

30
2010



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ARAGON”

EXPLOSIVOS; DISEÑO; INSTALACION
Y CALCULO

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a

ALFREDO MAGAÑA HERNANDEZ

Asesor: Ing. J. Mario Ayala Hernández

San Juan de Aragón, Edo. de Méx.

1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

ALFREDO MAGAÑA HERNANDEZ
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 14 de febrero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para - que el señor profesor, Ing. MARIO AVALOS HERNANDEZ, pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "EXPLOSIVOS, DISEÑO, INSTALACION Y CALCULO", con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

San Juan de Aragón, Edo. de Méx., a los 22, 1994.

EL DIRECTOR


M. en C. CLAUDIO C. MERRREVELÓN CASTRO

- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas.- Jefe de la Unidad Académica.
- c c p Ing. José Paulo Mejorada Mota.- Jefe de Carrera de Ingeniería Civil.
- c c p Ing. Mario Avalos Hernández.- Asesor de Tesis.

CCMC*AIR*eom.



INDICE.

CAPITULO I INTRODUCCION.	1
CAPITULO II ANTECEDENTES	4
2.1 HISTORIA DE LOS EXPLOSIVOS	4
2.1.1. POLVORA NEGRA	4
2.1.2. DINAMITA	6
2.1.3. NITRATO DE AMONIO Y AGENTES EXPLOSIVOS	8
2.1.4. HIDROGELES	9
2.1.5. DISPOSITIVOS DE INICIACION	10
2.2. PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS	12
2.2.1. PROCESO DE LA DETONACION	12
2.2.2. VELOCIDAD DE DETONACION	14
2.2.3. DENSIDAD	16
2.2.4. PRESION DE DETONACION	18
2.2.5. ENERGIA - POTENCIA	18
2.2.6. RESISTENCIA AL AGUA	19
2.2.7. SENSIBILIDAD A LA INICIACION	20
2.2.8. GASES TOXICOS	20
2.2.9. SENSIBILIDAD A LA PROPAGACION	21
2.2.10. FLAMABILIDAD	22
CAPITULO III TIPOS DE EXPLOSIVOS	23
3.1. HIDROGELES	23
3.2. DINAMITAS	30
3.2.1. DINAMITAS GRANULARES	31
3.2.2. SEMIGELATINAS	32
3.2.3. GELATINAS	33
3.3. ANFO	36
3.3.1. EL GRANULADO EXPLOSIVO DE NITRATO DE AMONIO	36
3.3.2. PRODUCTOS ANFO	38

CAPITULO IV DISPOSITIVOS Y CEBOS DE INICIACION	42
4.1. DISPOSITIVOS DE INICIACION ELECTRICOS	42
4.2. DISPOSITIVOS DE INICIACION NO - ELECTRICOS	46
4.3. CEBOS DE INICIACION	49
CAPITULO V METODOS Y TECNICAS	55
5.1. DISPARANDO CON FULMINANTE Y MECHA	55
5.1.1. ENSAMBLE DE FULMINANTE Y MECHA	55
5.1.2. PREPARANDO EL CEBO DE INICIACION	56
5.1.3. ENCENDIENDO LA MECHA DE SEGURIDAD	57
5.2. VOLADURAS CON CORDON DETONANTE	58
5.2.1. CEBADO Y CARGADO	59
5.2.2. VOLADURA INSTANTANEA	60
5.2.3. SISTEMA DE RETARDO DE SUPERFICIE	60
5.2.4. EFECTOS DEL CORDON DETONANTE SOBRE EL ANFO	61
5.3. TECNICAS DE DISPARO ELECTRICO	62
5.3.1. DISEÑO Y ANALISIS DEL CIRCUITO DE VOLADURA	67
5.3.2. INICIACION POR DESCARGA DEL CONDENSADOR	69
5.4. RECONOCIENDO LA ELECTRICIDAD EXTRAÑA	78
5.4.1. TORMENTAS ELECTRICAS	79
5.4.2. ELECTRICIDAD ESTATICA - OTRAS FUENTES	80
5.4.3. CORRIENTES ERRATICAS	81
5.4.4. LINEAS DE TRANSMISION DE ALTO VOLTAJE Y PODER	81
5.4.5. CORRIENTES INDUCIDAS	82
5.4.6. ENERGIA DE RADIOFRECUENCIA	83
CAPITULO VI APLICACIONES	84
6.1. MINADO DE CANTERAS A TAJO ABIERTO	84
6.1.1. DISEÑO DE LA VOLADURA	86
6.1.2. VOLADURAS CON RETARDO DE MILLISEGUNDOS	87
6.2. MINERIA SUBTERRANEA	91
6.2.1. VOLADURAS DE DESARROLLO	91
6.2.2. VOLADURAS DE PRODUCCION	95

6.3. MINADO DE CARBON	97
6.3.1. METODO SUBTERRANEO	97
6.3.2. METODO DE SUPERFICIE	100
6.4. EXPLORACION SISMICA	102
6.5. CONSTRUCCION	105
6.5.1. CONSTRUCCION DE CARRETERAS	105
6.5.2. ZANJEO	107
6.6. TUNELEO	109
6.6.1. METODOS DE PERFORACION DE TUNELES	110
6.7. APLICACIONES DIVERSAS	112
CAPITULO VII CONCLUSIONES	127
BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	129

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

LA INTENCION DE ESTA TESIS ES SERVIR COMO GUIA A LOS INTERESADOS EN EL USO DE LOS EXPLOSIVOS. PARA PONER EN FORMA CLARA LA DESCRIPCION DE LAS VARIADAS APLICACIONES DE LOS EXPLOSIVOS, FUE NECESARIO UTILIZAR NOMBRES DE PRODUCTOS. DADA NUESTRA FAMILIARIDAD CON LOS PRODUCTOS DU PONT, HEMOS DESIGNADO PRODUCTOS DU PONT EN ESOS CASOS, LO CUAL DE NINGUNA MANERA IMPLICA QUE PRODUCTOS DE OTROS FABRICANTES NO SEAN ADECUADOS PARA DICHAS APLICACIONES. DEBIDO A LAS MUY VARIADAS CONDICIONES DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO A LAS CUALES SE SOMETEN UNA VEZ QUE HAN SALIDO DE LA PLANTA DE FABRICACION, LOS PRODUCTOS DU PONT DESCRITOS EN ESTA TESIS SE VENDEN SIN NINGUNA GARANTIA, EXPRESA O IMPLICITA, INCLUYENDOSE LA GARANTIA MERCANTIL. ES POR LO TANTO RESPONSABILIDAD DEL USUARIO EL DETERMINAR POR SI MISMO SI EL USO DE LOS PRODUCTOS ES EL EDECUADO PARA SU PROPOSITO.

LOS REPRESENTANTES DE LAS COMPAÑIAS, ACONSEJAN A LOS USUARIOS DE EXPLOSIVOS RESPECTO A LOS PRODUCTOS Y PRACTICAS DESCRITAS.

LA REDACCION DE ESTA TESIS PARA EL USO DE EXPLOSIVOS ES EL RESULTADO DE CONTRIBUCIONES POR PARTE DEL PERSONAL DE DU PONT, ASI COMO DE OTRAS PERSONAS FUERA DE LA COMPAÑIA, Y ESTA BASADA EN INFORMACION ACTUAL RESPECTO A LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES Y SUS APLICACIONES. SIN EMBARGO, SERIA IMPOSIBLE DESCRIBIR CADA APLICACION O CADA SITUACION QUE INVOLUCRE EL USO DE LOS EXPLOSIVOS.

LA INDUSTRIA DE LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES HA EVOLUCIONADO DESDE UN INICIO EXTREMADAMENTE RUDIMENTARIO HASTA LLEGAR A SER SOFISTICADA, BASADA EN LA INVESTIGACION Y ORIENTADA EN LOS METODOS; PROVEEDORA DE PODEROSOS INSTRUMENTOS PARA EXTRAER MATERIAS PRIMAS DE LA TIERRA Y CONSTRUIR NUESTRO MUNDO MODERNO. DURANTE LOS ULTIMOS 20 AÑOS NUEVOS EXPLOSIVOS, LOS HIDROGELES, Y PRODUCTOS GRANULADOS DE NITRATO DE AMONIO HAN SIDO PERFECCIONADOS. ESTOS DOS DESRROLLOS HAN APRESURADO CAMBIOS DRAMATICOS EN LA INDUSTRIA DE LOS EXPLOSIVOS, UNA INDUSTRIA QUE EN UN TIEMPO DEPENDIO UNICAMENTE DE LA DINAMITA (ANTERIORMENTE EN LA POLVORA NEGRA) PARA LLEVAR A CABO EL TRABAJO PESADO QUE PREVIAMENTE SE DEJABA A LOS MUSCULOS DEL HOMBRE.

EL CAPITULO II TRATA BREVEMENTE DE LA TRANSICION DESDE EL PRIMITIVO INVENTO DE LA POLVORA NEGRA, ATRAVES DE LOS DIAS DE LA DINAMITA HASTA LA ERA MODERNA DE EXPLOSIVOS NUEVOS MAS SEGUROS.

CADA EXPLOSIVO TIENE CIERTAS CARACTERISTICAS ESPECIFICAS. AL PASO DE LOS AÑOS LOS CIENTIFICOS HAN DESARROLLADO METODOS PARA MEDIR ESTAS PROPIEDADES Y RELACIONARLAS CON EL ROMPIMIENTO DE LA ROCA.

MEDIANTE EL CONOCIMIENTO DE QUE PROPIEDADES SON CRITICAS PARA EL DESEMPEÑO, NUEVOS EXPLOSIVOS PUEDEN SER DISEÑADOS PARA TRABAJAR CON MAS EFICIENCIA. PREDICCIONES MAS SIGNIFICATIVAS RESPECTO AL DESEMPEÑO RELATIVO DE LOS EXPLOSIVOS TAMBIEN SON POSIBLES, Y LA CORRELACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS CON LA FRAGMENTACION DE LA ROCA PUEDE SER INVESTIGADA Y EMPLEADA EN EL DISEÑO PARA VOLADURAS. EL CAPITULO II TAMBIEN TRATA SOBRE EL PROCESO DE DETONACION DE UN EXPLOSIVO E IDENTIFICA ALGUNAS DE SUS PROPIEDADES MAS IMPORTANTES DE LOS MISMOS.

LA DINAMITA SE HA DESEMPEÑADO ADMIRABLEMENTE DURANTE LOS ULTIMOS 100 AÑOS COMO SOPORTE DE LA INDUSTRIA DE LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES.

EL PRINCIPAL DEFECTO DE LA DINAMITA ES SU CONTENIDO DE NITROGLICERINA, QUE LA HACE PELIGROSA DE FABRICAR, TRANSPORTAR Y USAR.

AUN CUANDO ALGUNAS COMPAÑIAS HAN DETENIDO SU PRODUCCION DE DINAMITA, OTRAS LA SIGUEN PRODUCIENDO. POR LO TANTO EL CAPITULO III SE INCLUYE LA DINAMITA PARA QUIENES SE INTERESAN EN EVALUAR SUS CUALIDADES.

EL NITRATO DE AMONIO ES UN INGREDIENTE ESENCIAL EN CASI TODOS LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES, INCLUYENDO A LAS DINAMITAS Y A LOS HIDROGELES. SU USO PREDOMINANTE ES EN LA FORMA DE GRANULOS DE NITRATO DE AMONIO, UNA BOLITA POROSA MEZCLADA CON ACEITE COMBUSTIBLE. MAS DE UN MILLON DE KILOGRAMOS DE ESTOS PRODUCTOS REFERIDOS COMO ANFO, SON CONSUMIDOS CADA AÑO, APROXIMADAMENTE EL 80% DE LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES. EL CAPITULO III TAMBIEN HABLA SOBRE ESTE PRODUCTO.

EN LOS 50's SE INICIO UN PROGRAMA DE INVESTIGACIONES QUE PRETENDIA ELIMINAR A LA NITROGLICERINA COMO UN INGREDIENTE BASICO EN EXPLOSIVOS ENCARTUCHADOS DE DIAMETRO PEQUEÑO. LA META ERA PROPORCIONAR PRODUCTOS EXPLOSIVOS QUE FUERAN MAS SEGUROS EN SU FABRICACION Y EN SU TRANSPORTE. ESTE PROGRAMA CULMINO CON UNA LINEA DE EXPLOSIVOS, LOS HIDROGELES, LOS CUALES EN SU DESEMPEÑO SON IGUAL O MEJOR QUE EL DE LAS DINAMITAS, SIENDO UNA LINEA QUE OFRECE AL PERSONAL DE VOLADURAS UNA AMPLIA VARIEDAD DE ENERGIAS, VELOCIDADES, SENSIBILIDADES Y OTRAS PROPIEDADES FISICAS QUE SE DESCRIBEN EN EL CAPITULO III.

UNICAMENTE SE PUEDEN LOGRAR BUENOS RESULTADOS EN CUALQUIER OPERACION DE VOLADURA CUANDO LOS DISPOSITIVOS DE INICIACION USADOS PARA DETONAR LA CARGA DE EXPLOSIVO SE ELIGEN Y UTILIZAN CUIDADOSA Y ADECUADAMENTE.

LOS DISPOSITIVOS DE INICIACION TRATADOS EN EL CAPITULO IV INCLUYEN DETONADORES - ESTOPINES ELECTRICOS, FULMINANTES NO-ELECTRICOS PARA SER USADOS CON MECHA DE SEGURIDAD, Y FULMINANTES DE RETARDO NO-ELECTRICOS PARA SER USADOS CON CORDON DETONANTE, DIPOSITIVOS DE RETARDO DE CORDON DETONANTE, CONECTORES DE MILISEGUNDOS Y DISPOSITIVOS PARA ENSAMBLAR Y ENCENDER LAS UNIDADES DE FULMINANTE Y MECHA.

EL DESARROLLO DEL ANFO Y LOS HIDROGELES CREARON LA NECESIDAD DE CEBOS DE INICIACION DE ALTA ENERGIA. PARA PODER HACER FRENTE A ESTA DEMANDA, SE DESARROLLARON CEBOS DE INICIACION SIN NITROGLICERINA, COMPACTOS, DE ALTA PRESION DE DETONACION PARA PROPORCIONAR A LOS USUARIOS DE EXPLOSIVOS SISTEMAS DE VOLADURAS COMPLETAS Y = CONVENIENTES SIN NITROGLICERINA POR LO QUE SON INCLUIDOS EN EL CAPITULO IV.

EL CAPITULO V TRATA SOBRE EL ADECUADO MANEJO, DE UN FULMINANTE Y MECHA, LOS METODOS DE SEGURIDAD PARA EL CEBADO, CARGAS Y DISPAROS DE INICIACION.

TAMBIEN TRATA SOBRE LAS INSTALACIONES HECHAS CON CORDON DETONANTE.

LA SELECCION DE CIRCUITOS DEPENDERA EN EL NUMERO DE ESTOPINES ELECTRICOS A SER -- DISPARADOS Y EL TIPO DE OPERACION. EN EL CAPITULO V TAMBIEN ANALISAREMOS ALGUNOS CIRCUITOS.

SE USAN APROXIMADAMENTE 50 MILLONES DE ESTOPINES ELECTRICOS ANUALMENTE POR LA INDUSTRIA MINERA, DE CONSTRUCCION Y OTRAS. LAS PERSONAS DE ESTAS INDUSTRIAS HAN RE COPILADO UN RECORD DE SEGURIDAD EXTRAORDINARIO EN EL USO DE ESTOPINES ELECTRICOS. ESTE RECORD DE SEGURIDAD SE HA LOGRADO POR MEDIO DE CONOCER Y OBSERVAR LAS BASES FUNDAMENTALES DE BUENAS PRACTICAS DE SEGURIDAD Y POR ATENCION DILIGENTE A DETALLES EN EL USO DE ESTOPINES ELECTRICOS. EL CAPITULO V TRATA TAMBIEN ALGUNAS DE LAS CONDICIONES QUE PODRIAN PRESENTAR UN PELIGRO DE LA ELECTRICIDAD EXTRAÑA Y LAS PRECAUCIONES QUE DEBERAN TOMARSE PARA MANTENER CONDICIONES SEGURAS.

EL CAPITULO VI PRESENTA ALGUNAS DE LAS MUY VARADAS APLICACIONES EN QUE SON UTILIZADOS LOS EXPLOSIVOS. TAMBIEN ALGUNOS EJEMPLOS DE APLICACIONES PRACTICAS.

FINALIZAMOS ESTA TESIS CON EL CAPITULO VII EN EL CUAL DAMOS NUESTRAS CONCLUSIONES DEBIDO A LA EXPERIENCIA OBTENIDA ATRAVES DE ESTA INVESTIGACION.

CAPITULO II

2. ANTECEDENTES

2.1. HISTORIA DE LOS EXPLOSIVOS.

ESTE CAPITULO TRATA BREVEMENTE DE LA TRANSICION DESDE EL PRIMITIVO INVENTO DE LA POLVORA NEGRA, A TRAVEZ DE LOS DIAS DE LA DINAMITA, HASTA LA ERA MODERNA DE EXPLOSIVOS NUEVOS MAS SEGUROS COMO LOS HIDROGELES..

2.1.1. POLVORA NEGRA

LA PRIMERA MENCION DOCUMENTADA DEL SALITRE O "NITRO" EL INGREDIENTE BASICO DE LA POLVORA NEGRA, SE ENCUENTRA EN ESCRITOS DEL SIGLO 13. SIN EMBARGO, AUN ANTES, SE PIENSA QUE LOS CHINOS HABIAN USADO SALITRE TAL VEZ A TAN TEMPRANA EPOCA COMO EL SIGLO 10º. ESTE TRABAJO PRIMITIVO CON SALITRE PARECE QUE SE LIMITO A FUEGOS ARTIFICIALES Y COHETES.

NO FUE SINO DESPUES DE 1242 QUE SE PUBLICO UNA FORMULA PARA LA POLVORA NEGRA, QUE ESTE PRODUCTO FUE CONSIDERADO UN AGENTE EXPLOSIVO. SU PRIMER USO VERIFICADO PARA VOLADURA DE ROCA FUE EN 1627 EN HUNGRIA. A PESAR DE LAS LIMITACIONES EL USO DE LA POLVORA NEGRA EN OPERACIONES DE MINERIA SE HABIA EXTENDIDO A LAS MINAS DE ESTAÑO DE CORNWALL, INGLATERRA, POR 1689.

LA POLVORA NEGRA EN AMERICA. EL USO DE LA POLVORA NEGRA COMO UN PROPULSOR SE EXPANDIO RAPIDAMENTE. A CAUSA DE QUE LOS AMERICANOS EN EL NUEVO MUNDO DEPENDIAN EN GRAN PARTE DE CAZA PARA ALIMENTARSE, LA FABRICACION DE POLVORA NEGRA PARA ARMAS - DE FUEGO FUE INICIADA EN 1675.

LA PRIMERA REFERENCIA REGISTRADA DE UNA VOLADURA CON POLVORA NEGRA EN AMERICA DATA DE 1773. EN 1857 LAMMOT DU PONT, PATENTO UN PROCESO VIDRIADO EL CUAL SUSTITUIA AL SALITRE NITRATO DE SODIO, POR NITRATO DE POTASIO Y LLEGO A SER CONOCIDA COMO - POLVORA PARA VOLADURAS "B".

DECLINACION DEL MERCADO. EL DESCUBRIMIENTO DE LA NITROGLICERINA CONDUJO AL DESARROLLO DE LA DINAMITA, UN EXPLOSIVO QUE PODIA HACER MUCHAS VECES EL TRABAJO DE LA POLVORA Y MEJORAR. ESTA NO SOLO MOVIA LA ROCA, TAMBIEN LA ROMPIA. EL ALGODON POLVORA CONDUJO AL DESARROLLO DE LA POLVORA SIN HUMO, MENOS CORROSIVA Y RESULTO QUE LA POL

VORA NEGRA FUE REMPLAZADA EN CASI TODAS LAS APLICACIONES. LAS UNICAS APLICACIONES SIGNIFICATIVAS DE LA POLVORA NEGRA ACTUALMENTE, SON EN EL NUCLEO DE POLVORA DE - MECHAS DE SEGURIDAD Y EN FUEGOS ARTIFICIALES.

CRONOLOGIA DE LA POLVORA NEGRA

SIGLO XIII	PRIMERA MENCION DEL SALITRE (ARABE) QUIENES - LO LLAMABAN "NIEVE CHINA".
SIGLO XIII	DESCRIPCION DE LAS VELAS ROMANAS EN LOS ANALES - CHINOS DE LA DINASTIA SUNG.
1242	EL FRAILE ROGER BACON ESCRIBIO LA FORMULA PARA - LA POLVORA NEGRA.
APROX. EN 1300	BERTHOLD SCHWARZ ES EL PRIMERO EN USAR LA POLVO- RA NEGRA COMO PROPULSOR DE ARMAS DE FUEGO.
1627	PRIMERA PRUEBA DOCUMENTADA DEL USO DE LA POLVORA NEGRA EN MINAS EN HUNGRIA.
1689	POLVORA NEGRA USADA EN LAS MINAS DE CORWELL IN-- GLATERRA.
1696	UTILIZADA EN LA CONSTRUCCION DEL CAMINO ALBULA - EN SUIZA.
1705	USO EN LAS MINAS DE COBRE DE SIMSBURY.
1804	IRENEE DU PONT INICIO LA PRODUCCION COMERCIAL DE LA POLVORA NEGRA EN DELAWARE.
1857	LAMMOT DU PONT SUSTITUYO SALITRE CHILENO (NITRA TO DE SODIO POR NITRATO DE POTASIO) Y ES LLAMA- DA POLVORA PARA VOLADURAS "B".
1917	PRIMERA GUERRA MUNDIAL, EL CONSUMO DE POLVORA EN LOS EEUU ALCANZO LA SIFRA DE 277.118,525 LIBRAS.
1930-40	NUMEROSAS FABRICAS DE POLVORA NEGRA CESARON LA - PRODUCCION DEBIDO A LA FALTA DE MERCADO.

2.1.2. DINAMITA.

NITROGLICERINA. ASCANIO SOBRERO DESCUBRIO LA NITROGLICERINA, ENCONTRO QUE SUS PROPIEDADES ERAN TAN IMPREDECIBLES Y ALARMANTES QUE PREVINO CONTRA SU USO. AL PRINCIPIO LA NITROGLICERINA ERA VACIADA EN EL BARRENO E INICIADA MEDIANTE VARIOS TIPOS DE ENCENDEDORES DE POLVORA NEGRA. PERO LA CARGA Y TRANSPORTACION DE NITROGLICERINA LIQUIDA ERA PELIGROSA AUN EN LAS MEJORES CIRCUNSTANCIAS, Y NUEVOS METODOS FUERON PROBADOS.

LA PRIMERA DINAMITA. BUSCANDO FORMAS MAS SEGURAS PARA TRANSPORTAR LA NITROGLICERINA LIQUIDA, ALFREDO NOBEL CAMBIO DE ASERRIN A DIATOMITA, UNA TIERRA DIATOMACEA, Y AL DERRAMARSE UNA LATA LA TIERRA HABIA ABSORBIDO LA NITROGLICERINA Y TAMBIEN LA HABIA VUELTO MENDS SENSIBLE AL IMPACTO. NOBEL PATENTO SU MEZCLA DE NITROGLICERINA Y DIATOMITA EN 1867 Y LA NOMBRE "POLVORA DE SEGURIDAD DE NOBEL". LA PRIMERA DINAMITA. LA DINAMITA NO SOLAMENTE ERA MAS PODEROSA QUE LA POLVORA NEGRA SINO QUE TENIA UNA VELOCIDAD DE DETONACION MAS ALTA, ERA MAS EFECTIVA PARA ROMPER LA ROCA. COMO RESULTADO, RAPIDAMENTE REEMPLAZO A LA POLVORA NEGRA EN LA MAYORIA DE VOLADURAS.

EL PRIMER TRABAJO IMPORTANTE EN QUE LA DINAMITA FUE USADA CON EXITO EN AMERICA, FUE LA PERFORACION DEL TUNEL MUSCONNECTONG, EN PENNSYLVANIA, EN EL FERROCARRIL DE EASTON Y AMBOY.

EN 1902 LA COMPAÑIA DU PONT ESTABLECIO SU PRIMER LABORATORIO DE INVESTIGACION DE EXPLOSIVOS EN NEW JERSEY Y FUE UNO DE LOS PRIMEROS LABORATORIOS INDUSTRIALES PARA INVESTIGACION QUIMICA. UNO DE LOS PRIMEROS PROYECTOS DEL LABORATORIO FUE EL EVALUAR LAS PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS QUE SE USARIAN EN MINAS DE CARBON GASEOSAS Y CON POLVO. ESTAS PRUEBAS Y TRABAJOS SUBSECUENTES CONDUJERON A FORMULAS DE DINAMITA CON MAYOR SEGURIDAD PARA USARLAS EN MINAS DE CARBON Y OTRAS CONDICIONES PELIGROSAS.

UN PROBLEMA QUE ENFRENTO LA INDUSTRIA DE EXPLOSIVOS EN SUS PRIMEROS DIAS FUE LA DINAMITA CONGELADA, PERO FUE HASTA 1935 QUE SE OBTUVO UNA SOLUCION PRACTICA AL PROBLEMA. MEDIANTE LA FORMULACION CON MEZCLAS DE GLICERINA Y ETILEN-GLICOL, SE PRODUCERON DINAMITAS CON PUNTOS DE CONGELAMIENTO MAS BAJOS.

OTRO PROBLEMA SIGNIFICATIVO DE LA INVESTIGACION FUE LA EVALUACION DE LA DINAMITA PARA SU USO BAJO TIERRA. LOS EXPLOSIVOS DERIVAN SU ENERGIA DE SU RAPIDA TRANSFORMACION EN GASES CALIENTES, ALGUNOS DE LOS CUALES SON TOXICOS. CUANDO CARGAS DE EXPLOSIVOS SON DETONADAS EN LUGARES CONFINADOS BAJO TIERRA, ES IMPORTANTE QUE LOS

GASES TOXICOS RESULTANTES DE LA VOLADURA ESTEN TAN LIBRES COMO SEA POSIBLE DE ELEMENTOS DAÑINOS. LOS METODOS PARA DETECTAR GASES TOXICOS LLEGARON A SER UN DESARROLLO IMPORTANTE PARA LA INDUSTRIA MODERNA DE LOS EXPLOSIVOS.

DOLORES DE CABEZA POR NITROGLICERINA. A PESAR DE DISMINUIR LOS GASES TOXICOS GENERADOS EN LA DETONACION DE DINAMITA, NUNCA SE HA SUPERADO UN PROBLEMA INHERENTE A LA MISMA: LOS BIEN CONOCIDOS DOLORES DE CABEZA POR NITROGLICERINA. ESTOS DOLORES DE CABEZA, CON FRECUENCIA COMPARADOS CON SEVERIDAD CON LAS MIGRAÑAS, SON CAUSADOS POR EL COMPUESTO QUIMICO QUE DA A LA DINAMITA SU FUERZA, LA NITROGLICERINA. ESTA PUEDE ENTRAR EN EL CUERPO EN UNA DE ESTAS DOS FORMAS: (1) A TRAVEZ DE LA PIEL AL TOCAR LA DINAMITA; Y (2) AL RESPIRAR LAS EMANACIONES DE LA NITROGLICERINA, YA SEA DONDE LA DINAMITA ES FABRICADA O ALMACENADA, SI LA VENTILACION ES INADECUADA, O DESPUES DE UNA VOLADURA CUANDO LOS GASES TOXICOS HAN SIDO CAPTURADOS EN LA PILA DE ESCOMBROS.

DINAMITA DE NITRATO DE AMONIO. NORBIN Y OHLSSON DOS INVENTORES SUIZOS, PATENTARON EL USO DEL NITRATO DE AMONIO CON NITROGLICERINA, LA INVESTIGACION HA SIDO DIRIGIDA PARA MAXIMISAR EL USO DEL NITRATO DE AMONIO DEBIDO A SU BAJO COSTO. AUN CUANDO SOLAMENTE SEA APROXIMADAMENTE UN 70% EN POTENCIA COMPARADO CON LA NITROGLICERINA Y ALTAMENTE HIGROSCOPICO,

A SEMEJANSA DE LA POLVORA, LA DINAMITA TENIA QUE LLEGAR A PASAR DE MODA DEBIDO A NUEVOS DESCUBRIMIENTOS. LA INTRODUCCION DE DOS NUEVOS PRODUCTOS DURANTE LOS AÑOS 50 -NITRATO DE AMONIO ACEITE COMBUSTIBLE Y LOS HIDROGELES- HA REEMPLAZADO A LA DINAMITA EN LA PROPORCION MAYOR DEL MERCADO ACTUAL DE VOLADURAS COMERCIALES. DESDE ENTONCES EL USO ANUAL DE DINAMITA HA DECLINADO.

CRONOLOGIA DE LA DINAMITA

1846	ASCANIO SOBRERO DESCUBRE LA NITROGLICERINA.
1861	ALFREDO NOVEL CONSTRUYO UNA PEQUEÑA PLANTA DE NITROGLICERINA.
1863	NOVEL PATENTO LA MEZCLA POLVORA NEGRA, NG.
1866	NOVEL MEZCLO NG CON DIATOMITA PARA HACER DINAMITA
1875	NOVEL DESCUBRIO LA "GELATINA PARA VOLADURAS" AL DISOLVER NITROCELULOSA EN NITROGLICERINA E INTRODUJO "LA DINAMITA GELATINA".
1880	DU PONT FABRICA DINAMITA EN NEW JERSEY.

1880's	SE INVESTIGARON DINAMITAS PERMISIBLES PARA MINAS DE CARBON EN EUROPA.
1908	SE REQUIRIO QUE LAS DINAMITAS FUERAN PROBADAS PARA PERMISIBILIDAD PREVIAMENTE A SER USADAS EN MINAS DE CARBON.
1925	EL DINITRATO DE ETILEN GLICOL CON NITROGLICERINA RESOLVIO EL PROBLEMA DEL CONGELAMIENTO DE LA DINAMITA.
1950's	NITRATO DE AMONIO, COMBINADO CON VARIOS COMBUSTIBLES, EMPEZO A REEMPLAZAR GRANDES CANTIDADES DE DINAMITA DE NG. LOS HIDROGELES (WATER GELS) SE COMERCIALIZARON.
1974	DU PONT ANUNCIO PLANES PARA RETIRARSE DEL NEGOCIO DE DINAMITA EN FAVOR DE UN NUEVO EXPLOSIVO HIDROGEL "TOVEX".

2.1.3. NITRATO DE AMONIO Y AGENTES EXPLOSIVOS.

J.R. GLAUDER FUE EL PRIMERO EN SINTETIZAR EL NITRATO DE AMONIO EN 1659 AL COMBINAR ACIDO NITRICO Y CARBONATO DE AMONIO. LAS PROPIEDADES EXPLOSIVAS DEL NITRATO DE AMONIO FUERON FORMALMENTE UTILIZADAS POR PRIMERA VEZ EN 1867. SU APLICACION INICIAL AL DIFUNDIRSE FUE REEMPLAZAR UNA PORCION DE NITROGLICERINA COMO UN INGREDIENTE EN LA DINAMITA. SUBSECUENTEMENTE, SIN EMBARGO, SU POTENCIAL EN EXPLOSIVOS QUE NO ERAN DE DINAMITA FUE RECONOCIDO. EL PRIMER PRODUCTO EXPLOSIVO DE NITRATO DE AMONIO QUE NO CONTENIA NG. DE IMPORTANCIA COMERCIAL FUE EN "NITRAMON" DE DU PONT, INTRODUCIDO EN 1935. EL "NITRAMON", NITRATO DE AMONIO CON UN SENSIBILIZADOR, ERA EMPACADO EN LATAS DE METAL PARA RESISTIR EL AGUA. UN CEBO DE INICIACION SENSIBILIZADO CON TNT ESPECIAL ERA NECESARIO PARA INICIAR ESTE PRODUCTO RELATIVAMENTE INSENSIBLE. DU PONT ESTABA IMPRESIONADO CON LAS CARACTERISTICAS DE SEGURIDAD EN EL MANEJO DEL PRODUCTO, BAJO COSTO, Y PROPIEDADES QUE NO PRODUCIAN DOLOR DE CABEZA. NITRATO DE AMONIO-ACEITE COMBUSTIBLE-(ANFO GRANULADO). MUCHA GENTE SIENTE QUE DOS EXPLOSIONES DESASTROSAS DE BUQUES CARGADOS CON NITRATO DE AMONIO EN LOS CUARENTAS TRAJERON A LA LUZ EL POTENCIAL EXPLOSIVO DEL NITRATO DE AMONIO. EL USO EXTENSO DEL NITRATO DE AMONIO COMO UN EXPLOSIVO SE FOMENTO POR EL DESARROLLO DE UNA NUEVA TECNICA DE FABRICACION, EL PROCESO GRANULADO.

ESENCIALMENTE, ESTE PROCESO PRODUCE PEQUEÑAS BOLITAS REDONDAS DE NITRATO QUE PROPORCIONAN UN PRODUCTO DE FACIL MANEJO GENERAL.

EN 1955 CUANDO PATENTARON EL USO DE NITRATO DE AMONIO CLASE FERTILIZANTE CON UN SENSIBILIZADOR DE COMBUSTIBLE CARBONOSO SOLIDO SE DEMOSTRO CON EXITO SU DESEMPEÑO LOS COMBUSTIBLES SOLIDOS USADOS AL PRINCIPIO, TALES COMO CARBON FUERON MAS TARDE REEMPLAZADOS POR ACEITE COMBUSTIBLE Y EL MODERNO ANFO (NITRATO DE AMONIO-ACEITE - COMBUSTIBLE).

DURANTE LOS 60's EL ANFO Y SUS PRODUCTOS DERIVADOS REEMPLAZARON A LA DINAMITA EN BARRENOS SECOS A CAUSA DE LOS AHORROS EN COSTOS, Y CARACTERISTICAS DE MANEJO MAS SEGURO, Y FACILIDAD DE CARGADO MECANICO. SIN EMBARGO EL ANFO TIENE UNA GRAN DEBILIDAD, ES MUY SOLUBLE Y NO PUEDE SER USADO EN BARRENOS HUMEDOS SIN QUEDAR DESENSIBILIZADO. UN METODO PARA EVITAR LA SOLUBILIDAD EN EL AGUA DEL NITRATO DE AMONIO (NA) GRANULADO, HA SIDO EL EMPACAR EL MATERIAL EN ENVASES RESISTENTES AL AGUA COMO EL NITRAMON. VARIOS ENVASES RESISTENTES AL AGUA HAN SIDO DESARROLLADOS Y PROBADOS PARA EMPACAR PRODUCTOS DE DIAMETRO MAYOR.

2.1.4. HIDROGELES (WATER GELS)

UN METODO DE SUMINISTRAR A LOS PRODUCTOS DEL NITRATO DE AMONIO RESISTENCIA AL AGUA ES PROTEGIENDOLOS QUIMICAMENTE. LOS EXPLOSIVOS HIDROGELES EVOLUCIONARON POR INVESTIGACION EN ESTA AREA.

AL INICIO DE LOS AÑOS 40's DU PONT EMPEZO A TRABAJAR PRIMERO CON UN EXPLOSIVO DE NITRATO DE AMONIO QUE NO CONTENIA NG QUE CONSISTIA BASICAMENTE EN NITRATO DE AMONIO/AGUA/UN ESPESADOR Y UN SENSIBILIZADOR.

LA PRIMERA DEMOSTRACION DE CAMPO QUE TUVO EXITO DE EXPLOSIVOS HIDROGELES FUE EN 1957. LAS PRINCIPALES VENTAJAS DE LOS HIDROGELES ERAN SU ECONOMIA, ALTA DENSIDAD DE CARGA Y DESEMPEÑO, BAJA SENSIBILIDAD DE IMPACTO, AUSENCIA DE INGREDIENTES QUE CAUSARAN DOLORS DE CABEZA Y RESISTENCIA AL AGUA.

DEBIDO A QUE LOS HIDROGELES TENIAN TALES CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO Y SEGURIDAD UNICA, DU PONT EMPEZO UNA INVESTIGACION INTENSIVA A PRINCIPIOS DE LOS 60's PARA DESARROLLAR UN HIDROGEL TOVEX QUE FUERA SENSIBLE AL FULMINANTE Y CAPAZ DE PROPAGARSE EN DIAMETROS MAS PEQUEÑOS.

LOS ESFUERZOS DE LA INVESTIGACION FUERON PREMIADOS EN MARZO DE 1969 CUANDO DUPONT PATENTO UN SENSIBILIZADOR, EL CUAL PROPORCIONABA A LOS HIDROGELES LA SENSIBILIDAD REQUERIDA PARA SER INICIADOS CON UN FULMINATE DE POTENCIA NO.6 EN CARTUCHOS DE --

7/8" DE DIAMETRO A TEMPERATURAS NORMALES.

ESTOS HIDROGELES "TOVEX" SENSIBLES AL FULMINANTE TENIAN TODAS LAS PROPIEDADES DESEADAS EN LOS HIDROGELES. DESPUES DE UNA EXTENSIVA PRUEBA DEL PRODUCTO, DU PONT ANUNCIO EN ENERO DE 1974 QUE INTENTABA RETIRARSE DEL NEGOCIO DE LA DIMANITA PARA FINALES DE 1976 Y CAMBIAR SU FABRICACION Y VENTAS HACIA SU NUEVO EXPLOSIVO HIDROGEL ENCARTUCHADO "TOVEX".

