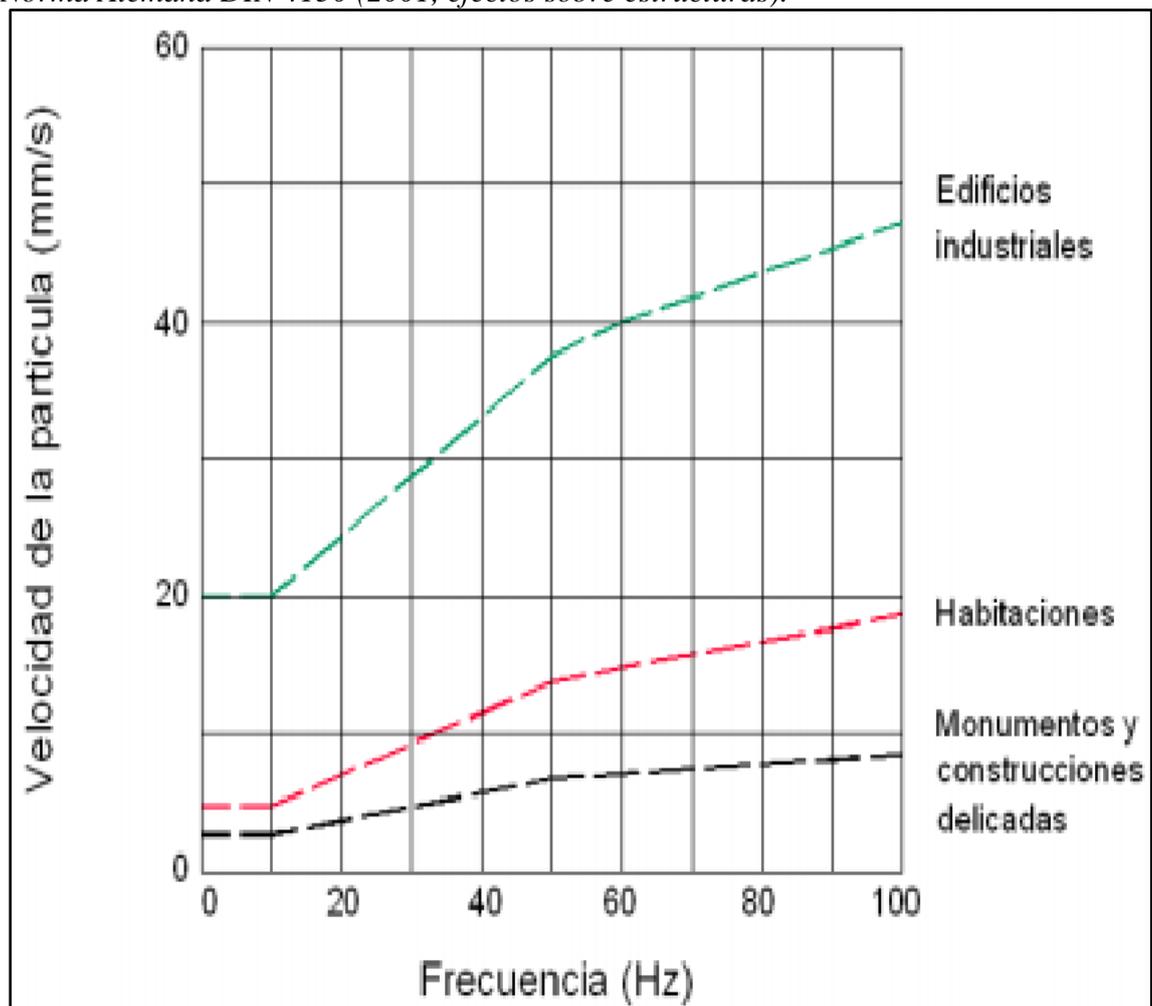


Tabla 11.

