

Entrenamiento Industrial

Variables no controlables que intervienen en la planificación, ejecución y
resultado de una voladura

INFORME DE PASANTÍA

BR. Carlos Gabriel Utches Vivas.

ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA.

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA.

Caracas, 14 de octubre de 2014.

Entrenamiento Industrial

Variables no controlables que intervienen en la planificación, ejecución y
resultado de una voladura

TUTOR ACADEMICO: Ing. José Luis Contreras

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. José Luis Contreras

Caracas, 14 de octubre de 2014

RESUMEN

Las variables que intervienen en el resultado de las voladuras son teóricamente controlables y definibles por los profesionales que diseñan las voladuras, sin embargo, las experiencias en campo dejan ver que dichas variables controlables, son afectadas por una serie de variables que no son controlables, las cuales pasan a condicionar de manera definitiva el resultado de una voladura. En tal sentido se planteó como objetivo general determinar las variables no controlables que intervienen en la planificación, ejecución y resultado de las voladuras.

El proceso de determinación de las variables no controlables, consistió primeramente en sistematizar las experiencias vividas a lo largo de trece (13) voladuras, a través de una tabla donde se relacionan los objetivos de la salida, las características del terreno, los inconvenientes encontrados y los resultados obtenidos, posteriormente, se identifican las variables no controlables por medio de la observación en campo y entrevistas informales realizadas a los profesionales, por último se diseña un diagrama de flujo, que permita observar cómo afectan las variables no controlables en la ejecución y resultados de una voladura.

De las cinco variables no controlables se determinó que las variables con más peso en el resultado de una voladura son los errores humanos referentes a la perforación con un 73% de efecto negativo, y la variable geológica referente a la presencia de agua con un 63% de efecto negativo. Igualmente se destaca que ambas variables presentan una probabilidad de ocurrencia del 70%, siendo variables que no solo afectan de manera determinante el resultado de una voladura, sino que es altamente probable que se presenten durante cualquier voladura que se realice.

Finalmente se recomienda seguir realizando estudios de campo que permitan identificar nuevas variables no controlables, que puedan afectar la planificación, ejecución y resultado de una voladura; así como, diseñar medios de recolección de información en campo, que permitan evaluar de forma más detallada el resultado de las voladuras.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a dios, al Departamento de Minas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela por el apoyo brindado, a la Coordinación de Pasantías de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, a mi familia por el apoyo brindado y por ultimo un agradecimiento especial al profesor José Luis Contreras, por su colaboración y ayuda.

INDICE

Introducción.....	7
Capítulo I.....	9
Reseña histórica.....	9
Capítulo II.....	10
Planteamiento de las actividades realizadas.....	10
Capítulo III.....	11
Marco teórico.....	12
Variables controlables de una voladura.....	12
Altura de Banco (H).....	12
Longitud del Barreno.....	12
Área a Volar.....	12
Malla de Perforación.....	12
Diámetro del Barreno ($\varnothing b$).....	12
Burden o retiro (B).....	12
Espaciamiento (S).....	13
Retacado (T).....	13
Sobre perforación (J).....	13
Angulo de Inclinación del Barreno (β).....	14
Propiedades de los Explosivos.....	15
Potencia y Energía.....	15
Velocidad de Detonación (VOD).....	15
Densidad.....	15
Presión de Detonación.....	16
Estabilidad.....	16
Resistencia al Agua.....	16
Sensibilidad.....	17
Sensibilidad a la iniciación.....	17
Sensibilidad al choque y a la fricción.....	17
Sensibilidad del Calor.....	17
Transmisión de la detonación.....	17
Humos.....	17
Variables no controlables de una voladura.....	18
Capítulo IV.....	19
Memoria descriptiva.....	19
Técnicas de recolección de información.....	19
Sistematización de las experiencias.....	19

Capitulo v.....	20
Resultados.....	20
Identificación de las variables no controlables que intervienen en la planificación, ejecución y resultado de una voladura.....	20
Estado del explosivo	20
Despacho de los explosivos.....	20
Errores humanos.....	20
Perforación.....	20
Carga.....	20
Amarre.....	21
Geología.....	21
Presencia de agua.....	21
Presencia de fracturas.....	21
Barrenos colapsados.....	21
Clima.....	21
Diagrama de flujo.....	23
Capítulo VI.....	24
Discusión del aprendizaje.....	24
Capitulo VII.....	25
Conclusiones.....	25
Capitulo VIII.....	26
Recomendaciones.....	26
Capitulo IX.....	27
Referencias bibliográficas.....	27

Índice de tablas y figuras

Tabla 1: Sistematización de las experiencias.....	28
Tablas 2: Incidencia de las variables no controlables durante las 13 voladuras....	22
Grafico 1: porcentaje de incidencia de cada variable no controlable.....	23
Figura 2: diagrama de flujo donde se observa cómo afectan las variables no controlables al resultado de las voladuras	35
Tabla 4: características técnicas de los explosivos para usos mineros.....	45

INTRODUCCION

La correcta ejecución de una voladura representa una labor fundamental en cualquier actividad que requiera el uso de material explosivo para cumplir un propósito, sea una voladura de producción en una mina, una voladura para la construcción de obras civiles (carreteras, túneles, vías férreas, etc.) o para realizar procesos de demolición de estructuras. En tal sentido es vital mantener bajo constante supervisión los cambios que puedan sufrir las variables que controlan el resultado de una voladura.

Las variables que intervienen en el resultado de las voladuras son teóricamente controlables en su mayoría, entre otras mencionamos la altura de banco, longitud de carga, espaciamento, retiro, taco, tipo de explosivo, estas son perfectamente definibles por los profesionales que diseñan las voladuras, sin embargo, las experiencias en campo dejan ver que dichas variables controlables, son afectadas de una u otra manera, por una serie de variables que no son controlables, las cuales pasan a condicionar de manera definitiva el resultado de una voladura.

En tal sentido, para este trabajo el problema de investigación estuvo centrado en determinar: ¿Cómo afectan las variables no controlables en la correcta ejecución de una voladura?

En atención a lo expuesto, el objetivo general está dirigido a determinar las variables no controlables que intervienen en la planificación, ejecución y resultado de las voladuras.

A los fines de alcanzar el objetivo de este estudio se establecieron los siguientes objetivos específicos:

1. Sistematizar las experiencias en campo a lo largo de trece (13) voladuras.
2. Identificar las variables no controlables que intervienen en la planificación y ejecución de una voladura.

3. Elaborar un diagrama de flujo donde se observe como afectan las variables no controlables a la planificación, ejecución y resultado de las voladuras.

Las limitaciones encontradas durante en desarrollo de este trabajo, se centraron en la falta de investigaciones previas referentes a las variables no controlables, en vista que estas variables no son descritas en la mayoría de los textos dedicados a la materia. Por tal razón, el presente trabajo representara un beneficio a los estudiantes de ingeniería de minas que buscan investigar en nuevas áreas relacionadas el uso de explosivos en voladuras a cielo abierto para producción u obras civiles.

CAPITULO I

RESEÑA HISTORICA

La empresa, INVERSIONES LAS GEMELAS, C.A., fundada en el año 2006, es una empresa dedicada a prestar servicios en las áreas de perforación, voladura y asesoría técnica. Sus oficinas administrativas y talleres se ubican en el sector Patanemo del municipio Puerto Cabello del Estado Bolivariano de Carabobo, actualmente la empresa cuenta con profesionales en el área de las ciencias de la tierra (geología y minas), con amplia experiencia en las áreas de campo, diseño, planificación, inspección, supervisión y ejecución de obras, donde se hace necesario llevar a cabo voladuras controladas a cielo abierto, como método fiable y seguro para la fragmentación de rocas con durezas que superan los 80MPa.

INVERSIONES LAS GEMELAS, C.A., se encuentra debidamente inscrita ante la Dirección General de Armas y Explosivos (DAEX), del Ministerio del Poder Popular para la Defensa (MPPD), con número de registro N°0142-EE-CA y número de serial N° 002118, registro vigente a la fecha, el cual le acredita como empresa autorizada para el Uso y Manejo de Materiales Explosivos en labores civiles (Obras a cielo abierto en minas, canteras y obras civiles), según lo establecido en el Artículo 324 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela y lo establecido en la Ley sobre Armas y Explosivos publicado en Gaceta Oficial N° 5.486 del 31 de agosto de 2.000.