2.1.5. DISPOSITIVOS DE INICIACION

MECHA DE SEGURIDAD. UNA INICIACION ADECUADA ES BASICA PARA EL USO APROPIADO DE LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES. MUCHOS METODOS INDIVIDUALES, INSEGUROS Y CON FRECUENCIA FATALES PARA DISPARAR LA POLVORA NEGRA FUERON EMPLEADOS A TRAVES DE LOS PROMEROS AÑOS DE 1800. BICKFORD, UN INGLÉS DESARROLLO Y PATENTO LA MECHA DE SEGURIDAD DE MINEROS EN 1831. ESTA PRIMERA MECHA CONSISTIA EN UN CORAZON CONTINUO DE POLVORA NEGRA FINA, ENVUELTO EN YUTE, ACORDONADO FUERTEMENTE Y SUMERGIDO EN BARNIZ CALIENTE PARA QUE QUEDARA A PRUEBA DE AGUA.

FULMINANTES DE DETONACION. ALFREDO NOBEL NO PODIA LA NG LIQUIDA EN FORMA CONFIABLE CON LA MECHA DE SEGURIDAD. NOBEL RESOLVIO SU PROBLEMA EN 1867 Y PATENTO EL FULMINATO DE MERCURIO EN CAPSULAS DE ESTAÑO (MAS TARDE COBRE). NO SOLAMENTE ERA ESTE FULMINANTE DE FULMINATO DE MERCURIO EL PRIMER FULMINANTE DETONANTE, SINO QUE TAMBIEN DEMOSTRO LA IMPORTANCIA DE DETONAR INICIALMENTE UN ALTO EXPLOSIVO CON LA COMBINACION DE UNA ONDA CALIENTE DE CHOQUE PARA LOGRAR UN MAXIMO DE ENERGIA.

FULMINANTES ELECTRICOS. LA INICIACION DE LA POLVORA NEGRA MEDIANTE UNA CHISPA ELECTRICA FUE DEMOSTRADA ORIGINALMENTE EN EL AÑO 1745. CINCO AÑOS MAS TARDE BENJAMIN FRANKLIN COMPRIMIO POLVORA NEGRA EN UN ENVASE PARA LOGRAR UNA INICIACION MAS RAPIDA Y MAS CONFIABLE, USANDO UN ACUMULADOR LEYDEN COMO LA FUENTE DE SU CHISPA ELECTRICA. PERO FUE INTRODUCIDO HASTA DESPUES DE 1800.

ROBERT HARE DESARROLLO EL METODO DE ALAMBRE-PUENTE DE VOLADURA ELECTRICA, MEDIANTE LA SALIDA DE UNA CORRIENTE ELECTRICA A TRAVEZ DE UN PEQUEÑO ALAMBRE DESDE UNA BATERIA DE ALTO AMPERAJE, QUE EL LLAMABA "DEFLAGRADOR. ESTE PUEDE SER CONSIDERADO LA PRIMERA MAQUINA EXPLOSORA PARA VOLADURAS USADA COMERCIALMENTE.

FULMINANTES DE RETARDO. MEDIANTE LA INTRODUCCION DE UN TRAMO CORTO DE MECHA ENTRE LA CARGA DE IGNICION DEL FULMINANTE DE POLVORA NEGRA Y LA CARGA BASE, ESTA FUE LA BASE DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS DE RETARDO MODERNOS.

FULMINANTES CON DESFOGUE. LA CONSTRUCCION DE UN FULMINANTE CON DESFOGUE FUE DESA-

ROLLADA PARA REDUCIR LAS VARIACIONES EN LA COMBUSTION DEL NUCLEO DE TIEMPO DEL - TIPO MECHA.

FULMINANTES COMPUESTOS. NUEVOS EXPLOSIVOS REEMPLAZARON AL FULMINATO DE MERCURIO, OFRECIENDO MEJORAS TANTO EN LA POTENCIA COMO EN LA SEGURIDAD DEL FULMINANTE. FUE INTRODUCIDA UNA CARGA DE CEBADA INTERMEDIA ENTRE LA MEZCLA DE IGNICION Y LA CARGA DE BASE DE ESTAS SUSTANCIAS PODEROSAS. ESTA FUE LA INTRODUCCION DE UN ESTOPIN -- COMPUESTO ELECTRICO.

CORDON DETONANTE. ERA UN TUBO DE PLOMO LLENADO CON UN NUCLEO DE TRINITOTOLUENO. SEIS AÑOS MAS TARDE FUE INTRODUCIDO EL TETRANITRATO DE PENTAERITRITOL (PETN) REEM PLAZO EL NUCLEO DE TNT. EL TUBO DE PLOMO FUE SUSTITUIDO POR TELA TRENZADA Y OTRO MATERIAL DANDO COMO RESULTADO EL CORDON DETONANTE MODERNO.

CRONOLOGIA DEL NITRATO DE AMONIO E HIDROGELES

1659	GLAUBER PREPARO Y DESCRIBIO POR PRIMERA VEZ EL <u>NI</u> TRATO DE AMONIO.
1867	NORRBIN Y OHLSSON PATENTARON EL USO DEL NITARTO - DE AMONIO CON SENSIBILIZADORES Y NG.
1873	ALFREDO NOBEL PATENTO EL USO DE INGREDIENTES SO-- LIDOS PARA IMPERMEABILIZAR LA DINAMITA DE NA.
1879	NOBEL PATENTO EL USO DE NA EN LAS GELATINAS.
1885	INTRODUJERON METODOS PARA RECUBRIR EL NA PARA ME-- JORAR LA RESISTENCIA AL AGUA.
1935	"NITRAMON" EL PRIMER AGENTE EXPLOSIVO COMERCIAL - SIGNIFICATIVO INTRODUCIDO PO DU PONT.
1957	SON COMERCIALIZADOS LOS HIDROGELES.
1970	DU PONT INICIA EL PROGRAMA DE DESARROLLO PARA HI-- DROGELES DE DIAMETRO PEQUEÑO.
1974	DU PONT ANUNCIA SU INTENTO POR REEMPLAZAR LAS DI-- NAMITAS POR LOS HIDROGELES.

2.2. PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS.

UN EXPLOSIVO TIENE TRES CARACTERISTICAS BASICAS; (1) ES UN COMPUESTO O MEZCLA QUIMICA INICIADO MEDIANTE CALOR, GOLPE, IMPACTO, FRICCION O UNA COMBINACION DE ESTAS CONDICIONES; (2) DESPUES DE LA IGNICION ESTE SE DESCOMPONE MUY RAPIDAMENTE EN UNA DETONACION (OPUESTA A LA DEFLAGRACION, LA CUAL ES UNA DESCOMPOSICION MAS BAJA COMO LA IGNICION DE LA POLVORA); Y (3) DESPUES DE LA DETONACION HAY UNA LIBERACION RAPIDA DE CALOR Y GRANDES CANTIDADES DE GASES DE ALTA PRESION, LOS CUALES SE EXPANDEN RAPIDAMENTE CON FUERZA SUFICIENTE PAR VENCER FUERZAS CONFINANTES, POR EJEMPLO LAS FUERZAS CONFINANTES DE UNA FORMACION DE ROCA CIRCUNDANTE.

EN VOLADURAS COMERCIALES LA ENERGIA LIBERADA POR LA DETONACION DE EXPLOSIVOS PRODUCE CUATRO EFECTOS BASICOS; (1) FRAGMENTACION DE LA ROCA; (2) DESPLAZAMIENTO DE LA ROCA; (3) VIBRACION DEL SUELO; Y (4) GOLPE DE AIRE.

ESTE CAPITULO TRATA SOBRE EL PROCESO DE DETONACION DE UNEXPLOSIVO E IDENTIFICA ALGUNAS DE SUS PROPIEDADES MAS IMPORTANTES.

2.2.1. PROCESO DE LA DETONACION.

EN UNA DETONACION LA REACCION QUIMICA SE MUEVE A TRAVES DEL MATERIAL EXPLOSIVO A UNA VELOCIDAD MAYOR QUE AQUELLA DEL SONIDO A TRAVES DEL MISMO MATERIAL. LAS CARACTERISTICAS DEFINITIVA DE ESTA REACCION QUIMICA ES QUE ES QUE ESTA ES INICIADA POR Y A SU VEZ, MANTIENEUNA ONDA DE CHOQUE SUPERSONICA A TRAVES DEL EXPLOSIVO.

EN UNA DEFLAGRACION POR OTRA PARTE, AUN CUANDO LA REACCION QUIMICA SE MUEVE RAPIDAMENTE A TRAVES DEL MATERIAL EXPLOSIVO Y LIBERA CALOR O FLAMA VIGOROSAMENTE LA REACCION SE MUEVE DEMASIADO LENTA PARA PRODUCIR ONDAS DE CHOQUE SIGNIFICATIVAS Y FRACTURACION DE LA ROCA. UN BUEN EJEMPLO DE UNA DEFLAGRACION ES EL ENCENDIDO DE LA POLVORA NEGRA EN UNA MECHA DE SEGURIDAD. EN LA INDUSTRIA DE LOS EXPLOSIVOS UNA CANTIDAD ARBITRARIA DE 3,000 PIES POR SEGUNDO (914.4 METROS PRO SEGUNDO) ES USUALMENTE CONSIDERADA LA LINEA DIVISORIA DE LA VELOCIDAD ENTRE UNA DEFLAGRACION Y UNA DETONACION.

EL DIBUJO ESQUEMATICO FIG. 2-A DESCRIBE UNA DETONACION TIPICA. LA ZONA DE REACCION PRIMARIA, EL AREA EN LA CUAL EMPIEZA LA DESCOMPOSICION QUIMICA, ESTA ESTALIMITADA EN UN EXTREMO POR EL FRENTE DE CHOQUE O PARTE DELANTERA DE LA ZONA DE DETONACION. EN UNA DEFLAGRACION NO HAY FRENTE DE CHOQUE PORQUE LA DESCOMPOSICION PROCEDE A VELOCIDADES SUBSONICAS. EL LIMITE POSTERIOR ES LLAMADO EL PLANO DE CHAPMAN--

EN UN EXPLOSIVO DE ALTA VELOCIDAD LA ZONA DE REACCION PRIMARIA ES USUALMENTE MUY DELGADA, DE HECHO MILIMETRICAMENTE GRUESA. EN UN EXPLOSIVO DE BAJA VELOCIDAD LA ZONA DE REACCION PRIMARIA ES TÍPICAMENTE MUY GUESA. EN UNA DETONACION DE PRODUCTOS DE NITRATO DE AMONIO/ACEITE COMBUSTIBLE, ESTA ZONA DE REACCION PUEDE SER DE VARIOS CENTIMETRO DE GROSOR.

DETRAS DEL PLANO DE CHAPMAN-JOUQUET (C-J) ESTAN LOS PRODUCTOS DE REACCION Y, EN ALGUNOS CASOS, PARTICULAS QUE NO REACCIONAN. LA MAYORIA DE ESTOS PRODUCTOS SON GASES, LOS CUALES TIENEN TEMPERATURAS DEL ORDEN DE 3,000 a 7,000 GRADOS F. Y PRESIONES ALTAS DEL RANGO DE 20 a 100 K BARS, LA CUAL ES 100,000 ATMOSFERAS O 1.5 MILLONES DE LIBRAS POR PULGADA AL CUADRADO. ESTOS GASES A TAN ALTA TEMPERATURA Y PRESIONES SE EXPANDE RAPIDAMENTE. PRODUCEN UNA ONDA DE ESFUERZO O DE CHOQUE EN EL MEDIO CIRCUNDANTE.

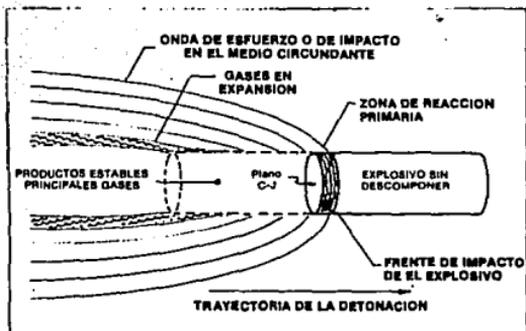


FIGURA 2-A ESTE DIBUJO DESCRIBE UNA DETONACION TIPICA. LA ZONA DE REACCION PRIMARIA ESTA LIGADA EN UN EXTREMO POR EL FRENTE DE IMPACTO, EN EL OTRO POR EL PLANO DE CHAPMAN JOUQUET.

2.2.2. VELOCIDAD DE DETONACION

LA VELOCIDAD DE DETONACION DE UN EXPLOSIVO, ES LA VELOCIDAD EN PIES POR SEGUNDO O METROS POR SEGUNDO, LA A LA CUAL VIAJA LA ONDA DE DETONACION A TRAVES DE UNA COLUMNA DE EXPLOSIVOS. MUCHOS FACTORES AFECTAN A LA VELOCIDAD DE DETONACION, INCLUYENDO EL TIPO DE PRODUCTO, DIAMETRO, CONFINAMIENTO, TEMPERATURA, Y GRADO DE CEBADO.

TIPO DE PRODUCTO. LA VELOCIDAD DE DETONACION DE LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES FLUCTUA DESDE CERCA DE 5,000 PIES POR SEGUNDO (1,525 METROS POR SEGUNDO) PARA EL ANFO-P EN BARRENOS DE DIAMETRO PEQUEÑO Y CIERTOS TIPOS DE EXPLOSIVOS PERMISIBLES, HASTA MAS DE 22,000 PIES POR SEGUNDO (6,705 METROS POR SEGUNDO) PARA CORDONES DETONANTES Y CEBOS DE INICIACION. LA MAYOR PARTE DE LOS EXPLOSIVOS USADOS ACTUALMENTE, TIENEN VELOCIDADES DE DETONACION, LAS CUALES CAEN DENTRO DEL RANGO QUE VA DESDE 10,000 HASTA 18,000 PIES POR SEGUNDO (3,050 a 5,490 METROS POR SEGUNDO).

DIAMETRO DEL PRODUCTO. HASTA UN CIERTO DIAMETRO, DEPENDIENDO EN EL TIPO DE EXPLOSIVO EL DIAMETRO DEL PRODUCTO INFLUIRA EN LA VELOCIDAD DE ESTE. EN GENERAL, ENTRE MAS GRANDE EL DIAMETRO, MAS ALTA LA VELOCIDAD.

CADA EXPLOSIVO TIENE TAMBIEN UN DIAMETRO CRITICO, EL CUAL ES EL DIAMETRO MINIMO EN EL QUE EL PROCESO DE DETONACION, UNA VEZ QUE SE HA INICIADO, SE MANTENDRA POR SI MISMO EN LA COLUMNA. EL DIAMETRO MAS PEQUEÑO QUE EL DIAMETRO CRITICO, LA DETONACION DEL EXPLOSIVO NO SE MANTENDRA Y SE EXTINGUIRA.

GRADO DE CONFINAMIENTO DEL PRODUCTO. EN GENERAL, CUANTO MAS GRANDE SEA EL CONFINAMIENTO DE UN EXPLOSIVO, MAS ALTA SERA LA VELOCIDAD DE DETONACION. ESTO ES PARTICULARMENTE CIERTO PARA LOS PRODUCTOS TALES COMO EL ANFO-P Y ALGUNOS HIDROGELES EN BARRENOS DE DIAMETRO PEQUEÑO.

LAS FIGURAS 2-B Y 2-C MUESTRAN COMO EL CONFINAMIENTO, TAL COMO EN LA PARED DE UN BARRENO INFLUYE EN LA VELOCIDAD DE DETONACION. LA FIGURA 2-B MUESTRA UNA DETONACION EN UN MEDIO RAPIDAMENTE COMPRESIBLE (AIRE, AGUA, ROCA SUAVE O POROSA). COMO LOS GASES EN EXPANSION COMPRIMEN TAL MATERIA, LA ENERGIA SE PIERDE RAPIDAMENTE Y LA PRESION Y TEMPERATURA DECAEN BRUSCAMENTE EN LOS PRODUCTOS DE REACCION. ESTAS PERDIDAS SON COMUNICADAS AL INTERIOR DE LA ZONA DE REACCION COMO UNA ONDA DE REFRACCION, LA CUAL ES UN AREA DE PRESION MAS BAJA QUE RETIRA SOPORTE DEL FRENTE DE DETONACION. ESTO DA COMO RESULTADO UNA VELOCIDAD DE DETONACION MAS BAJA QUE LA VELOCIDAD HIDRODINAMICA O IDEAL Y CURVATURA DEL FRENTE DE CHOQUE. SI EL DIAMETRO ES LO SUFICIENTEMENTE PEQUEÑO, LA DETONACION PUEDE FINALMENTE DECAER Y FALLAR.

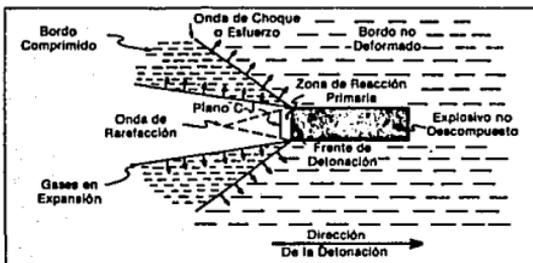


FIGURA 2-B ESTE DIBUJO MUESTRA UNA DETONACION EN UN MEDIO FACILMENTE COMPRESIBLE COMO EL AIRE, AGUA O ROCA SUAVE. NOTE COMO SE REDUCE LA ZONA DE REACCION PRIMARIA.

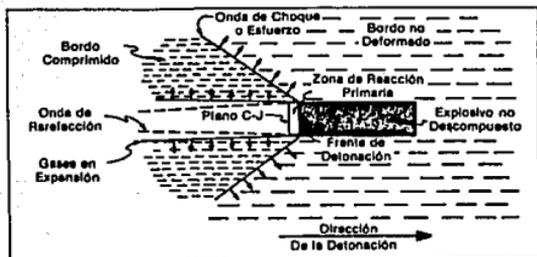


FIGURA 2-C ESTE DIBUJO MUESTRA UNA DETONACION EN UN MEDIO INCOMPRESIBLE COMO LA ROCA DURA Y MACIZA. NOTE COMO AUMENTA LA ZONA DE REACCION PRIMARIA.

SI EL BORDO CONFINANTE ES RELATIVAMENTE INCOMPRESIBLE (ROCA MACIZA DURA O CORAZA DE METAL PESADO) COMO EN LA FIG. 2-C LA ONDA ES MAS DEBIL Y UNA ZONA DE REACCION PRIMARIA MAS GRANDE A PRESION Y TEMPERATURA ALTAS MANTIENEN EL FRENTE DE CHOQUE. EL DIAMETRO MINIMO PARA DETONACION ESTABLE SERA OBIAMENTE MAS PEQUEÑO BAJO EL CONFINAMIENTO.

EFFECTO DE TEMPERATURA. DEPENDIENDO DEL TIPO DE EXPLOSIVOS, LOS CAMBIOS EN SU TEMPERATURA AFECTAN LA VELOCIDAD DEL EXPLOSIVO. UNA DISMINUCION EN LA TEMPERATURA -- DISMINUIRA LA SENSIBILIDAD DE CUALQUIER EXOLOSIVO. TÍPICAMENTE, EXOLOSIVOS QUE -- SON SOLIDOS A TEMPERATURAS NORMALES Y QUE CONTIENEN POCO O NINGUN LIQUIDO RARAMENTE SON AFECTADOS A LAS TEMPERATURAS BAJAS NORMALES. LA VELOCIDAD DE LOS EXPLO-- VOS QUE CONTIENEN ALGUNA CANTIDAD DE LIQUIDOS TALES COMO LOS HIDROGELES (WATER -- GELS), SE AFECTAN MAS POR LA TEMPERATURA, SIN EMBARGO SE PUEDEN CALCULAR FORMULA-- CIONES PARA MINIMIZAR ESTE EFECTO EN APLICACIONES PRACTICAS.

CEBADO. UN CEBADO ADECUADO ASEGURA QUE EL EXPLOSIVO ALCANZARA SU VELOCIDAD MAXIMA TAN RAPIDAMENTE COMO LE SEA POSIBLE, BAJO LAS CONDICIONES DE USO. UN CEBADO INADE-- CUADO PUEDE TENER COMO RESULTADO EL FRACASO DEL EXPLOSIVO PARA DETONAR, UN AUMENTO LENTO A LA VELOCIDAD FINAL, O UNA DETONACION DE ORDEN MAS BAJO (LA CUAL PUEDE LLEGAR A UNA DEFLAGRACION).

2.2.3. DENSIDAD

LA DENSIDAD DEL EXPLOSIVO ES UNA DE LAS PRIORIDADES MAS IMPORTANTES QUE DEBEN SER CONSIDERADAS CUANDO SE PROYECTA UNA VOLADURA. MEDIANTE EL CONOCIMIENTO DE LA DENSIDAD DEL EXPLOSIVO LOS OPERADORES DUEEN CALCULAR VOLADURAS DE CUALQUIER TAMAÑO CON FACTOR Y DISTRIBUCION DE CARGA ADECUADOS.

LA DENSIDAD DE LA MAYORIA DE LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES FLUCTUA DESDE UNA BAJA DE CERCA DE 0.8 g/cc HASTA UNA ALTA DE CERCA DE 1.6 g/cc. EXPLOSIVOS ENCARTUCHADOS - COMO LOS HIDROGELES "TOVEX", Y LAS DINAMITAS GENERALMENTE VARIAN EN DENSIDAD DES-- DE .90 g/cc HASTA 1.6 g/cc. ESTANDO LA MAYORIA DE ESTOS PRODUCTOS EN UNA DENSIDAD QUE FLUCTUA DESDE 1.10 HASTA 1.35 g/cc. DADO QUE LA DENSIDAD DEL AGUA ES DE 1.0 - g/cc, LOS PRODUCTOS CARGADOS DENTRO DEL BARRENO CONTENIENDO AGUA DEBEN TENER UNA DENSIDAD MAYOR QUE 1.0 g/cc PAR QUE SE HUNDAN.

UNA GUIA UTIL PARA PROYECTAR UNA VOLADURA ES EL SABER APROXIMADAMENTE CUANTOS KG. DE EXPLOSIVO SE CARGARAN EN UN METRO DE BARRENO. LA FIG. 2-D RELACIONA LA DENSI-- DAD DEL EXPLOSIVO EN g/cc Y EL DIAMETRO EN PULGADAS CON LAS LIBRAS DE EXPLOSIVO - POR PIE CARGADO DE BARRENO.

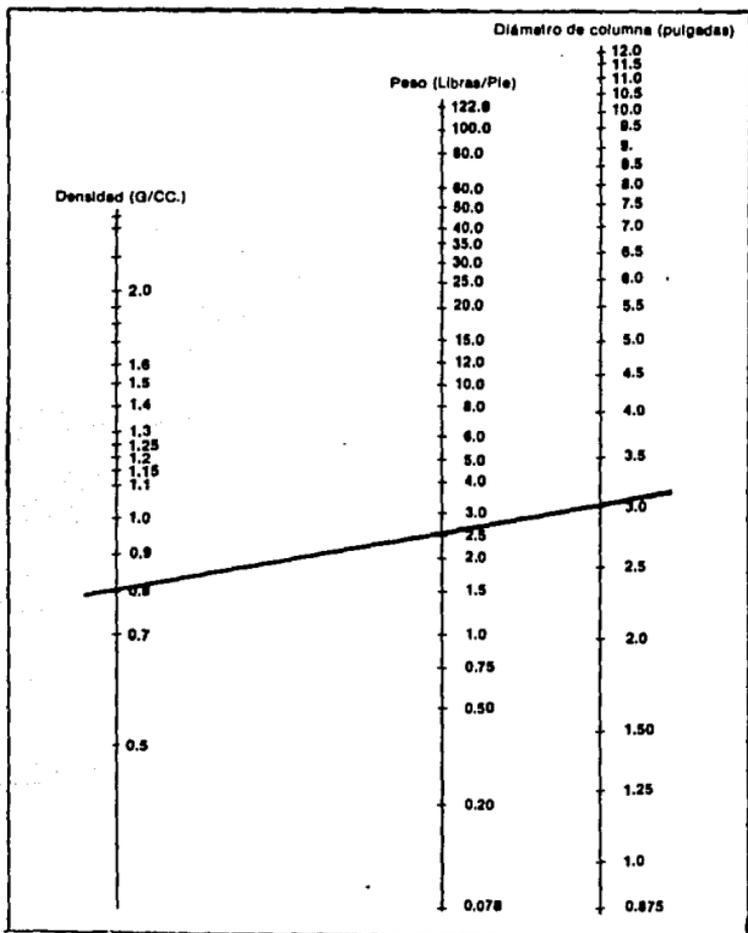


FIGURA 2-D AL USAR ESTE DIAGRAMA "EL DIAMETRO DE COLUMNA" EQUIVALE AL DIAMETRO DEL BARRENO PARA PRODUCTOS EXPLOSIVOS VACIADOS Y BOMBÉADOS. (PARA PRODUCTOS ENCARTUCHADOS, ESTIMÉSE EL DIAMETRO PROMEDIO DE LA COLUMNA DE EXPLOSIVO, BASADO EN EL DIAMETRO DEL CARTUCHO Y LA CANTIDAD DE ATADURA O ASENTAMIENTO). POR EJEMPLO: UNA LÍNEA TRAZADA A TRAVÉS DEL PUNTO 8gr/cc. (PARA ANFO) Y EL PUNTO DE 3 PULGADAS DE DIAMETRO DE LA COLUMNA, INTERSECTA LA LÍNEA DE "PESO" CERCA DEL PUNTO 2.5 LIBRAS/PIE.

2.2.4. PRESION DE DETONACION

CUANDO DETONA UN EXPLOSIVO, ESTA TREMENDA PRESION ES LIBERADA, PRACTICAMENTE EN FORMA INSTANTANEA, EN UNA ONDA DE CHOQUE, LA CUAL EXISTE SOLAMENTE UNA FRACCION DE SEGUNDO EN CUALQUIER LUGAR DADO. LA PRESION REPENTINA ENTONCES CREADA FRAGMENTARA EN LUGAR DE DESPLAZAR OBJETOS Y ES ACEPTADA GENERALMENTE COMO LA QUE DA A UN EXPLOSIVO UNA HABILIDAD LLAMADA PODER FRAGMENTADOR BRISANCE. ESTE PODER FRAGMENTADOR O EFECTO DE FRAGMENTACION DEPENDE DE LA BRUSQUEDAD CON LA QUE LOS PRODUCTOS GASEOSOS DE UN EXPLOSIVO SON LIBERADOS.

LA PRESION DE DETONACION ES ENA FUNCION DE LA DENSIDAD, LA VELOCIDAD DE DETONACION, Y DE LA VELOCIDAD DE PARTICULA DEL EXPLOSIVO. PARA EXPLOSIVOS CONDENSADOS, LA VELOCIDAD DE PARTICULA ES DE CERCA DE 1/4 DE LA VELOCIDAD DE DETONACION. LA PRESION DE DETONACION PUEDE SER CALCULADA EN FORMA APROXIMADA COMO SIGUE:

$$P = 2.5 D V^2 \times 10^{-6}$$

DE DONDE P= PRESION DE DETONACION (KILOBARS)

D= DENSIDAD (g/cc)

V= VELOCIDAD (METROS/SEGUNDO)

ESTA PRESION ES IMPORTANTE YA QUE ESTA RELACIONADA CON EL NIVEL DE ESFUERZO EN EL MATERIAL QUE VA A SER VOLADO, LO CUAL PUEDE SER UN FACTOR IMPORTANTE EN LA FRAGMENTACION. ES TAMBIEN IMPORTANTE EN EL CEBADO, PARA UNA INICIACION EFECTIVA Y CONFIABLE, EN QUE LA PRESION DE DETONACION DEL CEBO DE INICIACION DEBERA EXCEDER A LA PRESION DE DETONACION DE LA CARGA EXPLOSIVA PRINCIPAL.

LA PRESION DE DETONACION NO DEBERA CONFUNDIRSE CON LA PRESION DE EXPLOSION, LA CUAL ES LA PRESION DESPUES DE LA EXPANSION ADIABATICA QUE VUELVE AL VOLUMEN ORIGINAL DEL EXPLOSIVO.

2.2.5. ENERGIA - POTENCIA

EL TERMINO POTENCIA TRADICIONALMENTE ASOCIADO CON LAS MARCAS DE POTENCIA DE LOS DIFERENTES GRADOS DE DINAMITA, TIENE POCA CORRELACION CON LA EFECTIVIDAD DE UN EXPLOSIVO EN UNA VOLADURA, Y NO TIENE ENA RELACION SIGNIFICATIVA CON PRODUCTOS COMERCIALES MODERNOS, LOS PRODUCTOS ANFO, O LOS HIDROGELES.

EL PORCENTAJE DE NITROGLICERINA EN LA DINAMITA ERA USADO PARA DESCRIBIR LA POTEN

CIA DE LA DINAMITA. UNA DINAMITA QUE TENIA UN 40 % DE NITROGLICERINA POR PESO ERA LLAMADA UNA DINAMITA PURA DE 40%. EL DESEMPEÑO DE UN EXPLOSIVO NO ES DETERMINADO SIMPLEMENTE MEDIANTE EL CONOCIMIENTO DE LA ENERGIA TOTAL LIBERADA POR EL EXPLOSIVO. ESTO DEPENDE TAMBIEN DEL VALOR DE LIBERACION DE ENERGIA Y QUE Y QUE TAN EFECTIVAMENTE ES UTILIZADA LA ENERGIA EN FRAGMENTAR Y MOVER EL MATERIAL QUE ESTA SIENDO VOLADO. EN RESUMEN, TANTO LAS PROPIEDADES DEL EXPLOSIVO COMO LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL QUE ESTA SIENDO VOLADO, INFLUYEN EN LA EFECTIVIDAD DE UN EXPLOSIVO.

2.2.6. RESISTENCIA AL AGUA.

MAS ESPECIFICAMENTE LA RESISTENCIA AL AGUA ES EXPRESADA GENERALMENTE COMO EL NUMERO DE HORAS QUE UN PRODUCTO PUEDE ESTAR SUMERGIDO EN AGUA ESTATICA Y AUN SER DETENIDO CONFIABLEMENTE. LOS PRODUCTOS EXPLOSIVOS PENETRADOS POR AGUA RESULTAN PRIMERO PERJUDICADOS EN SU EFICIENCIA Y BAJO UNA PROLONGADA EXPOSICION O SEVERAS CONDICIONES DE AGUA, PUEDEN SER DESENSIBILIZADOS HASTA EL PUNTO EN EL CUAL NO DETONARAN.

LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES DIFIEREN AMPLIAMENTE EN SU HABILIDAD PARA RESISTIR EL EFECTO DE LA PENETRACION DEL AGUA. LAS MEZCLAS DE NITRATO DE AMONIO COMBUSTIBLE NO TIENEN RESISTENCIA INHERENTE AL AGUA. LOS PRODUCTOS ANFO EMPACADOS AL USARSE EN TRABAJO HUMEDO, DEPENDEN ENTERAMENTE EN SU EMPAQUE PARA RESISTIR LA PENETRACION DEL AGUA.

LOS HIDROGELES Y LAS DINAMITAS, TIENEN CIERTA HABILIDAD INHERENTE PARA RESISTIR LOS EFECTOS DEL AGUA. A PESAR DE ESTA INHERENTE RESISTENCIA AL AGUA, ALGUNAS CONDICIONES SEVERAS DE CAMPO PUEDEN DESENSIBILIZAR LOS PRODUCTOS. EL EMPAQUE MEJORA LA RESISTENCIA AL AGUA DEL PRODUCTO. ENTRE MAS PEQUEÑO SEA EL DIAMETRO DEL BARRENO, MAYOR SERA LA SUPERFICIE EXPUESTA AL AGUA EN RELACION AL VOLUMEN DEL EXPLOSIVO. COMO RESULTADO, LOS BARRENOS DE DIAMETRO MENOR TIENEN EL EFECTO DE REDUCIR LA RESISTENCIA AL AGUA DE UN PRODUCTO DADO.

EN RESUMEN, LAS CIFRAS DE RESISTENCIA AL AGUA DEBERAN SER USADAS SOLAMENTE COMO GUIAS, YA QUE LAS CONDICIONES DE CAMPO VARIAN. EN CONDICIONES DE AGUA SEVERAS, UN PRODUCTO RESISTENTE AL AGUA COMO "TOVEX" DEBERA SER CARGADO COMO VIENE EMPACADO Y DISPARADO TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE. BAJO ALGUNAS CONDICIONES SEVERAS, LAS CIFRAS PUBLICADAS SOBRE RESISTENCIA AL AGUA PUEDEN NO SER APLICABLES.

2.2.7. SENSIBILIDAD A LA INICIACION.

LA SENSIBILIDAD ES LA MEDIDA DE FACILIDAD DE INICIACION. HAY NUMEROSAS MEDIDAS DE SENSIBILIDAD.

SENSIBILIDAD AL FULMINANTE. ESTA NO SOLAMENTE SE CARACTERIZA POR LA FACILIDAD DE INICIACION DE UN EXPLOSIVO CON UN FULMINANTE, SINO TAMBIEN ES USADA PARA CLASIFICAR LOS PRODUCTOS. LA PRUEBA DE SENSIBILIDAD AL FULMINANTE Nº 8 ES LA PRUEBA ESTANDAR USADA POR LA INDUSTRIA DE EXPLOSIVOS. ESTA PRUEBA CONSISTE NORMALMENTE EN COLOCAR EL MATERIAL QUE VA A SER PROBADO EN UN ENVASE DE PAPEL DE UN CUARTO DE GALLON, CON 3 3/8 DE PULGADAS DE DIAMETRO INTERIOR POR 6 3/8 PULGADAS DE FONDO. LA MUESTRA ES EMPACADA DENTRO DEL ENVASE A LA MISMA DENSIDAD "COMO EMPACADA PARA EMBARQUE" HASTA LA PARTE SUPERIOR DE LA CAJA DE PAPEL. UN FULMINANTE DE PRUEBA DEL Nº 8 SE ENCAJA COMPLETAMENTE EN EL CENTRO DEL PRODUCTO, EL CUAL DEBERA ESTAR DE 70 a 75º F. UN FULMINANTE DE PRUEBA DEL Nº 8 ESTA DEFINIDO ESPECIFICAMENTE COMO AQUEL QUE CONTIENE DOS GRAMOS DE UNA MEZCLA DE 80% DE FULMINATO DE MERCURIO Y 20% DE CLORATO DE POTASIO, O UN FULMINANTE DE POTENCIA EQUIVALENTE. UN CORDON DETONANTE DE 50 GRANOS DE TRES PIES DE LONGITUD SE INSERTA DENTRO DEL PRODUCTO A TRAVEZ DEL FONDO DEL RECIPIENTE COMO UN TESTIGO DE INICIACION. LA FALLA DEL PRODUCTO AL SER INICIADO POR EL FULMINANTE ES EVIDENTE SI EL CORDON DETONANTE NO DETONO. PARA COMPARAR LA SENSIBILIDAD ENTRE DIFERENTES PRODUCTOS, SE UTILIZAN FULMINANTES DE DIFERENTES POTENCIAS EN LA MISMA FORMA.

PRUEBAS DE IMPACTO, FRICCIÓN Y CHOQUE. LA PRUEBA DE CAIDA ESTANDAR PARA LA DINAMITA CONSISTE EN DEJAR CAER UN PESO ESPECIFICADO DESDE UNA ALTURA VARIABLE EN PULGADAS HASTA QUE SE ALCANZA UNA DISTANCIA DE CAIDA A LA CUAL EL PRODUCTO (USUALMENTE UNA PORCIÓN DELGADA SOBRE UNA PLACA DE METAL) DETONA EL 50% DE LAS VECES. EL ANFO-P Y LOS HIDROGELES "TOVEX" HAN HECHO OBSOLETA A ESTE TIPO DE PRUEBA. CON ESTOS PRODUCTOS NO SE HAN OBTENIDO DETONACIONES DENTRO DE LOS LIMITES DEL PROCEDIMIENTO DE PRUEBA. DE HECHO HASTA AHORA NO SE HAN REGISTRADO DETONACIONES CON ESTOS PRODUCTOS CUANDO HAN ESTADO SUJETOS AL IMPACTO DE UN PESO DE 40 LIBRAS DESDE 15 PIES.

2.2.8. GASES TOXICOS

LOS GASES RESULTANTES DE LA DETONACION DE EXPLOSIVOS COMERCIALES Y AGENTES EXPLOSIVOS SON PRINCIPALMENTE BIOXIDO DE CARBONO, NITROGENO Y VAPOR. ESTOS SON, EN EL

SENTIDO ORDINARIO, NO TOXICOS. SIN EMBARGO, GASES VENENOSOS INCLUYENDO EL MONOXIDO DE CARBONO Y LOS OXIDOS DE NITROGENO, TAMBIEN RESULTAN DE CUALQUIER DETONACION. EN LA INDUSTRIA DE EXPLOSIVOS A ESTOS GASES TOXICOS SE LES LLAMA EMANACIONES. LOS GASES TOXICOS NO DEBEN SER CONFUNDIDOS CON HUMO, EL CUAL ESTA COMPUESTO PRINCIPALMENTE DE VAPOR Y DE LOS PRODUCTOS SOLIDOS DE COMBUSTION. AUN CUANDO EL HUMO NO ES TOXICO, LA EXPOSICION EXCESIVA AL HUMO, ESPECIALMENTE AQUEL PRODUCIDO POR LA DINAMITA, PUEDE CAUSAR SEVEROS DOLORES DE CABEZA Y DEBERA SER EVITADO.

LA DETONACION DE HIDROGELES "TOVEX" PRODUCE SIGNIFICATIVAMENTE MENOS HUMO QUE LA DINAMITA.