Valores Admitidos por la Norma Alemana DIN 4150 Para daños en Edificios

TIPO DE ESTRUCTURA	FUNDACIONES			PISOS MAS ALTOS DE EDIFICIOS
	FRECUENCIAS PRINCIPALES (Hz)			
	< 10	10 - 50	50 - 100	Cualquier frecuencia
Industriales	20 mm/s	20-40 mm/s	40-50 mm/s	40 mm/s
Habitacionales	5 mm/s	5-15 mm/s	15-20 mm/s	15 mm/s
Edificios particularmente delicados	3 mm/s	3-8 mm/s	8-10 mm/s	8 mm/s

3.6.2.14. Uso del esclerómetro.

El esclerómetro o martillo de rebote Schmidt es un ensayo no destructivo que mide la dureza de una superficie que proporciona un rápido y sencillo medio para verificar la uniformidad del concreto a través de la lectura del número del rebote, como también estima la resistencia del concreto (Ver Figura 26).

Figura 26

Esclerómetro PCE-HT 22



Nota: Con la colaboración de Calizas Huayco S.A

Con los datos obtenidos, se elaboró la siguiente Tabla de resumen de resultados de estudio a vivienda sector barrio el mirador de las construcciones más afectadas usando el esclerómetro.

Figura 27.

Esclerómetro

R	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 90^\circ$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	212	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	265	235	190	170
33	290	280	250	210	190
34	310	290	260	220	200
35	320	310	280	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	370	340	300	280
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	420	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	590	580	550	530
55	over 600	over 600	580	570	550
56	over 600	over 600	600		570

Nota: con la colaboración de la UPSE

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. MEDICIÓN DE LOS DAÑOS OCASIONADOS POR LAS ONDAS SÍSMICAS PRODUCTO DE LAS DETONACIONES DE EXPLOSIVOS

Es pertinente que, en toda investigación, luego de hacer el análisis respectivo de la problemática que se quiere conocer, es indudable que se debe buscar cuales son los resultados y de acuerdo con ello plantear posibles soluciones que permitan minimizar los daños que se ocasionan producto de la actividad minera artesanal que se lleva a cabo en Cerro El Tablazo y así prevenir este tipo de situaciones.

4.2. CÁLCULOS

Tabla 12.

MOTEL AMORMIO: COLUMNA 1A (25x25), EDAD 15 AÑOS

_____	_____	_____
31	27	28
_____	_____	_____
27	✗	35
_____	_____	_____
27	27	✗
_____	_____	_____
27	27	28
_____	_____	_____
✗	22	28
_____	_____	_____

31	27	28	27	29	27	27	27	27	28	30	28
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Tabla 13.

COLUMNA 2A (25X25)

20	20	24
23	28	20
22	24	20
27	25	19
22	22	21

20	20	24	23	20	22	24	20	25	22	22	21
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Tabla 14.

COLUMNA 3A (25X25)

29	30	23
23	20	27
25	21	27
25	24	20
27	26	25

29	23	23	27	25	21	27	25	24	27	26	25
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Tabla 15.

COLUMNA 4A (25X25)

27	30	35
20	27	29
27	22	31
39	22	35
28	30	32



27	30	35	27	29	27	31	39	35	28	30	32
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabla 16.

COLUMNA 5A (25X25)

27	29	31
33	28	31
33	29	37
33	27	33
33	29	35



29	31	33	31	33	29	37	33	33	33	29	35
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

IGLESIA TIERRA DE ISRAEL: EDAD 10 AÑOS

Tabla 17.

COLUMNA 1A (15X15)

35	25	30									
32	28	23									
29	33	27									
33	31	22									
26	30	27									
25	30	32	28	23	29	27	33	31	26	30	27

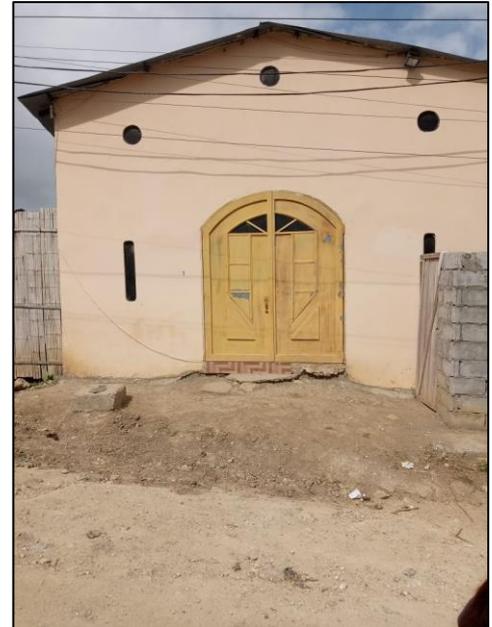


Tabla 18.