Misión de la Empresa

INVERSIONES LAS GEMELAS, C.A., tiene como misión la prestancia de servicios de perforación, maquinaria pesada y asistencia técnica especializada en el área de minas, mediante equipos diseñados y en plena capacidad operativa, para satisfacer las necesidades de nuestros clientes en el área de la minería de los no metálicos, voladuras civiles, obras, demoliciones de estructuras.

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Las actividades consistieron en participar periódicamente en labores de voladuras a cielo abierto con la empresa Inversiones Las Gemelas C.A.; durante nuestra participación se realizaron un total de trece (13) voladuras, repartidas en la siguiente manera: seis (06) voladuras de producción, seis (06) voladuras en obras civiles (acondicionamiento de los terrenos en el trazado del tramo ferroviario Tinaco-Anaco), y una (01) demolición del puente de Santa Cecilia con el uso de explosivos de uso industrial.

Las voladuras con fines de producción se realizaron en las siguientes canteras:

1. Cantera Mar Azul. Ubicada en Puerto Cabello, estado Carabobo.
2. Cantera Tacarigua. Ubicada en Puerto Cabello, estado Carabobo.
3. Cartera el Turpial, Ubicada en Las Tejerías, estado Miranda.
4. Cantera Urama. Ubicada en Urama, estado Carabobo.
5. Cantera Clarines. Ubicada en Clarines, estado Anzoátegui.
6. Cantera Miranda. Ubicada en Miranda, estado Carabobo.

Las voladuras en obras civiles (acondicionamiento de los terrenos en el trazado del tramo ferroviario Tinaco-Anaco), se realizaron en el la localidad de Dos Caminos, estado Guárico, para el INSTITUTO DE FERROCARRILES DEL ESTADO (IFE).

Para cada uno de los trabajos de voladura se tomó en consideración la siguiente metodología de trabajo:

- Traslado al sitio de los trabajos el día anterior a la actividad, con el fin de pernoctar cerca del frente de trabajo y comenzar las labores a tempranas horas de las mañana.
- Una vez en el frente de trabajo se inician las labores de descarga del material explosivo desde el vehículo que lo transporta. En los casos cuando el frente no permite el paso directo del vehículo, es necesario descargar el material

empleando otros medios que permitan llevarlo hasta el frente (uso de maquinaria pesada o trasvase en hombros).

- Con el material en el frente, se inician las labores para su distribución, de tal manera que cada barreno cuente con la cantidad de explosivo necesaria para su correcta carga, de acuerdo al diseño previo establecido en el cálculo.
- Una vez cumplida la fase anterior, se procede a cargar cada barreno con el material explosivo, siguiendo la siguiente metodología:
 - Liberar el detonador de su envoltura e introducirlo en el booster de Pentolita.
 - Bajar el booster adosado al detonador hasta el fondo del barreno con mucho cuidado para evitar cortes en el tubo de choque.
 - Asegurar en superficie el tubo de choque, para evitar que este descienda al barreno por inercia.
 - Introducir la cantidad de cartuchos de emulsión previamente establecido en el cálculo, dentro del barreno.
 - Proceder a vaciar dentro del barreno, la cantidad en kilos de ANFO que sean necesarios para cumplir con la carga de columna calculada.
 - Verificar con una vara de pvc que el taco tiene la longitud calculada.
 - Realizar el taqueo del barreno, procurando no cortar el tubo de choque del detonador.
- Una vez realizada la carga, se procede a realizar las conexiones, respetando la secuencia de detonación establecida en el diseño de la secuencia de salida de la voladura.
- Se procede a preparar la mecha lenta de seguridad en longitud y numero, para adosarle en un extremo el detonador corriente # 8, y en el otro extremo el encendedor rápido de mecha.
- Se coordina con el personal de seguridad industrial, el cierre del perímetro de seguridad establecido, una vez este perímetro este liberado se da la señal de inicio del encendido de mecha.

- Finalmente se enciende la mecha lenta de seguridad y el testigo de mecha, se hace la evacuación del personal designado para esta actividad hasta el límite del perímetro de seguridad y se espera el tiempo de detonación.
- Una vez detonen las cargas y se da paso a la voladura, se espera un tiempo prudencial para la disipación de los gases tóxicos que pueden haberse generado en la voladura y el despeje del área del polvo generado, para ingresar al área y efectuar el chequeo y revisión de seguridad preestablecido en las normas internacionales

CAPITULO III

MARCO TEORICO

3.1 Variables controlables de una voladura

Las variables controlables se definen como aquellos parámetros de diseño que es posible controlar, de tal forma que se obtenga el resultado deseado de una voladura. Las variables controlables se clasifican de forma muy general como variables de tipo geométricas, químico-físicas de los explosivos y como variables de tiempo.

Algunas de las variables controlables más importantes se explican a continuación:

- 3.1.1 Altura de Banco (H): corresponde a la cota topográfica definida por los estudios geotécnicos y avalada en el plan de minas por los entes reguladores, en el caso de Venezuela, esta función corresponde al Ministerio de Petróleo y Minería (MENPET) y al Ministerio del Ambiente (MINAMB), ahora llamado Ministerio de Ecosocialismo, Habitación y Vivienda (MINEHV).
- 3.1.2 Longitud del Barreno (L): Longitud de perforación realizada en el área a volar definida por la altura del banco.
- 3.1.3 Área a Volar: Denominación que recibe el sector previamente seleccionado para ser volado.
- 3.1.4 Malla de Perforación: Representa la disposición de los barrenos en el terreno definida por el burden y el espaciamiento.
- 3.1.5 Diámetro del Barreno ($\emptyset b$): definido por el diámetro de la broca de perforación, diseñado según las características del macizo rocoso, el grado de fragmentación deseado, la altura del banco, configuración de las cargas y por el equipo de perforación seleccionado.
- 3.1.6 Burden o retiro (B): Distancia más corta a la cara libre, en una malla de perforación, esta variable depende del diámetro de la perforación, de las propiedades de la roca, de los explosivos a utilizar, de la altura del banco y el grado de fragmentación y desplazamiento del material deseado, los valores de esta se encuentran entre 25 a 40

$\varnothing b$, dependiendo fundamentalmente del macizo rocoso. Valores menores o mayores con respecto al teórico previsto pueden darse en las siguientes situaciones:

3.1.6.1 Error de posicionamiento o replanteo del barreno.

3.1.6.2 Falta de paralelismo entre el barreno y la cara del banco.

3.1.6.3 Desviaciones del barreno durante la perforación.

3.1.6.4 Irregularidades en el frente del talud.

Si el burden es excesivo, los gases de explosión encuentran mucha resistencia para agrietar y desplazar la roca y parte de la energía se transforma en energía sísmica aumentando la intensidad de las vibraciones.

3.1.7 Espaciamiento (S): Distancia más larga entre barrenos de una misma fila en una malla de perforación, así como en el cálculo del Burden, esta variable depende del retiro y se calcula en función al retiro, el tiempo de retardo de los barrenos y entre barrenos y de la secuencia de encendido. Espaciamientos pequeños producen entre las cargas un exceso de trituración y roturas superficiales en cráter, bloques de gran tamaño por delante de la fila de barrenos y problemas de repiés.

3.1.8 Retacado (T): Volumen del barreno relleno de material inerte generalmente en superficie y que está definido por la relación de carga del barreno y el diámetro del mismo, por regla general al aumentar el diámetro del barreno, aumenta el retacado. Tiene la misión de confinar y retener los gases producidos durante la explosión para permitir que se desarrolle por completo el proceso de fragmentación de la roca. Si este es insuficiente se produce un escape prematuro de los gases generando problemas de onda aérea y riesgo de proyecciones, si este es excesivo se obtienen grandes cantidades de bloques, poco esponjamiento de la pila de material y altos niveles de vibración.

3.1.9 Sobreperforación (J): Es la longitud del barreno por debajo del nivel del piso que se necesita para romper la roca a la altura del banco y lograr una fragmentación y desplazamiento adecuado que permita al equipo de carga alcanzar la cota de excavación prevista. Si la sobreperforación es pequeña, no se producirá el corte a la

rasante proyectada, dando como resultado la aparición de repiés, pero si esta es excesiva se producirá:

3.1.9.1 Aumento de los costos de perforación y voladura.

3.1.9.2 Incremento de los niveles de vibraciones.

3.1.9.3 Fragmentación excesiva en la parte alta del banco inferior, que provocara problemas en la perforación del mismo y afectara en las zonas finales de cota a la estabilidad de los taludes.