EN TRABAJO A CIELO ABIERTO LOS GASES TOXICOS USUALMENTE CAUSAN POCA PREOCUPACION SI PUEDEN SER RAPIDAMENTE DISPERSADOS POR EL MOVIMIENTO DEL AIRE, PERO EN TRABAJO BAJO TIERRA EL TIPO Y LA CANTIDAD DE EXPLOSIVO, LAS CONDICIONES DE VOLADURA, VENTILACION, Y OTROS FACTORES DEBEN SER CONSIDERADOS.

ALGUNOS FACTORES QUE INCREMENTAN LOS GASES TOXICOS SON LAS FORMULACIONES DEFICIENTES DE PRODUCTOS, CEBADOS INADECUADOS, INSUFICIENTE RESISTENCIA AL AGUA, FALTA DE CONFINAMIENTO, REACTIVIDAD DEL PRODUCTO CON LA ROCA U OTRO MATERIAL QUE ESTE SIENDO VOLADO, Y REACCION INCOMPLETA DEL PRODUCTO.

2.2.9. SENSIBILIDAD A LA PROPAGACION.

LA SENSIBILIDAD A LA PROPAGACION DE UN EXPLOSIVO ES UNA MEDIDA DE SU HABILIDAD PARA PROPAGARSE.

ALGUNOS TIPOS DE EXPLOSIVOS SON LO SUFICIENTEMENTE SENSIBLES DE TAL MANERA QUE SE PROPAGARAN ENTRE BARRENOS SOBRE DISTANCIAS CONSIDERABLES DEPENDIENDO DEL TIPO DE MATERIAL QUE VA A SER VOLADO, EL EXPLOSIVO, EL TAMANO DE LA CARGA, LA DISTANCIA ENTRE BARRENOS Y OTROS FACTORES, TALES COMO LA PRESENCIA DE AGUA. BAJO LA MAYORIA DE LAS CONDICIONES ES IMPORTANTE QUE LAS CARGAS INDIVIDUALES NO SE PROPAGUEN, Y QUE DETONEN INDEPENDIENTEMENTE CON INTERVALOS DE DEMORA PREDETERMINADOS COMO EN LA PROFUNDIZACION DE POZOS, ZANJEOS, TRABAJO DE ALCANTARILLADO, Y EN VOLADURAS SUBMARINAS CERCANAS A AREAS CONSTRUIDAS. EL ANFO-P Y LOS HIDROGELES "TOVEX" TIENEN UNA SIGNIFICATIVA REDUCCION EN LA TENDENCIA A PROPAGARSE ENTRE BARRENOS CUANDO SE LES COMPARA CON LA DINAMITA.

2.2.10. FLAMABILIDAD.

ESTA PROPIEDAD SE REFIERE A LA FACILIDAD CON LA CUAL UN EXPLOSIVO O AGENTE EXPLOSIVO PUEDE SER INICIADO MEDIANTE EL CALOR.

LOS HIDROGELES SON MAS DIFICILES DE INICIAR QUE LAS DINAMITAS Y EN MUCHOS CASOS - UNA FUENTE EXTERIOR DE FLAMA DEBE APLICARSE EN FORMA CONTINUA. AUN DESPUES DE QUE CASI TODA EL AGUA SE HA EVAPORADO POR ESTA FLAMA EXTERIOR, LOS HIDROGELES SOPORTAN LA COMBUSTION. LA MAYORIA DE LAS DINAMITAS SE INICIAN RAPIDAMENTE Y SE CONSUMEN VIOLENTAMENTE. ESTA FORMA DE QUEMARSE SE PUEDE TRANSFORMAR EN UNA DETONACION. TANTO LOS PRODUCTOS DE NITRATO DE AMONIO COMO LOS HIDROGELES "TOVEX" TIENEN UNA TENDENCIA MENOR A CONVERTIR LA COMBUSTION EN UNA DETONACION. LAS PRUEBAS DE COMBUSTION PARA SIMULAR CONDICIONES QUE SE PRESENTAN EN EL CAMPO HAN VARIADO DESDE LA COMBUSTION DE UNA SOLA CAJA DE EXPLOSIVOS HASTA UNA CARGA DE 10,000 LIBRAS DE "TOVEX" CONFINADO EN UN ACMIÓN. HASTA LA FECHA LOS HIDROGELES NO HAN DETONADO BAJO ESTAS CONDICIONES. ESTAS PRUEBAS HAN DEMOSTRADO QUE LOS HIDROGELES "TOVEX" TIENEN UN POTENCIAL SIGNIFICATIVAMENTE MENOR PARA DETONAR CUANDO ESTAN SUJETOS A FLAMA QUE EL QUE TIENEN LAS DINAMITAS, PERO DEBE DE ENFATIZARSE QUE ESTO ES SOLAMENTE UN MARGEN DE SEGURIDAD MAYOR Y NO IMPLICA QUE SE PUEDAN PERMITIR PRACTICAS INSEGURAS.

CAPITULO III

3. TIPOS DE EXPLOSIVOS

3.1 HIDROGELES (WATER GELS)

EN 1950 DU PONT INICIO UN PROGRAMA DE INVESTIGACION QUE PRETENDIA ELIMINAR A LA - NITROGLICERINA COMO UN INGREDIENTE BASICO EN EXPLOSIVOS ENCARTUCHADOS DE DIAMETRO PEQUEÑO. LA META ERA PROPORCIONAR PRODUCTOS EXPLOSIVOS QUE NO FUERAN UNICAMENTE - MAS SEGUROS EN SU FABRICACION, SINO TAMBIEN MAS SEGUROS AL TRANSPORTARLOS Y USAR- LOS. ESTE PROGRAMA HA CUMPLIDO CON UNA LINEA DE EXPLOSIVOS, LOS HIDROGELES LOS -- CUALES TIENEN UN DESEMPEÑO IGUAL O MEJOR QUE EL DE LA DINAMITA- SIENDO UNA LINEA DE PRODUCTO QUE OFRECE AL PERSONAL DE VOLADURAS UNA AMPLIA VARIEDAD DE ENERGIAS, VELOCIDADES, SENSIBILIDADES, Y OTRAS PROPIEDADES FISICAS. DESDE 1958 DU PONT FA-- BRICO HIDROGELES (WATER GELS) BAJO LA MARCA "TOVEX" PARA SER USADOS EN BARRENOS DE DIAMETRO GRANDE. HASTA LA DECADA DE 1960 SE DESARROLLO UN SENSIBILIZADOR, EN - EL CUAL SE PODRIA CONFIABLEMENTE DEPENDER PARA PROPORCIONAR UNA DETONACION EN BA-- RRENOS TAN PEQUEÑOS COMO DE UNA PULGADA DE DIAMETRO. LA RESPUESTA FUE UN PRODUCTO QUIMICO INDUSTRIAL LLAMADO NITRATO DE MONOMETILAMINA- MMAN.

ENTRE EL DESCUBRIMIENTO DEL SENSIBILIZADOR MMAN Y LA COMERCIALIZACION DE HIDROGE- LES "TOVEX", SE LLEVO A CABO UN EXTENSIVO TRABAJO DE DESARROLLO DEL PRODUCTO Y -- PRUEBAS DE CAMPO. EL RESULTADO: UNA LINEA COMPLETA DE PRODUCTOS EXPLOSIVOS VERDA- DERAMENTE MAS SEGUROS.

SEGURIDAD: PARA PROBAR QUE "TOVEX" ES MENOS SENSIBLE QUE LA DINAMITA A LA DETONA- CION ACCIDENTAL DEBIDO A UN IMPACTO, CHOQUE O FUEGO, DU PONT SUJETO SU NUEVO PRO- DUCTO A UNA SERIE DE PRUEBAS BASTANTE MAS RUDAS QUE CUALQUIER OTRA USADA CON ANTE- RIORIDAD. LAS PRUEBAS MENCIONADAS FUERON HECHAS UNICAMENTE PARA COMPARAR LA ACCI- ON DE "TOVEX" Y DE LA DINAMITA CUANDO SON SUJETAS A CONDICIONES DE PRUEBA SIMILAR ES. LAS PRUEBAS FUERON LLEVADAS A CABO MEDIANTE EL USO DE GRADOS DE "TOVEX" QUE SON SENSIBLES A LA INICIACION MEDIANTE UN FULMINANTE ELECTRICO ESTANDAR DEL Nº 6 TAMBIEN, EL DETAPRIME, EL CEBO DE INICIACION COMPAÑERO PARA GRADOS DE TOVEX NO -- SENSIBLES AL FULMINANTE, FUE SUJETO A LAS MISMAS PRUEBAS.

PRUEBA DE IMPACTO. EN LA PRUEBA ESTANDAR DONDE SE DEJA CAER UN OBJETO, LA MAYORIA DE LAS DINAMITAS DETONAN BAJO UN IMPACTO DE UNA PESA DE 4.4 LIBRAS DEJADA CAER - DE UNA ALTURA DE 15 PULGADAS. EN EL MISMO TIPO DE PRUEBA, "TOVEX" NO HA DETONADO

BAJO EL IMPACTO DE UNA PESA DE 11 LIBRAS A LA CAIDA MAXIMA DE 52 PULGADAS. PRUEBA DE CHOQUE. ES UN HECHO ACEPTADO QUE LAS DINAMITAS SENSIBILIZADAS CON NITRO GLICERINA DETONARAN AL IMPACTO DE BALA DE UN RIFLE. ESTO HA SIDO DRAMATICAMENTE DEMOSTRADO EN VARIAS OCASIONES CON RESULTADOS FATALES.

EL TOVEX FUE COLOCADO CONTRA UNA PLACA DE METAL Y UNA BALA .30-06 DE 150 GRANOS FUE DISPARADA A UNA VELOCIDAD DE 2,625 PIES POR SEGUNDO HACIA ESTA, DESDE UNA DISTANCIA DE 75 PIES. EL "TOVEX" SE HIZO PEDAZOS PERO NO DETONO. ESTO NO SIGNIFICA QUE ESTE PRODUCTO NO PUEDA SER DETONADO BAJO OTRAS CONDICIONES Y POR CHOQUES MAS SEVEROS, COMO EL DE BALAS A VELOCIDADES MAS ALTAS.

PRUEBA DE COMBUSTION. ES SABIDO QUE EL COMPORTAMIENTO DE LA DINAMITA ES IMPREDECIBLE CUANDO ESTA SUJETA A FUEGO Y A CALOR INTENSO.

PARA SIMULAR UN CONFINAMIENTO MAS SEVERO, MUESTRAS DE TOVEX FUERON ENCERRADAS EN UN CILINDRO DE ACERO, COMPLETAMENTE SELLADO EXEPTO POR UN PEQUEÑO AGUJERO DE DESAHOGO EN LA TAPA. DESPUES DE CINCO MINUTOS A CALOR INTENSO, EL TOVEX VAPORIZO -- DESFOGANDO LOS GASES COMO UN CHORRO DE PRESION A TRAVES DEL AGUJERO DE DESAHOGO, PERO NO DETONO. BAJO ESTAS MISMAS CONDICIONES, LA DINAMITA DETONO E HIZO PEDAZOS EL CILINDRO DE ACERO. EL TOVEX INCLUYE UN NUMERO DE VENTAJAS DE CAMPO EN ADICION AL REDUCIDO RIESGO DE DETONACION POR IMPACTO, CHOQUE O COMBUSTION.

ENTRE LAS MAS IMPORTANTES SE ENCUENTRAN:

- MAYOR CONTROL DE LA DENSIDAD DEL BARRENO. LA DENSIDAD DEL BARRENO DE TOVEX PUEDE SER SUBSTANCIALMENTE INCREMENTADA AL RAJAR O RETACAR LOS CARTUCHOS.
- FLXIBILIDAD MEJORADA EN LA CARGA. TECNICAS PARA AHORRAR TIEMPO Y TRABAJO, HAN SIDO INTRODUCIDAS PARA CARGAR HIDROGELES ENCAFTUCHADOS, BOMBEABLES Y LOS QUE SON VACIADOS.
- FRAGMENTACION EXELENTE.
- PELIGRO DE PROPAGACION DE BARRENO A BARRENO MINIMIZADO.
- REDUCCION DE HUMO Y DE GASES TOXICOS.
- ELIMINACION DE LOS DOLORES DE CABEZA PRODUCIDOS POR LA NITROGLICERINA.

COMPOSICION.. LOS HIDROGELES CONSISTEN EN SALES OXIDANTES, COMBUSTIBLES, Y SENSIBILIZADORES DISUELTOS O DISPERSOS EN UNA FASE LIQUIDA CONTINUA. LA MEZCLA ES INMEDIATAMENTE ESPESADA Y HECHA RESISTENTE AL AGUA MEDIANTE LA ADICION DE GELATINIZADORES Y AGENTES DE CRUCE-ESLABONADO. LAS SALES OXIDANTES SON USUALMENTE SELECCIONADAS DEL NITRATO DE AMONIO, NITRATO DE SODIO, O NITRATO DE CALCIO. EL ALUMINIO LA GILSONITA Y EL ACEITE SE USAN FRECUENTEMENTE COMO COMBUSTIBLES.

LA SENSIBILIZACION PUEDE SER PROPORCIONADA POR SENSIBILIZADORES QUIMICOS TALES CO

MO LAS SALES NITRICAS DE AMINAS ORGANICAS, ESTERES DE NITRATO DE ALCOHOLES, SALES DE PERCLORATO, O PARTICULAS PEQUEÑAS DE ALUMINIO. LA SENSIBILIZACION FISICA PUEDE SER PROPORCIONADA AL APRISIONAR BURBUJAS DE AIRE, YA SEA SOLAS O EN COMBINACION CON SENSIBILIZADORES QUIMICOS.

PROPIEDADES. ADEMAS DE LAS MEJORIAS EN LA SEGURIDAD, ALGUNAS PROPIEDADES IMPORTANTES DE LOS HIDROGELES INCLUYEN ENERGIA, DENSIDAD, VELOCIDAD, SENSIBILIDAD, Y RESISTENCIA AL AGUA. COMO CON CUALQUIER EXPLOSIVO, UN FACTOR AISLADO NO INDICA LA ADAPTABILIDAD DEL PRODUCTO PARA ALGUNA APLICACION DADA. TODAS LAS PROPIEDADES FISICAS DEBEN SER CONSIDERADAS COMO UNA UNIDAD INTRINSECA DEBIENDO CONSIDERARSE EN RELACION CON LAS OTRAS. NI SIQUIERA LA DENSIDAD O LA VELOCIDAD COMO PROPIEDADES INDIVIDUALES DETERMINAN LA UTILIDAD DEL EXPLOSIVO. CUANDO SE LES CONSIDERA JUNTAS PUEDEN SER USADAS PARA DETERMINAR UN VALOR APROXIMADO DE LA PRESION DE DETONACION Y COMO TAL LLEGAR A SER UNA HERRAMIENTA UTIL PARA DETERMINAR QUE HIDROGEL PRODUCIRA CON MAYOR ECONOMIA LOS RESULTADOS DESEADOS.

ENERGIA. LA ENERGIA ES EXPRESADA CON MAS FRECUENCIA EN TERMINOS DE CALORIAS/GRAMO PERO TAMBIEN PUEDE SER EXPRESADA POR PIE LIBRA/ LIBRA U OTRAS MODIFICACIONES DE ESTAS UNIDADES. PARA LOS HIDROGELES (WATWER GELS) LA ENERGIA DISPONIBLE PARA CONSUMO DIRECTO EN VOLADURAS VARIA CERCA DE 700 CAL/gr.

DENSIDAD. LAS DENSIDADES DE LOS HIDROGELES FLUCTUAN DESDE CERCA DE 0.80 g/cc. -- HASTA 1.60 g/cc. CON LA MAYORIA DE LAS GELATINAS TENIENDO UNA DENSIDAD ENTRE 1.10 g/cc. Y 1.35 g/cc. DEBIDO A QUE LOS HIDROGELES SE RETACAN MAS RAPIDAMENTE EN BARRENOS DE DIAMETRO PEQUEÑO Y ASENTADOS EN BARRENOS DE DIAMETRO MAS GRANDES, PUEDEN SER CARGADOS A UNA DENSIDAD DE BARRENO MAS ALTA QUE LA OBTENIDA NORMALMENTE CON LAS DINAMITAS MAS DENSAS. CON ESTE MAYOR CONTROL DE LA DENSIDAD DEL BARRENO, LAS PERSONAS QUE TRABAJAN EN VOLADURAS PUEDEN INCREMENTAR LA CARGA PARA VOLAR -- UNA BASE DE TALUD MUY DURA EN VOLADURAS EN CANTERAS O EXTENDER LOS PATRONES DE -- PERFORACION. CUANDO LOS CARTUCHOS SE CARGAN SIN HACERLES NINGUNA HENDEDURA, EL -- MISMO EMPAQUE DEL HIDROGEL ES LO SUFICIENTEMENTE RIGIDO PARA SOPORTAR UNA CARGA -- DE COLUMNA.

VELOCIDAD. LA VELOCIDAD DE DETONACION DE LA MAYORIA DE LOS HIDROGELES SE INCREMENTA CUANDO SU DIAMETRO Y GRADO DE CONFINAMIENTO AUMENTA. EN EL USO DE CAMPO ACTUAL LA VELOCIDAD DE DETONACION DEL HIDROGEL PUEDE SER MAYOR O MENOR QUE LA VELOCIDAD PUBLICADA, DEPENDIENDO DEL DIAMETRO Y CONFINAMIENTO. COMO EJEMPLO EL TOVEX 90 TIENE UNA VELOCIDAD DE 4,300 METROS/SEG. Y EL TOVEX EXTRA DE 5,700 METROS/SEG APROXIMADAMENTE.

SENSIBILIDAD. LO IDEAL EN UN EXPLOSIVO ES QUE SEA SENSIBLE A LA INICIACION MEDIANTE CEBOS DE INICIACION E INSENSIBLE A LA INICIACION ACCIDENTAL. UNA DE LAS VENTAJAS DE LOS HIDROGELES ES QUE SON CONFIABLEMENTE SENSIBLES A LOS METODOS DE CEBADO CONVENCIONALES, Y SIGNIFICATIVAMENTE MAS RESISTENTES QUE LA DINAMITA A LA INICIACION ACCIDENTAL DEBIDO A ABUSOS DE IMPACTO, CHOQUE O FUEGO. LOS HIDROGELES "TOVEX" INCLUYEN TANTO, PRODUCTOS SENSIBLES A FULMINANTES Y COMO NO SENSIBLES A EL. AUN LOS GRADOS DE "TOVEX" MAS SENSIBLES HAN HECHO OBSOLETAS CASI TODAS LAS PRUEBAS DE SEGURIDAD ESTANDAR, DEBIDO A QUE NO DETONAN AUN EN LOS LIMITES MAS ALTOS DE ESTAS PRUEBAS. CONSECUENTEMENTE, NUEVAS PRUEBAS PARA MEDIR EL POTENCIAL DE LOS HIDROGELES A DETONAR ACCIDENTALMENTE, ESTAN SIENDO DESARROLLADAS O HAN SIDO IMPLEMENTADAS. ES IMPORTANTE RECORDAR SIN EMBARGO QUE LOS HIDROGELES SON MATERIALES EXPLOSIVOS, EL MARGEN EXTRA DE SEGURIDAD QUE OFRECEN PUEDE SER REDUCIDO O ELIMINADO LA SENSIBILIDAD DE LOS HIDROGELES A SER INICIADOS ES AFECTADA POR LA TEMPERATURA DEL PRODUCTO, TEMPERATURAS ALTAS INCREMENTAN LA SENSIBILIDAD, MIENTRAS QUE MAS BAJAS DISMINUYEN ESTA.

RESISTENCIA AL AGUA. LA RESISTENCIA AL AGUA DE LOS HIDROGELES ES GENERALMENTE EXLENTE, PERO A SEMEJANZA DE LA DINAMITA ESTA RESISTENCIA PUEDE SER SIGNIFICATIVAMENTE DISMINUIDA SI EL PRODUCTO NO ES USADO EN LA FORMA ADECUADA. CUANDO ESTE EMPACADO, SU RESISTENCIA AL AGUA ES IGUAL O SUPERIOR A LA DINAMITA/GELATINA.

LA FASE LIQUIDA CONTINUA DEL HIDROGEL PUEDE SER ESPESADA CON GOMA GUAR O MEDIANTE MOLECULAS ORGANICAS DE CADENA LARGA. ESTOS ENGROSADORES SON ENTONCES ENLAZADOS FORMANDO LIGADURAS QUIMICAS ENTRE LAS CADENAS DE POLIMERO PARA FORMAR EL PRODUCTO GELATINOSO FINAL. ESTOS ENGROSADORES Y FORMADORES DE ES LABONES DETERMINAN LA CONSISTENCIA DEL HIDROGEL, YA SEA QUE ESTE TENGA UNA CONSISTENCIA A GRANEL O BOMBEEABLE COMO "POURVEX EXTRA" O UNA CONSISTENCIA FIRME Y DURA COMO EL "TOVEX" 200. LA CANTIDAD Y TIPO DE ENGROSADOR Y AGENTE DE ES LABONAMIENTO CONTROLAN LA RESISTENCIA AL AGUA Y LA CONSISTENCIA DEL PRODUCTO.

HIDROGELES ENCARTUCHADOS Y EN BOLSAS. SE USA EQUIPO SOFISTICADO PARA EMPACAR "TOVEX" EN CARTUCHOS TAN PEQUEÑOS COMO DE UNA PULGADA DE DIAMETRO. LA TEXTURA FINA DE ESTOS HIDROGELES ES FLEXIBLE PERO FIRME.

SE UTILIZAN VARIOS TIPOS DE EMPAQUE PARA FORMAR LOS CARTUCHOS "TOVEX" LA ELECCION DEL EMPAQUE Y DE SU GROSOR PARA PRODUCTOS INDIVIDUALES ESTA BASADA EN LAS CONDICIONES DE CARGA QUE EL PRODUCTO ENCONTRARA EN LAS APLICACIONES DE CAMPO.

LOS HIDROGELES ENCARTUCHADOS "TOVEX" 90 SON SENSIBLES AL FULMINANTE DEL Nº 6, DE DIAMETRO PEQUEÑO, CON UNA DENSIDAD DE 0.90 g/cc PARA SER USADOS EN MINERIA BAJO

TIERRA DONDE UNA CARGA LIGERA ES SUFICIENTE PARA ROMPER LA ROCA.

LOS HIDROGELES ENCARTUCHADOS DE DIAMETRO PEQUEÑO, SON SENSIBLES AL FULMINANTE Nº6 CON UNA DENSIDAD DE 1.10 g/cc Y ESTAN DISEÑADOS PARA SER USADOS EN MINERIA BAJO TIERRA Y TRABAJO A CIELO ABIERTO. AMBOS PRODUCTOS SON CEBOS DE INICIACION ADECUADOS PARA EL ANFO EN BARRENOS DE DIAMETRO PEQUEÑO.

EL "TOVEX" 100 HA DEMOSTRADO UN DESEMPEÑO EXELENTE EN FORMACIONES DE ROCA DE MEDIA A DURA Y ES CONSIDERADO UN REPLAZO EXELENTE PARA DINAMITAS AMONIACALES AL 40%. SU RESISTENCIA AL AGUA ES SUPERIOR A LA DE LAS DINAMITAS GELATINAS Y SEMIGELATINAS ESTANDAR.

EL "TOVEX" 200 CON SU ADITIVO DE ALUMINIO ES USADO EN EL VOLADO DE ROCA DURA DONDE EL DESPLAZAMIENTO DE LA REZAGA ES ESENCIAL PARA UN BUEN DESEMPEÑO.

EL HIDROGEL PERMISIBLE "TOVEX" 300 ES UN EXPLOSIVO ENCARTUCHADO DISEÑADO PARA USO EN MINAS DE CARBON SUBTERRANEAS. ESTE EXPLOSIVO HA PASADO TODAS LAS NORMAS REQUERIDAS PARA SU PERMISIBILIDAD. HA DEMOSTRADO SU VERSATILIDAD TANTO EN CORTE COMO EN VOLADURA DE SOLIDOS. SE EMPACA EN CARTUCHO AZUL DE ALTA VISIBILIDAD PARA PODER DISTINGUIRSE RAPIDAMENTE.

EL TOVEX 500 ES UN HIDROGEL NO SENSIBLE AL FULMINANTE, DE POTENCIA MEDIA, USADO EN CANTERAS Y CONSTRUCCION. SU DENSIDAD ES DE 1.23 g/cc.

EL "TOVEX" 650 ES UN HIDROGEL NO SENSIBLE AL FULMINANTE, DE ALTA POTENCIA Y DENSIDAD 1.35 g/cc DISEÑADO PARA DAR MEJOR FRAGMENTACION Y EL MAYOR DESPLAZAMIENTO EN LAS MAYORIA DE LAS FORMACIONES DE ROCA.

EL "TOVEX" 800 ES UN HIDROGEL SENSIBLE AL FULMINANTE Nº 6 DE ALTA ENERGIA, DENSIDAD Y VELOCIDAD MEDIA, DISEÑADO PARA LAS CONDICIONES DE VOLADURA MAS DIFICILES.

EL TOVEX T-1 ES UN HIDROGEL LARGO Y TUBULAR, DE DIAMETRO PEQUEÑO USADO EN EL PRECORTE EN LA MINERIA Y CONSTRUCCION. LA EXPERIENCIA DE CAMPO HA DEMOSTRADO QUE DA RESULTADOS DE PRE-CORTE EXELENTE, A LA VEZ QUE PERMITE INCREMENTAR CAPACIDADES DE CARGA Y REDUCIR LOS COSTOS DE TRABAJO.

EL "TOVEX" PRIMER ES UN HIDROGEL ENCARTUCHADO SENSIBLE AL FULMINANTE, DE ALTA ENERGIA, DISEÑADO PARA EL CEBADO DEL ANFO.

EL SISMOGEL ES UN HIDROGEL ENCARTUCHADO, DISEÑADO ESPECIFICAMENTE PARA EXPLORACION SISMOGRAFICA. ESTA DISEÑADO PARA PROPORCIONAR AL PERSONAL DE LAS BRIGADAS SISMICAS UNA FUENTE DE ENERGIA IGUAL A LA DE LOS MEJORES GRADOS DE DINAMITA. ES PARTICULARMENTE ADECUADO YA SEA PARA CARGAS REGULARES O DEJADAS ALGUN TIEMPO DENTRO DEL BARRENO POR SU GRAN RESISTENCIA AL AGUA Y SU RESISTENCIA A LA DESENSIBILIZACION A PRESIONES HIDROSTATICAS ALTAS.

EL "TOVEX" C ESTA DISEÑADO PARA VOLADURAS DE CANAL O VOLADURA SECUNDARIA, ESTA EMPACADO EN UN EMPAQUE MOLDEABLE Y SE AMOLDA BIEN A LA FORMA DE LA ROCA QUE VA A SER VOLADA. LA BAJA SENSIBILIDAD A LA DETONACION ACCIDENTAL DEBIDO A UN IMPACTO Y SU ALTO GRADO DE FRAGMENTACION LO HACEN IDEAL PARA VOLADURAS DE CANAL. PUEDE SER INICIADO POR UN FULMINANTE Nº 6 O POR VUELTAS DE CORDON DETONANTE.

EL "TOVEX" EXTRA ES UN HIDROGEL DE ALTA DENSIDAD, ALTA VELOCIDAD, Y RESISTENCIA AL AGUA, DISEÑADO PARA VOLADURAS EN CONDICIONES MUY DIFICILES. NO ES SENSIBLE AL FULMINANTE Y REQUIERE UN CEBEO DE INICIACION DE ALTA PRESION DE DETONACION COMO EL DETOMEX.

EL "POURVEX EXTRA" NO ES SENSIBLE AL FULMINANTE, ES UN HIDROGEL QUE PUEDE SER YA VACIADO DENTRO DEL BARRENO. TIENE UNA DENSIDAD DE 1.33 g/cc Y UNA VELOCIDAD QUE FLUCTUA DESDE 15,000 a 18,000 PIES POR SEGUNDO (4,570 a 5,485 METROS POR SEGUNDO) SE DESEMPEÑA BIEN DONDE LA ROCA O EL MINERAL ES MACIZO Y TIENE UNA VELOCIDAD ALTA VELOCIDAD SONICA. HA TENIDO GRAN EXITO AL ELIMINAR PROBLEMAS DE BASE DE TALUD O FONDO DE BARRENO EN VOLADURAS DE CANTERAS.

EL "DRIVEX" ES UN HIDROGEL QUE PUEDE SER BOMBEADO DENTRO DE BARRENOS VERTICALES O DE DECLIVE DESENDENTE. EL COMPLETO ACOPLAMIENTO DE EXPLOSIVO A LA ROCA Y LAS CARACTERISTICAS DE ALTA DENSIDAD SON RESPONSABLES DEL EXELENTE DESEMPEÑO EN LAS VOLADURAS, PARTICULARMENTE EN TRABAJOS DE POZO Y BAJO TIERRA CON BARRENOS DE DIAMETRO PEQUEÑO.

SE FABRICAN HIDROGELES "TOVEX" EN VARIAS POTENCIAS, DENSIDADES, VELOCIDADES, Y TAMAÑOS. ADEMAS DE LOS PRODUCTOS ESTANDAR QUE SE HAN DESCRITO, UN NUMERO DE PRODUCTOS ESPECIALES SON ELABORADOS PARA APLICACIONES PARTICULARES.

HIDROGELES (WATER GELS)

PRODUCTO DE DU PONT	DENSIDAD g/cc	VELOCIDAD		RESISTENCIA AL AGUA	SENSIBILIDAD AL FULMINANTE
		PIES/SEG.	MTS/SEG		
TOVEX 90	0.90	14,1000	4,300	BUENA	SI
TOVEX 100	1.10	14,760	4,500	EXELENTE	SI
TOVEX 200	1.10	15,750	4,800	EXELENTE	SI
TOVEX 300	1.02	11,150	3,400	BUENA	SI
TOVEX 500	1.23	14,100	4,300	EXELENTE	NO
TOVEX 650	1.35	14,750	4,500	EXELENTE	NO
TOVEX 700	1.20	15,750	4,800	EXELENTE	SI
TOVEX 800	1.20	15,750	4,800	EXELENTE	SI
TOVEX P	1.10	15,750	4,800	EXELENTE	SI
TOVEX S	1.38	15,700	4,800	EXELENTE	EST.SSS
TOVEX EXTRA	1.33	18,700	5,700	EXELENTE	NO
POURVEX EX.	1.33	16,000	4,900	EXELENTE	NO
DRIVEX	1.25	17,300	5,300	EXELENTE	NO

LA SENSIBILIDAD AL FULMINANTE VARIA CON LA TEMPERATURA.

3.2. DINAMITAS.

LA DINAMITA SE HA DESEMPEÑADO ADMIRABLEMENTE DURANTE LOS ULTIMOS 100 AÑOS COMO SO PORTE DE LA INDUSTRIA DE LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES.

EL PRINCIPAL DEFECTO DE LA DINAMITA ES SU CONTENIDO DE NITROGLICERINA, QUE LA HA-CE PELIGROSA DE FABRICAR, TRANSPORTAR Y USAR.

ESTE CAPITULO SE INCLUYE EN ESTA TESIS, PARA TENER UNA INFORMACION COMPLETA DE TÓ DOS LOS EXPLOSIVOS QUE SE HAN USADO Y SOBRE TODO DE LA DINAMITA QUE FUE Y SIGUE SIENDO TAN IMPORTANTE EN ESTE DESARROLLO.

LA PRIMERA DINAMITA RESULTO CUANDO ALFREDO NOVEL DESCUBRIO QUE CANTIDADES RELATI-VAMENTE GRANDES DE NITROGLICERINA (NG) PODIAN SER ABSORBIDAS POR LA DIATOMITA LO QUE LAS HACIA MAS SEGURAS DE TRANSPORTAR Y USAR. AL PASO DE LOS AÑOS DIFERENTES - PORCENTAJES DE NITROGLICERINA Y MATERIALES DIVERSOS HAN SIDO MEZCLADOS PARA PRODU CIR VARIOS TIPOS Y GRADOS DE DINAMITAS. LAS DINAMITAS MODERNAS PUEDEN DEFINIRSE COMO MEZCLAS SENSIBLES AL FULMINANTE, LAS CUALES CONTIENEN NITROGLICERINA (O NI--TROALMIDON) YA SEA COMO SENSIBILIZADOR O COMO EL PRINCIPAL MEDIO PARA DESARROLLAR ENERGIA, Y LA CUAL, CUANDO ES INICIADA APROPIADAMENTE, SE DESCOMPONE A LA VELOCI-DAD DE DETONACION.

CUANDO SE SELECCIONA UNA DINAMITA PARA CUALQUIER PROPOSITO ESPECIFICO, ESPECIAL--MENTE PARA USO BAJO TIERRA, UN NUMERO DE FACTORES DEBEN SER CONSIDERADOS. LOS MAS IMPORTANTES SON: EL MATERIAL QUE VA A SER VOLADO, SU DENSIDAD, DUREZA, RESISTEN--CIA, FIABILIDAD, ETC. EL GRADO DE FRAGMENTACION DESEADO, LA HUMEDAD O LA RESEQUE-DAD DE LOS BARRENOS, LA CANTIDAD DE VENTILACION EN LUGARES DE TRABAJO BAJO TIERRA Y LA PRESENCIA DE GASES COMBUSTIBLES O POLVO. CADA VOLADURA PRESENTA ALGUNA VARIE-DAD DE ESTAS CONDICIONES, Y POR LO TANTO UNA DINAMITA CON LA ADECUADA COMBINACION DE PROPIEDADES, Y CON EL EMPAQUE APROPIADO, DEBERA DE ESCOGERSE.

EMPAQUE. LAS DINAMITAS SE EMPACAN EN CARTUCHOS CILINDRICOS DE DIAMETRO DE 7/8 DE PULGADA Y MAYORES, CON LONGITUDES QUE VARIAN DESDE 8 O 24 PULGADAS. VARIAS PROTEC-CIONES DE PAPEL O ENVOLTURAS SE USAN PARA EMPACARLAS Y PROTEGERLAS DE LA HUMEDAD EL PORCENTAJA DE PESO TOTAL Y TIPO DE ENVOLTURA TIENEN UNA INFLUENCIA IMPORTANTE EN LA PRODUCCION DE GASES TOXICOS, EN LA RESISTENCIA AL AGUA, Y EN LA CAPACIDAD - DE ATACADO Y CARGADO.

ALMACENAMIENTO. LAS DINAMITAS DEBEN SER MANEJADAS Y ALMACENADAS DE ACUERDO CON -- LOS REGLAMENTOS FEDERALES, ESTATALES Y LOCALES. LAS EXISTENCIAS MAS VIEJAS DEBE-RAN DE SER USADAS PRIMERO. LAS DINAMITAS QUE EMPIEZAN A DETERIORAR CUANDO LA NI--TROGLICERINA TIENE FUGAS SOBRE LA ENVOLTURA EXTERIOR DEBERAN DESTRUIRSE..

TIPOS DE DINAMITA. HAY TRES TIPOS BASICOS DE DINAMITA: GRANULADOS, SEMIGELATINAS Y GELATINAS. LA DIFERENCIA BASICA ES QUE LAS DINAMITAS GELATINAS Y SEMIGELATINAS CONTIENEN NITRO-ALGODON, UN NITRATO CELULOSO QUE SE COMBINA CON LA NITROGLICERINA PARA FORMAR UNA GELATINA COHESIVA. LA VISCOSIDAD DE ESTE PRODUCTO DEPENDE DEL PORCENTAJE DE NITRO-ALGODON. LAS DINAMITAS GRANULARES POR OTRA PARTE, NO LO CONTIENEN Y TIENEN UNA TEXTURA GRANULOSA. EN ADICION A ESTA CLASIFICACION, LAS DINAMITAS DIFIEREN TAMBIEN EN LOS MATERIALES USADOS PARA PROPORCIONAR SU PRINCIPAL FUENTE DE ENERGIA. EN LAS DINAMITAS "PURAS" LA NG ES LA PRINCIPAL FUENTE DE ENERGIA AUMENTADA POR LA REACCION DE VARIOS ABSORBENTES ACTIVOS LLAMADOS "MATERIALES ABSORBENTES". LOS MAS NOTABLES DE ESTOS SON EL NITRATO DE SODIO Y COMBUSTIBLES CARBONOSOS. EN LAS DINAMITAS AMONIACALES, FRECUENTEMENTE REFERIDAS COMO DINAMITAS "EXTRA", EL NITRATO DE AMONIO REEMPLAZA UNA GRAN PORCION DE LA NG PARA DAR UN PRODUCTO MAS BARATO Y MAS RESISTENTE AL IMPACTO. EN LAS DINAMITAS AMONIACALES EL NITRATO DE AMONIO ES LA PRINCIPAL FUENTE DE ENERGIA Y LA NG SIRVE PRINCIPALMENTE COMO SENSIBILIZADOR.

3.2.1. DINAMITA GRANULAR.

LA DIATOMITA ABSORBIO HASTA TRES VECES SU PROPIO PESO DE NG, Y PROPORCIONO UN METODO CONVENIENTE PARA TRANSPORTAR Y USAR LA NG. LA DIATOMITA NO CONTRIBUIA A LA ENERGIA DEL EXPLOSIVO, PERO SI ABSORBIA CALOR Y SE SUSTRAYA DE ESTA. POR LO TANTO, LO REMPLAZO CON INGREDIENTES ACTIVOS, TALES COMO EL NITRATO DE SODIO, UN AGENTE OXIDANTE, Y PULPA DE MADERA, UN COMBUSTIBLE CARBONOSO ABSORBENTE. EN ESTAS DINAMITAS LA ENERGIA SE DERIVA NO SOLAMENTE DE LA NG, TAMBIEN EN PARTE DE LA REACCION DEL NITRATO DE SODIO CON LOS COMBUSTIBLES.