COLUMNA 2A (15X15)

21	21	18									
16	18	20									
21	24	21									
20	20	21									
20	23	21									
21	21	20	21	24	21	20	20	21	20	23	21



Tabla 19.

COLUMNA 3A (15X15)

21	23	22
24	19	28
20	24	22
23	27	23
27	20	24

21	23	22	24	20	24	22	23	23	27	20	24
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabla 20.

COLUMNA 4A (15X15)

21	17	21
20	16	20
23	18	19
17	21	17
21	17	20

21	21	20	20	18	19	17	21	17	21	17	21
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

CASA N° 1: EDAD 11 AÑOS

Tabla 21.

VIGA 1A (20X20)

24	26	23
18	20	21
21	25	21
21	21	25
23	23	19

24	23	18	20	21	21	21	21	21	21	23	23	19
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Tabla 22.

VIGA 2A (20X20)

24	25	23
18	26	20
26	21	21
21	21	21
23	23	19

27	23	21	27	23	27	23	21	22	23	25	19
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Tabla 23.

COLUMNA 1A (15X15)

19	20	21
21	19	21
22	20	21
23	21	21
21	22	22

21	21	21	22	21	21	23	21	21	21	22	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Tabla 24.

COLUMNA 2A (15X15)

25	28	21
20	23	21
23	20	26
25	30	23
26	23	27

25	28	21	23	21	23	26	25	23	26	23	27
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



CASA N° 2: EDAD 7 AÑOS

Tabla 25.

VIGA 1A (20X20)

19	18	20
22	25	18
24	20	21
20	18	20
22	21	20



19	18	20	22	18	20	21	20	20	22	21	20
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabla 26.

VIGA 2A (20X20)

20	19	18
16	16	21
17	22	18
22	19	19
20	22	21



20	19	18	16	21	17	18	19	19	20	22	21
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabla 27.

COLUMNA 1A (15X15)

25	20✘	28
21	28✘	23
29✘	25	20
24	25	26
26	25	28

25	28	21	23	25	20	24	25	26	26	25	28
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabla 28.

COLUMNA 2A (15X15)

25	21✘	26
25	24	20✘
25	26	28✘
27	22	25
26	27	26

25	26	25	24	25	26	27	22	25	26	27	26
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

4.3. INFORME DE ENSAYO

Reportar la siguiente información que conoce, para cada área de prueba.

4.3.1. Información general.

Se debe de registrar la fecha de la prueba, temperatura del aire y hora de prueba, edad del hormigón e identificación de la ubicación del área de prueba en la estructura y tamaño del miembro de prueba.

4.3.2. Información del hormigón.

Identificación de la mezcla y tipo de agregado grueso usado y resistencia especificada del hormigón.

4.3.3. Descripción del área de prueba.

Características de la superficie (alisada con llana, encofrada, enrasada), si es aplicable, tipo de material del encofrado empleado en el área de ensayo, si la superficie fue removida el espesor de la remoción, si es aplicable, las condiciones de curado y condiciones de humedad de la superficie (seca o húmeda).

4.3.4. Información del martillo.

Se debe de registrar el tipo y número de serie, última fecha de verificación del martillo.

4.3.5. Información sobre el número de rebote.

Orientación del martillo durante el ensayo con respecto a las superficies verticales (muros, columnas, vigas peraltadas), indicar la elevación relativa del área de ensayo, los números de rebote individuales registrados, observaciones relativas a las lecturas descartadas, números individuales de rebote, observaciones respecto a las lecturas descartadas, número promedio de rebote, si es necesario, el número de rebote corregido para una orientación horizontal del instrumento, en su caso, descripción de las condiciones inusuales que puedan afectar a las lecturas de prueba.

4.4. PRECISIÓN

La precisión de la desviación estándar de un solo operador, de máquina por día es de 2,5 unidades como se define en ASTM C670. Por lo tanto, el rango de diez lecturas no debe exceder de 12 lecturas.

Tabla 29.