3.1.10 Angulo de Inclinación del Barreno (β): Corresponde al ángulo que se le da a la perforación respecto a la vertical y que se encuentra relacionado con los parámetros geotécnicos de la roca, mientras la perforación este inclinada se presentan ventajas a saber:

3.1.10.1 Mejora la fragmentación, desplazamiento y esponjamiento de la pila de material, ya que el valor B se mantiene uniforme, aumentando el ángulo de la trayectoria de la proyección.

3.1.10.2 Mejoran los problemas de cortes en las líneas de iniciación y por consiguiente los fallos en las voladuras.

3.1.10.3 Taludes con paredes más sanas, estables y seguras en los nuevos bancos creados.

Por el contrario existen inconvenientes en la perforación inclinada a saber:

3.1.10.4 Desviación de los barrenos cuando estos tienen grandes profundidades.

3.1.10.5 Aumento de la longitud de perforación.

3.1.10.6 Maniobras de posicionamiento de los equipos de perforación más exigentes.

3.1.10.7 Mayor supervisión repercutiendo en los tiempos de producción.

3.1.10.8 Disminución de la energía de empuje de las perforadoras, por lo que en rocas duras el avance está limitado al ángulo de inclinación de la torre de la perforadora.

3.1.10.9 Mayor desgaste de los elementos de corte en las perforadoras, lo que se traduce en una menor disponibilidad mecánica de los equipos.

3.1.10.10 Mayor dificultad en la evacuación del detritus de perforación, requiriendo mayor caudal de barrido.

3.1.10.11 Dificultades en la carga de los barrenos con explosivo en especial en barrenos con presencia de agua.

3.2 Propiedades de los Explosivos

Las propiedades de los explosivos, sean convencionales o agentes explosivos, son determinantes en el resultado de una voladura, es vista que la correcta selección del explosivo permite aprovechar al máximo sus propiedades y de esta forma poder predecir en cierta manera cual es el resultado esperado.

Las características más resaltantes de los explosivos se describen a continuación:

3.2.1 Potencia y Energía: es la cantidad de energía disponible para la generación de un efecto mecánico. Existen diferentes formas de expresar la potencia de un explosivo, siendo la Potencia Relativa en Peso (Relative Weight Strength o RWS) y Potencia Relativa por Volumen (Relative Bulk Strength o RBS), las más utilizadas hoy en día, para lo cual se toma como patrón al ANFO, al cual se le asigna el valor 100.

3.2.2 Velocidad de Detonación (VOD): Es la velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo y por lo tanto es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía. Dentro de los factores que podemos mencionar que afectan la VOD, tenemos:

3.2.2.1 Densidad de la Carga

3.2.2.2 El Diámetro del barreno

3.2.2.3 El Confinamiento de la columna explosiva

3.2.2.4 La Iniciación del barreno

3.2.2.5 El Envejecimiento del Explosivo

3.2.3 Densidad: la densidad de la gran mayoría de los explosivos varía entre (0,80 – 1,60) gr/cm³, y al igual que con la VOD, mientras mayor es, mayor es el efecto rompedor del explosivo. En los explosivos la densidad puede ser un factor crítico, puesto que al ser bajas son sensibles al cordón detonante que los comienza a iniciar antes de la detonación del multiplicador o cebo, pero si esta es muy alta pueden hacerse insensibles y no detonar (Densidad de Muerte).

La densidad de un explosivo es muy necesaria para poder desarrollar el cálculo de las cantidades de explosivo a utilizar en una voladura, por regla general en el fondo del barreno que es donde se requiere mayor concentración de energía para el arranque de la roca, se emplean explosivos más densos, como los booster y las emulsiones encartuchadas, mientras que en la columna de carga se requieren explosivos menos densos como el ANFO.

3.2.4 Presión de Detonación: es función de su densidad y del cuadrado de su VOD y se mide en el plano C-J, de la onda de detonación cuando se propaga a través de la columna de explosivo, los explosivos industriales tienen una presión de detonación que varía de 500 a 1500 MPa. Para la fragmentación de rocas duras y competentes, el empleo de un explosivo con alta presión de detonación, efectúa el trabajo más fácilmente, debido a la relación de esta y los mecanismos de rotura de la roca.

3.2.5 Estabilidad: es una de las propiedades que se encuentran íntimamente relacionados con el tiempo de fabricación y almacenamiento, para que las demás propiedades no se vean mermadas al ser empleadas en los trabajos de voladura, los explosivos deben ser químicamente estables y no descomponerse en condiciones ambientales normales.

3.2.6 Resistencia al Agua: es la capacidad de resistir durante cierto tiempo a la exposición en un medio acuoso sin perder sus características, esta varía de acuerdo a la composición química de los explosivos y por regla general guardan relación con la proporción de Nitroglicerina o aditivos especiales que contengan, por lo que podemos encontrar productos como las emulsiones que son muy resistentes al agua, mientras que la propiedad higroscópica de las sales oxidantes como el Nitrato de Amonio (NA) en el ANFO, lo hacen fácilmente alterable en presencia de agua.

- 3.2.7 Sensibilidad: es la capacidad de un explosivo de ser iniciado por medios externos, como los golpes, el calor y la electricidad.
- 3.2.8 Sensibilidad a la iniciación: Un iniciador adecuado debe ser suficiente para iniciar un explosivo sensible, esta capacidad varía de acuerdo al tipo de producto, en este orden los explosivos gelatinosos deben ser sensibles a la iniciación con detonadores, mientras que los agentes explosivos como el ANFO requieren por lo general de un multiplicador o cebo de mayor presión y VOD. De esta manera se clasifican los explosivos de acuerdo al detonador que los inicia en:
- 3.2.8.1 Explosivos sensibles al detonador # 8 (Cap. sensitives)
 - 3.2.8.2 Explosivos No sensibles al detonador # 8 (No Cap sensitives)
- 3.2.9 Sensibilidad al choque y a la fricción: Existen explosivos sensibles al efecto de estímulos subsónicos, como el choque por fricción, por seguridad es preciso conocer el grado de sensibilidad frente a estas acciones, especialmente durante su manipulación y transporte.
- 3.2.10 Sensibilidad del Calor: Un explosivo al ser sometido a calentamiento de forma gradual alcanza una temperatura en la que se descompone repentinamente con desprendimientos de gases, aumentando estos hasta un punto donde se produce la deflagración o bien una pequeña explosión, a esa temperatura se le llama Punto de Ignición.
- 3.2.11 Transmisión de la detonación: La transmisión por simpatía es el fenómeno que se produce cuando un cartucho al detonar induce en otro próximo. Una buena transmisión dentro de los barrenos es garantía para conseguir la completa detonación de las columnas de explosivo, pero cuando esos barrenos se encuentran próximos a las cargas dentro de ellos se diseñan espaciadas, se puede producir la detonación por simpatía por medio de la transmisión de la onda de tensión a través de la roca, por la presencia de aguas subterráneas y discontinuidades estructurales o por la propia presión del material inerte del retacado intermedio entre las cargas.

3.2.12 Humos: La detonación de un explosivo produce vapor de agua, nitrógeno, Dióxido de Carbono y eventualmente sólidos y líquidos, entre los gases inocuos también existen siempre un porcentaje de gases tóxicos como el Monóxido de Carbono y los Óxidos Nitrosos, al conjunto de estos productos resultantes se les denomina humos.

3.4 Variables no controlables de una voladura

En virtud que el término variable no controlable, no se encuentra definido en la bibliografía consultada, se puede entender como variables no controlables aquellos parámetros que no es posible controlar durante el diseño de una voladura.

Las experiencias de campo, permiten observar cómo estas variables no controlables actúan constantemente en las labores de planificación y ejecución de la voladura, dentro de las cuales se puede mencionar:

- Estado de los explosivos: el estado de los explosivos hace referencia principalmente a dos factores, los relacionados con la etapa de producción del material explosivo, donde se debe cumplir con los parámetros estándar que existen para la velocidad de detonación, densidad, sensibilidad, calidad de los humos, resistencia al agua, RWS y presión de detonación. En cuanto a los valores estándar definidos, se pueden observar en el apéndice c.

El segundo factor que afecta el estado de los explosivos, hace referencia a las características de almacenamiento del material, el cual se debe realizar según las normas dictadas por la Dirección General de Armas y Explosivos (DAEX), es su providencia administrativa N° MPPD-VS-DAEX-010-2009.