EN LAS DINAMITAS GRANULARES PURAS EL PORCENTAJE DE NG DESCRIBIA EL GRADO. POR EJEMPLO, LA DINAMITA CON UN 50% DE NG ERA LLAMADA DINAMITA PURA DE 50%. SE FABRICO EN GRADOS DE POTENCIA DESDE 20 HASTA 60 POR CIENTO.

ESTOS GRADOS DE DINAMITA GRANULAR "PURA" TENIAN APROXIMADAMENTE LA MISMA ENERGIA QUE LA POLVORA NEGRA, PERO SU DESEMPEÑO ERA BASTANTE SUPERIOR DEBIDO A QUE DETONABAN CONSISTENTEMENTE A VELOCIDADES MAS ALTAS. PERO EL RELATIVO ALTO COSTO Y LA SENSIBILIDAD AL CHOQUE Y LA FRICCIÓN, LOS GASES TOXICOS NOCIVOS, Y UNA MUY ALTA FLAMABILIDAD LIMITARON EL USO DE LAS DINAMITAS GRANULARES "PURAS" PARA VOLADURAS EN GENERAL, DESPUES DE LA INTRODUCCION DE LAS DINAMITAS "AMONIACALES". LA DINAMITA DE ZANJE, UNA DINAMITA "PURA" DE 50% FUE LA ULTIMA DINAMITA "PURA".

DINAMITAS GRANULARES-AMONIACALES. TAMBIEN CONOCIDAS COMO DINAMITAS "EXTRA", SON - DINAMITAS EN LAS CUALES LA FUENTE PRIMARIA DE ENERGIA SE DERIVA DE LA REACCION DE LOS NITRATOS DE AMONIO Y DE SODIO CON VARIOS COMBUSTIBLES. LA NG CONTRIBUYE A LA ENERGIA DEL EXPLOSIVO, PERO ES PRIMORDIALMENTE UN SENSIBILIZADOR QUE ASEGURA LA - REACCION COMPLETA DE LA MEZCLA DE NITRATOS Y COMBUSTIBLES. CONSECUENTEMENTE EN ES - TAS DINAMITAS EN NITRATO DE AMONIO, CON UNA ENERGIA EXPLOSIVA DE APROXIMADAMENTE EL 70% DE LA NG, REEMPLAZA A LA NG COMO UNA FUENTE DE ENERGIA PRIMARIA. COMPARADAS CON LAS DINAMITAS GRANULARES "PURAS", SON GENERALMENTE MAS BAJAS EN VE - LOCIDAD Y ENERGIA, MENOS RESISTENTES AL AGUA, MNOS SENSITIVAS AL CHOQUE Y LA FRIC - CION, MENOS FLAMABLES, Y CONSIDERABLEMENTE MAS ECONOMICAS.

3.2.2. DINAMITAS SEMIGELATINAS.

LAS DINAMITAS SEMIGELATINAS SON DINAMITAS AMONIACALES QUE CONTIENEN UNA PEQUEÑA - CANTIDAD DE NITRO-ALGODON COMO AGENTE GELATINOSO. NO HAY DINAMITAS SEMIGELATINAS PURAS. GENERALMENTE, LAS DINAMITAS SEMIGELATINAS TIENEN PORCENTAJES MAS ALTOS DE NG QUE LAS DINAMITAS GRANULARES. COMBINADO EL NITRO-ALGODON Y LA NITROGLICERINA - PARA FORMAR UN GEL, ESTOS PRODUCTOS TIENEN MEJOR RESISTENCIA AL AGUA Y UNA TEXTU - RA MAS COHESIVA Y SEMIGELATINOSA QUE LAS DINAMITAS GRANULARES.

ADEMAS LAS SEMIGELATINAS GENERALMENTE TIENEN UNA VELOCIDAD LIGERAMENTE MAS ALTA - QUE LAS DINAMITAS GRANULARES CON IGUALES MARCAS DE POTENCIA.

LOS GRADOS "GELEX", SERIE DE SEMIGELATINAS DE DU PONT, VARIABAN EN VELOCIDAD, DEN - SIDAD, Y RESISTENCIA AL AGUA. DEBIDO A UNA BUENA RESISTENCIA AL AGUA, DE GENERA - CION BAJA DE GASES TOXICOS, Y CONSISTENCIA COHESIVA, LA "GELEX" FUE POPULAR EN MI - NERIA BAJO TIERRA Y EN VOLADURAS EN CANTERAS.

LA "RED ARROW", DESARROLLADA EN AÑOS MAS RECIENTES, FUE UNA DINAMITA SEMIGELATINA EN DIAMETROS PEQUEÑOS. ESTA DINAMITA PARA TODOS LOS USOS REEMPLAZO A LA MAYORIA - DE LAS OTRAS SEMIGELATINAS Y GRADOS DE DINAMITA AMONIAL DEBIDO A SU DESEMPEÑO, RESISTENCIA AL AGUA, Y ECONOMIA

"TRIMTEX" FUE DINAMITA AMONIAL SEMIGELATINA (7/8 DE PULGADA DE DIAMETRO POR 24 PULGADAS DE LONGITUD) QUE SE USO EN PRECORTES Y EN OTRAS TECNICAS DE VOLADURA CON TROLADA.

3.2.3. DINAMITAS GELATINAS.

HAY DOS TIPOS DE DINAMITAS GELATINAS: (1) DINAMITAS GELATINA PURA, Y (2) DINAMITA GELATINA AMONIACAL. EN GENERAL, LAS DINAMITAS GELATINAS USAN NITRO-ALGODON EN LUGAR DE MATERIAL ABSORBENTE ACTIVO PARA RETENER LA NG Y PARA MANTENER LA CONSISTENCIA DEL PRODUCTO. POR LO TANTO, TIENEN UN CONTENIDO DE NG Y DE NITRO-ALGODON MAS ALTO QUE LAS SEMIGELATINAS Y SATISFACEN LA NECESIDAD DE UNA DINAMITA MAS GELATINOSA, DE MAYOR RESISTENCIA AL AGUA CON UNA VELOCIDAD MAS ALTA. LA CONSISTENCIA DEL PRODUCTO VARIA DESDE UN GEL BLANDO HASTA UNO DURO DE CONSISTENCIA SIMILAR AL CAUCHO, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE NITRO-ALGODON QUE CONTENGAN.

LAS GELATINAS PURAS FUERON INTRODUCIDAS POCOS AÑOS DESPUES DE LAS DINAMITAS GRANULARES PURAS. LA FORMA ORIGINAL ERA LA "GELATINA EXPLOSIVA" (91% DE NG, 8% DE NITRO-ALGODON, Y 1% DE GIS), LA CUAL ERA CARA Y TENIA UNA VELOCIDAD EXCESIVAMENTE ALTA PARA VOLADURAS DE ROCA. FUE RAPIDAMENTE REEMPLAZADA POR UNA SERIE DE GELATINAS PURAS CON POTENCIAS GRADUADAS COMPARABLES A LAS DE LAS DINAMITAS PURAS EN LA SERIE GRANULAR. LAS GELATINAS AMONIACALES REEMPLAZARON A LAS GELATINAS PURAS, POR LAS MISMAS RAZONES QUE LAS DINAMITAS GRANULARES-AMONIACALES REEMPLAZARON A LAS DINAMITAS GRANULARES-PURAS; SEGURIDAD Y ECONOMIA.

DINAMITAS GELATINAS-PURAS. ESTA SERIE CONTIENE NG Y NITRO-ALGODON COMO LOS UNICOS INGREDIENTES EXPLOSIVOS Y NITRATO DE SODIO CON OTROS MATERIALES ABSORBENTES. LAS DINAMITAS GELATINAS-PURAS, LAS CUALES CORRESPONDEN A LAS DINAMITAS GRANULARES-PURAS VARIAN EN POTENCIA DESDE UN 20% A UN 90%. ESTOS EXPLOSIVOS DENSOS, PLASTICOS, COHESIVOS, Y ALTAMENTE RESISTENTES AL AGUA SE USAN PARA VOLADURAS DE ROCA MUY DURA Y RESISTENTE. LA CONSISTENTE SENSIBILIDAD, ALTA VELOCIDAD, Y DESEMPEÑO DE LAS GELATINAS DEPENDE DEL AIRE ATRAPADO EN EL GEL. ESTE AIRE ATRAPADO SE DESARROLLA DURANTE EL PROCESO DE MEZCLADO EN LA FABRICACION. SI EL AIRE ATRAPADO SE PIERDE BAJA PRESION O DURANTE UN LARGO ALMACENAJE, LA VELOCIDAD DE LA DINAMITA GELATINA PUEDE REDUCIRSE Y VARIAR SOBRE UN MARGEN BASTANTE AMPLIO.

DINAMITAS GELATINAS-AMONIACALES. ESTAS DINAMITAS DIFIEREN DE LAS GELATINAS PURAS EN QUE UNA PORCION DE LA POTENCIA SE DERIVA DEL NITRATO DE AMONIO. LAS GELATINAS AMONIACALES DE DU PONT FUERON ETIQUETADAS COMO "SPECIAL GELATIN". (GELATINAS ESPECIALES). UNA VEZ FABRICADAS EN GRADOS DESDE 25% HASTA 80% DE POTENCIA, ERAN EQUIVALENTES A LAS GELATINAS PURAS EN TODOS ASPECTOS, EXCEPTO QUE ERAN ALGO MAS BAJAS EN VELOCIDAD Y MENOS RESISTENTES AL AGUA.

PERMISIBLES. LAS DINAMITAS DESIGNADAS COMO PERMISIBLES SON AQUELLAS QUE HAN SIDO PROBADAS Y APROBADAS PARA SER USADAS EN MINAS DE CARBON BAJO TIERRA. DEBEN DE ALMACENARSE Y UTILIZARSE DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES ESTABLECIDAS POR LA OFICINA DE MINAS.

TODOS LOS EXPLOSIVOS CUANDO SON DISPARADOS DAN UNA FLAMA QUE VARIA EN VOLUMEN, DURACION, Y TEMPERATURA. LAS DINAMITAS PERMISIBLES SON DINAMITAS AMONIACALES, YA SEAN DEL TIPO GRANULAR O GELATINA, QUE TIENEN UN ADITIVO REPRESIVO DE FLAMA, COMO EL CLORURO DE SODIO, EL CUAL REDUCE EL VOLUMEN, LA DURACION Y TEMPERATURA DE LA FLAMA DE LA EXPLOSION. ESTAN DISEÑADOS PARA MINIMIZAR LA PROBABILIDAD DE UNA IGNICION DE GAS O POLVO EN LAS CONDICIONES DE UNA MINA DE CARBON BAJO TIERRA. LOS EXPLOSIVOS PERMISIBLES, PARTICULARMENTE LOS GRADOS DE BAJA VELOCIDAD, ABSORBEN LA HUMEDAD RAPIDAMENTE, Y COMO RESULTADO SE DETERIORAN.

DINAMITAS

	TIPO	NOMBRE DEL PRODUCTO	DENSIDAD GRAMOS/CC	VELOCIDAD PIES/SEG. MTS/SEG.		RESISTENCIA AL AGUA
C-100	DINAMITA PURA	ZANJEO 50%	1.37	16,100	4,900	BUENA
	DINAMITA AMONIAL	HI CAP RED ARROW	1.16 1.29	9,000 13,200	2,750 4,000	FAVORABLE MUY BUENA
C-100	DINAMITA AMONIAL	RED ARROW (SMALL DIA)	1.29	13,200	4,000	MUY BUENA MUY BUENA MUY BUENA BUENA
		GELEX 1	1.29	13,100	4,000	
		GELEX 2	1.16	12,600	3,850	
		GELEX 5	0.94	11,300	3,450	
C-100	DINAMITA PURA	SEISMOGRAPH HI-VELOCITY GELATIN 60%	1.32	19,700	6,000	BUENA
	DINAMITA AMONIAL	HI DRIVE	1.26	19,500	6,000	EXELENTE
		SPEC. GEL 40	1.57	14,400	4,390	EXELENTE
		SPEC. GEL 60	1.44	15,400	4,690	EXELENTE
		TOVAL	1.60	13,100	4,000	BUENA
C-100	GRANULAR AMONIAL	MONOBEL AA	1.15	9,000	2,750	MUY BUENA
		DOUBEL A	1.02	9,200	2,800	BUENA
		DOUBEL B	0.94	9,000	2,750	BUENA
		DOUBEL C	0.86	8,500	2,600	BUENA
		LUMP COAL CC	0.85	5,700	1,740	MUY DEFICIENTE
	GELATINA AMONIAL	GLOBEL AA	1.37	16,500	5,030	EXELENTE

3.3. ANFO.

EL NITRATO DE AMONIO ES UN INGREDIENTE ESENCIAL EN CASI TODOS LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES, INCLUYENDO A LA DINAMITA Y A LOS HIDROGELES. SU USO PREDOMINANTE ES EN LA FORMA DE GRANULOS DE NA.

DESDE SU INTRODUCCION EN 1950, LOS PRODUCTOS ANFO HAN ENCONTRADO UN USO EXTENSIVO EN UNA GRAN VARIEDAD DE APLICACIONES PARA VOLADURAS TALES COMO MINERIA DE CARBON DE SUPERFICIE, MINERIA DE METALES, CANTERAS Y CONSTRUCCIONES. SU POPULARIDAD SE HA INCREMENTADO DEBIDO A SU ECONOMIA Y CONVENIENCIA. SUS LIMITACIONES-NO TIENE RESISTENCIA AL AGUA Y BAJA DENSIDAD DEL PRODUCTO- DEBEN DE CONSIDERARSE COMO DEFICIENCIAS DEL PRODUCTO, PREVIO A LA INTRODUCCION DEL ANFO, AL SISTEMA DE VOLADURAS. EL PRODUCTO ANFO MAS AMPLIAMENTE USADO ES UNA MEZCLA A GRANEL BALANCEADO EN OXIGENO, DE CERCA DE 94% DE GRANULOS DE NITRATO DE AMONIO Y DE UN 6% DE ACEITECOMBUSTIBLE DIESEL DEL Nº 2. OTROS PRODUCTOS DE ANFO SON MODIFICACIONES DE ESTA FORMULA DE ANFO BASICA EN LA CUAL: (1) SUSTANCIAS TALES COMO EL ALUMINIO O EL CARBON SON USADAS EN LUGAR DEL ACEITE COMBUSTIBLE Nº 2; (2) LOS GRANULOS DEL ANFO SON COMPRIMIDOS, Y (3) EL PRODUCTO DE ANFO EMPACADO EN UN MATERIAL QUE RESISTE AL AGUA PARA USARLO EN BARRENOS HUMEDOS.

ESTAS MEZCLAS DIFERENTES SON EN ALGUNAS OCACIONES MENCIONADAS COMO NITR-CARBONITRATOS (NCN) O AGENTES EXPLOSIVOS DE BAJA DENSIDAD.

3.3.1. EL GRANULADO EXPLOSIVO DE NITRATO DE AMONIO.

LA PRODUCCION DE LOS GRANULOS DE NITRATO DE AMONIO ES UN PROCESO DE MULTIPLES PASOS QUE CON GRAN FRECUENCIA SE INICIAN CON GAS NATURAL Y AIRE. EL PUNTO FINAL DE ESTE PROCESO IMPLICA EL ROCIAR UNA SOLUCION DE NA CONCENTRADO DESDE LA PARTE SUPERIOR DE LA TORRE DE GRANULADO. DURANTE LA CAIDA LIBRE DESDE 100 o 200 PIES, LAS GOTITAS DE NA SE SOLIDIFICAN EN LAS PARTICULAS ESFERICAS. ESTOS GRANULOS SON ENFRIADOS, SECADOS Y REVESTIDOS CON AGENTES ANTIAGLUTINANTES PREVIO A SU EMPAQUE. DENSIDAD. LOS GRANULOS MAS APROPIADOS PARA PRODUCTOS EXPLOSIVOS TIENEN UNA DENSIDAD DE PARTICULA EN EL RANGO DE 1.40 a 1.50 gr/cc. LOS GRANULADOS DE NA CON DENSIDAD DE PARTICULA ACERCANDOSE A LA DENSIDAD DEL NITRATO DE AMONIO SOLIDO (UN POCO MAS DE 1.7 gr/cc.) SON MENOS SENSIBLES A LAS DETONACIONES.

RECUBRIMIENTO ANTI-AGLUTINANTE. LA TIERRA DIATOMACEA Y LOS SURFACTANTES SE USAN PARA RECUBRIR EL GRANULO Y MINIMIZAR EL AGLUTINAMIENTO. DEMASIADO RECUBRIMIENTO EN LA SUPERFICIE DEL GRANULO INTERFERIRIA CON LA DISTRIBUCION DEL ACEITE Y EL DESEMPEÑO DEL ANFO SERA AFECTADO.

EN ALGUNAS FORMACIONES DE ROCA SU DENSIDAD DE VACIADO EN EL BARRENO DE (0.78 a -- 0.85 gr/cc) Y SU VELOCIDAD RELATIVAMENTE BAJA DE 7,900 a 15,600 PIES POR SEGUNDO (2,400 a 4,750 METROS POR SEGUNDO) PUEDEN SER INADECUADAS PARA OBTENER LOS RESULTADOS DESEADOS. EN ESTAS CONDICIONES LOS HIDROGELES CON DENSIDAD Y VELOCIDADES -- MAS ALTAS PUEDEN SER NECESARIOS.

VELOCIDAD DE DETONACION. LA VELOCIDAD DE DETONACION DEL ANFO VACIADO DEPENDE DEL DIAMETRO DEL BARRENO Y DEL GRADO DE CONFINAMIENTO EN EL CUAL SE INICIA. LA VELOCIDAD DE DETONACION PARA EL ANFO AUMENTA AL AUMENTAR EL DIAMETRO DEL BARRENO. EL ANFO ALCANZA SU VELOCIDAD HIDRODINAMICA O IDEAL DE APROXIMADAMENTE 15,600 PIES -- POR SEGUNDO (4,750 METROS POR SEGUNDO) EN UN BARRENO DE 10 PULGADAS DE DIAMETRO. AUMENTAR EL TAMAÑO DEL BARRENO MAS ALLA DE ESTE DIAMETRO O ALTERAR LAS PROPIEDADES FISICAS DEL PRODUCTO DE ANFO, NO AUMENTARA SU VELOCIDAD DE DETONACION.

LA MAYORIA DEL ANFO NO DETONARA SIN CONFINAMIENTO EN DIAMETROS MENORES DE CUATRO PULGADAS. SIN EMBARGO, CUANDO ESTA CONFINADO EN BARRENOS, EL ANFO DETONA EN DIAMETROS TAN PEQUEÑOS COMO UNA PULGADA.

DENSIDAD DEL ANFO. LA DENSIDAD DEL ANFO A GRANEL DEPENDE DE LA DENSIDAD Y TAMAÑO DE PARTICULA DEL NA USADO EN LA MEZCLA. LA MAYORIA DEL ANFO PESA ALREDEDOR DE 54 LIBRAS POR PIE CUBICO (865 KGS/M³) Y TIENE UNA DENSIDAD DE VACIADO DE CERCA DE - 0.78 a 0.85 gr/cc.

DEPENDIENDO DEL TAMAÑO DE PARTICULA DEL NA Y DEL METODO DE EMPACADO, LA MAXIMA -- DENSIDAD PRACTICA DE LAS MEZCLAS ANFO ES DE CERCA DE 1.10 gr/cc. EN DENSIDADES - SUPERIORES A 1.2 gr/cc LA SENSIBILIDAD DEL ANFO DECRECE RAPIDAMENTE. LOS PRODUCTOS ANFO CON UNA DENSIDAD MAYOR DE 1.2 gr/cc NO DETONARA EFICIENTEMENTE Y PODRA - NO SER INICIADOS.

SENSIBILIDAD. EL ANFO PUEDE SER MARGINALMENTE FABRICADO SENSIBLE AL FULMINANTE - AL REDUCIR EL TAMAÑO DE LA PARTICULA DE NA GRANULADO. SIN EMBARGO, EN APLICACIONES PRACTICAS NO ES CONFIABLEMENTE SENSIBLE AL FULMINANTE ESTANDAR Nº 6 Y REQUIERE DE UN CEBEO ADECUADO.

CEBADO. PARA CEBAR EL ANFO ES DESEABLE UN CEBEO DE INICIACION DE ALTA ENERGIA. LA PRESION DE DETONACION DEL CEBEO DEBERA SER MAYOR QUE LA PRESION DE DETONACION DEL ANFO. LA EFICIENCIA DE UN CEBEO SE MEJORARA CUANDO SU DIAMETRO SE APROXIMA AL DIA-

METRO DEL BARRENO.

PORCENTAJE DE COMBUSTIBLE. LA CANTIDAD DE ACEITE QUE ES COMBUSTIBLE CARBONOSO, AFECTA LA ENERGIA TEORICA, VELOCIDAD, SENSIBILIDAD, Y EMANACIONES DEL ANFO Y MEZCLAS SIMILARES. EL ANFO CON CERCA DE UN 6% DE ACEITE EN PESO TIENE LA MAXIMA ENERGIA TEORICA Y MAS ALTA VELOCIDAD DE DETONACION TEORICA. MENOS ACEITE REDUCE LA ENERGIA. POR OTRA PARTE, EL ANFO ES MAS SENSIBLE EN EL RANGO DE DOS A SEIS POR CIENTO Y DECRECE RAPIDAMENTE EN SENSIBILIDAD AL VARIAR HACIA ARRIBA O HACIA ABAJO - ESTE RANGO.

SOLAMENTE AQUELLOS PRODUCTOS MEZCLADOS BAJO CONDICIONES CONTROLADAS SON RECOMENDADOS PARA USO BAJO TIERRA. DEMASIADO ACEITE INCREMENTA LA PRODUCCION DE MONOXIDO DE CARBONO. POCO ACEITE INCREMENTA LOS OXIDOS DE NITROGENO. LA PERDIDA DE ACEITE COMBUSTIBLE POR EVAPORACION O MIGRACION, EL USO DE ANFO EN BARRENOS HUMEDOS, CEBADO O CONFINAMIENTO INADECUADOS, CONTAMINACION CON OTROS MATERIALES, VENTILACION INADECUADA, Y OTROS FACTORES PUEDEN DAR COMO RESULTADO UN NIVEL PELIGROSO DE GASES TOXICOS. ESTOS FACTORES DEBEN SER CONSIDERADOS JUNTO CON UN TIEMPO DE ESPERA CONVENIENTE DESPUES DE LA VOLADURA PARA ASEGURAR CONDICIONES DE TRABAJO SEGURAS.

RESISTENCIA AL AGUA. LOS BARRENOS QUE CONTIENEN HUMEDAD NO DEBERAN SER CARGADOS CON ANFO SIN EMPACAR POR QUE EL AGUA RAPIDAMENTE DISUELVE Y DESENSIBILIZA AL ANFO LA EXPERIENCIA DE CAMPO HA DEMOSTRADO QUE SOLAMENTE SE PUEDE OBTENER BUENOS RESULTADOS SOBRE UNA BASE CONTINUA, CUANDO EL ANFO SE CARGA EN BARRENOS COMPLETAMENTE SECOS.

3.3.2. PRODUCTOS ANFO

LOS PRODUCTOS ANFO, SON FORMULADOS GENERALMENTE CON GRANULADOS DE NA, SP-2 Y UN COMBUSTIBLE CARBONOSO EN PLANTAS MEZCLADORAS CERCA DEL PUNTO DE CONSUMO, O EN EL LUGAR DE LA VOLADURA, MEDIANTE CAMIONES A GRANEL DISEÑADOS ESPECIALMENTE PARA AREGGAR ACEITE AL GRANULADO DE NA MIENTRAS ES CARGADO O SOPLADO AL INTERIOR DEL BARRENO, DU PONT PROPORCIONA UNA LINEA COMPLETA DE PRODUCTOS ANFO A GRANEL, EL BOLSAS Y ENCARTUCHADOS. ESTOS PRODUCTOS REQUIEREN CEBOS DE INICIACION DE ALTA ENERGIA, HIDROGELES DE ALTA VELOCIDAD, O CEBOS DE ALTA PRESION DE DETONACION (HDP) PARA UNA INICIACION CONFIABLE.

EL GRANULADO SP-2 ES UNA PELOTILLA BLANCA, POROSA, CON UNA CANTIDAD MINIMA DE AGENTE ANTI-AGLUTINANTE Y UNA DENSIDAD DE PARTICULA DE CERCA DE 1.45 gr/cc. ALMACENADA A GRANEL PESA APROXIMADAMENTE 54 LIBRAS POR PIE CUBICO (865 KG/M³).

ANFO-P ES LA DESIGNACION PARA LA MEZCLA DE NITRO-CARBO-NITRATO (NCN) DEL NA GRANU LADO CON COMBUSTIBLE DIESEL Nº 2, NOMBRADO GENERICAMENTE COMO ANFO. NO ES SENSIBLE AL FULMINANTE, PUEDE SER VACIADO EN BOLSAS DE PAPEL DE VARIAS PAREDES DE 25 KG. EN BARRENOS DE 1 3/4 PULGADAS DE DIAMETRO O MAYORES. EL ANFO VACIADO EN BOLSAS SE USA PREDOMINANTEMENTE EN BARRENOS VERTICALES, DE DIAMETRO PEQUEÑO, DE DOS PULGADAS Y MAYORES, EN CONSTRUCCION Y CANTERAS.

"NILITE" SON AGENTES EXPLOSIVOS DEL TIPO ANFO-P A GRANEL EN LOS CUALES EL ACEITE COMBUSTIBLE Nº 2 SE REEMPLAZA POR UN ACEITE SIN OLOR PARA REDUCIR EL OLOR DEL DIESEL EN AREAS CERRADAS, O BIEN SE REEMPLAZA EN PARTE POR CARBON PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES ANTIAGLUTINANTES. ALGUNOS PRODUCTOS "NILITE" TAMBIEN SE TIÑEN CON COLORES BRILLANTES (USUALMENTE ROJO O NARANJA) PARA AYUDAR EN LAS OPERACIONES BAJO TIERRA A IDENTIFICAR TODO PRODUCTO QUE NO HAYA DETONADO.

ANFO HD. ES UNA MEZCLA DE NA TRITURADO Y ENTERO CON ACEITE COMBUSTIBLE. SU DENSIDAD DE EMPAQUE ES DE CERCA DE 1.05 gr/cc. Y SU DENSIDAD DE VACIADO ES DE CERCA DE 0.80 a 0.85 gr/cc. EMPACADO EN TUBOS DE TELA O DE CARTON CON FORROS DE PLASTICO GRUESO, EL ANFO HD SE USA COMO CARGA DE COLUMNA EN BARRENOS HUMEDOS DE MAS DE 6 PULGADAS DE DIAMETRO. LAS LIMITACIONES DE RESISTENCIA AL AGUA DEL PRODUCTO DEPENDE ENTERAMENTE DE LA INTEGRIDAD DEL EMPAQUE.

EL ANFO TRITURADO SE USA PARA REDUCIR EL TAMAÑO DE PARTICULA Y AUMENTAR LA SENSIBILIDAD DEL PRODUCTO POR LO TANTO MEJORA SU CAPACIDAD PARA SOSTENER UNA VELOCIDAD DE DETONACION. ESTO ES NECESARIO PARA QUE LOS ESPACIOS ENTRE EL CARTUCHO DE ANFO HD Y LAS PAREDES DEL BARRENO DAN COMO RESULTADO UN MENOR GRADO DE CONFINAMIENTO QUE EL QUE SE OBTIENE CON PRODUCTOS VACIADOS. VARIA EN VELOCIDAD DESDE 12,000 PIES POR SEGUNDO (3,660 METROS POR SEGUNDO) EN DIAMETROS DE CUATRO PULGADAS, HASTA 15,000 PIES POR SEGUNDO (4,570 METROS POR SEGUNDO) EN DIAMETROS MAS GRANDES.

LOS PRODUCTOS ANFO ENCARTUCHADOS SON RELATIVAMENTE INSENSIBLES Y DEBERAN CEBARSE CON CEBOS DE ALTA VELOCIDAD (HDP) O HIDROGELES.

"ALUVITE" LOS GRADOS DE ANFO ALUVITE SON UNA SERIE DE AGENTES EXPLOSIVOS ALUMINIZADOS, EMPACADOS Y A GRANEL, EN ESENCIA CON LAS MISMAS PROPIEDADES FISICAS QUE EL ANFO-HD, EXCEPTO QUE ESTAS TIENEN ENERGIAS TEORICAS MAS ALTAS. ESTOS PRODUCTOS PUEDEN MEJORAR LA FRAGMENTACION DE ROCA Y SU DESPLAZAMIENTO, Y REDUCIR LA CANTIDAD DE EXPLOSIVOS REQUERIDOS. EL ALUVITE 3 TIENE APROXIMADAMENTE UN 30% MAS DE ENERGIA DISPONIBLE QUE EL ANFO-HD. EL ALUVITE 2 TIENE APROXIMADAMENTE UN 50% MAS DE ENERGIA DISPONIBLE.

"TOVITE" ES UN AGENTE EXPLOSIVO DISPONIBLE EN TUBOS CILINDRICOS FORRADOS DE PLASTICO O EN BOLSAS DE TELA. LAS PROPIEDADES DEL TOVITE SON EQUIVALENTES A LAS DEL ANFO-HD, PERO TIENE UNA DENSIDAD MAS ALTA (1.12 gr/cc) Y SE HUNDIRA MAS RAPIDAMENTE EN BARRENOS LLENOS DE AGUA. SU RESISTENCIA AL AGUA, IGUAL QUE EN AL ANFO-HD Y EL ALUVITE, DEPENDEN COMPLETAMENTE DE LA INTEGRIDAD DEL EMPAQUE. EL TOVITE SE USA COMO CARGA DE COLUMNA EN BARRENOS LLENOS DE AGUA, CON LODO O CON LOS CORTES DE LA PERFORACION, REEMPLAZANDO PRODUCTOS DE DENSIDAD MAS BAJA QUE SE HUNDEN A UNA VELOCIDAD DEMASIADO LENTA.

SUPER MEXAMON D * AGENTE EXPLOSIVO DE TECNOLOGIA Y MANUFACTURA MEXICANA, IDEAL PARA UTILIZARSE EN OPERACIONES SUBTERRANEAS DADAS SUS CARACTERISTICAS, LAS CUALES PERMITEN UNA EXCELENTE ESTABILIDAD DE SUS INGREDIENTES POR LO CUAL SU PRODUCCION DE GASES ES MINIMA. TAMBIEN PUEDEN USARSE EN OPERACIONES A CIELO ABIERTO EN ROCAS BLANDAS O DE MEDIANA DUREZA. SE ENVASA EN SACOS DE 25 KG. NETOS.

PROPIEDADES COMPARATIVAS DE LOS PRODUCTOS GRANULADOS DE NITRATO DE AMONIO

PRODUCTO DE DU PONT	ENERGIA TEORICA	DENSIDAD			VELOCIDAD	
		VACIADO	CARGADO NEUMATICO	EMPACADO	PIES/SEG.	METROS/SEG.
ANFO-P	900cal/g	0.80-0.85 g/cc	0.95g/cc aprox.	-	7,000 15,600	2,130 4,750
NILITE 303	900cal/g	0.80-0.85 g/cc	0.95g/cc aprox.	-	7,000 15,600	2,130 4,750
ANFO-HD	900cal/g	-	-	1.05g/cc	VARIA CON EL DIAMETRO DES DE CERCA DE 3,660 m/seg EN DIAMETROS DE 4 PULGADAS HASTA 4,750 m/seg.	
ALUVITE 2	1260cal/g	-	-	1.12g/cc		
ALUVITE 3	1060cal/g	-	-	1.12g/cc		
TOVITE	875cal/g	-	-	1.12g/cc		

CAPITULO IV

4. DISPOSITIVOS Y CEBOS DE INICIACION

UNICAMENTE SE PUEDEN LOGRAR BUENOS RESULTADOS EN CUALQUIER OPERACION DE VOLADURAS CUANDO LOS DISPOSITIVOS DE INICIACION USADOS PARA DETONAR LA CARGA DE EXPLOSIVO - SE ELIGEN Y UTILIZAN CUIDADOSA Y ADECUADAMENTE.

DADO QUE TODOS LOS DISPOSITIVOS DE INICIACION ESTAN ECHOS PARA EXPLOTAR, DEBERAN SER TRATADOS CON EL MISMO CUIDADO Y PRECAUCION EMPLEADA PARA LOS ALTOS EXPLOSIVOS NO DEBERA DE ABUSAR DE ELLOS FISICAMENTE, TOCAR LO QUE NO SE DEBE, ALTERARLOS DE ALGUNA MANERA O EXPONERLOS A FUENTES DE ELECTRICIDAD EXTRAÑA LO CUAL PUEDE SER PELIGROSO, PUES DICHO TRATAMIENTO PUEDE DAR COMO RESULTADO UNA DETONACION PREMATURA Y UN DAÑO SERIO.

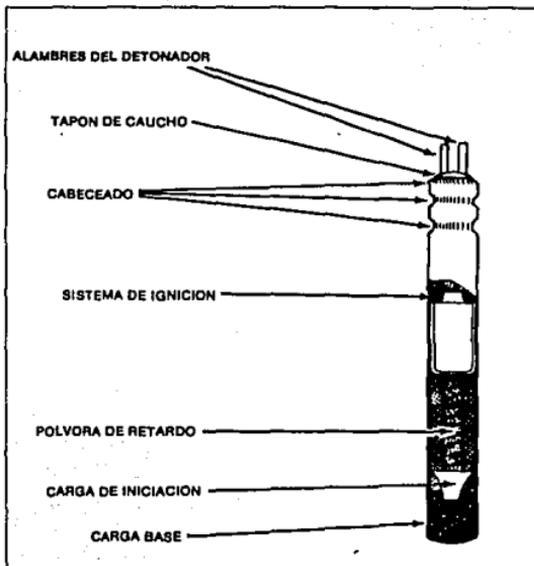
LOS DISPOSITIVOS DE INICIACION CAEN DENTRO DE DOS CATEGORIAS, DEPENDIENDO DE SU FUENTE DE ENERGIA PRIMARIA; ELECTRICA Y NO ELECTRICA.

4.1. DISPOSITIVOS DE INICIACION ELECTRICOS.

EL DETONADOR MAS AMPLIAMENTE USADO ES EL ESTOPIN ELECTRICO. CON LA ENERGIA ELECTRICA Y EL CIRCUITO DE VOLADURA ADECUADOS, UN GRAN NUMERO DE ESTOPINES ELECTRICOS PUEDEN SER INICIADOS DESDE UNA SOLA FUENTE DE CORRIENTE EN UN LUGAR SEGURO A DISTANCIA DEL AREA DE VOLADURA.

DISEÑO BASICO DEL ESTOPIN ELECTRICO. CADA ESTOPIN ELECTRICO TIENE UN CASCO METALICO CILINDRICO QUE CONTIENE VARIAS CARGAS DE POLVORA. LA ENERGIA ELECTRICA ES LLEVADA HACIA EL ESTOPIN MEDIANTE DOS ALAMBRES DE METAL AISLADOS CON PLASTICO, LLAMADOS "ALAMBRES DEL ESTOPIN", LOS CUALES SE INTRODUCEN AL ESTOPIN A TRAVEZ DE UN TAPON DE HULE O DE PLASTICO. EL TAPON, APRETADO FIRMEMENTE EN EL EXTREMO ABIERTO DEL CASCO DEL ESTOPIN, FORMA UN CIERRE HERMETICO RESISTENTE AL AGUA, COLOCANDO FIRMEMENTE LOS EXTREMOS DE LOS ALAMBRES DEL ESTOPIN AL CASCO DEL MISMO.

LOS EXTREMOS DE LOS ALAMBRES SON UNIDOS DENTRO DEL FULMINANTE POR UN ALAMBRE DE CORTA LONGITUD, DE ALTA RESISTENCIA LLAMADO "ALAMBRE-PUENTE", EL CUAL QUEDA EMPOTRADO EN LA MEZCLA DE IGNICION DEL ESTOPIN. AL PASAR SUFICIENTE CORRIENTE ELECTRICA A TRAVES DEL SISTEMA, EL ALAMBRE PUENTE LLEGA A ESTAR LO SUFICIENTEMENTE CALIENTE PARA INICIAR LA MEZCLA DE IGNICION. EN UN ESTOPIN ELECTRICO INSTANTANEO DE DUDAS LA MEZCLA DE IGNICION PROVOCA QUE LA CARGA PRIMARIA DETONE, SUBSECUENTE-



ESTE DIBUJO DE UN ESTOPIN ELECTRICO DETALLA LOS DOS ALAMBRES DE METAL AISLADOS CON PLASTICO -LOS CUALES PROPORCIONAN ENERGIA ELCTRICA HACIA EL ESTOPIN.

MENTE DETONA UNA CARGA BASE DE ALTO EXPLOSIVO. EN UN ESTOPIN ELECTRICO DE RETARDO LA MEZCLA DE IGNICION INICIA EL NUCLEO DE POLVORA DE RETARDO EL CUAL SE CONSUME EN UN TIEMPO PREDETERMINADO ANTES DE INICIAR LA CARGA PRIMARIA. LA PROPORCION EN QUE SE CONSUME LA POLVORA DE RETARDO Y LA LONGITUD DE SU COLUMNA DETERMINAN EL INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LA APLICACION DE LA ENERGIA ELECTRICA ADECUADA Y LA DETONACION DEL ESTOPIN.