Tabla de Resumen de resultados de estudios a viviendas del Sector Barrio El Mirador, de las construcciones más afectadas usando el Esclerómetro

NOMBRE		ELEMENTO	TIPO	AGREGADO	CARACTERISTICA DE LA SUPERFICIE	TIPO DE MARTILLO SERIE	FECHA DE VERIFICACION	ORIENTACION	REBOTES																PROMEDIO	DUREZA ELASTICA (kg/cm2)	MEDIA DUREZA ELASTICA	DESVIACION	OBSERVACION
									31	27	28	27	29	27	27	27	27	28	30	28	28,00	180,00							
MOTEL AMOR MIO	COLUMNA 1A (25x25)	CONCRETO DE 28 MPA A 15 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	31	27	28	27	29	27	27	27	27	28	30	28	28,00	180,00	175,60	1,34839972						
	COLUMNA 2A (25x25)	CONCRETO DE 28 MPA A 15 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	20	20	24	23	20	22	24	20	25	22	22	21	21,92	110,00	175,60	1,78164037						
	COLUMNA 3A (25x25)	CONCRETO DE 28 MPA A 15 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	29	23	23	27	25	21	27	25	24	27	26	25	25,17	140,00	175,60	2,20879784						
	COLUMNA 4A (25x25)	CONCRETO DE 28 MPA A 15 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	27	30	35	27	29	27	31	39	35	28	30	32	30,83	210,00	175,60	3,80987552						
	COLUMNA 5A (25x25)	CONCRETO DE 28 MPA A 15 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	29	31	33	31	33	29	37	33	33	33	29	35	32,17	238,00	175,60	2,48022482	ENSAYO DESTACADO					
IGLESIA TIERRA DE ISRAEL	COLUMNA 1A (15x15)	CONCRETO DE 28 MPA A 10 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	25	30	32	28	23	29	27	33	31	26	30	27	28,42	180,00	150,00	2,96826651						
	COLUMNA 2A (15x15)	CONCRETO DE 28 MPA A 10 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	21	21	20	21	24	21	20	20	21	20	23	21	21,08	120,00	150,00	1,24011241						
	COLUMNA 3A (15x15)	CONCRETO DE 28 MPA A 10 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	21	23	22	24	20	24	22	23	23	27	20	24	22,75	120,00	150,00	1,95982374						
	COLUMNA 4A (15x15)	CONCRETO DE 28 MPA A 10 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	21	21	20	20	18	19	17	21	17	21	17	20	19,33	120,00	150,00	1,66969422						
CASA #1	VIGA 1A (20x20)	CONCRETO DE 28 MPA A 11 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	24	23	18	20	21	21	21	21	23	23	19	21,25	120,00	125,00	1,7645499							
	VIGA 1A (20x20)	CONCRETO DE 28 MPA A 11 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	27	23	21	27	23	27	23	21	22	23	25	19	23,42	120,00	125,00	2,60971379						
	COLUMNA 1A (15x15)	CONCRETO DE 28 MPA A 11 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	21	21	21	22	21	21	23	21	21	21	22	22	21,42	130,00	125,00	0,66855792						
	COLUMNA 2A (15x15)	CONCRETO DE 28 MPA A 11 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	25	28	21	23	21	23	26	25	23	26	23	27	24,25	130,00	125,00	2,26133508						
CASA #2	VIGA 1A (20x20)	CONCRETO DE 28 MPA A 7 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	19	18	20	22	18	20	21	20	20	22	21	20	20,08	140,00	135,00	1,31137217						
	VIGA 1A (20x20)	CONCRETO DE 28 MPA A 7 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	20	19	18	16	21	17	18	19	19	20	22	21	19,17	140,00	135,00	1,74945879						
	COLUMNA 1A (15x15)	CONCRETO DE 28 MPA A 7 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	25	28	21	23	25	20	24	25	26	26	25	28	24,67	130,00	135,00	2,42462118						
	COLUMNA 2A (15x15)	CONCRETO DE 28 MPA A 7 AÑOS	19 mm	PULIDA CON PIEDRA ABRASIVA	PCE-HT-225A	2/6/2023	HORIZONTAL	25	26	25	24	25	26	27	22	25	26	27	26	25,33	140,00	135,00	1,37068883						

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se realizan 17 ensayos experimentales con Esclerómetro donde se establecen los números de rebotes individuales registrados, además de las observaciones relativas a las lecturas descartadas, se cuentan los números individuales de rebote, las observaciones respecto a las lecturas descartadas y el número de promedio de rebotes, expresan que las cargas de dinamita que se realizan en las Minas del Tablazo si afectan a las viviendas del Sector Barrio El Mirador, de las construcciones más afectadas usando el Esclerómetro.