- Despacho de material explosivo: el despacho del material se refiere a la operación de traslado del material, desde los polvorines donde se encuentra almacenado, hasta el lugar donde se realizan las actividades de voladura. El despacho del material en Venezuela se encuentra a cargo de la Compañía Anónima Venezolana de Industrias Militares (CAVIM), la cual se encarga de trasladar el material y custodiar su correcta utilización. El transporte del material debe respetar las normativas de seguridad estipulada en las Normas Venezolanas COVENIN 2272-91, la cual hace referencia al uso, almacenamiento y transporte de explosivos.

- Errores humanos: los errores humanos son un punto a tomar en cuenta en toda operación que no se realice de manera automatizada, los errores humanos se atribuyen básicamente a muchos factores, tales como: factores psicológicos, como el estado de ánimo y la motivación; factores físicos como la presencia de una dolencia o malestar durante las labores de trabajo, deshidratación, cansancio e insolación; y por ultimo factores relacionados con el conocimiento técnico que tenga el personal sobre las labores que desempeña.
- Geología: los materiales que componen a un macizo rocoso poseen ciertas características físicas que son función de su origen y de los procesos geológicos posteriores que sobre ellos han actuado. El conjunto de estos fenómenos geológicos conduce en un determinado entorno, a unas características litológicas muy particulares. Son estas características litológicas particulares las que determinan las operaciones de planificación y ejecución en una voladura, dentro de las cuales se encuentra:
 - Presencia de agua: la presencia de agua en el macizo rocoso se produce mayormente en rocas porosas o fracturadas que permiten que se produzca un flujo de agua. Este flujo de aguas presenta problemas en la selección de los explosivos, en vista que obliga a seleccionar explosivos que no son alterados por el agua, igualmente afecta a los barrenos, debido a que produce hundimientos internos, que ocasiona la perdida de los mismos.
 - Presencia de fracturas: todas las rocas en la naturaleza presentan algún tipo de discontinuidad, microfisuras y macrofisuras, que influyen de manera decisiva en las propiedades físicas y mecánicas de las rocas y, consecuentemente, en los resultados de las voladuras. Las superficies de discontinuidad o fractura pueden presentarse en forma de planos de laminación, planos de estratificación, juntas y fracturas producidas por efectos mecánicos de voladuras previas.
- Clima: el clima se encuentra afectado por factores como la latitud, el relieve, la cercanía al mar, la altitud, la vegetación, cambios atmosféricos, entre otros. Al depender de tantos factores, el clima de una determinada región, puede cambiar

drásticamente en pequeñas extensiones de terreno, lo cual lo convierte en una variable impredecible. El clima puede favorecer o afectar en gran medida las labores de voladura, de tal manera que climas con nubosidad moderada, baja humedad y vientos de baja velocidad, pueden generar mayor eficiencia en el trabajo, sin embargo, climas de mucha lluvia, alta humedad o vientos de alta velocidad, afectan tanto a las propiedades de los explosivos sensibles al agua, como a la eficiencia y seguridad de los trabajadores.

CAPITULO IV

MEMORIA DESCRIPTIVA

La memoria descriptiva se elaboró para Sistematizar las experiencias en campo a lo largo de 13 voladuras, lo cual permitirá determinar las variables no controlables que intervienen en la planificación, ejecución y resultado de las voladuras.

4.1 Técnicas de recolección de información

Para recolectar la información referente a las variables no controlables, se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de información en campo:

- 1.1.1 Observación: consistió en hacer un registro sistemático de la ejecución de las voladuras para recolectar datos.
- 1.1.2 Entrevistas informales a expertos en voladura: consistió en elaborar preguntas referidas a la ejecución de la voladura para generar la discusión de los resultados.

4.2 Sistematización de las experiencias

La sistematización de las experiencias se encuentra en la tabla 1, que se encuentra en el apéndice A, en la cual se puede observar la fecha y el lugar donde se realizó cada voladura, así como, el objetivo principal de la actividad, las características más resaltantes del terreno de trabajo, los problemas e inconvenientes que se presentaron durante la experiencia y por último se menciona si se cumplió con los objetivos planteados.

4.3 caracterización de las variables

VARIABLES	CATEGORÍAS	CODIFICACIÓN
Estado del material	Cumple con las propiedades estándar	1
	No cumple con las propiedades estándar	10
Despacho del material	Llegada del material a tiempo	1
	Retraso en la llegada del material	4
	No se realizó el despacho del material	6
Errores humanos de perforación	Perforación cumple con la planificación en su totalidad	1
	Perforación no cumple con la planificación	8
Errores humanos de amarre	Detonaron todos los barrenos	1
	Detono menos del 80% de los barrenos	4
	Detono el menos del 60% de los barrenos	6
Errores humanos de carga	Se cargó correctamente la totalidad de los barrenos	1
	Se cargó correctamente entre el 60 y 80 % de los barrenos	5
	Se cargó correctamente menos del 60% de los barrenos	10
Geología con presencia de agua	Sin presencia de agua	1
	Presencia de agua entre el 10 y 20% de los barrenos	7
	Presencia de agua entre el 30 y 40%	10

	de los barrenos o superior	
Geología con presencia de fracturas	Banco sin presencia de fracturas	1
	Banco con fracturas entre el 10 y 20% del banco	7
	Banco con fracturas entre el 40 y 60% del banco	10
Clima	Clima favorable para las labores de voladura	1
	Clima no favorable para las labores de voladura	7

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1 Identificación de las variables no controlables que intervienen en la planificación, ejecución y resultado de una voladura

Las variables no controlables se pudieron identificar de la siguiente manera:

5.1.1 Estado del explosivo: dentro del estado de los explosivos se puede resaltar lo referente a la fabricación de los explosivos, debido a que las propiedades del explosivo son usadas como base fundamental para los cálculos de la carga explosiva del barreno, en tal sentido, si las propiedades del explosivo al salir de la fábrica, no cumplen con las propiedades teóricas, se ve comprometido directamente el resultado de la voladura.

Igualmente se puede mencionar lo referente al almacenamiento de los explosivos, debido que los explosivos deben ser resguardados con gran cantidad de controles de temperatura, humedad y tiempo de almacenamiento, de tal manera que no sean afectadas las propiedades de los mismos.

5.1.2 Despacho de los explosivos: el despacho de los explosivos afecta a las labores de carga del material en los casos que los explosivos no son despachados en la cantidad necesaria para cumplir con la planificación, esto afecta directamente a la distribución del material, causando que el material explosivo tenga que ser redistribuido a las zonas de vital importancia y sacrificando el volumen total de material volado.

5.1.3 Errores humanos: los errores humanos pueden afectar en cualquiera de las etapas de una voladura, los cuales se encuentran más frecuentemente en las labores de:

5.1.3.1 Perforación: los errores relacionados con la perforación se encuentran mayormente relacionados con la profundidad y el número de barrenos.

5.1.3.2 Carga: los errores de carga se encuentran relacionados con el descuido del personal que se encuentra en las labores de carga, debido que frecuentemente se carga con mayor cantidad de explosivo y no se cumple

con el taco calculado, generando que los gases escapen sin fracturar de manera correcta la roca.

5.1.3.3 Amarre: los errores durante el amarre son de los más frecuentes, en vista que estas labores son las ultimas en realizarse en el día, luego de haber realizado las etapas de distribución del material y carga del mismo, lo que involucran un gran esfuerzo físico y mental por parte de los trabajadores. Si a estas condiciones le sumamos factores como la deshidratación, insolación y cualquier molestias físicas que se presentara durante el día, es fácil comprender las razones por las cuales estos errores son los más frecuentes. Si bien este tipo de errores son los más frecuentes, estos no ocurren en puntos clave de la voladura, lo que hace que la cantidad de barrenos que no son detonados producto de estos errores, la mayoría de las veces no excede de los 10 barrenos, lo cual es un numero manejable para realizar en el momento y forma rápida la detonación de este material sobrante, usando para esto las mismas medidas de seguridad tomadas durante la voladura inicial.

En casos donde los errores cometidos afectan más de 50 barrenos en un mismo banco, es necesario evaluar una nueva secuencia de disparo, en vista que una gran cantidad de barrenos sin detonar involucra igualmente cantidades considerables de material no volado.