LOS ALAMBRES DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS SON CONDUCTORES SOLIDOS YA SEA DE COBRE ESTAÑO O DE HIERRO ESTAÑADO, RECUBIERTOS CON UN AISLANTE PLASTICO. LOS ALAMBRES DE COBRE SON LOS QUE MAS AMPLIAMENTE SE USAN, DEBIDO A SU MEJOR CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.

CADA ESTOPIN ELECTRICO DE RETARDO TIENE UNA TARJETA DE DISTINTIVA NUMERADA, PARA FACILITAR LA IDENTIFICACION DE CADA PERIODO DE RETARDO.

LA POTENCIA DEL ESTOPIN DEPENDE DE LA CANTIDAD DE LA CARGA EN EL. LOS ESTOPINES DE POTENCIA MAS ALTA TIENEN MAYOR CANTIDAD DE CARGA BASE. LOS ESTOPINES ELECTRICOS DE DU PONT SON GENERALMENTE DE UNA POTENCIA DEL Nº 8.

ESTOPIN ELECTRICO DE RETARDO. SE HAN DISEÑADO SERIES DE RETARDOS DE ESTOPINES ELECTRICOS DE SECUENCIAS DE TIEMPO ADECUADAS PARA DIFERENTES REQUERIMIENTOS DE CAMPO. LOS ESTOPINES ELECTRICOS SE PUEDEN CONSEGUIR EN UN NUMERO DE PERIODOS CON RETARDOS DE TIEMPO DESDE UNOS POCOS MILLISEGUNDOS A MAS DE DE 15 SEGUNDOS. EL USO DE LA VOLADURA DE RETARDO MEJORARA LA FRAGMENTACION Y EL DESPLAZAMIENTO DE LA ROCA; PROPORCIONARA MAYOR CONTROL DE VIBRACION, RUIDO Y DE ROCA EN VUELO; REDUCIRA EL FACTOR DE CARGA, Y REDUCIRA LOS COSTOS DE VOLADURA.

LOS ESTOPINES NO SON DE DESFOGUE. LOS GASES FORMADOS AL QUEMARSE LA POLVORA DE IGNICION Y LA POLVORA DE RETARDO PERMANECEN SELLADOS EN EL CASQUILLI HASTA QUE EL ESTOPIN DETONE. COMO RESULTADO LOS GASES NO PERFORAN EL CASQUILLO DEL ESTOPIN, LO QUE PODRIA INICIAR ANTICIPADAMENTE EL CARTUCHO CEBADO EN EL CUAL ESTE ESTA EMPOTRADO O PERMITIR EL PASO DEL AGUA DENTRO DEL ESTOPIN, LO QUE PODRIA CAUSAR QUE ESTE FALLARA.

EXISTEN TRES SERIES DIFERENTES DE ESTOPINES ELECTRICOS DE RETARDO.

SERIES DE RETARDO DE MILLISEGUNDOS (MS). TIENE 10 PERIODOS DE RETARDO DIFERENTES CON INTERVALOS DE TIEMPO NOMINALES DE 25 MILLISEGUNDOS ENTRE PERIODOS BAJOS Y HASTA 100 MILLISEGUNDOS ENTRE PERIODOS MAS ALTOS. LOS INTERVALOS DE PERIODOS ESTAN DISEÑADOS PARA PERMITIR SUFICIENTE MOVIMIENTO DE ROCA PARA CREAR UNA FRENTE LIBRE HACIA LA CUAL SUBSECUENTES DEMORAS PUEDEN MOVERSE Y AUN PROPORCIONAR LA INTERACCION ENTRE PERIODOS PARA INCREMENTAR EL ROMPIMIENTO DE ROCA POR LA COLISION DE LA

ROCA EN MOVIMIENTO.

LOS ESTOPINES DE RETARDO MS SON LOS MAS AMPLIAMENTE USADOS PARA PARA CANTERAS, - TRABAJOS A CIELO ABIERTO, Y PROYECTOS DE CONSTRUCCION. TAMBIEN SON USADOS EN MI--NAS BAJO TIERRA PARA VOLADURAS DE DESARROLLO EN CORTES DE HILERAS MULTIPLES, VOLADURAS DE DESARROLLO ESCALONADA, Y OTRAS VOLADURAS DE PRODUCCION DONDE LAS HILERAS DE BARRENOS ROMPEN HACIA UN FRENTE LIBRE. GENERALMENTE, LAS VOLADURAS DE RETARDOS DE MS MOVERAN LA ROCA MAS LEJOS DE LA FRENTE QUE LA SERIE DE ESTOPINES DE RETARDO MAS LENTO DEBIDO A LA INTERACCION ENTRE LOS BARRENOS ADYACENTES.

SERIE DE RETARDO PARA MINAS DE CARBON. DISEÑADA ESPECIALMENTE PARA USO EN MINAS - DE CARBON BAJO TIERRA, TIENE 10 PERIODOS DE RETARDOS. LAS RECOMENDACIONES DEL DEPARTAMENTO DE MINAS PARA VOLADURAS DE RETARDO ESPECIFICAN: (1) EL ESTOPIN DEL --PRIMER PERIODO DEBERA TENER UN TIEMPO DE DISPARO NOMINAL DE POR LO MENOS 25 MILISEGUNDOS, Y (2) NO DEBERA DE HABER MAS DE 100 MILISEGUNDOS DE INTERVALO DE RETARDO ENTRE LOS BARRENOS SUCESIVOS. LA SERIE DE RETARDOS PARA MINAS DE CARBON DE DU PONT ESTAN DISEÑADAS PARA LLENAR LOS REQUISITOS DE ESTAS RECOMENDACIONES SOBRE EL TIEMPO. EL TIEMPO DE DISPARO NOMINAL DEL PRIMER PERIODO ES DE 25 MILISEGUNDOS, Y EL INTERVALO DE RETARDO ENTRE OTROS PERIODOS ES DE 75 o 100 MILISEGUNDOS.

SERIE DE RETARDOS ACUDET MARK V. LA SERIE DE RETARDOS ACUDET, TIENE PERIODOS DE DEMORA, LOS CUALES ESTAN DISEÑADOS PARA DISPARAR EN SECUENCIA EXACTA CON SUFICIENTE TIEMPO ENTRE PERIODOS PARA PERMITIR EL MOVIMIENTO DE LA ROCA. LOS TIEMPOS DE RETARDO SON NOMINALMENTE DE 25 MILISEGUNDOS PARA EL PERIODO CERO A APROXIMADAMENTE 6.4 SEGUNDOS PARA EL ULTIMO PERIODO DE RETARDO. LA LONGITUD DE TIEMPO ENTRE PERIODOS HA SIDO DISEÑADA PARA PREVENIR LA SOBREPOSICION ENTRE PERIODOS Y PARA --DAR OPTIMOS RESULTADOS DE VOLADURAS.

ESTOS ESTOPINES DE LARGO PERIODO DE RETARDO SE USAN PRINCIPALMENTE EN MINERIA BAJO TIERRA PARA PERFORAR GALERIAS Y TUNELES, VOLADURAS DE CONTRAPOZOS Y PROFUNDIZACION DE TIROS, PROYECTOS DE DRENAJE, Y OTROS TRABAJOS QUE REQUIEREN INTERVALOS --MAS LARGOS DE TIEMPO ENTRE LAS DETONACIONES DE LOS BARRENOS.

ESTOPINES SISMOGRAFICOS "SSS". SON ESTOPINES ESPECIALES, INSTANTANEOS, DE POTENCIA Nº 8 Y RAPIDO FUNCIONAMIENTO, QUE DETONAN EN MENOS DE MEDIO MILISEGUNDO DESPUES DE QUE FLUYA CORRIENTE SUFICIENTE A TRAVEZ DE UN ALAMBRE PUENTE. EN TODO --TRABAJO SISMICO ES ESENCIALMENTE IMPORTANTE QUE EL ESTOPIN ELECTRICO FUNCIONE INMEDIATAMENTE DESPUES DE LA APLICACION DE LA CORRIENTE, LA CUAL ES MARCADA EN EL --REGISTRO SISMICO MEDIANTE UN IMPULSO ELECTRICO, Y ES CONSIDERADA LA MISMA DEL TIEMPO DE LA EXPLOSION. ESTE TIEMPO Y MARCA SON LLAMADOS TIEMPOS DE RUPTURA "TIME BREAK"

ES IMPORTANTE QUE EL PERIODO DE RETARDO ENTRE LA APLICACION DE LA CORRIENTE QUE DISPARA EL ESTOPIN Y LA DETONACION DE ESTA SEA MINIMA. UN ERROR DE SOLO UNOS CUANTOS MILISEGUNDOS SIGNIFICA UN ERROR DE MUCHOS METROS EN LA LOCALIZACION DE UNA FORMACION SUBTERRANEA.

4.2. DISPOSITIVOS DE INICIACION NO-ELECTRICOS.

LOS ESTOPINES NO-ELECTRICOS, ALGUNAS VECES LLAMADOS FULMINANTES DE MECHA O FULMINANTES ORDINARIOS, PROPORCIONAN UN METODO NO ELECTRICO DE INICIAR CARGAS EXPLOSIVAS CUANDO SE USAN APROPIADAMENTE EN CONJUNTO CON LA MECHA DE SEGURIDAD. LA MECHA DE SEGURIDAD CONDUCE UNA FLAMA EN UNA PROPORCION RELATIVAMENTE UNIFORME HACIA EL FULMINANTE, DONDE ESTE ENCIENDE LA CARGA DE IGNICION.

FULMINANTE Y MECHA. EL METODO DE INICIACION DE FULMINANTE Y MECHA ES USADO PRINCIPALMENTE PARA DISPARAR VOLADURAS DE BARRENOS MULTIPLES EN MINAS DONDE EL ENCENDIDO ROTACIONAL ES NECESARIO Y LA ELECTRICIDAD EXTERNA PUEDE HACER QUE EL ENCENDIDO ELECTRICO SEA PELIGROSO.

FULMINANTES. LOS FULMINANTE DE DU PONT CONSISTEN EN CASQUILLOS DE ALUMINIO CONTENIENDO TRES CARGAS (1) UNA CARGA BASE DE EXPLOSIVO DE ALTA VELOCIDAD EN EL FONDO DEL CASCO; (2) UNA CARGA PRIMARIA ENMEDIO; Y (3) UNA CARGA DE POLVORA DE IGNICION EN LA PARTE SUPERIOR. LA POLVORA DE IGNICION ASEGURA LA CAPTACION DE LA FLAMA PROVENIENTE DE LA MECHA DE SEGURIDAD; LA CARGA PRIMARIA CONVIERTE LA COMBUSTION EN UNA DETONACION E INICIA LA CARGA BASE DE ALTO EXPLOSIVO.

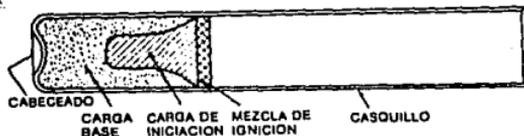


FIGURA 4-A ESTE DIBUJO DE UN FULMINANTE NO-ELECTRICO ILUSTRAS LAS TRES CARGAS BASICAS.

MECHA DE SEGURIDAD. LA MECHA DE SEGURIDAD ES EL MEDIO A TRAVES DEL CUAL LA FLAMA - ES CONDUcida EN UNA PROPORCION RELATIVAMENTE UNIFORME PARA LA IGNICION DEL FILMI-- NANTE. EL CORAZON DE LA MECHA DE SEGURIDAD ES UN NUCLEO DE POLVORA NEGRA, FUERTE-- MENTE ENVUELTO POR CUBIERTAS DE MATERIALES A PRUEBA DE AGUA, CINTA DE AISLAR, -- TEXTILES, ASFALTO Y PLASTICOS. LAS FUNCIONES DE ESTAS CUBIERTAS SON (1) PARA PRO-- TEGER EL NUCLEO DE POLVORA DEL AGUA, ACEITE U OTRAS SUBSTANCIAS QUE PUEDAN AFECTAR SU CAPACIDAD DE COMBUSTION O LA DESENSIBILICEN; (2) PARA PROTEGER EL CORAZON DE LA ABRASION O DE OTROS TRATOS RUDOS MANTENIENDO SU FLEXIBILIDAD; (3) PARA MINIMI-- ZAR LA POSIBILIDAD DE QUE SE INICIE LA CARGA DE EXPLOSIVO POR CHISPАЗOS PROVENIEN-- TES DE UN LADO DE LA MECHA ANTES DE QUE EL FUEGO HAYA ALCANZADO EL FULMINANTE; Y (4) PARA PREVENIR LA INTERCOMUNICACION DEL ENCENDIDO ENTRE LOS ENLACES ADYACENTES DE LA MECHA.

ES IMPORTANTE SABER QUE LA MECHA SE CONSUME EN EL NUCLEO Y NO CON SU RECUBRIMIEN-- TO. EL RECUBRIMIENTO PUEDE QUEMARSE SIN LA IGNICION DEL NUCLEO. CUANDO SE INICIA APROPIADAMENTE, EL NUCLEO SE INICIA CON UN CHORRO DE FLAMA LLAMADO " CHISPORROTEO DE IGNICION" ES UN CHORRO DE FLAMA QUE ENCIENDE EL EXTREMO DE LA MECHA EN EL MO-- MENTO EN QUE EL CORAZON DE POLVORA ES ENCENDIDO. EL CHISPORROTEO MUESTRA QUE EL - CORAZON ESTA ENCENDIDO.

UNA VELOCIDAD DE APROXIMADAMENTE 120 SEGUNDOS/YARDA, MEDIDA SIN CONFINAR AL NIVEL DEL MAR, SE CONSIDERA ESTANDAR PARA LA MECHA DE SEGURIDAD COMERCIAL, SE FABRICAN MECHAS CON DIFERENTES CAPACIDADES DE COMBUSTION.

DISPOSITIVOS PARA ENCENDER LA MECHA DE SEGURIDAD.

ENCENDEDOR DE SIETE PULGADAS. ESTE DISPOSITIVO ES SIMILAR EN APARIENCIA A UN EN-- CENDEDOR DE FUEGOS ARTIFICIALES. CONSISTE EN UN ALAMBRE CUBIERTO CON UNA COMPOSI-- CION DE IGNICION QUE SE CONSUME LENTAMENTE Y A UNA VELOCIDAD BASTANTE ESTABLE -- CON UN CALOR INTENSO. EL ENCENDEDOR SE ENCIENDE CON UN CERILLO Y PUEDE ENCENDER - LA MECHA SIMPLEMENTE AL SOSTENER LA PORCION QUE SE ESTA CONSUMIENDO DELENCENDEDOR CONTRA EL EXTREMO CORTADO RECIENTEMENTE DE LA MECHA.

SISTEMA DE CORDON ENCENDEDOR. ES UN CORDON PEQUEÑO EL CUAL SE CONSUME PROGRESIVA-- MENTE A TODA SU LONGITUD CON UNA FLAMA EXTERNA CORTA Y CALIENTE, EN LA ZONA DE - COMBUSTION. EL CORDON ENCENDEDOR SE PUEDE CONSEGUIR EN TRES DIFERENTES VELOCIDA-- DES DE COMBUSTION. UNA VELOCIDAD RAPIDA CON UNA COMBUSTION DE TRES A CINCO SEGUN-- DOS POR PIE Y UNA VELOCIDAD MEDIA DE CINCO A DIEZ SEGUNDOS POR PIE. UNA VELOCIDAD LENTA, LA CUAL SE CONSUME APROXIMADAMENTE DE 16 O 20 SEGUNDOS POR PIE.

LOS CONECTORES DEL CORDON ENCENDEDOR SON CASQUILLOS DE METAL, PARA CONECTAR EL --

CORDON ENCENDEDOR A LA MECHA DE SEGURIDAD. ESTOS CONECTORES SE ACOPLAN A LOS TRAMOS DE MECHA DE SEGURIDAD EN EL EXTREMO OPUESTO AL FULMINANTE.

LOS CONECTORES CONTIENEN UNA PEQUEÑA CARGA Prensada DE UN COMPUESTO DE IGNICION QUE ENCIENDE LA MECHA CUANDO EL CORDON ENCENDEDOR SE CONSUME A TRAVEZ DEL CONECTOR.

CONECTOR THERMALITE. ES UNA PEQUEÑA CAPSULA DE METAL CON UN COMPUESTO DE IGNICION INTERNO QUE SE CONSUME CON UN CALOR INTENSO. EL CONECTOR DEBERA APRETARSE A LA MECHA, Y UNA SECCION CORTA DEL CORDON ENCENDEDOR DEBERA INSERTARSE BAJO EL "LABIO" DEL CONECTOR Y CERRADA MEDIANTE LA PRESION DEL PULGAR. EL CORDON ENCENDEDOR ES EN CEDIDO ENTONCES. ESTO ENCIENDE EL CONECTOR THERMALITE, Y EL COMPUESTO DE IGNICION EN EL CONECTOR A SU VEZ ENCIENDE LA MECHA.

CORDON DETONANTE Y ACCESORIOS. ES UN CORDON REDONDO, FLEXIBLE, QUE CONTIENE UN NUCLEO CENTRAL DE ALTO EXPLOSIVO, USUALMENTE DE TETRANITRATO PENTAERITRITOL (PETN), SE RECUBRE CON VARIAS COMBINACIONES DE MATERIALES, ESTAS INCLUYEN TEXTILES, MATERIALES A PRUEBA DE AGUA, Y PLASTICOS QUE LO PROTEGEN DE LOS MALTRATOS FISICOS O EXPOSICION A TEMPERATURAS EXTREMAS, AGUA, ACEITE, U OTROS ELEMENTOS, Y LE PROPORCIONA CARACTERISTICAS ESENCIALES TALES COMO RESISTENCIA A LA TENSION, FLEXIBILIDAD, Y OTRAS CARACTERISTICAS DESEABLES DE MANEJO. EL CORDON DETONANTE ES RELATIVAMENTE INSENSIBLE Y REQUIERE DE UN DETONADOR ADECUADO, TAL COMO UN FULMINANTE DE POTENCIA DEL Nº 6 PARA SU INICIACION. A PESAR DE ESTA BAJA SENSIBILIDAD EL PETN DETONA A UNA VELOCIDAD DE CERCA DE 22,000 PIES POR SEGUNDO (6,700 METROS POR SEGUNDO).

CONECTORES MS. SON DISPOSITIVOS DE RETARDO EN MILLISEGUNDOS NO-ELECTRICOS; DE INTERVALO CORTO PARA USARSE EN VOLADURAS DE TIEMPO QUE SE INICIAN EN LA SUPERFICIE MEDIANTE CORDON DETONANTE.

LOS CONECTORES MS CONSISTEN DE UNA PIEZA DE PLASTICO MOLDEADO, EL CUAL CONTIENE UN ELEMENTO DE RETARDO DENTRO DEL TUBO DE COBRE EN LA PORCION CENTRAL. CADA EXTREMO ESTA HECHO DE TAL FORMA QUE EL CORDON DETONANTE PUEDE SER ENLAZADO Y TRABADO EN EL CONECTOR CON UN PASADOR AHUSADO. EXISTEN EN CUATRO INTERVALOS DE DEMORA, CADA UNO IDENTIFICADO POR EL COLOR DE LA PIEZA DE PLASTICO (1) MS-5 CINCO MILLISEGUNDOS, AZUL; (2)MS-9 NUEVE MILLISEGUNDOS VERDE; (3) MS-17 17 MILLISEGUNDOS AMARILLO; Y (4) MS-25 25 MILLISEGUNDOS ROJO.

4.3. CEBOS DE INICIACION.

EL DESARROLLO DEL ANFO Y LOS HIDROGELES (WATER GELS) CREARON LA NECESIDAD DE CEBOS DE INICIACION DE ALTA VELOCIDAD Y ALTA ENERGIA. PARA HACER FRENTE A LA DEMANDA, SE DESARROLLARON CEBOS DE INICIACION SIN NITROGLICERINA, COMPACTOS, DE ALTA PRESION DE DETONACION PARA PROPORCIONAR A LOS USUARIOS DE EXPLOSIVOS SISTEMAS PARA VOLADURAS COMPLETAS Y CONVENIENTES SIN NG.

ESTOS CEBOS DE INICIACION SIN NG SON MAS RESISTENTES A LA DETONACION ACCIDENTAL DEBIDO AL IMPACTO, CHOQUE O FRICCION QUE LA DINAMITA, PERO DEBERAN SER MANEJADOS CON LAS MISMAS NORMAS DE SEGURIDAD QUE OTROS EXPLOSIVOS.

CEBOS DE INICIACION HDP. (ALTA PRESION DE DETONACION) SON CEBOS DE INICIACION SENSIBLES AL FULMINANTE, QUE PRODUCEN UNA ALTA PRESION DE DETONACION PARA LA INICIACION DE PRODUCTOS DE ANFO Y DE CIERTOS HIDROGELES EN BARRENOS DE DOS PULGADAS DE DIAMETRO Y MAYORES. SE INICIAN MEDIANTE UN ESTOPIN ELECTRICO, CORDON DETONANTE DE 50 GRANOS, O UN FULMINANTE DE TIEMPO NO ELECTRICO. LOS CEBOS DE INICIACION HDP VARIAN EN DIAMETRO Y TAMAÑO, PESANDO DESDE UN TERCIO HASTA UNA LIBRA.

LOS HDP's TIENEN UNA DENSIDAD DE APROXIMADAMENTE 1.60 g/cc TIENEN EXELENTE RESISTENCIA AL AGUA, Y DETONAN A 24,000 PIES POR SEGUNDO (7,315 METROS POR SEGUNDO).

DETAPRIME. LOS CEBOS DE INICIACION "DETAPRIME" PARECEN PEQUEÑOS TUBOS DE CAUCHO ROJO, APROXIMADAMENTE DEL TAMAÑO DEL DEDO INDICE. ESTOS CEBOS DE INICIACION SENSIBLES AL FULMINANTE, SON MEZCLAS EXTRUIDAS DE TETRANITRATO DE PENTAERITRITOL (PETN) Y UN AGLOMERADO ELASTOMETRICO.

LOS "DETAPRIMES" SE USAN PARA INICIAR EL ANFO Y CIERTOS HIDROGELES EN OPERACION DE SUPERFICIE Y BAJO TIERRA EN BARRENOS DE DIAMETRO DE HASTA 4 1/2 PULGADAS Y SON COMPATIBLES CON LOS FULMINANTES DE MECHA, CORDON DETONANTE DE 50 GRANOS, Y CIERTOS FULMINANTES DE TIEMPO NO ELECTRICOS. ALGUNAS DE LAS VENTAJAS SON:

- DESEMPEÑO. DETONAN A UNA VELOCIDAD DE 24,000 PIES POR SEGUNDO (7,315 METROS POR SEGUNDO) O UN 15% MAS QUE LAS DINAMITAS DE LA MAS ALTA VELOCIDAD. TIENEN EXCELENTE RESISTENCIA AL AGUA,
- SEGURIDAD. LAS PRUEBAS DE IMPACTO, CHOQUE, Y FUEGO HAN DEMOSTRADO QUE LOS CEBOS DE INICIACION TIENEN CARACTERISTICAS DE SEGURIDAD SUPERIOR A LAS DE LOS PRODUCTOS DE NG.
- FACILIDAD DE ALMACENAMIENTO, MANEJO Y TRANSPORTACION. DEBIDO A QUE ESTOS CEBOS SON PEQUEÑOS Y COMPACTOS, REDUCEN EL GRAN ESPACIO REQUERIDO PARA ALMACENARLOS, TANTO EN ALMACENES PERMANENTES COMO EN VEHICULOS DE TRANSPORTE.

--ECONOMIA. PROPORCIONAN MAS ENERGIA UTIL POR CADA PESO QUE LOS EXPLOSIVOS ENCAR-
TUCHADOS O LOS FULMINANTES DE ALTA POTENCIA.

PROPIEDADES DEL CEBO. LA EFECTIVIDAD DE UN SISTEMA DE CEBADO SE DETERMINA EN PRI-
MER LUGAR POR LA PRESION DE DETONACION, LA ENERGIA Y LA RESISTENCIA AL AGUA DEL
CEBO.

PRESION DE DETONACION. LA PRESION DE DETONACION COMO UNA FUNCION DE LA VELOCIDAD
Y DENSIDAD PUEDE CALCULARSE PARA MUCHOS EXPLOSIVOS CON LA FORMULA:

$$P = D V^2 \times 10^{-6}$$

DONDE

P = PRESION DE DETONACION EN KILOBARS

D = DENSIDAD (g/cc)

V = VELOCIDAD DE DETONACION (METROS/SEGUNDO)

POR CONSIGUIENTE ES OBVIO QUE LA VELOCIDAD DE DETONACION ES UN FACTOR DETERMINAN-
TE EN LA EFICACIA DE UN CEBO.

UN PRINCIPIO BASICO PARA UN CEBO ADECUADO ES QUE LA PRESION DE DETONACION DEL CEBO
DEBE SUPERAR LA PRESION DE DETONACION DEL RECEPTOR (LOS EXPLOSIVOS QUE ESTAN SI-
ENDO CEBADOS).

BAJO CIERTAS CONDICIONES UN CEBO CON UNA PRESION DE DETONACION MENOR QUE LA CARGA
RECEPTORA PUEDE INICIAR LA CARGA. LA PRESION ADICIONAL Y EL CALOR NECESARIOS PARA
LOGRAR UNA CONDICION ESTABLE, DE MAXIMA VELOCIDAD DEL BARRENO DEBE VENIR DE LA --
MISMA CARGA DEL RECEPTOR. EL LOGRAR UNA CONDICION ESTABLE DE VELOCIDAD CON CEBO
INADECUADO ES RELATIVAMENTE LENTA, EXISTIENDO UN LAPSO DE TIEMPO DURANTE EL CUAL
EL EXPLOSIVO QUE ESTA SIENDO CEBADO NO DETONA A SU VELOCIDAD COMPLETA NI TAMPOCO
DESARROLLA SU PRESION COMPLETA O SU MAXAMA ENERGIA.

BAJO CONDICIONES SEVERAS PUEDE NUNCA DESARROLLARSE LA CONDICION ESTABLE DE DETONA-
CION Y EL EXPLOSIVO SIENDO CEBADO DETONARA DEFICIENTEMENTE O FALLARA POR COMPLE-
TO.

ENERGIA. UN CEBO DEBE TENER SUFICIENTE ENERGIA PARA INICIAR LA REACCION DE DETO-
NACION DE LA CARGA PRINCIPAL Y SOSTENERLA HASTA QUE EL EXPLOSIVO CEBADO PRODUZ-
CA SUFICIENTE ENERGIA PARA MANTENER LA REACCION DE DETONACION POR SI SOLA. LA E-
NERGIA DEL CEBO SE DERIVA DE SU DENSIDAD DE ENERGIA (ENERGIA POR VOLUMEN) Y TAMA-
ÑO. A MEDIDA EN QUE LA DIFERENCIA ENTRE EL TAMAÑO DEL DIAMETRO DEL CEBO Y DEL BA-
RRENO VA CRECIENDO, LA PRESION DE DETONACION Y DENSIDAD DE ENERGIA DEL CEBO DE-
BE INCREMENTARSE PARA MANTENER UN CEBO ADECUADO.

SI LA DIFERENCIA ENTRE EL DIAMETRO ES GRANDE, EL CEBO PUEDE SER INADECUADO Y EL TAMAÑO DEL CEBO DEBERA INCREMENTARSE.

RESISTENCIA AL AGUA. LA RESISTENCIA AL AGUA DEL CEBO DEBE SER MAYOR A LA DEL EXPLOSIVO QUE ESTA CEBANDO. LA MAYORIA DE LOS PRODUCTOS EXPLOSIVOS DENOMINADOS COMO CEBOS LLENAN ESTA NORMA.

PREPARACION DEL CEBO. LOS CEBOS PUEDEN DIVIDIRSE EN TRES GRANDES TIPOS, TENIENDO TODOS ELLOS COMO CARACTERISTICA EL SER SENSITIVOS A LA INICIACION POR UN FULMINANTE O CORDON DETONANTE DE 50 GRANOS:

- 1.- CEBOS DE ALTA PRESION HDP-1 O HDP-3
- 2.- CEBOS EXTRUIDOS DE PLASTICO "DETAPRIMES".
- 3.- HIDROGELES ENCARTUCHADOS, "TOVEX P"

CADA UNO DE ESTOS ESTA DISEÑADO PARA SATISFACER LOS REQUERIMIENTOS PARA UNA DETERMINADA CONDICION DE PRESION, ENERGIA, VELOCIDAD, TAMAÑO, COSTO O CONVENIENCIA. CADA UNO REQUIERE UNA TECNICA DE ENSAMBLE ESPECIFICO PARA CADA CEBO EN PARTICULAR E INICIADOR QUE SE ESTE USANDO. SIN EMBARGO, CIERTOS PROCEDIMIENTOS SON COMUNES A TODOS LOS CEBOS:

- 1.- ASEGURAR EL DETONADOR O EL CORDON DETONANTE PARA QUE NO PUEDA SER JALADO O SACADO DEL CARTUCHO CEBADO O CONTENEDOR.
- 2.- COLOCAR EL DETONADOR O EL CORDON DETONANTE EN EL LUGAR MAS SEGURO Y MAS EFECTIVO DEL CARTUCHO CEBO. ESTO GENERALMENTE, ES CERCA DEL CENTRO DEL CARTUCHO CEBO Y APUNTADO HACIA LA CARGA PRINCIPAL.
- 3.- NO EXPONGA LOS ALAMBRES DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS O EL CORDON DETONANTE A LOS JALONES QUE LOS PUEDEN DAÑAR, TENSIONES O ABRASION.
- 4.-SELECCIONE EL CEBO CON LA ADECUADA RESISTENCIA AL AGUA.
- 5.- DESARROLLE UN SISTEMA QUE PERMITA EL ENSAMBLE COMPLETO DEL CEBO A SER CARGADO SEGURA Y FACILMENTE Y ADEMAS EN LA POSICION DE CARGA DESEADA..

PREPARACION DEL CEBO CON ESTOPINES ELECTRICOS. EL METODO PREFERIDO PARA CEBAR CARTUCHOS SENSIBLES A LA CAPSULA MAYORES A 4 PULGADAS DE DIAMETRO ES COMO SIGUE:

- 1.- HAGA UN ORIFICIO EN UN LADO DE APROXIMADAMENTE A 10 PULGADAS DEL EXTREMO INFERIOR DEL CARTUCHO.
- 2.- INSERTE LA CAPSULA LO MAS PROFUNDO POSIBLE EMPUJADA CON EL DEDO DENTRO DEL EXPLOSIVO, ASEGURANDOSE QUE LA CAPSULA SE ENCUENTRE CERCA DEL CENTRO DEL CARTUCHO Y APUNTANDO EN DIRECCION DE LA CARGA PRINCIPAL.
- 3.- HAGA 2 LAZADAS ALREDEDOR DEL CARTUCHO ARRIBA Y ABAJO DE LA CAPSULA PARA SOPORTAR EL PESO DE LA CARGA DURANTE EL CARGADO Y MANTENER LA CAPSULA EN POSICION.

PREPARACION DEL CEBO CON CORDON DETONANTE. EL CORDON DETONANTE DE 50 GRANOS POR PIE Y MAYORES, GENERALMENTE INICIARA UN EXPLOSIVO EN CARTUCHADO SENSIBLE A LA CAPSULA SI SE COLOCA DENTRO DEL CARTUCHO O EN CONTACTO CON ESTE POR LA PARTE EXTERIOR. EXISTEN EXCEPCIONES A ESTO. POR LO TANTO, LAS RECOMENDACIONES DE CEBADO PARA UN TIPO PARTICULAR DE EXPLOSIVO DEBERAN SEGUIRSE SIEMPRE. PARA ASEGURARSE EL CORDON DETONANTE DEBERA AMARRARSE A PARTIR DE LOS CARTUCHOS DE 1 3/4 DE PULGADA DE DIAMETRO Y MAYORES A UNA DISTANCIA POR LO MENOS EQUIVALENTE A 3 DIAMETROS DEL CARTUCHO DEL EXTREMO DE CEBADO.

PREPARACION DEL CEBO CON MECHA Y FULMINANTE. CUANDO SE PREPARAN CEBOS CON FULMINANTE Y MECHA DE SEGURIDAD HAY 3 CONSIDERACIONES MUY IMPORTANTES:

- 1.- LA MECHA NO DEBERA TORCERSE.
- 2.- LA MECHA DEBERA ENCONTRARSE EN UNA POSICION TAL QUE EL ATACADOR NO LA MALTRATE DURANTE LA CARGA.
- 3.- EL FULMINANTE DEBERA, QUEDAR COLGADO EN EL CENTRO DEL CARTUCHO CEBADO A LO LARGO DEL EJE LONGITUDINAL.

PREPARACION DEL CEBO CON CAPSULAS DE RETARDO NO ELECTRICOS. ESTE TIPO DE PREPARACION DE CEBO ES SIMILAR AL DE LA MECHA Y FULMINANTE. LAS CAPSULAS DE RETARDO NO ELECTRICAS SON INICIADAS POR UNA LINEA DE CONEXION DE UN PEQUEÑO CORDON DETONANTE. ESTA LINEA NO DEBE TORCERSE DENTRO O FUERA DEL BARRENO. AUN MAS, DOS REQUERIMIENTOS DE CEBADO ESPECIALES DEBEN DE CONSIDERARSE:

- 1.- UN EXPLOSIVO QUE NO SEA INICIADO O AFECTADO POR LA ONDA DE CHOQUE DEL CORDON DETONANTE DEBE USARSE CON LOS DETONADORES NO ELECTRICOS.
- 2.- EL EXTREMO DE LA CAPSULA DE RETARDO NO DEBE COLOCARSE MUY CERCA DEL CORDON -- DONDE PUEDE SER INICIADO PREMATURAMENTE POR EL GOLPE DEL CORDON Y DESTRUIR LA SECUENCIA DE RETARDO DE LA VOLADURA.

LOCALIZACION DEL CEBO. LOS CEBOS SON MAS EFECTIVOS CUANDO SE COLOCAN DE TAL MANERA QUE LA ONDA DE DETONACION DE LOS INICIADORES Y DE LA CARGA DE CEBO VIAJA HACIA EL EXPLOSIVO A CEBAR Y EN LA DIRECCION HACIA LA CUAL SE DESPLAZARA SU ONDA DE DETONACION. A ESTO SE LE LLAMA CEBADO DIRECCIONAL. POR LO TANTO, LO MEJOR ES COLOCAR EL DETONADOR EN EL CEBO APUNTANDO HACIA EL VOLUMEN DE CARGA DEL CEBO.

PRIMERO COLOQUE EL CARTUCHO CEBADO EN EL BARRENO CON LA CAPSULA APUNTANDO HACIA EL BROCAL DEL HOYO, CUANDO EL CEBO SE CARGA AL FONDO DEL BARRENO CON LA PUNTA DE DISPARO DE LA CAPSULA APUNTANDO HACIA EL BROCAL Y EL VOLUMEN DE LA CARGA TOTAL, SE LE CONOCE COMO CEBADO INDIRECTO. POR LO OTRO LADO, CUANDO UN CEBO SE COLOCA EN O CERCA DEL BROCAL DEL BARRENO CON LA CAPSULA APUNTANDO HACIA EL FONDO DEL BARRE-

NO SE LE CONOCE COMO CEBADO DIRECTO.

EL CEBADO INDIRECTO SE USA MAS AMPLIAMENTE DEBIDO A:

- 1.- REDUCE LA POSIBILIDAD DE CORTES EN LOS BARRENOS.
- 2.- REDUCE LA POSIBILIDAD DE CARTUCHOS NO DISPARADOS (PATAS) EN EL FONDO DEL BARRENO.
- 3.- ASEGURA UN CEBO EN LA PARTE INFERIOR DEL DISPARO. (SI SE ENCONTRASE UN BARRENO BLOQUEADO PROVOCANDO UNA SEPARACION DE LA CARGA DE EXPLOSIVO, SIEMPRE ES POSIBLE AÑADIR UN CEBO ADICIONAL).
- 4.- PERMITE RECUPERAR EL CARTUCHO CEBADO DE UN BARRENO BLOQUEADO.
- 5.- GENERALMENTE PRODUCE MAYOR AVANCE Y DESPLAZAMIENTO DE ROCA EN FRENTE DE DESARROLLO Y OTRAS CONDICIONES DIFICILES DE VOLADURAS.

CEBADO DE PRODUCTOS ANFO. DEBIDO A SUS PROPIEDADES COMO EXPLOSIVO, ASI COMO SUS REQUERIMIENTOS DE CEBADO EL ANFO DEPENDE MUCHO DE LA CONDICIONES DE USO. EL ESTADO ESTABLE DE VELOCIDAD DE DETONACION DEL ANFO VARIA DE APROXIMADAMENTE 8,000 PIES X SEGUNDO (2,400 METROS X SEGUNDO) EN BARRENOS DE 1 1/2 PULGADAS DE DIAMETRO HASTA APROXIMADAMENTE 15,000 PIES POR SEGUNDO (4,570 METROS X SEGUNDO) EN BARRENOS DE 12 PULGADAS DE DIAMETRO.

DEBIDO A QUE SU VELOCIDAD DE DETONACION AUMENTA CON EL DIAMETRO, LA PRESION DE DETONACION DEL ANFO TAMBIEN SE INCREMENTA EN BARRENOS DE DIAMETRO MAYOR. POR LO TANTO, LAS CONDICIONES DEL ESTADO ESTABLE PARA UN TAMAÑO DADO DE CEBO SERAN ALCANZADOS MAS RAPIDAMENTE AL INCREMENTARSE LA PRESION DE DETONACION DEL CEBO.