Se evidencia que mientras mayor es la cantidad de hormigón residual existente, menor es la deformación en las columnas y vigas de las viviendas, debido a que el hormigón absorbe parcialmente la energía liberada de las detonaciones. Se determinó que la condición de la ubicación de 20 m de radio del explosivo influye en la deformación de los elementos no estructurales, es decir, a mayor distancia los explosivos no afectan.

El peso y cantidad del explosivo varía la condición de forma del explosivo (PENTOLITA); en este contexto las cargas cilíndricas generan un 35.74 % mayor efecto de daño en relación con las cargas cónicas, mientras que las cargas diédricas generan un 55.07% mayor efecto de daño con relación a las cargas cónicas; siempre y cuando este tipo de cargas sean empleadas utilizando rompedores cónicos como explosivo amplificador de carga en las detonaciones que se realicen.

5.2 RECOMENDACIONES

Establecer acciones direccionadas a los mineros artesanales para que establezcan un control pormenorizado en cuanto a las cargas de dinamitas que utilizan para la obtención de materiales para el sector de la construcción y que no generen daños a las casas aledañas al sector del cerro El Tablazo.

Establecer una zona de riesgo en los sectores circundantes a las minas para que no se permitan construcciones residenciales con un adecuado estudio y diseño para este tipo de zona.

Que los encargados de otorgar permisos municipales para la construcción de nuevas viviendas no lo concedan, porque es perjudicial para los propietarios como para las personas que lo habiten, debido a que se estaría construyendo en una zona de riesgo por la actividad minera que se realiza.

Se recomienda que se haga futuros estudios donde se realicen la influencia de estas cargas en los diseños estructurales

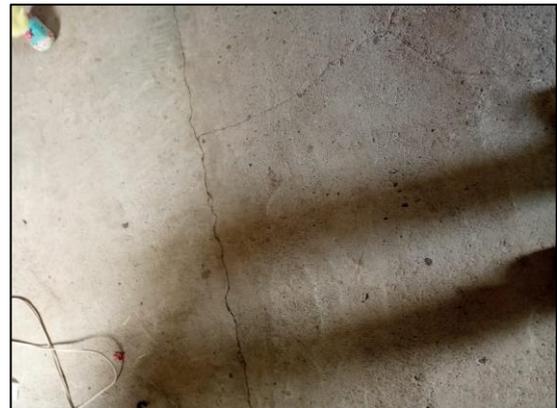
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastidas, y Chapman-Jouguet, G. c. (2017). *Condiciones de Chapman-Jouguet*.
- Bayona, C. (2018). *Hormigón al Carbono: Producción y Beneficios*. México: McKallister.
- Becker, P. (2022). *Propiedades relativas de los explosivos comerciales*. Madrid.
- Becker, P., Nigro, M., y Idelsohn, J. (2019). Integración temporal explícita con grandes pasos de tiempo de la ecuación de transmisión del calor. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 28.
- Chávez, D. (2021). Este nuevo explosivo es mucho más potente que el TNT. *El Confidencial* , 25.
- Contreras, G. (2019). Interpretación sísmica de las ondas expansivas. *SciELO*, 58.
- Contreras, J. (2019). *Estudio estructural de columnas sometidas a cargas explosivas*. Barcelona, España: Oviedo.
- Díaz, J. (2017). *Generación y Validación de Formularios, Bases de Datos e Indicadores para la Identificación de Causas de Reclamaciones en el Proceso de Autoevaluación de Proyectos De Vivienda*. Quito, Ecuador.
- Explocen. (2017). *Décimo curso internacional de voladuras*. Quito, Ecuador.
- Franco, J. (2016). *Análisis del sismo en Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Gallegos, H. C. (2020). *Albañilería Estructural*. L. Lima, Perú.
- Guevara Patiño, R. (2016). *El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los* Bucaramanga, Colombia: Folios.
- Guevara Patiño, R. (2016). *El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos?* Colombia: Folios.
- Gutiérrez, C., y De la Vara, R. (2018). *Análisis y Diseño de Experimentos*. Mexico: McGraw-Hill.
- Handbook, B. (2016). *Manual para uso de explosivos*. México, D. F.: Dieciseisava edición, Ed. E.I. DU PONT DE NEMOURS AND COMPANY, INC.
- Hurtado, M. (2018). *Investigación cualitativa y cuantitativa - Diferencias y limitaciones*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos38/investigacion-cualitativa/investigacion-cualitativa2>.