5.1.4 Geología: la geología es la variable de mayor peso en la planificación y ejecución de una voladura, siendo los siguientes factores los más frecuentes:

5.1.4.1 Presencia de agua: la presencia de agua en los barrenos es habitual en las voladuras, la cual afecta directamente a las labores de carga del material, en vista que el ANFO pierde totalmente sus propiedades en contacto con el agua, causando que los barrenos no contengan la energía de gases necesaria para fragmentar debidamente la roca.

Por otra parte, la presencia de agua en los barrenos puede generar un colapso de las paredes del mismo, lo cual afecta directamente a la malla de

perforación, debido a que al tener barrenos sin carga explosiva, la energía de gases que genera fracturas en la roca, no se distribuye de manera uniforme en el banco y se producen repies en el piso del mismo, representando problemas para los equipos de carga y las labores de perforación futuras.

5.1.4.2 Presencia de fracturas: las fracturas se presentan en menor proporción en las voladuras, sin embargo, cuando existe abundancia de fracturas, se ven afectadas tanto las propiedades físicas y geo-mecánicas del macizo rocoso, en vista que la energía de gases del explosivo se escapa por estas fracturas y no permite que los mecanismos de rotura de la roca actúen de forma correcta.

La presencia de abundantes fracturas también conlleva a la pérdida del material a granel (ANFO), lo cual obliga a que las labores de carga deban ser realizadas con mangas plásticas de diámetros inferiores al diámetro del barreno, que sirvan de contenedor para el material a granel y no permita que se escape. Realizar estas labores de vaciar el material a granel en mangas, consume un gran tiempo en las operaciones de carga del material, generando retrasos en las operaciones sucesivas y a su vez mayores niveles de cansancio en el personal.

5.1.5 Clima: el clima representa la variable más impredecible de todas, aunque si bien es posible estimar las condiciones climáticas del día, pueden cambiar de un momento a otro. Un día con abundante lluvia puede imposibilitar totalmente las labores de carga del material, en vista que explosivos como el ANFO, en presencia de abundante agua y humedad, pierde completamente sus propiedades explosivas.

Un mal estado del clima no solo puede afectar a los explosivos, también dificulta las condiciones de trabajo, debido que afecta las vías de acceso al frente de trabajo, genera lagunas en las zonas de carga y aumenta los riesgos de accidente en los trabajadores.

Tablas 2: Incidencia de las variables no controlables durante las 13 voladuras

Lugar	Estado del material	Despacho del material	Errores humanos			Geología		Clima	Efecto de las variables no controlables en el resultado de cada voladura (%)
			Errores de Perforación	Errores de carga	Errores de amarre	Presencia de agua	Presencia de fracturas		
Cantera Mar Azul	1	4	1	5	1	1	1	1	22
Frente 1, Ortiz	1	6	8	5	6	7	1	1	52
Cantera Tacarigua	1	1	8	5	1	1	10	1	42
Cartera el Turpial, Tejerías	1	1	1	5	1	1	1	1	18
Frente 3, Ortiz	1	1	8	5	4	10	1	1	46
Cantera Urama	1	1	1	5	4	10	1	1	36
Cantera Clarines	1	1	8	5	1	10	1	1	42
Frente 3, Ortiz	1	1	8	5	4	10	1	1	46
Frente 1, Ortiz	1	1	8	5	4	10	1	1	46
Frente 3, Ortiz	1	1	8	5	4	7	1	1	42
Cantera Miranda	1	1	8	5	1	7	1	7	46
Frente 1, Ortiz	10	1	8	5	4	7	1	1	55
Demolición del puente santa Cecilia	1	1	1	1	1	1	1	7	21
Valor promedio para la variable	2	2	6	5	3	6	2	2	
efecto de la variable no controlable en el resultado	17	27	73	47	46	63	17	27	

Grafico 1: grafico donde se observa el efecto de las variables no controlables en el resultado de la voladura

Efecto de las variable no controlables en el resultado de la voladura (%)

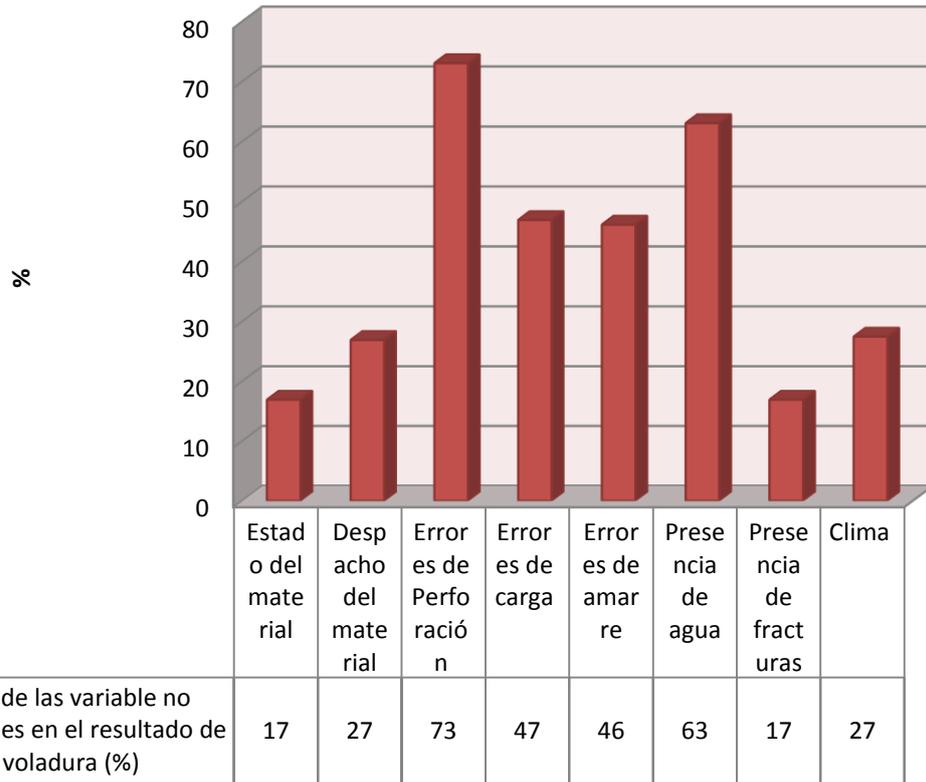


Grafico 2: grafico donde se observa el efecto de las variables no controlables durante las 13 voladuras.