LA VELOCIDAD DE ESTADO ESTABLE DEL ANFO DEBIDAMENTE CEBADO NORMALMENTE SE ALCANZA A UNA DISTANCIA EQUIVALENTE A 2 O 3 DIAMETROS DEL BARRENO DEL CEBO. SI EL DIAMETRO DEL CEBO ES PEQUEÑO EN RELACION CON EL DIAMETRO DEL ANFO, EL ANFO SOLO ES INICIADO EN UN AREA PEQUEÑA.

LA DISTANCIA REQUERIDA PARA ALCANZAR LA VELOCIDAD DE ESTADO ESTABLE PUEDE VARIAR DE UNAS CUANTAS PULGADAS, DONDE EL CEBO Y LA COLUMNA DE ANFO SEAN DE APROXIMADAMENTE EL MISMO DIAMETRO, HASTA VARIOS PIES CUANDO EL DIAMETRO DEL CEBO SEA PEQUEÑO EN COMPARACION AL DIAMETRO DEL ANFO.

CEBADO DE PRODUCTOS EMPACADOS DE ANFO. LOS PRODUCTOS DE ANFO EMPACADOS, CLASIFICADOS COMO NITRO-CARBO-NITRATOS, FRECUENTEMENTE OFRECEN AL USUARIO VENTAJAS DE COSTO. SU DESEMPEÑO DEPENDE DE UN CEBO ADECUADO Y BUENA PRACTICA DE CARGA. SIN EMBARGO, LOS MEJORES CEBOS QUE EXISTEN, NO PODRAN SOBREPONER MALAS PRACTICAS QUE DEN COMO RESULTADO SEPARACION DE LAS UNIDADES O UNA LARGA SOBREEXPOSICION AL AGUA. UN CUIDADO EXTREMO DEBERA PONERSE AL MOMENTO DE CARGAR ESTOS PRODUCTOS. DEBIENDO SI-

EMPRE CEBAR LOS MISMOS CON CEBOS DE ALTA PRESION HDP O HIDROGELES RESISTENTES AL AGUA DE ALTA DENSIDAD Y DE ALTA VELOCIDAD.

DE SER POSIBLE EL DIAMETRO DEL CEBO DEBERA SER ESENCIALMENTE EL MISMO QUE EL DIAMETRO DEL PRODUCTO

EL ANFO EMPACADO SE USA NORMALMENTE CUANDO EXISTE AGUA PRESENTE. EL CARGADO EN AGUA SIEMPRE PRESENTA LA POSIBILIDAD DE SEPARACION DE LOS CARTUCHOS DURANTE EL CARGADO Y DESENSIBILIZACION DEL CONTENIDO POR PENETRACION DE AGUA. DEBIDO A LA INSENSIBILIDAD DEL PRODUCTO CADA CARTUCHO DEBERA ESTAR EN CONTACTO EN LA PARTE SUPERIOR O INFERIOR CON UN CEBO Y ESTE EN CONTACTO A SU VEZ CON CORDON DETONANTE O BIEN CONTENIENDO UNA CAPSULA. ESTO SIGNIFICA QUE UN CEBO DEBERA COLOCARSE DESPUES DE CADA DOS CARTUCHOS EN LA COLUMNA.

CAPITULO V

5. METODOS Y TECNICAS

5.1. DISPARANDO CON FULMINANTE Y MECHA.

LA MECHA DE SEGURIDAD ES UN MEDIO A TRAVES DEL CUAL LA FLAMA SE CONDUCE EN FORMA CONTINUA A UNA VELOCIDAD RELATIVAMENTE UNIFORME PARA INICIAR LA CARGA SENSIBLE - AL CALOR EN UN FULMINANTE ORDINARIO. LOS ENSAMBLES DE FULMINANTE Y MECHA PUEDEN DISPARAR CARGAS SIMPLES O CARGAS MULTIPLES CUANDO HAN SIDO DISEÑADAS PARA INICIARSE EN ROTACION. EN EL CASO DONDE LAS CARGAS DEBEN SER INICIADAS INSTANTANEAMENTE, COMO EN EL TRABAJO DE PRE-CORTE, O CON INTERVALOS CORTOS DE RETARDO NO PUEDEN USAR ESTE METODO DE INICIACION DEBIDO A QUE LA REGULACION DEL TIEMPO EN VOLADURAS CON MECHA NO ES SUFICIENTEMENTE PRECISO.

LA VOLADURA CON FULMINANTE Y MECHA DEBERA USARSE UNICAMENTE DONDE EXISTA UN TIEMPO LARGO DE RETARDO ENTRE LA DETONACION DE BARRENOS INDIVIDUALES SIN CREAR UN -- PROBLEMA.

NO CONFIE EN QUE TODAS LAS MECHAS SE CONSUMEN A 120 SEGUNDOS POR YARDA. LOS FABRICANTES ESTABLECEN QUE PONEN TODO EL CUIDADO Y PRECAUCION PARA FABRICAR UNA MECHA DE SEGURIDAD, LA CUAL SE CONSUMIRA DENTRO DE UNA VARIACION PERMITIBLE DE UN 10% - MAYOR O MENOR QUE LA ESTANDAR. LOS FABRICANTES NO DAN GARANTIA CON RESPECTO A LA VELOCIDAD DE COMBUSTION DEBIDO A LA CANTIDAD DE CIRCUNSTANCIAS Y CONDICIONES A -- LAS CUALES ESTA SUJETA LA MECHA DESPUES DE DEJAR LA FABRICA.

5.1.1. ENSAMBLE DE FULMINANTE Y MECHA.

CORTE DE LA MECHA DE SEGURIDAD. ALGUNOS DE LOS FACTORES IMPORTANTES AL CORTAR LA MECHA SON:

- ANTES DE DESENRROLLAR LA MECHA ASEGURESE DE QUE ESTE CALIENTE Y FLEXIBLE. ES DE CIR A UNA TEMPERATURA DE 45 GRADOS F.
- CUANDO LA MECHA HA ESTADO EXPUESTA AL AIRE POR UN TIEMPO CONSIDERABLE LOS EXTREMOS DEBERAN DE CORTARSE UN MINIMO DE UNA PULGADA, Y DESECHADOS.
- CUANDO SE MIDAN LOS TRAMOS LA MECHA NO DEBERA ENROLLARSE ALREDEDOR DE CLAVOS DE DIAMETRO PEQUEÑO YA QUE ESOS DOBLECES PRONUNCIADOS ES MUY PROBABLE QUE CAUSEN UNA ROTURA EN EL RECUBRIMIENTO A PRUEBA DE AGUA.

- LA LONGITUD DE LA MECHA DEBERA SER SUFICIENTE PARA ALCANZAR DESDE EL CEBO DE INICIACION HASTA LA BOCA DEL BARRENO, MAS UN TRAMO ADICIONAL FUERA DEL BARRENO.
- EL CORTADOR DE MECHA DEBERA DE TENER UNA NAVAJA LIMPIA Y FILOSA PARA EVITAR EM BARRAR EL MATERIAL A P RUEBA DE AGUA SOBRE EL NUCLEO DE POLVORA.
- LA MECHA DEBERA SER CORTADA EN ESCUADRA E INSERTADA EN EL FULMINANTE INMEDIATAMENTE DESPUES DE CORTARLA.
- LA MECHA NO DEBERA SER MANEJADA RIDAMENTE EN NINGUN MOMENTO, YA SEA ANTES O DESPUES DE SER CORTADA.

INSERTANDO LA MECHA DENTRO DEL FULMINANTE LOS FULMINANTES NO DEBERAN SACARSE DE LA CAJA HASTA QUE VAYAN A SER UTILIZADOS. SIEMPRE DEBERAN DE SER EXAMINADOS PARA ASEGURARSE QUE NO ESTEN HUMEDOS O QUE MATERIAS EXTRAÑAS SE HAN INTRODUCIDO DENTRO DEL FULMINANTE SOBRE LA POLVORA DE IGNICION. LA MECHA DEBERA DE INSERTARSE SUAVEMENTE DENTRO DEL FULMINANTE HASTA QUE ASIENTE SOBRE LA CARGA. LA MECHA NO DEBERA DE SER TORCIDA PARA COLOCARLA O ASENTARSE CON FUERZA O VIOLENCIA. ES ABSOLUTAMENTE NECESARIO QUE EL NUCLEO DE POLVORA EN EL EXTREMO DE LA MECHA ESTE EN CONTACTO CON LA CARGA EN EL FULMINANTE.

ACOPLANDO FULMINANTES Y MECHA. ENGARGOLAR ES UNA IDENTIFICACION QUE SE HACE EN EL CASQUILLO DEL FULMINANTE PARA UNIR AL FULMINANTE Y LA MECHA. DEBERA APRETARSE LO SUFICIENTE PARA MANTENER AL FULMINANTE ASEGURADO EN SU LUGAR Y PROPORCIONAR UN SELLO. UN ENGARGOLADO OLGADO PERMITE QUE LA MECHA SE SEPRE DE LA CARGA DEL FULMINANTE O SE SALGA COMPLETAMENTE DEL CASQUILLO, Y PUEDE PERMITIR QUE EL AGUA SE INTRODUCZA HACIA LAS POLVORAS DE IGNICION. ESTO PUEDE TENER COMO RESULTADO QUE NO HAYA DETONACION, QUE LA CARGA DEFLAGRE, O UN DISPARO RETRASADO. TODOS LOS ENGARGOLADOS DEBERAN DE HACERSE CERCA DEL EXTREMO ABIERTO DEL CASQUILLO DEL FULMINANTE A NO MAS DE 3/8 DE PULGADA DEL EXTREMO ABIERTO DEL CASQUILLO.

5.1.2. PREPARANDO EL CEBO DE INICIACION.

HAY VARIOS METODOS PARA CEBAR UN HIDROGEL (WATER GEL) ENCARTUCHADO U UNA DINAMITA CON FULMINANTE Y MECHA, EL METODO MAS SEGURO Y COMUN ES EL CEBADO DE EXTREMO INVERTIDO. PARA USARLO:

- HAGA UN AGUJERO CERCA DEL CENTRO EN EL EXTREMO Y SOBRE EL EJE LONGITUDINAL DEL CARTUCHO LO SUFICIENTEMENTE GRANDE PARA PERMITIR UNA FACIL INSERCIION Y LO SUFICIENTEMENTE PROFUNDO PARA ENCAJAR COMPLETAMENTE EL FULMINANTE DENTRO DEL EXPLOSIVO POR LO MENOS 2 1/2 PULGADAS.

--INSERTE EL FULMINANTE PARA QUE POR LO MENOS UN CUARTO DE PULGADA DE EXPLOSIVO -
LO CIRCUNDEN EN TODAS DIRECCIONES.

--DOBLE LA MECHA HACIA ATRAS SOBRE EL EXTREMO DE TAL FORMA QUE NO SE ENREDE Y PER-
MANEZCA A LO LARGO DEL CARTUCHO CUANDO EL CEBÓ DE INICIACION SE CARGE DENTRO -
DEL BARRENO.

5.1.3. ENCENDIENDO LA MECHA DE SEGURIDAD.

ENCENDIDO A MANO. PARA ENCENDER A MANO LA MECHA DE SEGURIDAD CONFIABLEMENTE, SE -
DEBERA USAR UNA FLAMA INTENSAMENTE CALIENTE Y LOS EXTREMOS DE LA MECHA DEBERAN ES-
TAR LIMPIOS Y RECIENTEMENTE CORTADOS. LA MECHA NUNCA DEBERA SER ENCENDIDA MEDIAN-
TE UNA ANTORCHA DE GASOLINA, UNA LAMPARA DE MINERO, UN PALO DE MADERA ENCENDIDO,
O UN PURO. NO DEBERA USARSE NINGUN METODO DE ENCENDIDO MANUAL QUE CONFUNDA U O-
CULTE EL HECHO DE QUE LA MECHA HA SIDO ENCENDIDA. ESTOS METODOS SON LENTOS Y DES-
CONFIABLES Y ADEMAS EXTREMADAMENTE PELIGROSOS.

EL NUCLEO DE LA POLVORA DE LA MECHA DE SEGURIDAD SE CONSUME DENTRO DE SU ENVOLTU-
RA Y NO PUEDE VERSE DESPUES DEL CHISPORROTEO INICIAL. ALGUNAS MARCAS EMITEN HU-
MO ATRAVES DE LA ENVOLTURA MIENTRAS SE CONSUME LA POLVORA. LA DECOLORACION VISU-
AL EN EL EXTERIOR DE LA MECHA ES APARENTE RAPIDAMENTE, SIN EMBARGO, ESTA PUEDE ES-
TAR ATRAS DEL PUNTO DE COMBUSTION DEL NUCLEO. POR ESTA RAZON NO ES UNA INDICACION
CONFIABLE DE DONDE SE ESTA QUEMANDO. EL CHISPORROTEO FINAL ES UN CHORRO DE FLAMA
DE APROXIMADAMENTE DOS PULGADAS DE LARGO QUE BROTA DEL EXTREMO DE LA MECHA EN EL
MOMENTO QUE ESTA SE ENCIENDE. DURA POR LO MENOS UN SEGUNDO Y ES SEGUIDA DE HUMO -
QUE SE LEVANTA DESDE EL EXTREMO DE LA MECHA.

5.2. VOLADURAS CON CORDON DETONANTE.

EL CORDON DETONANTE ES UN TUBO FLEXIBLE QUE CONTIENE UN NUCLEO CENTRAL DE UN EXPLOSIVO DE ALTA VELOCIDAD, SENSIBLE AL FULMINANTE, GENERALMENTE DE PETN, QUE SE USA PARA:

--DETONAR OTRO ALTO EXPLOSIVO CON EL QUE ESTE ENTRA EN CONTACTO.

--TRANSMITIR UNA ONDA DE DETONACION DE CORDON DETONANTE A CORDON DETONANTE O A UN DETONADOR NO ELECTRICO DE RETARDO.

EL NUMERO DE GRANOS DE EXPLOSIVO POR PIE LINEAL DE CORDON Y EL ESPESOR QUE SE TIENE, DETERMINAN LA CAPACIDAD DE CEBADO DEL CORDON. LAS DIVERSAS COMBINACIONES DE ENVOLTURAS TEXTILES Y PLASTICAS PROPORCIONAN LA RESISTENCIA DE TENSION DEL CORDON Y LA RESISTENCIA AL AGUA.

AUN CUANDO LOS CORDONES DETONANTES DE PETN SON SENSIBLES AL FULMINANTE Y DETONAN A MAS DE 22,000 PIES POR SEGUNDO (APROXIMADAMENTE 6,700 METROS POR SEGUNDO), SON RELATIVAMENTE RESISTENTES A LA DETONACION ACCIDENTAL DEBIDA A IMPACTO, CHOQUE, --FRICCION, O ELECTRICIDAD EXTERNA. SIN EMBARGO A PESAR DE ESTA SENSIBILIDAD RELATIVAMENTE BAJA AL MALTRATO, LOS CORDONES DETONANTES SON ALTOS EXPLOSIVOS Y HAN DETONADO ACCIDENTALMENTE EN FORMA PREMATURA EN ALGUNAS OCASIONES.

LOS CORDONES DETONANTES MAS AMPLIAMENTE USADOS TIENEN 25 O 50 GRANOS DE PETN POR PIE. Y TIENEN LA ENERGIA DE INICIACION APROXIMADA POR LO MENOS IGUAL A UN FULMINANTE DEL Nº 6 EN CUALQUIER PUNTO A LO LARGO DE SU SENDERO DE DETONACION, PUDIENDO INICIAR PRODUCTOS SENSIBLES AL FULMINANTE.

LOS CORDONES DETONANTES SON PARTICULARMENTE IDEALES PARA:

--OPERADORES QUIENES PREFIEREN UN SISTEMA DE VOLADURA NO ELECTRICO DEBIDO A QUE SE PUEDE PRESENTAR CORRIENTES EXTRAÑAS POTENCIALMENTE PELIGROSAS.

--VOLADURA DE CARGAS MULTIPLES SIN RETARDO SIGNIFICATIVO ENTRE LAS CARGAS.

--CEBADO MULTIPLE O TACOS INTERMEDIOS EN BARRENOS PROFUNDOS, DE DIAMETRO GRANDE.

--VOLADURAS GRANDES O COYOTERAS.

--INICIAR CARGAS DE VOLADURA EN ALCANCIAS.

--VOLADURAS SUBMARINAS DONDE ES DIFICIL AISLAR LAS CONEXIONES ELECTRICAS.

5.2.1. CEBADO Y CARGA.

EN LA MAYORIA DE LAS VOLADURAS SE PREFIERE CORDON DETONANTE DE 50 GRANOS POR PIE COMO LINEA DESCENDENTE PARA INICIAR LA CARGA DE COLUMNA DE ALTO EXPLOSIVO O CEBOS DE INICIACION. PUES TIENE UNA MAYOR CONFIABILIDAD DE CEBADO Y RESISTENCIA A LA -- TENSION QUE EL CORDON DETONANTE DE CARGA MAS BAJA Y BRINDA UNA MAYOR ECONOMIA -- QUE CORDONES DETONANTES MAS GRANDES. POR OTRA PARTE, EL CORDON DETONANTE DE 25 -- GRANOS POR PIE ES AMPLIAMENTE USADO EN BARRENOS POCO PROFUNDOS, TALES COMO LOS EN CONTRADOS EN TRABAJOS DE TUBERIA, CEBADO DE CARGAS DE VOLADURAS DE ALCANCIA, Y EN TRONCALES DE LA LINEA PRINCIPAL.

LOS BARRENOS DE GRAN DIAMETRO FRECUENTEMENTE SE INICIAN CON CORDON DETONANTE POR RAZONES DE SEGURIDAD, PREVENCION DE CORTES, Y CEBADO EN MULTIPLES PUNTOS. ALGUNOS DE LOS PROCEDIMIENTOS BASICOS PARA CARGAR UN BARRENO DE GRAN DIAMETRO CON CORDON DETONANTE DE 50 GRANOS SON:

- CHEQUE EL BARRENO CON UN ESPEJO O CINTA METRICA PARA ASEGURARSE DE QUE NO HAY - OBSTRUCCION Y QUE ESTA A PROFUNDIDAD COMPLETA.
- AMARRE EL CORDON DETONANTE AL PRIMER CARTUCHO O CEBO DE INICIACION CARGADO DENTRO DEL BARRENO.
- INSERTE UNA VARA A TRAVES DEL HOYO AXIAL DEL CARRETE DE CORDON DETONANTE PARA - FACILITAR EL MANEJO.
- ASEGURESE QUE EL CARTUCHO ESTA REALMENTE EN EL FONDO DEL BARRENO.
- DESPUES DE CARGADO EL PRIMER CARTUCHO, CORTE EL CORDON DETONANTE DEL CARRETE. ES MUY IMPORTANTE MOVER EL CARRETE AL SIGUIENTE BARRENO, O A UNA DISTANCIA SEGU RA, TAN PRONTO COMO SE HA CORTADO EL CORDON DETONANTE QUE SE EXTIENDE DESDE EL BARRENO. SI SE DEJA EL CARRETE AMARRADO AL BARRENO, ESTE PUEDE DETONAR EN LA - SUPERFICIE EN EL CASO DE UNA VOLADURA PREMATURA Y PROPAGARSE HACIA OTROS EXPLO SIVOS APILADOS CERCA DEL BARRENO CON RESULTADOS DESASTROSOS.
- DEJE TRES PIES MAS DE CORDON DETONANTE EXTRA PARA COMPENSAR CUALQUIER UNDIMIEN- TO A MAS PROFUNDIDAD DEL PRIMER CARTUCHO DENTRO DEL BARRENO Y PARA HACER CONE- XIONES POSTERIORES EN LA SUPERFICIE.
- MANTENGA LA LINEA DE CORDON DETONANTE TENSA Y SOSTENGALA A UN LADO DEL BARRENO DE TAL FORMA QUE NO SE ROMPA O INTERFIERA CON LA OPERACION DE CARGADO SUBSECU- ENTE.
- DESPUES DE CARGAR EL BARRENO, AMARRE EL EXTREMO DEL CORDON EN LA PARTE SUPERIOR DELBARRENO PARA EVITAR QUE SEA PATEADA POR EL PRODUCTO AL HUNDIRSE EN EL BARRENO.

5.2.2. VOLADURA INSTANTANEA.

ACTUALMENTE MUY POCAS VOLADURAS NO SON DE RETARDO, SIN EMBARGO ALGUNOS ALGUNOS OPERADORES AUN LAS DISPARAN INSTANTANEAMENTE DONDE NO EXISTEN PROBLEMAS DE VIBRACION Y GOLPE DE AIRE. PROBABLEMENTE LE INCENTIVO MAS GRANDE PARA DISPARAR UNA VOLADURA INSTANTANEAMENTE ES TENIENDO UNA SITUACION DONDE LA POSIBILIDAD DE CORTE EN LA COLUMNA DE EXPLOSIVO, DEBIDO AL MOVIMIENTO DEL SUELO EXCEDE EN IMPORTANCIA AL MEJORAMIENTO DE LA FRAGMENTACION OBTENIDO MEDIANTE EL USO DE RETARDOS. SIN EMBARGO, HAY MUY POCAS FORMACIONES GEOLOGICAS QUE NO SE ADAPTEN A LA VOLADURA DE RETARDO.

SE PUEDE LOGRAR UNA MEJORA EN EL ROMPIMIENTO DE ROCA, FRAGMENTACION, DESPLAZAMIENTO, SOBRRROMPIMIENTO HACIA ATRAS, Y ROCA VOLANTE, DISPARANDO LOS BARRENOS MAS CERCERA DEL FRENTE LIBRE. EL TIEMPO DE DEMORA ALCANZADO POR LA VELOCIDAD DE DETONACION DEL CORDON ES DE APROXIMADAMENTE UN MILISEGUNDO POR CADA 22 PIES. POR LO TANTO EL EFECTO DE RETARDO SERA MINIMO.

5.2.3. SISTEMAS DE RETARDO DE SUPERFICIE.

COMO RESULTADO DE LAS PRIMERAS EXPERIENCIAS CON EL DISPARO DE RETARDO DE INTERVALO CORTO Y LA INICIACION DE SUPERFICIE, LOS ESPACIAMIENTOS MENORES DE 15 PIES SE CONSIDERARON DUDOSOS DE NO PROVOCAR CORTES. SIN EMBARGO, POSTERIORES DESARROLLOS INDICARON QUE LOS CORTES EN EL BARRENO DEPENDIAN MAS EN EL DISEÑO GENERAL DE VOLADURA, EN LA PROFUNDIDAD DE LOS BARRENOS, Y EN LAS CARACTERISTICAS FISICAS DE LA FORMACION (TALES COMO LA INICIACION DE LOS ESTRATOS, PLANOS DE FRACTURA Y GRIETA) QUE EN LOS ESPACIAMIENTOS Y BORDOS DE LOS BARRENOS. POR EJEMPLO, LOS CONECTORES MS ACTUALES LLEVAN CON EXITO LOS RETARDOS DE LA SUPERFICIE EN BARRENOS DE DIAMETRO PEQUEÑO EN VOLADURAS DE ZANJEO CON ESPACIAMIENTO DE TRES A CUATRO PIES. SIN EMBARGO, GENERALMENTE SE ACEPTA QUE EL TIEMPO DE RETARDO ENTRE LOS BARRENOS NO DEBERA EXCEDER DE UN MILISEGUNDO POR PIE DE ESPACIAMIENTO.

CONECTORES MS. ESTOS CONECTORES OFRECEN EL MEDIO MAS CONVENIENTE PARA DISPARAR VOLADURAS CON CORDON DETONANTE USANDO EL METODO DE RETARDOS DE INTERVALO CORTO SOBRE LA SUPERFICIE. SE ACOPLAN EN FORMA SENCILLA A LA LINEA TRONCAL ENTRE LOS BARRENOS O LOS GRUPOS DE BARRENOS PARA DAR UNA SECUENCIA A LA VOLADURA EN UN ORDEN PREDETERMINADO. SE FABRICAN CON INTERVALOS DE RETARDO DE 5, 9, 17, Y 25 MILISEGUNDOS. LOS DE INTERVALO CORTO SE REQUIEREN GENERALMENTE PARA BARRENOS DE DIAME-

TRO PEQUEÑO PERFORADOS CON SEPARACIONES ESTRECHAS, MIENTRAS QUE LOS DE INTERVALOS MAS LARGOS SON PARA BARRENOS DE DIAMETRO MAS GRANDES PERFORADOS EN SEPARACIONES - MAYORES.

LOS CONECTORES MS SE USAN CON EXITO EN TRABAJOS DE CONSTRUCCION DE ZANJAS PARA TU BERIA. EN ESTA APLICACION PUEDEN MEJORAR LA FRAGMENTACION, REDUCIR ROCA VOLANTE REDUCIR LA SOBREEXCAVACION, Y AYUDAN A DEJAR UN FONDO ALISADO EN TRABAJOS RUDOS - DE VOLADURA. POR LO TANTO, AGILIZAN LA PRODUCCION DEL RETROEXCAVADOR, REDUCEN EL TRABAJO DE LIMPIEZA, Y MINIMIZAN VOLADURAS SECUNDARIAS CUANDO EL FONDO DE LA ZAN- JA SE ROMPE AISLADO Y LIMPIO, LA CANTIDAD DE RELLENO NECESARIO BAJO LA TUBERIA SE REDUCE.

5.2.4.EFECTOS DEL CORDON DETONANTE SOBRE EL ANFO EN BARRENOS PEQUEÑOS.

LOS CORDONES DETONANTES PARA INICIAR LOS CEBOS PUEDEN ALGUNAS VECES CAUSAR DETONA CIONES DE BAJO ORDEN DE LOS PRODUCTOS DE ANFO EN BARRENOS DE DIAMETRO PEQUEÑO (ME NOS DE CUATRO PULGADAS). EN CEBOS DE FONDO DE UN SOLO PUNTO EL CORDON DISPARA A - TRAVES DE LA COLUMNA DE ANFO ANTES DE ALCANZAR ALGUN CEBO Y COMUNICA UN GOLPE VIO LENTO AL ANFO. EN ALGUNOS CASOS LA ENERGIA DEL ES SUFICIENTE PARA DETONAR PARCI- ALMENTE EL ANFO. ESTO DA COMO RESULTADO QUE UNA PORCION DE LA COLUMNA ESTA DETO-- NANDO PARCIALMENTE A UN RENDIMIENTO DE BAJO ORDEN. ALGUNAS VECES ES CAUSA DE UN - ROMPIMIENTO DEFICIENTE O INCONSISTENTE EN LAS PORCIONES SUPERIORES DE LOS BARRE-- NOS. ESTE EFECTO PUEDE SER MINIMIZADO MEDIANTE EL USO DE CEBADO DE PUNTOS MULTI-- PLES. COLOCANDO UN CEBO CERCA DE LA PARTE SUPERIOR DE LA COLUMNA DE ANFO Y OTRO CERCA AL FONDO DEL BARRENO, PERO NUNCA A MAS DE 20 PIES DE DISTANCIA. EN BARRE- NOS PROFUNDOS SE PUEDEN NECESITAR VARIOS CEBOS DE INICIACION ESPACIADOS DE 10 A - 15 PIES DE SEPARACION.

CUANDO SEA POSIBLE, NO DEBERA USARSE CORDON DETONANTE EN BARRENOS CARGADOS CON -- ANFO DE MENOS DE CUATRO PULGADAS DE DIAMETRO.

5.3. TECNICAS DE DISPARO ELECTRICO.

LA VOLADURA ELECTRICA, CON TALES REFINAMIENTOS COMO LOS ESTOPINES DE RETARDO Y REGULADORES DE TIEMPO ELECTRONICOS, HA HECHO POSIBLE EL DISPARO SEGURO DE UN GRAN NUMERO DE CARGAS EN UNA SECUENCIA PREDISEÑADA DESDE UN LUGAR REMOTO Y SEGURO, CON CONTROL PRECISO SOBRE EL TIEMPO DE DISPARO. EL ADMIRABLE RECORD DE SEGURIDAD LOGRADO POR LOS CONSUMIDORES DE EXPLOSIVOS ES EL RESULTADO DEL CONOCIMIENTO APLICADO CON CUIDADO.

EL EXITO DE UNA VOLADURA ELECTRICA DEPENDE DE CUATRO PRINCIPIOS GENERALES; (1) SELECCION Y TRAZADO APROPIADO DEL CIRCUITO DE VOLADURA; (2) UNA FUENTE ADECUADA DE ENERGIA COMPATIBLE CON EL TIPO DE CIRCUITO DE VOLADURA SELECCIONADO; (3) EL RECONOCIMIENTO Y LA ELIMINACION DE TODO LOS RIESGOS ELECTRICOS; Y (4) BALANCEO DE CIRCUITO, BUENAS CONEXIONES ELECTRICAS Y PRUEBA DEL CIRCUITO TERMINADO.

LA SELECCION DEL CIRCUITO DEPENDERA EN EL NUMERO DE ESTOPINES ELECTRICOS A SER DISPARADOS Y EL TIPO DE OPERACION. EN GENERAL, UN CIRCUITO DE SERIE SIMPLE ES USADO EN VOLADURAS PEQUEÑAS CONSISTENTES DE MENOS DE 50 ESTOPINES ELECTRICOS. UN CIRCUITO DE SERIE EN PARALELO ES USADO CUANDO UN GRAN NUMERO DE ESTOPINES ELECTRICOS ESTA IMPLICADO. EL CIRCUITO PARALELO ES USADO UNICAMENTE EN APLICACIONES ESPECIALES.

REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE. EL EXITO DE LA INICIACION SIMULTANEA DE UN GRAN NUMERO DE ESTOPINES ELECTRICOS REQUIERE LA ENTRADA DE SUFICIENTE CORRIENTE A TODOS LOS ESTOPINES EN UNOS POCOS MILLISEGUNDOS. EL TIEMPO REQUERIDO PARA CALENTAR EL ALAMBRE PUENTE EN UN ESTOPIN ELECTRICO A LA TEMPERATURA QUE PROVOQUE LA COMBUSTION DE LA CARGA DE IGNICION ES EN FUNCION DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE.

EL ALAMBRE PUENTE DE LOS ESTOPINES COMERCIALES DOMESTICOS ES DE APROXIMADAMENTE 0.05 MILIMETROS Y REQUIERE DE 1.5 AMPERES PARA UNA INICIACION CONFIABLE. EL ALAMBRE PUENTE SE CALIENTA MUY RAPIDAMENTE Y TRANSFIERE EL CALOR A LOS POSTES DEL PUENTE Y A LA MEZCLA DE IGNICION. COMO RESULTADO, LA ENERGIA TRANSMITIDA EN UN INTERVALO DE TIEMPO DE MAS DE 10 MILLISEGUNDOS NO ES TAN EFICIENTE PARA CALENTAR EL ALAMBRE PUENTE COMO LA MISMA CANTIDAD DE ENERGIA TRANSMITIDA EN UNOS POCOS MILLISEGUNDOS.

LA CONSTRUCCION INTERNA DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS FABRICADOS POR DIFERENTES PAÑIAS VARIA CONSIDERABLEMENTE. COMO RESULTADO, ESTOS NO SON COMPATIBLES EN EL MISMO CIRCUITO DE VOLADURA. POR LO TANTO, ESTOPINES ELECTRICOS DE DIFERENTES FABRICANTE NUNCA DEBERAN USARSE EN LA MISMA VOLADURA.

PARA PROBAR EL CIRCUITO APROPIADAMENTE, LA RESISTENCIA TEORICA DEL CIRCUITO DEBE-
RA CALCULARSE. LA TABLA 5-1 DA LA RESISTENCIA DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS DE DU -
PONT PARA ALAMBRE DE COBRE O HIERRO DE VARIAS LONGITUDES. LA TABLA 5-2 DA LA RE-
SISTENCIA POR CADA 1,000 PIES DE ALAMBRE PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE ALAMBRE.
CIRCUITO EN SERIE. LA RESISTENCIA TOTAL DE UN CIRCUITO EN SERIE ES IGUAL A LA RE-
SISTENCIA DE CADA ESTOPIN MULTIPLICADO POR EL NUMERO DE ESTOPINES MAS LA RESIS-
TENCIA DE LA LINEA DE ENCENDIDO Y EL ALAMBRE DE CONEXION.

EJEMLO 1.- SUPONGA UN CIRCUITO EN SERIE DE 25 ESTOPINES DE RETARDO MS DE DU PONT
CON ALAMBRE DE COBRE DE 40 PIES Y UNA LINEA DE ENCENDIDO DE COBRE DE CALIBRE 14 -
DE 600 PIES.

PASO 1.- DETERMINE LA RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE ESTOPINES.

CONSULTE LA TABLA 5-1 PARA LA RESISTENCIA DE UN ESTOPIN DE RETARDO DE MS CON ALAM-
BRE DE COBRE DE 40 PIES. ESTA ES DE 2.06 OHMIOS ESTOPIN.

RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE ESTOPINES = Nº DE ESTOPINES X RESISTENCIA/ESTOPIN.

$$R = 25 \times 2.06$$

$$R = 51.5 \text{ OHMIOS.}$$

PASO 2.- DETERMINE LA RESISTENCIA DE LA LINEA DE ENCENDIDO.

CONSULTE LA TABLA 5-2 PARA LA RESISTENCIA DE ALAMBRE DE COBRE DE CALIBRE 14.

ESTA ES 2.525 OHMIOS/1000 PIES. UNA LINEA DE ENCENDIDO DE 600 PIES DE LARGO TIENE
1200 PIES DE ALAMBRE.

(600PIES X 2 CONDUCTORES = 1200 PIES).

RESISTENCIA DE LA LINEA DE ENCENDIDO = LONGITUD DE ALAMBRE X RESISTENCIA /1000 PIES

$$R = \frac{1200 \times 2.525}{1000} = 3.03 \text{ OHMIOS}$$

PASO 3.- DETERMINE LA RESISTENCIA TOTAL DEL CIRCUITO DE VOLADURA.

RESISTENCIA TOTAL = RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE ESTOPINES + RESISTENCIA DE LA LINEA
DE ENCENDIDO.

$$R = 51.5 + 3.03$$

$$R = 54.53 \text{ OHMIOS.}$$

LA AGUJA DEBERA AJUSTARSE A CERO EN EL INSTRUMENTO CUANDO SE PONGA EN CORTO CIRCUI-
TO ENTRE LAS TERMINALES. LAS TERMINALES SE CONECTAN ENTONCES A LA LINEA DE ENCN-
DIDO. EL INSTRUMENTO DEBERA ENTONCES DAR UNA LECTURA DE APROXIMADAMENTE 54 o 55 -
OHMIOS.

TABLA 5 - 1

RESISTENCIA NOMINAL DE LOS ESTOPINES
ELECTRICOS DE DU PONT EN OHMIOS POR ESTOPIN

LONGITUD DEL ALAMBRE EN PIES	ALAMBRE DE COBRE		ALAMBRE DE HIERRO		LONGITUD DEL ALAMBRE EN PIES
	ESTOPINES INSTAN- TANEOS	ESTOPINES DE RETARDO TIEMPO	ESTOPINES INSTAN- TANEOS	ESTOPINES DE RETARDO TIEMPO	
4	1.26	1.16	2.10	2.00	4
6	1.34	1.24	2.59	2.49	6
7	-	-	2.84	-	7
8	1.42	1.32	3.09	2.99	8
9	-	-	3.34	-	9
10	1.50	1.40	3.59	3.49	10
12	1.58	1.48	4.09	3.99	12
14	1.67	1.57	4.58	4.48	14
16	1.75	1.65	5.08	4.98	16
20	1.91	1.81	6.08	5.98	20
24	2.07	1.97			24
30	2.31	2.21			30
40	2.15	2.06			40
50	2.42	2.32			50
60	2.69	2.59			60
80	2.71	2.61			80
100	3.11	3.01			100
120	3.51	3.41			120
150	4.11	4.01			150
200	5.12	5.02			200
250	6.12	6.02			250
300	7.13	7.03			300
400	9.13	9.03			400

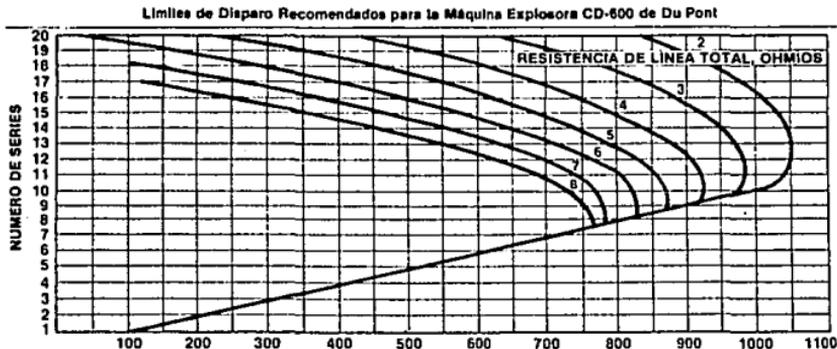
TABLA 5 - 2

RESISTENCIA DEL ALAMBRE DE COBRE

(AWG) CAA CALIBRE Nº	OHMIOS POR 1,000 PIES
6	0.395
8	0.628
10	0.999
12	1.588
14	2.525
16	4.02
18	6.39
20	10.15
22	16.14

(AWG) CAA = CALIBRE DE ALAMBRE AMERICANO

TABLA 5 - 3



NUMERO TOTAL DE ESTOPINES ELECTRICOS DE 2 OHMIOS
 PARA DETERMINAR LOS LIMITES DE LA MAQUINA EXPLOSORA CUANDO SE
 USAN ESTOPINES CON RESISTENCIA QUE NO SEAN DE 2 OHMIOS, ENCUEN-
 TRE EL NUMERO EQUIVALENTE DE LOS ESTOPINES DE 2 OHMIOS COMO
 SIGUE:

$$\frac{\text{Nº ESTOPINES EN LA VOLADURA X RESISTENCIA POR ESTOPIN}}{2} =$$

= NUMERO EQUIVALENTE DE LOS ESTOPINES DE 2 OHMIOS.