- Korwar, P. (17 de junio de 2020). *Introduction to Multivariate Regression Analysis*. Retrieved from Great Learning. Obtenido de : <https://www.mygreatlearning.com/blog/introduction-to-multivariate-regression/>.
- Kwaffo, I. (17 de junio de 2017). *Residual Capacity of Blast-Damaged Reinforced Concrete Columns*. Obtenido de Structures and Buildings. doi:<https://doi.org/10.1680/jstbu.18.00223>.
- Londoño, M., Maldonado, L., y Calderón, F. (2016). *Guía para Construir Estados del Arte*. Bogotá, Colombia: International Corporation of Network of Knowledge, ICONK.
- Londoño, O. (2016). *Guía para Construir Estados del Arte*. Bogotá, Colombia: Bogotá: International Corporation of Network of Knowledge, ICONK.
- Luccioni, B., Ambrosin, R., y Danesi, R. (26 de abril de 2014). *Analysis of building collapse under blast loads*. *Engineering Structures*. Obtenido de <https://blog.minitab.com/es/compreension-del-analisis-de-varianza-anova-y-la-prueba-f>.
- Mora, S. (2017). *Programa de simulación para demolición de estructuras porticadas en concreto con utilización de explosivos*. Bogotá, Colombia.
- Morales-A. (2018). Análisis de Respuesta a Explosión de Reforzados Losas de Concreto: Procedimiento Experimental y Simulación Numérica. *Revista de mecánica aplicada*, 59.
- Peralta, R. y. (2019). *Evaluación de daños en columnas de hormigón armado a escala real por efectos de cargas explosivas*. Sangolqui, Ecuador.
- Ramírez, R., Saltos, A., Lindao, P., Chunga, K., Garcés, J., Balón, A., . . . Ordóñez, L. (2015). Evaluación estructural y rehabilitación sísmica del Hotel Samarina de propiedad de la Universidad Península de Santa Elena, para la creación de un modelo disipador de energía. *Revista Científica y Tecnológica UPSE, Vol. III, N. 1, Pag. 55-64 (Dic., 2015)*, 5.
- Roller, C. (30 de marzo de 2021). *Análisis Multivariante*. Obtenido de https://es.ryte.com/wiki/An%C3%A1lisis_Multivariante.
- San Bartolomé, A. (2020). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.
- Sanchez, D. (2021). *Durabilidad y Patología del Concreto. 1a. ed.* Colombia: Colección especializada del concreto. Colombia; Asocreto,.

- Silva, P. (2017). *Capacidad de Resistencia a Explosión de losas de Concreto Armado. Diario de Ingeniería Estructural*. Bogota, Colombia: Paidós.
- Tena, A., y Vargas, J. (2017). *Respuesta dinámica a las estructuras en base a reforzamiento*. Mexico: Paidós.
- Ugel Garrido, R. D. (2018). *Vulnerabilidad sísmica en edificaciones porticadas compuestas de acero y hormigón armado*. España: Ediciones Universitarias.
- Vásconez Jarrin, E. F. (2017). *Desarrollo de curvas de daño por impacto con cargas explosivas en columnas de hormigón armado*. Sangolquí, Ecuador: ESPE.
- Villareal, G. (2018). *Muro de Ductilidad limitada*. Méjxico.
- Yanes, J. (2017). *Experimentación, simulación y análisis de artefactos improvisados-proyectiles formados por explosión. Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*. Mexico: Paidós.

ANEXOS







Luego de la explotación de los materiales, se procede a separar los taludes grandes con la ayuda de una maquinaria, para luego ser reducidos a piedras caras o al material que el cliente a solicitado.

Secuencia de preparación de dinamita para ser explotada, pero esto solo es para triturar una roca grande a material más pequeño (granulado)