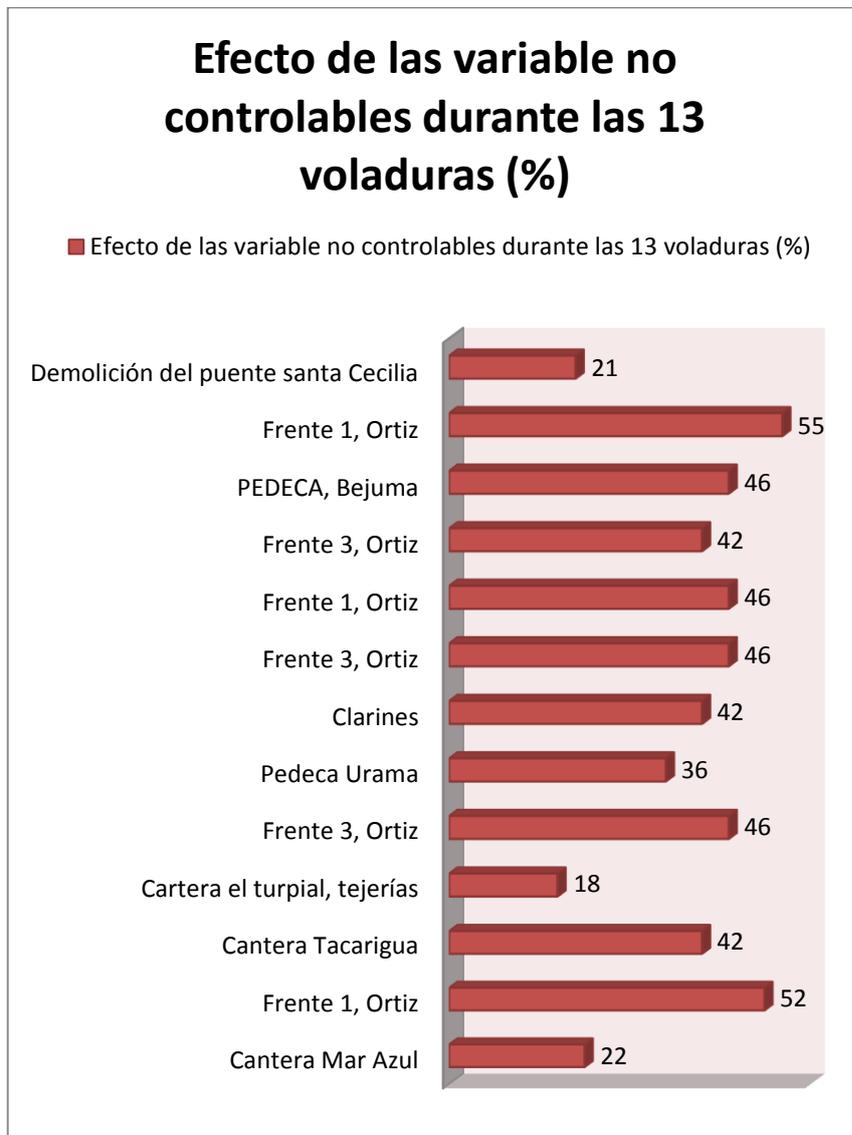
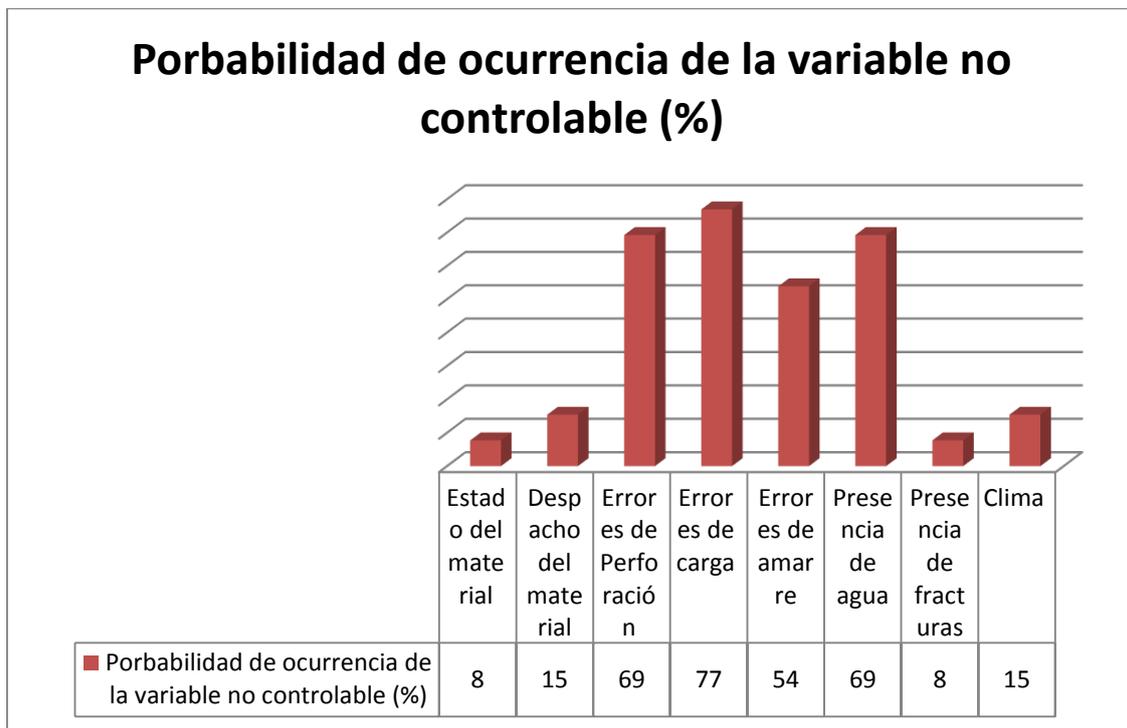


Tabla 3: tabla donde se observa la frecuencia y la probabilidad de ocurrencia de cada variable no controlable en el resultado de la voladura

Variable	Numero de voladuras donde estuvo presente la variable no controlable	Probabilidad de ocurrencia de la variable no controlable (%)
Estado del material	1	8
Despacho del material	2	15
Errores de Perforación	9	69
Errores de carga	10	77
Errores de amarre	7	54
Presencia de agua	9	69
Presencia de fracturas	1	8
Clima	2	15

Grafico 3: Grafico donde se observa la probabilidad de ocurrencia de cada variable no controlable en el resultado de la voladura



5.2 Diagrama de flujo

En el apéndice “B”, se puede observar un diagrama de flujo donde se hace referencia a cómo afectan las variables no controlables a la planificación, ejecución y resultado de las voladuras. En dicho diagrama, se destaca un primer nivel donde se encuentran las cinco variables no controlables, posteriormente, cada nivel corresponde a los efectos que tiene dicha variable sobre las etapas de planificación, ejecución y resultado de la voladura.

CAPITULO VI

DISCUSIÓN DEL APRENDISAJE

La participación en trece (13) labores de voladura sirvió como complemento a todos los conocimientos adquiridos durante los primeros años de carrera, obteniendo así, una visión completa del campo laboral y cerrando la brecha que existe entre la teoría y las experiencias vividas en el campo.

Adquirir dichas experiencias, estas representan no solo una gran enseñanza, sino que también representa la adquisición de una serie de habilidades que permiten ver el campo laboral desde otra perspectiva, donde cada conocimiento que se adquiera de ahora en adelante tiene una nueva dimensión, ya que la experiencia representa un cambio en nuestras metas, aspiraciones y proyectos por venir.

La experiencia no solo deja valiosos conocimientos, sino que permite desarrollarnos con profesionales de la ingeniería de minas, los cuales brindan tanto su amistad, como sus experiencias de vida, con el fin de que no cometamos sus mismos errores y poder sacar adelante una profesión tan valiosa como esta.

El desarrollo del presente informe me enseñó a utilizar todas las experiencias vividas durante un periodo de campo, para desarrollar un nuevo conocimiento, en la búsqueda que mi trabajo sirva como apoyo para el desarrollo de nuevas investigaciones en el área de perforación y voladura.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió determinar las variables no controlables que intervienen en la planificación, ejecución y resultado de las voladuras, a través de la realización de los siguientes objetivos:

- Se realizó la sistematización de experiencias en campo a lo largo de 13 voladuras, utilizando para ello una tabla donde se puede observar la fecha de la actividad, los objetivos, las características geológicas del terreno, los inconvenientes que se presentaron y por último los resultados obtenidos en cada actividad.
- Se logró identificar principalmente cinco variables no controlables que afectan el resultado de una voladura, las cuales son:
 1. Estado de los explosivos
 2. Despacho del material
 3. Errores humanos
 - Errores de perforación
 - Errores de amarre
 - Errores de carga
 4. La Geología
 - La presencia de agua
 - La presencia de fracturas
 5. El clima

De las cinco variables no controlables se determinó que las variables con más peso en el resultado de una voladura son los errores humanos referentes a la perforación con un 73% de efecto negativo, y la variable geológica referente a la presencia de agua con un 63% de efecto negativo. Igualmente se destaca que ambas variables presentan una probabilidad de ocurrencia del 70%, siendo variables que no solo afectan de manera determinante el resultado de una voladura, sino que es altamente probable que se presenten durante cualquier voladura que se realice.

Sumado a esto, se determinó que las variables con menor efecto en el resultado de la voladura son las variables de estado del material y presencia de fracturas, las cuales presentan un 17% de efecto negativo en el resultado de la voladura. Es importante destacar que ambas variables tienen un efecto determinante en el resultado de la voladura, en vista que afectan directamente a las características y mecanismos de acción de los explosivos, sin embargo estas variables tienen una probabilidad de ocurrencia del 8%, lo que las convierte en variables que tienen bajo efecto en el desarrollo de las voladuras.

- Finalmente se diseñó un diagrama de flujo, donde se logra observar cómo estas cinco variables no controlables tienen efecto durante los procesos de planificación, ejecución y finalmente el resultado de la voladura.

CAPITULO VIII

RECOMENDACIONES

Culminado el presente informe, se recomienda:

- Seguir realizando estudios de campo que permitan identificar nuevas variables no controlables, que puedan afectar la planificación, ejecución y resultado de una voladura.
- Diseñar medios de recolección de información en campo, que permitan evaluar de forma más detallada el resultado de las voladuras.
- Diseñar nuevas metodologías de trabajo en campo, con el fin de reducir las variables referentes a los errores humanos.
- Probar en campo con nuevos patrones de voladura que reduzcan el efecto de las variables geológicas en la planificación, ejecución y resultado de una voladura.
- Identificar la causa de errores humanos en operaciones de voladura.

CAPITULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Instituto Geológico y Minero de España. (2010). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid: editorial Etimsa.

Bernaloa, J y Catilla, J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

APENDICE A

Tabla 1: Sistematización de las experiencias

Fecha	Lugar	Objetivo de la actividad	Características del terreno	Inconvenientes durante la actividad	Resultado de la voladura
	Cantera Mar Azul	La actividad tuvo el fin de realizar una voladura de producción en roca caliza, buscando generar bloques para la producción de lajas.	<p>La roca caliza se encuentra en contacto con un esquisto que no posee ningún valor comercial, sin embargo es necesario fracturarlo para disminuir la altura del banco.</p> <p>El terreno se caracteriza por tener una pendiente pronunciada y de difícil acceso para vehículos.</p> <p>Las perforaciones fueron de 9 a 15 metros, siendo todas verticales, sin presencia de agua y sin fracturas.</p>	El suministro de ANFO por parte de CAVIM fue insuficiente, lo que obligo a redistribuir el material hacia las zonas de mayor interés.	El resultado cumplió con los objetivos propuestos por la empresa y sin inconvenientes de gran importancia.
	Frente 1, Ortiz	La actividad tiene la finalidad de disminuir el nivel del terreno para el paso del tramo ferroviario Tinaco-Anaco.	<p>El terreno se caracteriza por ser capaz de arenisca y lutitas, alternadas de manera continua con espesores aproximados de 6 metros y con ángulo de buzamiento de 45°.</p> <p>Las perforaciones presentan profundidades de 9 metros para los barrenos del banco y de 3 metros para los barrenos de los zapateros.</p> <p>Los barrenos del banco son en su totalidad verticales, mientras que los barrenos de los zapateros están</p>	<p>El primer inconveniente en la actividad se presentó debido a que el material fue despachado con un día de retraso, lo que obligó al equipo a permanecer un día más en la localidad.</p> <p>Posterior al disparo se presentó un segundo inconveniente al ver que la mitad del disparo no salió, producto a un desperfecto de fábrica en uno de los conectores, lo cual obligo a reformular el</p>	El resultado cumplió con los objetivos planteados, sin embargo se produjeron grades inconvenientes producto de los retrasos en la ejecución del disparo.

			<p>inclinados a 45°.</p> <p>No se observó presencia de agua ni de fracturas en los barrenos.</p>	<p>disparo.</p> <p>Una vez reformulado el disparo, se presentó el inconveniente de que el material sobrante fue quemado minutos antes del primer disparo, lo que nos dejó sin material para poder encender el segundo.</p>	
	<p>Cantera Tacarigua</p>	<p>La actividad tuvo el fin de realizar una voladura de producción en roca caliza para un primer banco. Igualmente se realizó un disparo separado para crear una rampa y hacer voladura secundaria a unas rocas de gran tamaño de voladura anteriores.</p>	<p>El banco de producción posee una litología homogénea, con pocas fracturas y sin presencia de agua. El terreno donde se realiza la rampa, por el contrario se caracteriza por ser un terreno altamente fracturado y sin presencia de agua. Las perforaciones del banco de producción son en su totalidad verticales y de 12 metros, es importante destacar que el banco no respetó el burden en las perforaciones. Para la rampa, las perforaciones varían de 9 a 2 metros, siendo en su totalidad verticales.</p>	<p>El mayor inconveniente se presentó durante la carga de los barrenos de la rampa, debido a que fue necesario preparar mangas para todos los barrenos de la zona, lo cual llevó gran cantidad de tiempo y esfuerzo. En el banco de producción, el mayor inconveniente fue la gran cantidad de proyecciones que se produjeron, en vista que el burden no fue respetado al momento de perforar. En la voladura de la rampa, si bien se respetó el burden, los bloques estaban muy cerca de la zona de observación del disparo, lo que generó que los fragmentos cayeran muy cerca de los trabajadores de la empresa.</p>	<p>El disparo cumplió en su totalidad con los objetivos propuestos y sin ningún incidente que lamentar.</p>

	Cartera el Turpial, Tejerías	La actividad tuvo el fin de realizar una voladura de producción en un meta gabro.	El banco posee una litología homogénea, sin fracturas y sin presencia de agua.	El disparo no presentó inconvenientes que resaltar en la ejecución del mismo, sin embargo en la comunidad cercana se presentó una situación de pánico por parte de los habitantes, debido a que pensaron que la cantera había sufrido un accidente grave.	El disparo cumplió con todos los objetivos propuestos y no se presentó ningún inconveniente.
	Frente 3, Ortiz	La actividad tiene la finalidad de disminuir el nivel del terreno para el paso del tramo ferroviario Tinaco-Anaco. Igualmente se desea fragmentar una roca de gran tamaño que es producto de voladuras anteriores.	El terreno se caracteriza por ser capaz de arenisca y lutitas, alternadas horizontalmente con espesores aproximados de 6 metros. Las perforaciones presentan profundidades de 9 metros en su totalidad, con abundante agua y sin presencia de fracturas. Adicional a la secuencia, el terreno se caracteriza por una roca de 10 metros de alto que obstaculiza las labores de los equipos. Las perforaciones de la roca presentan una profundidad de 12 metros, siendo totalmente verticales y sin presencia de agua.	El disparo no presento mayores inconvenientes durante su ejecución.	El disparo cumplió con el objetivo principal, sin embargo, la roca de gran tamaño que se deseaba fragmentar, simplemente se partió en dos partes.

	Cantera Urama	La actividad tuvo el fin de realizar una voladura de producción en una caliza.	<p>El terreno se caracteriza por ser bastante inclinado, lleno de vegetación, clima de alta humedad e inaccesible para el paso de vehículos.</p> <p>La litología se compone de una roca caliza de alta calidad en un primer banco y una segunda zona que se compone de diversos bancos de estéril.</p> <p>Las perforaciones son en su totalidad verticales de 9 y 12 metros, con presencia de agua y sin fracturas.</p>	<p>En inconveniente principal fue la mala condición del terreno, en vista que el material tenía que ser cangado por una pendiente fuerte, sumado a que la vegetación no permitía ver los barrenos con claridad.</p> <p>En este caso, el agua no fue un problema, en vista que se usó un compresor para extraer el agua de los barrenos.</p> <p>En la etapa de carga de los barrenos de 12 metros se observó que los detonadores eran también de 12 metros, lo que produjo que en gran número de barrenos los tubos de choque no llegaran a los barrenos vecinos.</p> <p>Por ultimo en las etapas finales de conexión, el equipo realizo una mala conexión que dejo una zona de 12 barrenos sin detonar.</p>	<p>El disparo cumplió en su totalidad con los objetivos propuestos para el banco de producción.</p> <p>Por otro lado, para los bancos de estéril los resultados no fueron claros.</p>
	Cantera Clarines	La actividad tuvo el fin de realizar una voladura de producción en una caliza.	<p>El terreno consta de 2 bancos, un primer banco de producción y un banco más de nivelación.</p> <p>Las perforaciones son en su totalidad verticales, con abundantes fracturas y sin presencia de agua.</p>	<p>El disparo no presento mayores inconvenientes durante su ejecución.</p>	<p>El disparo cumplió en su totalidad con los objetivos propuestos.</p>