USE ESTE NUMERO PARA ENCONTRAR EL NUMERO RECOMENDADO DE SERIE.
 PARA CONDICIONES DE VOLADURA NORMALES USE UN NUMERO DE SERIE QUE
 ESTE ENTRE LA LINEA RECTA Y LA LINEA CURVA ESPECIFICANDO LA RE-
 SISTENCIA TOTAL DE LA LINEA DE VOLADURA.

UNA LECTURA DEMASIADO BAJA INDICA QUE ALGUNOS ESTOPINES NO ESTAN CONECTADOS AL - CIRCUITO. UNA LECTURA DEMASIADO ALTA INDICA DEMASIADOS ESTOPINES EN SERIE O BIEN CONEXIONES SUELTAS O DEFICIENTES.

UN MULTIMETRO, UN OHMETRO O UN GALVANOMETRO PARA VOLADURAS PUEDEN USARSE PARA PROBAR LA CONTINUIDAD Y RESISTENCIA DE LOS CIRCUITOS DE VOLADURA.

SERIE EN PARALELO. EN UN CIRCUITO DE SERIE EN PARALELO, CADA SERIE DEBERA SER BALANCEADA ELECTRICAMENTE DANDO CADA LECTURA CON EL MISMO NUMERO DE OHMIOS. GENERALMENTE, UN NUMERO IGUAL DE ESTOPINES EN CADA SERIE PRODUCIRA SERIES BALANCEADAS. EN UN CIRCUITO DE SERIES EN PARALELO BALANCEADAS, LA RESISTENCIA DE UNA SERIE DIVIDIDA ENTRE EL NUMERO DE SERIES SERA IGUAL A LA RESISTENCIA TOTAL DEL CIRCUITO. EJEMPLO 2.- SUPONGA UNA VOLADURA DE 300 ESTOPINES DE RETARDO MS CON ALAMBRE DE COBRE DE 50 PIES CONECTADOS EN SEIS SERIES CON 50 ESTOPINES POR SERIE Y UNA LINEA DE ENCENDIDO DE ALAMBRE DE COBRE DE CALIBRE 14 DE 700 PIES.

PASO 1.- DETERMINE LA RESISTENCIA DE UNA SOLA SERIE.

RESISTENCIA DE UNA SERIE = Nº DE ESTOPINES X RESISTENCIA ESTOPIN.

CONSULTANDO LA TABLA 5-1 PARA VER LA RESISTENCIA DEL ESTOPIN Y DEL ALAMBRE.

$$R = 50 \times 2.32$$

$$R = 116 \text{ OHMIOS}$$

PASO 2.- DETERMINA LA RESISTENCIA AL IR CONECTADO CADA SERIE A LA LINEA GUIA:

$$\text{RESISTENCIA} = \frac{\text{RESISTENCIA/SERIE}}{\text{Nº DE SERIES}}$$

$$\text{RESISTENCIA DE UNA SERIE} = \frac{116.0}{1} = 116.0 \text{ OHMIOS}$$

$$\text{RESISTENCIA DE 2 SERIES} = \frac{116.0}{2} = 58.0 \text{ OHMIOS}$$

$$\text{RESISTENCIA DE 3 SERIES} = \frac{116.0}{3} = 38.7 \text{ OHMIOS}$$

$$\text{RESISTENCIA DE 4 SERIES} = \frac{116.0}{4} = 29.0 \text{ OHMIOS}$$

$$\text{RESISTENCIA DE 5 SERIES} = \frac{116.0}{5} = 23.2 \text{ OHMIOS}$$

$$\text{RESISTENCIA DE 6 SERIES} = \frac{116.0}{6} = 19.3 \text{ OHMIOS}$$

PASO 3.- DETERMINE LA RESISTENCIA DE LA LINEA DE ENCENDIDO;
 700 PIES DE LINEA DE ENCENDIDO SON 1400 PIES DE ALAMBRE
 (LONGITUD DEL ALAMBRE = 700 PIES X 2 CONDUCTORES).
 (LONGITUD DEL ALAMBRE = 1400 PIES).

$$\text{RESISTENCIA} = \frac{\text{LONGITUD DEL ALAMBRE X RESISTENCIA/1000 PIES}}{100}$$

$$R = \frac{1400 \times 2.525}{1000} = 3.535 \text{ OHMIOS}$$

PASO 4.- DETERMINE LA RESISTENCIA TOTAL DEL CIRCUITO DE VOLADURA:

R = RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE ESTOPINES + RESISTENCIA DE LA LINEA DE ENCENDIDO

$$R = 19.3 + 3.535$$

$$R = 22.8 \text{ OHMIOS}$$

ES EVIDENTE EN ESTE EJEMPLO QUE LAS LECTURAS DEL INSTRUMENTO DISMINUYEN AL AGREGARSE CADA SERIE. CON UN GRAN NUMERO DE SERIES, SE LLEGA A HACER MUY DIFICIL EL PODER LEER CON EXACTITUD LA DIFERENCIA ENTRE POR EJEMPLO 9 SERIES Y 10 SERIES. -- SIN EMBARGO, ES POSIBLE VER EL MOVIMIENTO DEL MEDIDOR CUANDO CADA SERIE SE CONECTA, Y ESTO DEBERA SER OBSERVADO MUY CUIDADOSAMENTE DURANTE EL ACOPLAMIENTO. CIRCUITOS PARALELOS. UN CIRCUITO PARALELO NO PUEDE PROBARSE CON LOS INSTRUMENTOS DISPONIBLES USUALMENTE EN LA OPERACION DE CAMPO YA QUE LA RESISTENCIA TOTAL DEL CIRCUITO ES TAN PEQUEÑA QUE DARA UNA LECTURA DE RESISTENCIA CERCANA A CERO EN EL INSTRUMENTO Y NO INDICARA UNA LECTURA SIGNIFICATIVA.

5.3.1 DISEÑO Y ANALISIS DEL CIRCUITO DE VOLADURA

LAS MAQUINAS EXPLOSORAS POR DESCARGA DEL CONDENSADOR, CUANDO SE USAN APROPIADAMENTE, SON EL MEDIO MAS SEGURO DE DISPARAR ESTOPINES ELECTRICOS. LAS LINEAS DE FUERZA ELECTRICA TAMBIEN PUEDEN SER USADAS PARA DISPARAR ESTOPINES ELECTRICOS. CON CUALQUIER FUENTE DE ENERGIA ES ESENCIAL QUE SE PROPORCIONE ENERGIA SUFICIENTE PARA INICIAR TODOS LOS ESTOPINES EN UNOS POCOS MILLISEGUNDOS.

CUANDO SE DISPARA MEDIANTE LINEAS DE FUERZA ELECTRICA, LOS CALCULOS REQUERIDOS PARA PROPORCIONAR CORRIENTE SUFICIENTE A CADA ESTOPIN EN EL CIRCUITO SE HACE MEDIANTE LA APLICACION DE LOS PRINCIPIOS BASICOS DE LAS LEYES DE OHM Y KIRCHHOFF.

EL PROBLEMA ES MAS COMPLEJO CON MAQUINAS DE DESCARGA DE CONDENSADOR. LA CORRIENTE DE DESCARGA DE UNA MAQUINA DE TIPO CONDENSADOR DECAE EXPONENCIALMENTE DESDE UN VALOR INICIAL ALTO HASTA CERCA DE CERO EN UN PERIODO CORTO DE TIEMPO. EL CONCEPTO DE CORRIENTES DE DISPARO MINIMAS FIJAS, COMO SE REQUIERE PARA EL DISPARO DE LINEAS DE FUERZA ELECTRICA AC Y DC NO SE PUEDEN USAR. LAS LEYES DE OHM Y DE KIRCHHOFF DEBERAN COMPLEMENTARSE CON CALCULOS DE CIRCUITO TRANSITORIO PARA DETERMINAR LA CORRIENTE DE DISPARO EFECTIVA REQUERIDA DE UNA MAQUINA DE DESCARGA DE CONDENSADOR. LA CORRIENTE INICIAL DE UNA MAQUINA EXPLOSORA DE ESTE TIPO DEBERA SER CONSIDERABLEMENTE EXCESIVA CON RESPECTO A LA CORRIENTE DIRECTA DE DISPARO MINIMA REQUERIDA PARA UN CIRCUITO, DEBIDO A LA RAPIDA DECLINACION DE LA CORRIENTE.

CON LA AYUDA DE LA COMPUTADORA PROGRAMADA CON LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO Y LA EXPERIENCIA DE CAMPO, SE HAN TRAZADO LOS LIMITES DE DISPARO DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS DE DU PONT EN FORMA GRAFICA PARA LOS CIRCUITOS DE SERIE EN PARALELO. LA TABLA 5-3 MUESTRA GRAFICAMENTE EL NUMERO CORRECTO DE SERIES PARA USARSE CON LA MAQUINA EXPLOSORA CD-600, SIN NECESIDAD DE RECURRIR A CALCULOS TEDIOSOS QUE CONSUMEN TIEMPO.

PARA TENER UNA COMPRESION COMPLETA DEL DISEÑO DE UN CIRCUITO DE VOLADURA, ES NECESARIO APLICAR LOS PRINCIPIOS BASICOS DE LAS LEYES DE OHM Y KIRCHHOFF.

LEY DE OHM. EL FLUJO DE CORRIENTE EN UN CIRCUITO ELECTRICO ES IGUAL AL VOLTAJE APLICADO DIVIDIDO ENTRE LA RESISTENCIA.

$$I = \frac{V}{R}$$

DE DONDE

I = CORRIENTE EN AMPERES

V = VOLTAJE APLICADO EN VOLTS.

R = RESISTENCIA EN OHMIOS.

ESTO TAMBIEN PUEDE SER EXPRESADO COMO SIGUE:

$$V = I \times R$$

$$O \quad R = \frac{V}{I}$$

LEY DE KIRCHHOFF. 1.- LA SUMA ALGEBRAICA DE TODOS LOS VOLTAJES APLICADOS Y LAS DIFERENCIAS DE POTENCIAS EN CUALQUIER CIRCUITO CERRADO ES IGUAL A CERO.

$$V_0 - I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3 - \dots - I_m R_m = 0$$

2.- LA SUMA ALGEBRAICA DE TODAS LAS CORRIENTES QUE FLUYEN A CUALQUIER PUNTO EN UN CIRCUITO ES IGUAL A CERO.

$$I_0 - I_1 - I_2 - I_3 - \dots - I_m = 0$$

RESISTENCIA DE UN CIRCUITO EN SERIE (OHMIOS)

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m$$

RESISTENCIA DE UN CIRCUITO EN PARALELO (OHMIOS).

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_m}$$

PARA DOS RESISTENCIAS EN PARALELO ESTO PUEDE SER EXPRESADO COMO:

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

POTENCIA ELECTRICA (WATTS).

$$P = I \times V$$

$$\text{o } P = I^2 \times R$$

ENERGIA ELECTRICA (WATT-SEGUNDOS O JOULES)

$$E = I \times V \times t$$

$$\text{o } E = I^2 \times R \times t$$

DONDE t = TIEMPO DE APLICACION EN SEGUNDOS

5.3.2. INICIACION POR DESCARGA DE CONDENSADOR.

LOS LIMITES DE DISPARO PARA UNA MAQUINA EXPLOSORA CD-600 SE HAN DETERMINADO POR LA EXPERIENCIA Y EL ANALISIS POR COMPUTADORA PARA AYUDAR A DISEÑAR EL CIRCUITO ELECTRICO PARA VOLADURA CON ESTOPINES ELECTRICOS. ESTOS LIMITES SE MUESTRAN EN LA TABLA 5-3.

LA GRAFICA ESTA BASADA EN UNA RESISTENCIA DE 2.0 OHMIOS POR ESTOPIN Y PARA ESTOPINES DE RETARDO O INSTANTANEOS DE CUALQUIER LONGITUD. SIMPLEMENTE MULTIPLIQUE EL NUMERO DE ESTOPINES EN LA VOLADURA POR LA RESISTENCIA INDIVIDUAL DE LOS ESTOPINES QUE SE ESTAN USANDO. DESPUES DIVIDA ENTRE 2.0 OHMIOS PARA ENCONTRAR EL NUMERO EQUIVALENTE DE ESTOPINES DE 2.0 OHMIOS PARA USARLO EN LA GRAFICA.

NUMERO DE ESTOPINES EN LA VOLADURA X OHMIOS/ESTOPIN	Nº EQUIVALENTE DE ESTOPINES
2.0	2.0 OHMIOS

LA RESISTENCIA EN OHMIOS, PARA ESTOPINES ELECTRICOS DU PONT DE DIFERENTES LONGITUDES SE MUESTRAN EN LA TABLA 5-1. LA RESISTENCIA DE VARIOS CALIBRES DE ALAMBRE SE MUESTRAN EN LA TABLA 5-2.

EL NUMERO TOTAL DE ESTOPINES DE 2.0 OHMIOS EN LA VOLADURA SE MUESTRA EN LA PARTE INFERIOR DE LA GRAFICA Y EL NUMERO DE SERIES QUE SERAN USADAS SE MUESTRA VERTICALMENTE. EL AREA DENTRO DE LAS CURVAS Y SOBRE LA LINEA RECTA REPRESENTA LA ESCALA DE DISPARO RECOMENDADA Y NO DEBERA SER EXEDIDA. LAS LINEAS DE CURVAS GRUESAS REPRESENTAN LOS LIMITES DE DISPARO RECOMENDADOS PARA LAS RESISTENCIAS DE LA LINEA DE ENCENDIDO DESIGNADA.

CIRCUITOS EN SERIE. UN CIRCUITO EN SERIE PROPORCIONA UN SOLO SENDERO PARA QUE PASE LA CORRIENTE A TRAVES DE TODOS LOS ESTOPINES.

LOS SIGUIENTES EJEMPLOS MUESTRAN COMO USAR LA GRAFICA EN LA TABLA 5-3 PARA DETERMINAR EL CIRCUITO ELECTRICO DE UNA VOLADURA:

EJEMPLO 3.- SUPONGA QUE UNA VOLADURA DE 50 ESTOPINES RETARDOS MS DU PONT CON ALAMBRE DE COBRE DE 16 PIES CON UNA LINEA DE ENCENDIDO DE ALAMBRE DE COBRE CALIBRE 14 DE 300 PIES, Y 200 PIES DE ALAMBRE DE CONEXION CALIBRE 20 DESDE EL CIRCUITO DE ESTOPINES HASTA LA LINEA DE ENCENDIDO:

PASO 1.- DETERMINE LA RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE ESTOPINES (TABLA 5-1).

RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE ESTOPINES = Nº DE ESTOPINES X RESISTENCIA/ESTOPIN

$$R = 50 \times 1.65$$

$$R = 82.5 \text{ OHMIOS.}$$

PASO 2.- DETERMINE EL NUMERO EQUIVALENTE DE ESTOPINES DE 2.0 OHMIOS. CONSULTANDO LA TABLA 5-1.

$$\begin{aligned} \text{Nº EQUIVALENTE DE ESTOPINES DE 2.0 OHMIOS} &= \frac{\text{Nº DE ESTOPINES X OHMIOS/ESTOPIN}}{2.0} \\ &= \frac{50 \times 1.65}{2.0} \end{aligned}$$

$$= 41 \text{ ESTOPINES}$$

Nº EQUIVALENTE DE ESTOPINES DE 2.0 OHMIOS = 41 ESTOPINES.

PASO 3.- DETERMINE LA RESISTENCIA DE LA LINEA DE ENCENDIDO.

CONSULTE LA TABLA 5-2. UNA LINEA DE ENCENDIDO DE 300 PIES TIENE 600 PIES DE ALAMBRE (300 PIES X 2 CONDUCTORES = 600 PIES)

RESISTENCIA DE LA LINEA ENCENDIDO = $\frac{\text{LONG. DEL ALAMBRE X RESISTENCIA/1000 PIES}}{1000}$

$$R = \frac{600 \times 2.525}{1000}$$

$$R = 1.515 \text{ OHMIOS}$$

PASO 4.- DETERMINE LA RESISTENCIA DEL ALAMBRE DE CONEXION.

$$R = \frac{200 \times 10.15}{1000}$$

$$R = 2.03 \text{ OHMIOS.}$$

DETERMINE LA RESISTENCIA EXTERNA TOTAL.

RESISTENCIA = LINEA DE ENCENDIDO + RESISTENCIA DE LOS ALAMBRES DE CONEXION.

$$R = 1.515 + 2.03$$

$$R = 3.5 \text{ OHMIOS}$$

PASO 6.-CONSULTE LA GRAFICA (TABLA 5-3).

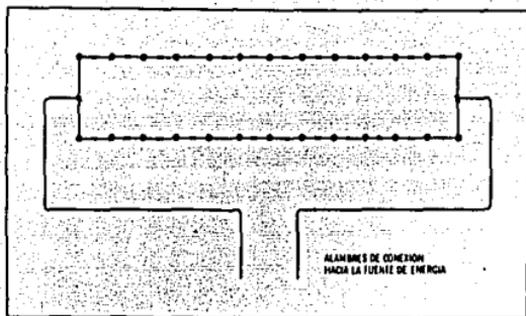
EL 41, NUMERO EQUIVALENTE DE ESTOPINES ENCAJA BIEN DENTRO DE LA RESISTENCIA PERMITIDA PARA LA LINEA DE ENCENDIDO DE 3.5 OHMIOS.

POR LO TANTO ESTA VOLADURA PUEDE SER DISPARADA EN UNA SERIE SENCILLA POR LA MAQUINA EXPLOSORA CD-600 DE DU PONT.

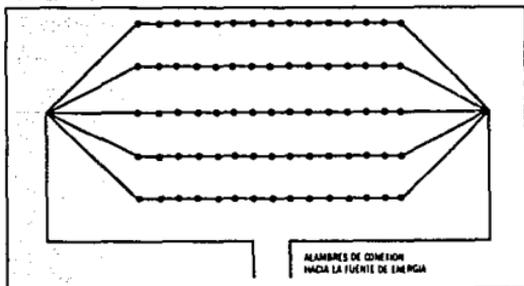
SERIES EN PARALELO. EL CIRCUITO DE SERIES EN PARALELO ES EL TIPO DE CIRCUITO MAS COMUNMENTE USADO EN VOLADURAS. EL CIRCUITO MAS SENCILLO DE SERIES EN PARALELO SE HACE AL DIVIDIR UNA SERIE SENCILLA EN DOS SERIES.

CADA UNA DE LAS DOS HILERAS DE ESTOPINES ELECTRICOS ESTA CONECTADA EN UNA SERIE RECTA. LOS DOS EXTREMOS LIBRES DE CADA SERIE SE CONECTAN JUNTOS Y A SU VEZ SE CONECTAN A LA LINEA DE ENCENDIDO.

LA PRINCIPAL VENTAJA DEL CIRCUITO DE SERIES EN PARALELO ES EL GRAN NUMERO DE ESTOPINES QUE PUEDEN DISPARARSE CON UNA MAQUINA EXPLOSORA SIN REQUERIR UNA GRAN ENTADA DE VOLTAJE.



UN CIRCUITO DE SERIE EN PARALELO SE HACE DIVIDIENDO UNA SERIE SENCILLA EN DOS SERIES. LOS DOS EXTREMOS LIBRES DE CADA SERIE SE CONECTAN A LAS LINEAS DE ENCENDIDO.



LA PRINCIPAL VENTAJA DE LAS SERIES EN PARALELO ES EL GRAN NUMERO DE ESTOPINES QUE PUEDEN DETONARSE CON LA MAQUINA - EXPLOSORA SIN REQUERIR DE UNA GRAN CANTIDAD DE VOLTAJE.

EJEMPLO 4.- SUPONGA UNA VOLADURA DE 500 ESTOPINES DE RETARDO MS DE 40 PIES Y 300 PIES DE ALAMBRES CONECTORES DE CIRCUITOS PARALELOS DE COBRE CALIBRE 20;

PASO 1.- DETERMINE LA RESISTENCIA DE TODOS LOS ESTOPINES DE LA VOLADURA. CONSULTE LA TABLA 5-1 PARA RESISTENCIA DE ESTOPINES.

RESISTENCIA DE ESTOPINES = Nº DE ESTOPINES X RESISTENCIA/ESTOPIN

$$R = 500 \times 2.06$$

$$R = 1030 \text{ OHMIOS}$$

PASO 2.- DETERMINE LA RESISTENCIA DE UN ALAMBRE CONECTOR DE CIRCUITOS PARALELOS, - CONSULTE LA TABLA 5-2 PARA RESISTENCIA DE ALAMBRE.

RESISTENCIA DEL ALAMBRE CONECTOR DE CIRCUITOS PARALELOS = $\frac{\text{LONGITUD DE ALAMBRE} \times \text{RESISTENCIA/1000 PIES}}{1000}$

$$R = \frac{300 \times 10.15}{1000}$$

$$R = 3.045 \text{ OHMIOS}$$

PASO 3.- DETERMINE SI LA RESISTENCIA DEL ALAMBRE CONECTOR DE CIRCUITOS PARALELOS EXCEDE A LA RESISTENCIA TOTAL DEL CIRCUITO DE ESTOPINES DIVIDIDA POR 1000.

RESISTENCIA DE UN ALAMBRE CONECTOR DE CIRCUITOS PARALELOS = 3.045 OHMIOS

RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE ESTOPINES $\frac{\quad}{1000}$ = 1.030 OHMIOS.

POR LO TANTO LA RESISTENCIA DEL ALAMBRE CONECTOR DE CIRCUITOS PARALELOS ES CASI - TRES VECES MAYOR QUE LA RESISTENCIA TOTAL DE LOS ESTOPINES DIVIDIDA POR 1000, Y PODRIAN ESPERARSE FALLAS.

SI LA MEDIDA DE LOS 300 PIES DE ALAMBRE CONECTOR DE LOS CIRCUITOS EN PARALELO -- FUERA INCREMENTADA A CALIBRE 14, SU RESISTENCIA SERIA DE 0.76 OHMIOS Y LA REGLA EMPIRICA SE CUMPLIRIA.

EJEMPLO 5.--SUPONGA UNA VOLADURA DE 500 ESTOPINES DE RETARDO MS DE DU PONT CON ALAMBRE DE COBRE DE 50 PIES. LA VOLADURA SERA DISPARADA CON UNA MAQUINA EXPLOSORA CD-600 DE DU PONT USANDO 750 PIES DE ALAMBRE DE ENCENDIDO DO COBRE SOLIDO SENCILLO CALIBRE 14.

PARA DETERMINAR LA APROPIADA DISTRIBUCION DEL CIRCUITO A PARTIR DE LA GRAFICA DE LA TABLA 5-3, SE REQUIEREN LOS SIGUIENTES PASOS:

PASO 1.- DETERMINE EL NUMERO EQUIVALENTE DE ESTOPINES DE 2.0 OHMIOS. CONSULTE LA TABLA 5-1 PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE UN ESTOPIN DE RETARDO MS DE ALAMBRE DE COBRE DE 50 PIES. LA RESISTENCIA ES 2.32 OHMIOS.

$$\text{Nº EQUIVALENTE DE ESTOPINES DE 2.0 OHMIOS} = \frac{\text{Nº DE ESTOPINES X OHMIOS/ESTOPIN}}{2.0 \text{ OHMIOS}}$$

$$\text{Nº EQUIVALENTE DE ESTOPINES DE 2.0 OHMIOS} = \frac{500 \times 2.32}{2.0} = 580 \text{ ESTOPINES}$$

PASO 2.- CALCULE LA RESISTENCIA DE LA LINEA DE ENCENDIDO. CONSULTE LA TABLA 5-2 PARA LA RESISTENCIA DEL ALAMBRE DE COBRE CALIBRE 14. UNA LINEA DE ENCENDIDO DE 750 PIES DE LARGO TIENE 1500 PIES DE ALAMBRE.

(750 PIES X 2 CONDUCTORES = 1500 PIES DE ALAMBRE)

RESISTENCIA = LONGITUD DEL ALAMBRE X OHMIOS/1000 PIES

$$R = \frac{1500 \times 2.525}{1000} = 3.79 \text{ OHMIOS}$$

PASO 3.- CONSULTE LA TABLA 5-3 Y LOCALICE 580 EN LA PARTE INFERIOR DE LA GRAFICA.

PASO 4.- SIGA LA LINEA DE 580 ESTOPINES VERTICALMENTE DENTRO DEL AREA Y SOBRE LA LINEA RECTA HASTA QUE ESTA INTERSECTE LA CURVA DE RESISTENCIA TOTAL DE 4.0 OHMIOS DESDE LOS PUNTOS DE INTERCEPCION INFERIOR Y SUPERIOR, SIGA A TRAVES DE LA GRAFICA PARA DETERMINAR EL NUMERO DE SERIES BALANCEADAS QUE ESTARAN DENTRO DE LOS LIMITES DE ENERGIA DE LA MAQUINA EXPLOSORA. COMO SE MUESTRA, LOS LIMITES ACEPTABLES ESTAN ENTRE SEIS Y 18 SERIES. LA ENERGIA OPTIMA SE TRANSMITIRA AL ESCOGER UNA DISTRIBUCION DE CIRCUITOS APROXIMADAMENTE A LA MITAD DE LOS LIMITES EXTREMOS DE 6 A 18 SERIES. EN ESTE EJEMPLO SERIA 12 SERIES.

PASO 5.- DIVIDA EL NUMERO TOTAL DE ESTOPINES DE LA VOLADURA POR EL NUMERO DE SERIES PARA DETERMINAR EL NUMERO DE ESTOPINES POR SERIE.

$$\text{Nº DE ESTOPINES/SERIE} = \frac{500 \text{ ESTOPINES}}{12 \text{ SERIES}} = 41 \text{ O } 42 \text{ ESTOPINES/SERIE.}$$

POR LO TANTO, LA DISTRIBUCION DEL CIRCUITO DEBERA SER OCHO SERIES DE 42 ESTOPINES/SERIE Y CUATRO SERIES DE 41 ESTOPINES/SERIE DANDO CADA UNA, UNA LECTURA ENTRE 95 Y 98 OHMIOS. (RESISTENCIA DE SERIE = Nº ESTOPINES X RESISTENCIA/ESTOPIN).

ES MUY CONVENIENTE BALANCEAR ELECTRICAMENTE LAS SERIES LO MEJOR POSIBLE. SIN EMBARGO, PEQUEÑAS DIFERENCIAS DE UNO O DE DOS ESTOPINES POR SERIE NO AFECTARA LOS RESULTADOS DE LA VOLADURA.

LA DIFERENCIA EN RESISTENCIA, EXPRESADA EN OHMS, ENTRE LAS SERIES NUNCA DEBERA EXCEDER AL 10%. AUN MAS, ESTE 10% NO ES TOLERABLE SI EL ARREGLO DEL CIRCUITO SE APROXIMA A LOS LIMITES DE LA MAQUINA.

PARA VOLADURAS NORMALES ES COSTUMBRE LIMITAR EL NUMERO DE ESTOPINES CON ALAMBRE DE COBRE A 50 PIEZAS POR SERIE (120 OHMS POR SERIE). ESTO SE LOGRA FACILMENTE DISPARANDO HASTA 800 ESTOPINES CON UNA RESISTENCIA TOTAL DE LINEA DE 3 OHMS O MENOS UTILIZANDO LA EXPLOSORA CD-600. PARA UN NUMERO MAYOR DE ESTOPINES SE REQUIERE UNA MAYOR CANTIDAD DE ESTOPINES POR SERIE PARA LOGRAR LA MAXIMA TRANSFERENCIA DE ENERGIA ENTRE LA MAQUINA EXPLOSORA Y EL CIRCUITO DE LA VOLADURA.

EJEMPLO 6.-SUPONGAMOS UNA VOLADURA DE 900 ESTOPINES DU PONT M5 CON ALAMBRE DE COBRE DE 40 PIES. SE UTILIZARA UNA MAQUINA EXPLOSORA CD-600 USANDO UNA LINEA GUIA DE UN SOLO CONDUCTOR DE ALAMBRE DE COBRE CALIBRE 12 DE 800 PIES DE LARGO.

PARA DETERMINAR EL ARREGLO ADECUADO DEL CIRCUITO SE DEBEN TOMAR LOS SIGUIENTES PASOS:

PASO 1.- DETERMINAR EL NUMERO EQUIVALENTE DE ESTOPINES DE 2.0 OHMS. CONSULTANDO LA TABLA 5-1 DETERMINAMOS QUE LA RESISTENCIA DE UN ESTOPIN M5 CON ALAMBRE DE COBRE DE 40 PIES ES 2.06 OHMS ESTOPIN.

$$\begin{aligned} \text{Nº EQUIVALENTE DE ESTOPIN DE 2 OHMS} &= \frac{\text{Nº DE ESTOPINES X RESISTENCIA/ESTOPIN}}{2.0 \text{ OHMS}} \\ &= \frac{900 \times 2.06}{2} = 927 \text{ ESTOPINES} \end{aligned}$$

PASO 2.- CALCULAR LA RESISTENCIA TOTAL DE LA LINEA GUIA. CONSULTAR LA TABLA 5-2 PARA CONOCER LA RESISTENCIA DEL ALAMBRE DE COBRE CALIBRE 12; ESTA ES 1.588 OHMS POR CADA 1,000 PIES.

$$800 \text{ PIES X 2 CONDUCTORES} = 1,600 \text{ PIES DE ALAMBRE}$$

$$\text{RESISTENCIA} = \frac{1,600 \times 1,588}{1,000} = 2.54 \text{ OHMS}$$

PASO 3.- CONSULTAR LA TABLA 5-3 Y LOCALIZAR 927 EN LA PARTE INFERIOR DE LA GRAFICA.

PASO 4.- SEGUIR LA LINEA 927 VERTICALMENTE EN EL AREA SOBRE LA LINEA RECTA HASTA QUE INTERSECTE CON LA CURVA DE RESISTENCIA TOTAL DE LA LINEA DE 3 OHMS. PARTIENDO DEL PUNTO DE INTERSECCION, ATRAVESAR LA GRAFICA EN FORMA HORIZONTAL PARA DETERMINAR EL NUMERO DE SERIES BALANCEADAS QUE SE ENCONTRARAN DENTRO DE LAS LIMITES DE LA MAQUINA EXPLOSORA. COMO SE MUESTRA, LOS LIMITES ESTAN ENTRE 10 Y 15 SERIES. LA TRANSFERENCIA OPTIMA DE ENERGIA SE LOGRARA TENIENDO UN ACOMODO DEL CIRCUITO - QUE ESTUVIERA INTERMEDIO A LOS LIMITES EXTREMOS DE 10 Y 15 SERIES. EN ESTE EJEMPLO SERIA DE 12 SERIES.

PASO 5.- DIVIDIR EL NUMERO TOTAL DE ESTOPINES DE LA VOLADURA ENTRE EL NUMERO DE SERIES PARA DETERMINAR EL NUMERO DE ESTOPINES POR SERIE.

$$\begin{aligned} \text{Nº ESTOPINES/SERIE} &= \frac{900 \text{ ESTOPINES}}{12 \text{ SERIES}} \\ &= 75 \text{ ESTOPINES/SERIE} \end{aligned}$$

LA RESISTENCIA POR SERIE SERIA IGUAL A 154.4 OHMS
(RESISTENCIA = Nº ESTOPINES X RESISTENCIA/ESTOPIN).

EJEMPLO 7.- SUPONGA 120 ESTOPINES "ACUDET" DU PONT CON ALAMBRE DE FIERRO DE 16 PIES DE LARGO. LA VOLADURA SE VA A EFECTUAR CON UNA MAQUINA EXPLOSORA CD-600 EMPLEANDO UNA LINEA GUIA DE ALAMBRE DE COBRE CALIBRE 14 DE 500 PIES.

PARA DETERMINAR EL ARREGLO ADECUADO DEL CIRCUITO SE REQUIEREN LOS SIGUIENTES PASOS

PASO 1.- DETERMINAR EL NUMERO EQUIVALENTE DE ESTOPINES DE 2.0 OHMS. CONSULTAR LA TABLA 5-1 PARA CONOCER LA RESISTENCIA DE LOS ESTOPINES DE RETARDO CON ALAMBRE DE FIERRO DE 16 PIES DE LARGO. LA RESISTENCIA ES DE 4.98 OHMS POR ESTOPIN.

$$\begin{aligned} \text{Nº EQUIVALENTE DE ESTOPINES} &= \frac{\text{Nº DE ESTOPINES X OHMS/ESTOPIN}}{\text{DE 2.0 OHMS}} \\ &= \frac{120 \times 4.98}{2} \\ &= 299 \text{ ESTOPINES} \end{aligned}$$

PASO 2.- CALCULAR LA RESISTENCIA DE LA LINEA GUIA. CONSULTAR LA TABLA 5-2 PARA CONOCER LA RESISTENCIA DEL ALAMBRE DE COBRE DE CALIBRE 14. ESTA ES 2.525 OHMS/1000 PIES DE ALAMBRE.

500 PIES X 2 CONDUCTORES = 1,000 PIES DE ALAMBRE

$$R = \frac{1,000 \times 2.525}{1,000}$$

R = 2.525 OHMIOS

PASO 3.- DADO QUE EL NUMERO EQUIVALENTE DE ESTOPINES ES SOLAMENTE 299, ENCONTRAMOS QUE LA GRAFICA DA MUCHAS OPCIONES PARA EL NUMERO DE SERIES DE PARALELO. UNA OPCION SERIA LIMITAR EL NUMERO EQUIVALENTE DE ESTOPINES CON ALAMBRE DE COBRE DE 50 ESTOPINES POR SERIE, O SEIS SERIES EN ESTE EJEMPLO. POR LO TANTO:

$$\begin{aligned} \text{N}^{\circ} \text{ DE ESTOPINES/SERIE} &= \frac{\text{N}^{\circ} \text{ TOTAL DE ESTOPINES}}{\text{N}^{\circ} \text{ DE SERIES}} \\ &= \frac{120}{6} = 20 \text{ ESTOPINES/SERIE} \end{aligned}$$

LA RESISTENCIA POR SERIE SERIA 99.6 OHMS. DEL EJEMPLO ANTERIOR PODEMOS OBSERVAR QUE ES NECESARIO CALCULAR EL NUMERO EQUIVALENTE DE ESTOPINES DE 2.0 OHMS AUN CUANDO EL NUMERO TOTAL DE ESTOPINES DE LA VOLADURA SEA RELATIVAMENTE PEQUEÑO. LA ALTA RESISTENCIA DE LOS ESTOPINES CON ALAMBRE DE FIERRO SE CONVIERTE EN UN FACTOR PRINCIPAL PARA LA SELECCION DEL ACOMODO DEL CIRCUITO.

5.4. RECONOCIENDO LA ELECTRICIDAD EXTRAÑA.

ESTE CAPITULO TRATA ALGUNAS DE LAS CONDICIONES QUE PODRIAN PRESENTAR UN PELIGRO - DE LA ELECTRICIDAD EXTRAÑA Y LAS PRECAUCIONES QUE DEBERAN TOMARSE PARA MANTENER - CONDICIONES SEGURAS.

LA ENERGIA ELECTRICA NO DESEADA QUE PUEDE ENTRAR EN UN CIRCUITO DE VOLADURA DEBE MANTENERSE A NIVELES SEGUROS O EXCLUIRSE POR COMPLETO. SI NO SE HACE, DICHA ENERGIA PUEDE CAUSAR DETONACIONES PREMATURAS YA SEA EN UN SISTEMA DE VOLADURA ELECTRICO O UNO NO ELECTRICO. POR ESTA RAZON, DEBERAN REALIZARSE EVALUACIONES COMPLETAS DE LA ELECTRICIDAD EXTRAÑA EN LOS SITIOS DE VOLADURA ANTES DE QUE CUALQUIER EXPLOSIVO SE LLEVE DENTRO DEL AREA.

LOS PELIGROS DE LA ELECTRICIDAD INCLUYEN.

- (1) CORRIENTES ERRATICAS DESVIADAS DEBIDO A EQUIPO ELECTRICO DEFICIENTEMENTE AISLADO E INCORRECTAMENTE ATERRIZADO.
- (2) RAYOS Y ELECTRICIDAD ESTATICA DE TORMENTAS ELECTRICAS.
- (3) ALTA ENERGIA DE RADIOFRECUENCIA CERCA DE TRANSMISORES.
- (4) CORRIENTES INDUCIDAS, PRESENTES EN CAMPOS ELECTROMAGNETICOS ALTERNANTES, TALES COMO AQUELLAS GENERALMENTE ENCONTRADAS CERCA DE LINEAS DE TRANSMISION DE ALTO VOLTAJE.
- (5) ELECTRICIDAD ESTATICA GENERADA POR TORMENTAS DE POLVO IMPULSADAS POR EL VIENTO Y TORMENTAS DE NIEVE, POR BANDAS DE CONDUCCION MOTRICES, Y POR EL CARGADO NEUMATICO DE ANFO.
- (6) CORRIENTES GALVANICAS GENERADAS POR METALES DIFERENTES HACIENDO CONTACTO O SE PARADAS POR UN MATERIAL CONDUCTIVO.

EL NIVEL "SEGURO" ACEPTABLE DE ELECTRICIDAD EXTRAÑA PARA VOLADURAS ELECTRICAS SE DERIVA DE LA CORRIENTE REQUERIDA PARA DETONAR ESTOPINES ELECTRICOS. LA CORRIENTE MINIMA PARA ENCENDER ESTOPINES ELECTRICOS COMERCIALES ACTUALMENTE FABRICADOS EN EL PAIS ES DE 0.25 AMPERIOS (250 MILIAMPERIOS) APROXIMADAMENTE.