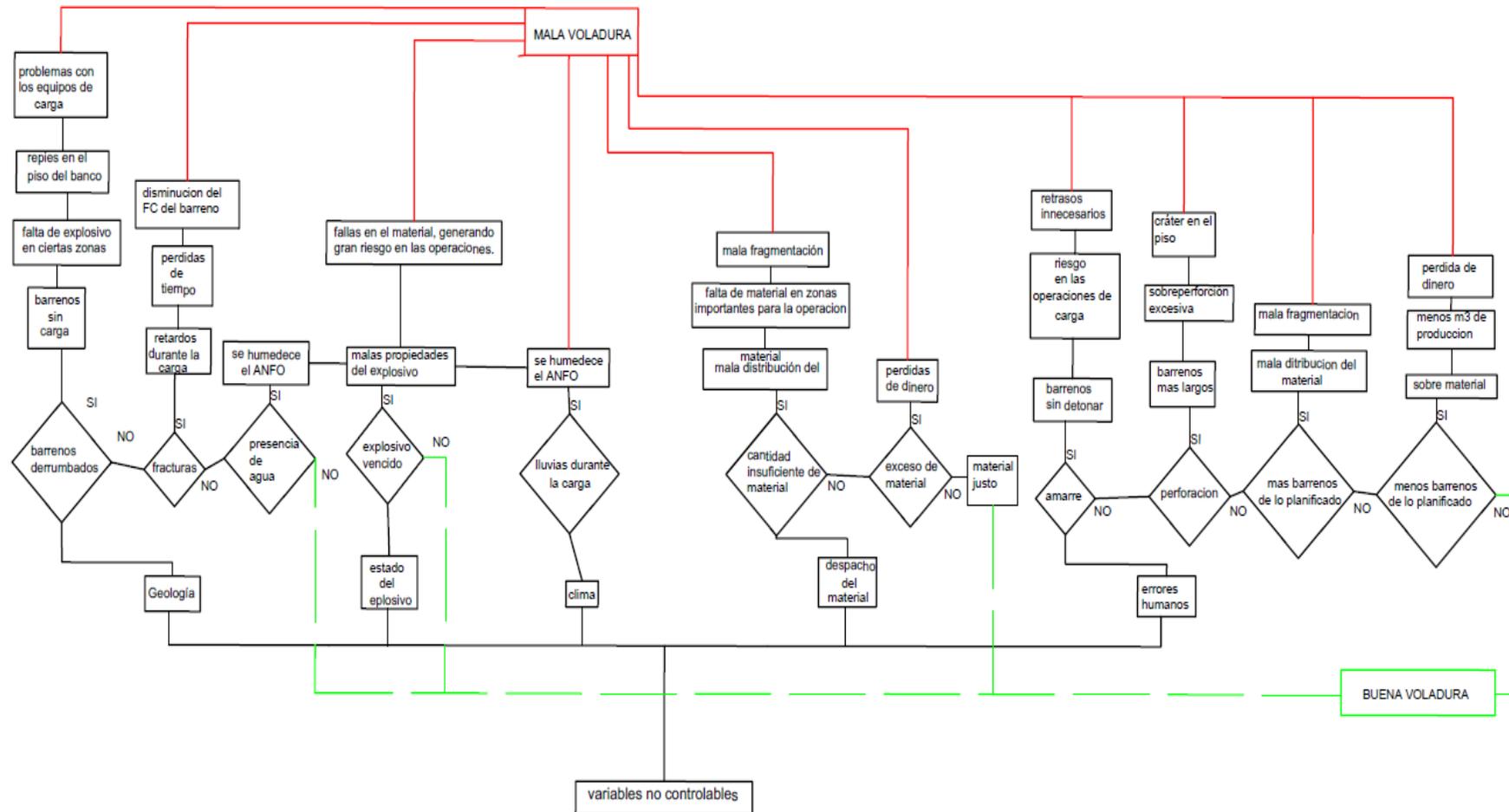
	Frente 3, Ortiz	<p>La actividad tiene la finalidad de disminuir el nivel del terreno para el paso del tramo ferroviario Tinaco-Anaco.</p> <p>Igualmente se busca fragmentar dos grandes fragmentos de roca de la voladura anterior.</p>	<p>El terreno se caracteriza por ser capaz de arenisca y lutitas, alternadas horizontalmente con espesores aproximados de 6 metros.</p> <p>Las perforaciones presentan profundidades de 9 metros en su totalidad, con abundante agua y sin presencia de fracturas.</p> <p>Los dos grandes fragmentos de roca se le realizaron perforaciones de 3 metros, algunas horizontales y otras inclinadas.</p>	El disparo no presento mayores inconvenientes durante su ejecución.	El disparo cumplió en su totalidad con los objetivos propuestos.
	Frente 1, Ortiz	<p>La actividad tiene la finalidad de disminuir el nivel del terreno para el paso del tramo ferroviario Tinaco-Anaco.</p>	<p>El terreno se caracteriza por ser capaz de arenisca y lutitas, alternadas de manera continua con espesores aproximados de 6 metros y con ángulo de buzamiento de 45°.</p> <p>La voladura consta de 3 terrazas, dos de ellas con perforaciones de 9 metros, siendo en su totalidad horizontales, con presencia de agua y sin fracturas. Mientras que la tercera terraza consta de una serie de perforaciones horizontales más dos filas de perforaciones inclinadas en los zapateros.</p>	El disparo no presento mayores inconvenientes durante su ejecución.	<p>El disparo cumplió en su totalidad con los objetivos propuestos.</p> <p>Se puede destacar que aproximadamente 10 barrenos no detonaron con el primer disparo, sin embargo al día siguiente se realizó la operación sin mayor inconveniente.</p>

Frente 3, Ortiz	La actividad tiene la finalidad de disminuir el nivel del terreno para el paso del tramo ferroviario Tinaco-Anaco.	El terreno se caracteriza por ser capaz de arenisca y lutitas, alternadas horizontalmente con espesores aproximados de 6 metros. El terreno consta de dos terrazas, en las cuales se realizaron perforaciones horizontales de 9 metros en su totalidad, con abundante agua y sin presencia de fracturas.	El disparo presento un poco de retraso en un sector con excesiva agua, lo que obligo a preparar mangas.	El disparo cumplió en su totalidad con los objetivos propuestos.
Cantera Miranda	La actividad tuvo el fin de realizar una voladura de producción en una caliza.	El banco posee una litología homogénea, sin fracturas y sin presencia de agua.	El disparo no presentó inconvenientes que resaltar.	El disparo cumplió con todos los objetivos propuestos y no se presentó ningún inconveniente.
Frente 1, Ortiz	La actividad tiene la finalidad de disminuir el nivel del terreno para el paso del tramo ferroviario Tinaco-Anaco.	El terreno se caracteriza por ser capaz de arenisca y lutitas, alternadas de manera continua con espesores aproximados de 6 metros y con ángulo de buzamiento de 45°. El terreno cuenta con 2 terrazas y una zona de zapateros. Las dos terrazas tienen perforaciones horizontales de 9 metros en su totalidad, con abundante agua y sin presencia de fracturas. Mientras que los zapateros tienen perforaciones inclinadas de 3 metros y perforaciones horizontales de 9 metros en algunas zonas.	El disparo no presentó inconvenientes que resaltar durante el proceso de carga del explosivo.	El disparo no cumplió con los objetivos esperados en las terrazas, debido a que el ANFO deflagro por completo, ocasionando que la voladura no se desplazara. Por otra parte, la zona de los zapateros cumplió en su totalidad con los objetivos planteados.

<p>Demolición del puente santa Cecilia</p>	<p>La actividad tiene la finalidad de realizar la implosión del puente santa Cecilia, de tal manera que los escombros sean recogidos antes de las 3 am y sin ocasionar daños a las estructuras cercanas.</p>	<p>El puente cuenta con dos estribos, los cuales soportan gran parte del peso de la estructura. A esto se le suma una placa de concreto de aproximadamente 15 metros de largo por 6 metros de ancho y 1 metro de espesor, la cual permite el paso de los vehículos. Las perforaciones en los estribos se realizaron con una maya en tresbolillo, de forma horizontal y con aproximadamente 40 cm de profundidad. Las perforaciones de la placa, se realizaron de forma vertical y de aproximadamente 40 cm de profundidad, al igual que los estribos.</p>	<p>Durante los procesos de preparación de las cargas explosivas, no se presentaron inconvenientes en ninguna de sus etapas. Durante los procesos de carga del puente, se presentaron inconvenientes con respecto a la cantidad de detonadores disponibles para concluir la carga de la placa, lo cual obligo a redistribuir detonadores y cantidad de explosivo. Durante la etapa de amarrado, no se presentaron mayores inconvenientes.</p>	<p>El disparo cumplió con todos los objetivos propuestos, no quedo material sin detonar, los escombros se retiraron en menor tiempo de lo esperado y se cumplió con el plazo de tiempo propuesto por las autoridades.</p>
--	--	---	--	---

APENDICE B

Figura 2: diagrama de flujo donde se observa cómo afectan las variables no controlables al resultado de las voladuras



Apéndice C

Tabla 4: características técnicas de los explosivos para usos mineros

Explosivo	Densidad	V.O.D (confinado)	Presión de detonación	Energía teórica	RWS	Resistencia al agua
BOOSTER	1.60	7900	250	990	83	excelente
ANFOS	0.70-0.85	3400	23	912	100	baja
EMULSIONES	1.60	3900	35	950	116	excelente