EL INSTITUTO DE FABRICANTES DE EXPLOSIVOS HA ESTABLECIDO LA MAXIMA CORRIENTE SEGURA PERMITIDA PARA QUE FLUYA A TRAVES DE UN FULMINANTE ELECTRICO SIN PELIGRO, DE INICIACION COMO UNA QUINTA PARTE DE LA CORRIENTE MINIMA DE ENCENDIDO, O SEA, 0.05 AMPERIOS (50 MILIAMPERIOS), LA CUAL PROPORCIONA UN FACTOR DE SEGURIDAD DE CORRIENTE DE CINCO O UN FACTOR DE ENERGIA DE 25. LAS VOLADURAS ELECTRICAS NO DEBEN EFECTUARSE EN AREAS DONDE LAS CORRIENTES EXTRAÑAS SEAN MAYORES DE 0.05 AMPERIOS.

CUANDO LAS CORRIENTES EXTRAÑAS EXCADEN DE 0.05 AMPERIOS (50 MILIAMPERIOS), DEBE -
DESCUBRIRSE LA FUENTE DE CORRIENTE Y ELIMINARSE ANTES DE USAR CON SEGURIDAD LOS -
ESTOPINES. SI LA FUENTE DE LA CORRIENTE NO PUEDE SER DESCUBIERTA DEBE INSTALARSE
UN SISTEMA DE ENCENDIDO NO ELECTRICO.

5.4.1. TORMENTAS ELECTRICAS.

RELAMPAGOS. LOS RELAMPAGOS REPRESENTAN EL PELIGRO MAS GRANDE PARA VOLADURAS DEB
DO A SU NATURALEZA ERRATICA Y A SU ALTA ENERGIA. EL GOLPE DE UN RELAMPAGO GENERA
EPROXIMADAMENTE 20,000 AMPERIOS Y UNA COLUMNA CALIENTE DE GAS DE ALTA PRESION E--
QUIVALENTE A LA DETONACION DE UN EXPLOSIVO. SI UN RAYO CAE EN UN AREA DE VOLADURA
PROBABLEMENTE DETONARA. DEBIDO A LAS CORRIENTES EXTREMADAMENTE ALTAS INVOLUCRADAS
GOLPES DE RAYOS AUN DISTANTES PUEDEN SER PELIGROSOS PARA SISTEMAS DE ENCENDIDO E-
LECTRICOS Y NO ELECTRICOS TANTO EN OPERACIONES SUBTERRANEAS COMO DE SUPERFICIE. -
POR LO TANTO EN BIEN DE LA SEGURIDAD, VOLADURAS DE SUPERFICIE, SOBRE AGUA, Y EN
ALGUNAS OPERACIONES BAJO TIERRA DEBERAN SER SUSPENDIDAS, Y TODO EL PERSONAL DEBE
SER EVACUADO A UNA DISTANCIA SEGURA DEL AREA DE VOLADURA SIEMPRE QUE HAYA TORMEN-
TAS DE RAYOS EN LAS INMEDIACIONES.

PELIGROS DE ELECTRICIDAD ESTATICA. LOS RAYOS NO SON EL UNICO PELIGRO ASOCIADO CON
LAS TORMENTAS ELECTRICAS. LA ATMOSFERA PUEDE LEVANTAR PELIGROSAS CARGAS DE ELEC-
TRICIDAD ESTATICA A DISTANCIAS LEJANAS DEL CENTRO DE LA TORMENTA. ESTAS CARGAS -
ESTATICAS PUEDEN ACUMULARSE SOBRE CUALQUIER CUERPO CONDUCTIVO AISLADO, TAL COMO -
UNA PERSONA O UN CAMION, Y PUEDE DESCARGARSE POR MEDIO DE LOS ALAMBRES DEL ESTO-
PIN EN EL SUELO Y CAUSAR LA DETONACION. LA PROTECCION DEL DERIVADOR Y EL AISLAMI-
ENTO EN LOS ALAMBRES DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS NO OFRECEN NINGUNA PROTECCION S
GURA BAJO ESTAS CONDICIONES PUES LOS VOLTAJES PUEDEN SER SUFICIENTES PARA ROMPER
EL AISLAMIENTO. PARA EVITAR UNA VOLADURA PREMATURA DEBERAN SUSPENDER LA CARGA DE
UNA VOLADURA SI HAY UNA TORMENTA ELECTRICA EN EL AREA.

UN DISPOSITIVO DE CAMPO PARA DETECCION, MENOS DEFINITIVO, PERO USDO OCASIONALMENTE
ES UN RADI AM (NO FM) SINTONAZADO A UNA ESTACION DEBIL O PREFERENTEMENTE ENTRE -
DOS ESTACIONES. LOS RUIDOS ESTATICOS EN EL RADIO INDICAN LA PRESENCIA DE CARGAS -
ESTATICAS EN EL AIRE.

5.4.2. ELECTRICIDAD ESTÁTICA - OTRAS FUENTES.

LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA PUEDE SER GENERADA POR OTROS MEDIOS APARTE DE LAS TOR--
 MENTAS ELÉCTRICAS. EL MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS, ESPECIALMENTE BAJO CONDICIONES SE--
 CAS, GENERARÁ ELECTRICIDAD ESTÁTICA; ESTAS PARTÍCULAS PUEDEN SER LIBREMENTE SUS--
 PENDIDAS, TALES COMO POLVO DE NIEVE O MOVIDOS POR FUERTES VIENTOS, O PUEDEN ESTAR
 ENCLAVADAS EN UN MATERIAL AISLADO MOVIENTE, TAL COMO UNA CORREA O BANDA MOVIDA -
 POR MOTOR.

ESTÁTICA ATMOSFÉRICA. LA ESTÁTICA ATMOSFÉRICA ES UN PELIGRO POTENCIAL EN TRABA--
 JOS DE VOLADURA SUJETOS A TORMENTAS DE POLVO, TORMENTAS DE NIEVE, Y POCA HUMEDAD
 LAS PRECAUCIONES QUE DEBEN TOMARSE EN TORMENTAS DE POLVO Y NIEVE INCLUYEN EL CO--
 LOCAR LOS ESTOPINES ELÉCTRICOS EN EL SUELO Y EXTENDER LENTAMENTE LOS ALAMBRES DEL
 DETONADOR A LO LARGO DEL SUELO. BAJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA DEBERAN SER LANZADOS -
 LOS ALAMBRES AL AIRE. CUANDO PREVALEZCAN FUERTES TORMENTAS DE POLVO O NIEVE, DEBE--
 RAN SUSPENDERSE LAS VOLADURAS ELÉCTRICAS.

LA ESTÁTICA ATMOSFÉRICA ES UN PELIGRO ESPECIAL CUANDO SE UTILIZAN ESTOPINES ELEC--
 TRICOS CON ALAMBRES LARGOS. LOS ALAMBRES LARGOS INTERCEPTAN Y ALMACENAN MAYORES
 CARGAS ESTÁTICAS QUE LOS ALAMBRES CORTOS, TAMBIÉN, LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA AT--
 MOSFÉRICA PUEDE AUMENTAR A UN NIVEL TAL QUE PUEDE ENCENDER FULMINANTES NO ELECTRI--
 COS DE TIEMPO Y ACOPLAMIENTO DE FULMINANTE Y MECHA.

ESTÁTICA MECÁNICA. DEBERAN TOMARSE LAS SIGUIENTES PRECAUCIONES EN CASOS EN LOS -
 CUALES LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA SE GENERE MECÁNICAMENTE:

- 1.- TODAS LAS PARTES DE EQUIPO AUTOMOTRIZ EN LAS INMEDIACIONES DE OPERACIONES DE
 VOLADURAS DEBERAN SER CONECTADAS ELÉCTRICAMENTE EN UN PUNTO COMUN, Y ESTE PUNTO
 DEBERA ESTAR CONECTADO A UNA BUENA TIERRA.
- 2.- TODOS LOS CONDUCTORES Y PARTES METÁLICAS DEL SISTEMA DEBERAN MANTENERSE LEJOS
 DE LOS ESTOPINES Y DE LOS ALAMBRES DEL CIRCUITO DE VOLADURA.
- 3.- LOS ALAMBRES DE TIERRA DEBERAN MANTENERSE LEJOS DE RIELES, ALAMBRADOS, Y TUBE--
 RIAS QUE PUDIERAN CONDUCIR CORRIENTES ERRÁTICAS DESDE ESTAS FUENTES AL SITIO DE -
 VOLADURA.
- 4.- TODO EQUIPO AUTOMOTRIZ EN EL ÁREA INMEDIATA QUE PUEDA GENERAR ELECTRICIDAD ES--
 TÁTICA DEBERA SER DESCONECTADO MIENTRAS SE CONECTAN LOS CIRCUITOS DE VOLADURAS -
 HASTA QUE LA VOLADURA HA SIDO INICIADA.

5.4.3. CORRIENTES ERRATICAS.

LAS CORRIENTES ELECTRICAS QUE FLUYEN A TRAVES DE LINEAS DE ENERGIA O EQUIPO ELECTRICO DE UNA BATERIA, UN GENERADOR, O UN TRANSFORMADOR, SIEMPRE REGRESARA A ESA FUENTE POR TODOS LOS CAMINOS DISPONIBLES. ESTOS CAMINOS INCLUYEN, (1) CONDUCTORES ADICIONALES AISLADOS DE LA TIERRA, TALES COMO LOS CABLES ELECTRICOS, (2) CONDUCTORES NO AISLADOS DE LA TIERRA PARA REMOLQUE ELECTRICOS, TALES COMO LOS RIELES; - (3) LA TIERRA MISMA. SI EL CONDUCTOR DE CAMBIO ENTRE LA CARGA Y LA FUENTE SE INTERRUMPE, LA CORRIENTE ENCONTRARA OTRO CAMINO Y PODRAN RESULTAR PELIGROSISIMAS ALTAS CORRIENTES DE TIERRA. ESTE PELIGRO PUEDE SER REDUCIDO AL MINIMO SI LOS OBJETOS DE METAL CONTINUOS SE MANTIENEN LEJOS DE LOS CIRCUITOS ELECTRICOS DE VOLADURA ADEMAS, DEBERAN TOMARSE MEDIDAS CONTRA CORRIENTES EXTRAÑAS EN TIERRA ANTES DE INTRODUCIR LOS ESTOPINES ELECTRICOS EN UN SITIO PARTICULAR.

GENERALMENTE, EN TIERRA HOMOGENEA RARA VEZ SE ENCUENTRAN SUFICIENTES CORRIENTES AC Y DC PARA DETONAR ESTOPINES ELECTRICOS. ESTO SE DEBE A QUE LA RESISTENCIA DE LA TIERRA GENERALMENTE ES ALTA Y EL POTENCIAL ENTRE DOS PUNTOS MUY JUNTOS GENERALMENTE BAJO. SIN EMBARGO, PUEDEN ENCONTRARSE CORRIENTES PELIGROSAS CUANDO LOS ALAMBRES DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS HACEN CONTACTO CON ESTRATOS CONDUCTIVOS SEPARADOS. CORRIENTES PELIGROSAS, MAYORES DE 50 MILIAMPERIOS, TAMBIEN PUEDEN ALCANZAR A LOS ESTOPINES ELECTRICOS SI LOS ALAMBRES DEL DETONADOR HACEN CONTACTO CON RIELES, TUBERIAS, O DUCTOS DE VENTILACION. LA TIERRA OFRECE TAN ENORMES CRUCES A CORRIENTES EXTERNAS ERRATICAS QUE AUN TIERRA DE ALTA RESISTENCIA EXTRAEE CORRIENTES DE RIELES O CONDUCTORES DE TIERRA.

5.4.4. LINEAS DE TRANSMISION DE ALTO VOLTAJE Y PODER.

EXISTEN VARIOS PELIGROS POTENCIALES ASOCIADOS CON VOLADURAS ELECTRICAS CERCA DE LINEAS DE TRANSMISION DE ALTO VOLTAJE Y ENERGIA:

- 1.- EL PERSONAL PUEDE ELECTROCUTARSE CUANDO UN ALAMBRE DEL ESTOPIN O UN ALAMBRE DE CONDUCCION ES LANZADO POR LA VOLADURA SOBRE LA LINEA VIVA DE CORRIENTE. DEBERA TOMARSE MEDIDAS PARA ASEGURARSE QUE LOS ALAMBRES DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS O LAS LINEAS DE CONDUCCION NO HAGAN CONTACTO CON LINEAS DE ENERGIA.
- 2.- ANTES DE REALIZAR OPERACIONES DE VOLADURAS ELECTRICAS EN LAS CERCANIAS DE LINEAS DE TRANSMISION, UNA BUENA PRACTICA ES REVISAR LA EXISTENCIA DE CORRIENTES DE TIERRA ERRATICAS.

3.- LINEAS ELEVADAS DE ENERGIA ELECTRICA PUEDEN INDUCIR CORRIENTES EN CIRCUITOS - DE VOLADURAS. DADO QUE LA CORRIENTE INDUCIDA ES PROPORCIONAL AL AREA QUE RODEA - LOS CABLES DE LAS VOLADURAS, ESTA DEBERA REDUCIRSE A UN MINIMO.

RESUMEN. SI SE DETECTAN CORRIENTES ERRATICAS Y/O INDUCIDAS PELIGROSAS ARRIBA DE - 50 MILIAMPERIOS, O SI EL PUNTO DE DISPARO NO PUEDE SER REUBICADO PARA ASEGURARSE QUE LOS CABLES DE VOLADURAS NO SERAN LANZADOS SOBRE LAS LINEAS DE ENERGIA, DEBERA UTILIZARSE CORDON DETONANTE CON CONECTORES MS O FULMINANTES Y MECHA.

5.4.5. CORRIENTES INDUCIDAS.

LOS CAMPOS ELECTROMAGNETICOS ALTERNANTES PUEDEN INDUCIR EL FLUJO DE CORRIENTE EN CONDUCTORES CERCANOS. TALES CAMPOS ELECTROMAGNETICOS EXISTEN EN LA VECINDAD DE LI NEAS DE ENERGIA, TRANSFORMADORES, INTERRUPTORES, Y RIELES DE RETORNO EN LA TIE-- RRA Y PUEDEN INDUCIR UNA CORRIENTE DIRECTAMENTE EN UN CIRCUITO DE VOLADURA ELEC-- TRICA. LOS ALAMBRES DE ESTOPINES ELECTRICOS QUE TOQUEN CONDUCTORES TENDIDOS PO-- DRAN YA SEA INTERCEPTAR LA CORRIENTE INDUCIDA O FISICAMENTE COMPLETAR UN CICLO DE INDUCCION.

LOS VOLTAJES INDUCIDOS NECESITAN UN CIRCUITO CERRADO BIEN DEFINIDO, PARA ESTABLE-- CER UN FLUJO DE CORRIENTE. DICHO CIRCUITO PUEDE FORMARSE POR UNA SERIE DE ESTOPI-- NES ELECTRICOS Y SUS LINEAS CONECTORAS. DOS O MAS SERIES DE ESTOPINES ELECTRICOS CONECTADOS A ALAMBRES CONECTORES EN PARALELO TAMBIEN PUEDEN FORMAR UN CIRCUITO - CERRADO, CAPAZ DE INTERCEPTAR CORRIENTES INDUCIDAS, SI ESTAN UBICADOS DEMASIADO - CERCA A UNA LINEA ELEVADA DE ENERGIA ELECTRICA U OTROS CAMPOS ELECTROMAGNETICOS - ALTERNANTES.

AL EFECTUAR VOLADURAS CERCA DE LINEAS DE TRANSMISION DE ALTO VOLTAJE O CUALQUI-- ER OTRA FUENTE DE ALTO VOLTAJE, LA COMPAÑIA O AGENCIA DE SERVICIOS PUBLICOS INVO-- LUCRADA CON EL EQUIPO DEBERA SER CONSULTADA PARA DETERMINAR EL MAXIMO PASO DE E-- NERGIA QUE PUEDE ESPERARSE. LAS MEDICIONES DEBERAN SER TOMADAS SIEMPRE DURANTE - LOS PERIODOS MAXIMAMOS.

5.4.6. ENERGIA DE RADIOFRECUENCIA.

UNA RADIACION INTENSA DE ALTA FRECUENCIA PUEDE INICIAR ACCIDENTALMENTE LOS ESTOPINES ELECTRICOS. POR LO TANTO, DEBERA INVESTIGARSE CUALQUIER FUENTE POTENCIALMENTE PELIGROSA DE ENERGIA DE RADIOFRECUENCIA (RF) CERCA DE UN SITIO DE VOLADURAS ANTES DE QUE ALGUN ESTOPIN ELECTRICO ESTE EN EL AREA. LA INTENSIDAD DE UNA CORRIENTE INDUCIDA DE RADIOFRECUENCIA EN EL CABLEADO DE VOLADURAS DEPENDE DE LA ENERGIA IRRADIADA, LA DISTANCIA, LA FRECUENCIA, Y A LA DISPOSICION DE LOS CABLES. LA CORRIENTE CALIENTA UN ALAMBRE DE PUENTE INDEPENDIENTEMENTE DE LA FRECUENCIA.

CAPITULO VI

6. APLICACIONES

6.1. MINADO DE CANTERAS Y A TAJO ABIERTO

LAS CANTERAS Y LAS MINAS DE TAJO ABIERTO PRODUCEN LA MAYOR PARTE DE LA ROCA Y MINERALES REQUERIDOS PARA LA CONSTRUCCION E INDUSTRIA EN ESTE PAIS. EL TERMINO "TAJO ABIERTO" GENERALMENTE SE REFIERE A UNA OPERACION DE MINADO DE UN MINERAL EN ESPECIFICO, QUE DEBE SER EXTRAIDO DE UNA MATRIZ O FORMACION DONADORA. DESPUES QUE EL MINERAL HA SIDO REMOVIDO, EL MATERIAL REMANENTE SE CONSIDERA COMO DESPERDICIO Y DEBE DISPONERSE DE EL EN UNA MANERA CONVIENTE Y ECONOMICA DE ACUERDO AL MEDIO AMBIENTE DE LA ZONA. ESTO CONTRASTA CON LAS CANTERAS, EN DONDE TODO EL MATERIAL MINADO GENERALMENTE SE CONSUME COMO UN PRODUCTO FINAL. PARA PROPOSITOS DE VOLADURAS, LAS CANTERAS Y LOS TAJOS ABIERTOS SON MINADOS EN LA MISMA FORMA GENERAL, Y EL TERMINO SERA UTILIZADO INDISTINTAMENTE.

DEPENDIENDO DE LA TOPOGRAFIA DEL AREA, UNA CANTERA SE DESARROLLARA COMO UNA LADEIRA DE MONTAÑA O COMO UN TAJO. DONDE EL AREA ES MONTAÑOSA Y LA ROCA SOBRESALE, LA CANTERA SE DESARROLLARA ABRIENDO UNA CARA EN UNO DE LOS DOS LADOS DE LA MONTAÑA. EL PUNTO DE ENTRADA ES GENERALMENTE EN EL FONDO DEL YACIMIENTO O EN UNA VETA MUY GRUESA. UN PUNTO CONVIENTE SE ESCOGE PARA PROPORCIONAR UN NIVEL CASI A RAZ DEL PISO CON TAN SOLO EL SUFICIENTE DECLIVE PARA DRENAJE NATURAL.

CUANDO EL TERRENO ES CASI PLANO ES NECESARIO CREAR RAMPAS HACIA ABAJO HASTA EL YACIMIENTO FORMANDO UN TAJO QUE ESTA TOTALMENTE DE BAJO DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO CIRCUNDANTE. EN GENERAL LA PLANTILLA DE VOLADURA SE DETERMINA POR LA GEOLOGIA DEL MATERIAL A QUEBRAR, LA FRAGMENTACION REQUERIDA, EL DIAMETRO DEL BARRENO Y LA PROFUNDIDAD Y TIPO DE EXPLOSIVO.

FRECUENTEMENTE EL GRADO DE PENETRACION DE LA BARRENACION SE USA COMO UNA GUIA PARA DETERMINAR LA DUREZA DE LA ROCA. ESTO NO ES NECESARIAMENTE UN BUEN CRITERIO EN LA DIFICULTAD DE QUEBRAR EL MATERIAL. EN MUCHOS CASOS UNA ROCA MUY DURA Y QUEBRADIZA VOLARA CON MENOS DIFICULTAD QUE UNA ROCA SUAVE Y ESPONJOSA. LA ESTRATIFICACION DE LA FORMACION ES UN FACTOR MUY IMPORTANTE EN EL DISEÑO DE LA VOLADURA. DONDE LA ESTRATIFICACION CONSISTE DE VETAS LAMINADAS DELGADAS Y HORIZONTALES, LA ROCA GENERALMENTE PUEDE QUEBRARSE Y SER FRAGMENTADA ADECUADAMENTE CON BORDOS Y ESPACIAMIENTOS RELATIVAMENTE LARGOS CON UN CONSUMO BAJO DE EXPLOSIVOS. SI LA FORMA-

CION ES MASIVA CON SOLO UNAS CUANTAS LAMINACIONES REQUERIRA DE BORDOS Y ESPACIAMIENTOS CERCANOS Y UN CONSUMO ALTO DE EXPLOSIVOS.

FRAGMENTACION. EL GRADO DE FRAGMENTACION DESEADO DEPENDE DEL USO FINAL DEL PRODUCTO QUE SE ESTA MINANDO. EN MATERIAL DE TAJO ABIERTO DONDE UN MINERAL O VARIOS MINERALES ESTAN SIENDO EXTRAIDOS DE UNA MISMA MATRIZ, ES GENERALMENTE DESEABLE LOGRAR LA MAXIMA FRAGMENTACION. EN LAS CANTARS DONDE LA ROCA SERA CLASIFICADA -- POR TAMAÑOS PARA USO EN LA CONSTRUCCION, ES GENERALMENTE INDESEABLE PRODUCIR UN GRAN PORCENTAJE DE ROCA MENOR DE 2 PULGADAS DE TAMAÑO.

EL GRADO DE FRAGMENTACION REQUERIDA ESTA TAMBIEN RELACIONADO AL TIPO Y TAMAÑO DE EQUIPO DE CARGADO Y DEL TAMAÑO Y TIPO DE QUEBRADORA QUE SE TENGA DISPONIBLE. OBLIVAMENTE, PALAS GRANDES, CARGADORES NEUMATICOS Y QUEBRADORAS PUEDEN TOLERAR FRAGMENTACION GRANDE MEJOR QUE UNIDADES PEQUEÑAS. DE CUALQUIER FORMA LA ECONOMIA QUE PUEDE ALCANZARSE PRODUCIENDO FRAGMENTACION GRANDE DEBE SER MEDIDA CONTRA EL MANTENIMIENTO ADICIONAL DE LA MAQUINARIA Y LA REDUCCION EN PRODUCCION QUE RESULTARA DE MATERIAL POBREMENTE FRAGMENTADO.

DIAMETRO Y PROFUNDIDAD DEL BARRENO. LA GEOLOGIA DE LA FORMACION ES EL FACTOR PRINCIPAL EN LA SELECCION DEL DIAMETRO DEL BARRENO, DEBIDO A QUE ES EL UNICO FACTOR EN EL DISEÑO TOTAL DE LA VOLADURA QUE NO PUEDE SER ALTERADO. POR LO TANTO LA SELECCION DEL TAMAÑO DEL DIAMETRO DEBE SER COMPATIBLE CON LA GEOLOGIA.

EL METODO DE OPERACION Y LA SELECCION DEL EQUIPO SON ENTONCES DETERMINADOS POR LA FRAGMENTACION DESEADA, Y SE OBTIENE A PARTIR DEL DIAMETRO DEL BARRENO EN RELACION CON EL EXPLOSIVO QUE SE ESTA UTILIZANDO.

EN FORMACIONES MASIVAS DURAS, EL FACTOR MAS IMPORTANTE QUE DEBE CONSIDERARSE ES LA DISTRIBUCION DE EXPLOSIVOS A LO LARGO DEL AREA DE VOLADURA. BARRENOS DE 3 1/2 PULGADAS A 5 PULGADAS DE DIAMETRO CON ESPACIAMIENTO DE 8 A 12 PIES DARAN COMO RESULTADO UNA MEJOR DISTRIBUCION DE LOS EXPLOSIVOS Y MENOR TAMAÑO DE FRAGMENTACION QUE BARRENOS CON DIAMETRO DE 7 A 9 PULGADAS CON ESPACIAMIENTOS DE 17 A 25 PIES A UN CUANDO LA RELACION DE EXPLOSIVOS POR TONELADAS DE ROCA PERMANEZCA IGUAL RESULTA OBLIVIO QUE EL DISEÑO TOTAL DE LA VOLADURA DEPENDE DE LA GEOLOGIA DE LA FORMACION.

6.1.1. DISEÑO DE LA VOLADURA.

SI EXAMINAMOS EL MECANISMO DE LA FORMA EN QUE LA ROCA ES QUEBRADA POR UNA EXPLOSIÓN, OBSERVAREMOS QUE AL DETONAR UN EXPLOSIVO DENTRO DE UN BARRENO SE PRODUCE EN LA ROCA UNA ONDA DE CHOQUE. MEDICIONES TÍPICAS DE ESTA ONDA SE OBSERVAN EN LA FIGURA 6-A. LA MAGNITUD Y FORMA DE ESTA ONDA QUE SE MUEVE RAPIDAMENTE EN VARIOS PUNTOS DE LA ROCA DEPENDE DE DIVERSOS FACTORES: (1) TIPO DE EXPLOSIVO; (2) TIPO DE ROCA; (3) LONGITUD DE LA COLUMNA DE EXPLOSIVO EN RELACION AL DIAMETRO DEL BARRENO; (4) DISTANCIA DEL BARRENO; (5) NUMERO DE PUNTOS DE CEBADO; (6) RELACION DE LA VELOCIDAD DE DETONACION A LA VELOCIDAD DE PROPAGACION DE LA ONDA EN LA ROCA ES IMPORTANTE CONSIDERAR QUE ESTAS ONDAS SALEN MUY RAPIDO DEL BARRENO DE LA VOLADURA, A VELOCIDADES DE 10,000 A 20,000 PIES X SEGUNDO DEPENDIENDO DE LA ROCA. LA ONDA DE PROPAGACION DE LA ROCA DURA .

ES IMPORTANTE CONSIDERAR QUE ESTAS ONDAS SALEN MUY RAPIDO DEL BARRENO DE LA VOLADURA A VELOCIDADES DE 10,000 A 20,000 PIES POR SEGUNDO DEPENDIENDO DE LA ROCA. LA ONDA DE PROPAGACION DE ROCAS DURAS ES MAS RAPIDA QUE LA PROPAGACION EN ROCAS BLANDAS. LA MAYORIA DE LAS FRACTURAS PRODUCIDAS EN LA ROCA SON RADIALES AL BARRENO Y ESTAN ASOCIADAS CON LA PROPAGACION DE LAS ONDAS DE CHOQUE. LOS ASTILLAMIENTOS EN LA FRENTE PRODUCIDAS POR LAS ONDAS DE TENSION REFLEJADAS PRODUCEN MUY Poca FRAGMENTACION CON LOS BORDOS NORMALMENTE UTILIZADOS EN LAS CONDICIONES DE CAMPO DE LAS VOLADURAS. POR LO CUAL RESULTA OBVIO QUE LOS PLANOS DE FRACTURA INHERENTES DE LA VETA EN LA ROCA SON UN FACTOR IMPORTANTE PARA DETERMINAR LA PLANTILLA DE LA VOLADURA. SI LOS PLANOS DE FRACTURA ESTAN AMPLIAMENTE ESPACIADOS, LAS FRACTURAS RADIALES PRODUCTO DE LA PROPAGACION DE LAS ONDAS DE CHOQUE PROMOVIDAS POR LOS GASES EXPLOSIVOS SERAN INTERRUPTIDAS DANDO COMO RESULTADO UNA FRAGMENTACION POBRE. BAJO ESTAS CONDICIONES EL BORDO Y ESPACIAMIENTO DE LOS BARRENOS DEBE REDUCIRSE. SI LOS PLANOS DE FRACTURA INHERENTES ESTAN ESPACIADOS EN FORMA CERCANA, EL MATERIAL PUEDE QUEBRARSE MAS FACILMENTE Y CON DIAMETROS DE BARRENOS MAYORES. LAS FRACTURAS RADIALES PRODUCIDAS VIAJAN A VELOCIDADES DE 0.15 A 0.4 VECES LA VELOCIDAD DE LAS ONDAS DE CHOQUE. ESTO SIGNIFICA QUE LAS FRACTURAS PUEDEN ESTAR VIAJANDO A 8,000 PIES POR SEGUNDO (.4 X 20,000 PIES POR SEGUNDO) EN ROCAS DENSAS Y MACIZAS. EN ROCAS CON BAJA PROPAGACION DE ONDAS LAS FRACTURAS DESARROLLAN DE 1,500 A 4,000 PIES POR SEGUNDO. EN RESUMEN, LAS FRACTURAS RADIALES VIAJAN DE 1 1/2 A 8 PIES POR MILISEGUNDO. POR LO TANTO, LAS FRACTURAS INICIALES ESTAN BIEN DEFINIDAS EN UNOS CUANTOS MILISEGUNDOS DEPENDIENDO DE LA PLANTILLA DE BARRENACION.

6.1.2. VOLADURA CON RETARDO DE MILLISEGUNDOS.

LA VOLADURA DE RETARDO DE MILLISEGUNDO FUE INTRODUCIDA HACE MUCHOS AÑOS EN LOS TAJOS ABIERTOS Y CANTERAS. AUN CUANDO SE DISPARA HACIA UNA CARA LIBRE, EL TIEMPO DE MOVIMIENTO DE LA ROCA PUEDE SER UN FACTOR MUY IMPORTANTE. ESTO ES PARTICULARMENTE CIERTO EN DISPAROS CON MULTIPLES FILAS. PARA UNA CANTERA TIPICA CON ESPACIAMIENTOS DE 15 PIES, EL MOVIMIENTO INICIAL EN LA CARA LIBRE OCURRE EN 10 A 12 MILLISEGUNDOS, PERO EL BORDO UNICAMENTE SE MUEVE COMO .5 PIES EN 10 MILLISEGUNDOS. CON UNA O DOS FILAS DE BARRENOS EL MOVIMIENTO PRIMARIO ES DIRECTAMENTE ALEJANDOSE DE LA CARA. AL INCREMENTARSE EL NUMERO DE FILAS, EL MOVIMIENTO DE ROCAS TENDERA HACIA LA VERTICAL. ESTO ES CAUSADO POR LA BAJA VELOCIDAD DE LA ROCA QUEBRADA REDUCIENDO CONSEQUENTEMENTE EL ALIVIO HACIA LA CARA DE LA CANTERA. ESTO PUEDE CONTRIBUIR A PRODUCIER UN FONDO APRETADO, ASI COMO ROCA EN VUELO.

ES UNA PRACTICA COMUN DE MUCHOS POBLADORES EL DUPLICAR EL TIEMPO DE RETARDO EN LA ULTIMA FILA. ESTO PROPORCIONA UN TIEMPO ADICIONAL PARA QUE LA ROCA DELANTE DE LA ULTIMA FILA PUEDA MOVERSE HACIA EL FRENTE O INCREMENTAR EL ALIVIO EN LA ULTIMA HILERA. ESTA PRACTICA LLAMADA SALTANDO UN PERIODO, TAMBIEN REDUCIRA EL RASGADO HACIA ARRIBA Y MATERIALMENTE REDUCIRA EL QUEBRADO FUERA DE LA LINEA DE BARRENOS EN LA FRENTE.

CUANDO EL DISPARA CONSISTE DE 8 O 9 HILERAS, LA SECUENCIA DE LOS RETARDOS MS DUPONT POR EJEMPLO HA SIDO DISEÑADA PARA PROPORCIONAR TIEMPO ADICIONAL SIN SALTARSE UN PERIODO. DEL PERIODO NUMERO 1 AL NUMERO 8 (25 MS AL 200 MS) PROPORCIONAN 25 MILLISEGUNDOS ENTRE CADA PERIODO. DEL NUMERO 8 AL NUMERO 10 (200 MS AL 300 MS) PROPORCIONAN 50 MILLISEGUNDOS ENTRE CADA PERIODO. AUN CON EL TIEMPO ADICIONAL ENTRE HILERAS ES EXCESIVO. EL TAMAÑO DEL BARRENO, LOS ESPACIAMIENTOS Y BORDOS, Y LA ALTURA DE LA CARA, TIENEN UN EFECTO IMPORTANTE EN EL NUMERO DE HILERAS QUE PUEDEN DISPARARSE SUCESIVAMENTE SIN UN APLILAMIENTO EXCESIVO O SIN ENCONTRAR UN FONDO ALTO. CUANDO LA ROCA SE QUIEBRA ESTA OCUPARA UN 25% MAS DE AREA (FACTOR DE ABUNDAMIENTO) QUE CUANDO ESTABA EN EL SOLIDO. ESTE FACTOR DE ABUNDAMIENTO PODRA VARIAR CON EL TIPO DE ROCA. SIN EMBARGO, UN PROMEDIO PARA LA MAYOR PARTE DE LAS ROCAS ES EL 25%. EN LA MAYORIA DE LOS CASOS EL MATERIAL SOLO TIENE DOS DIRECCIONES PARA MOVERSE, HACIA EL FRENTE Y VERTICALMENTE. OBIAMENTE UN MOVIMIENTO EXCESIVO EN CUALQUIER DIRECCION PUEDE RESULTAR EN LA PELIGROSA ROCA EN VUELO. POR LO TANTO, EL MOVIMIENTO ES LIMITADO Y EL ESPACIO ADICIONAL REQUERIDO PARA LA EXPANCIION NO PUEDE PROPORCIONARSE SI EL NUMERO DE FILAS ES EXCESIVO.

PLANTILLAS DE BARRENACION. HAY MUCHOS TIPOS DE PLANTILLAS DE BARRENACION. LAS PLANTILLAS MAS FRECUENTEMENTE USADAS SON CUADRADAS, RECTANGULARES Y EN TRESBOLILLOS.

LA PLANTILLA CUADRADA TIENE IGUAL BORDO Y ESPACIAMIENTO. LOS BARRENOS EN CADA FILA ESTAN ALINEADOS DIRECTAMENTE DETRAS DE LOS BARRENOS DE LA FILA DE ENFRETE.

LA PLANTILLA RECTANGULAR, TIENE BORDO MENOR QUE EL ESPACIAMIENTO. LOS BARRENOS EN CADA FILA ESTAN OTRA VEZ ALINEADOS DETRAS DE LOS BARRENOS DE LA FILA DE ENFRETE.

LA PLANTILLA EN TRESBOLILLOS, PUEDE TENER TAMBIEN EL BORDO Y EL ESPACIAMIENTO IGUAL. SIN EMBARGO, ES MAS USUAL CON EL BORDO MENOR QUE EL ESPACIAMIENTO. LOS BARRENOS EN FILAS ALTERNADAS ESTAN A LA MITAD DEL ESPACIAMIENTO DE LA FILA DE ENFRETE.

CUANDO SE UTILIZA UNA PLANTILLA DE RETARDO MS EN V CON UNA PLANTILLA DE BARRENACION CUADRADA, EL ANGULO DE MOVIMIENTO ES DE 45° CON RESPECTO A LA CARA LIBRE.

POR LO TANTO UNA PLANTILLA DE 10 X 10 PIES CUADRADA SE COMBIERTE EN UNA PLANTILLA RECTANGULAR CON UN BORDO DE 7.07 PIES Y UN ESPACIAMIENTO DE 14.14 PIES (EL BORDO ES SOLO LA MITAD DEL ESPACIAMIENTO).

SI SE UTILIZA UNA PLANTILLA DE BARRENACION RECTANGULAR EL ANGULO DE MOVIMIENTO VARIARA EN RELACION CON LAS DIMENSIONES RELATIVAS DEL BORDO Y DEL ESPACIAMIENTO.

PARA DETERMINAR EL ANGULO DEL MOVIMIENTO EN RELACION CON LA CARA ABIERTA PARA UNA PLANTILLA RECTANGULAR DONDE:

b = BORDO

s = ESPACIAMIENTO

A = ANGULO DE MOVIMIENTO

$$\tan A = \frac{b}{s}$$

PARA DETERMINAR EL BORDO Y ESPACIAMIENTO EFECTIVOS EN RELACION CON LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO DONDE:

ES = ESPACIAMIENTO EFECTIVO

EB = BORDO EFECTIVO

$$ES = \frac{b}{\text{sen } A}$$

$$EB = s \times \text{sen } A$$

EJEMPLO:

UNA PLANTILLA RECTANGULAR CON BORDO DE 8 PIES Y ESPACIAMIENTO DE 13 PIES QUEDA:

$$\tan A = \frac{8}{13}$$

$$\tan A = 0.615$$

$$A = 31.6^\circ$$

$$ES = \frac{8}{\text{sen } 31.6}$$

$$ES = 15.27 \text{ PIES}$$

$$EB = 13 \times \text{sen } 31.6$$

$$EB = 6.8 \text{ PIES}$$

OBVIAMENTE EL BUEN JUICIO DEBE PRACTICARSE AL USAR PLANTILLAS RECTANGULARES EN -- CONJUNTO CON PLANTILLAS DE RETARDO MS EN V PARA EVITAR TENER EL BORDO EFECTIVO Y EL ESPACIAMIENTO MUY FUERA DE BALANCE. EN LA MAYORIA DE LAS FORMACIONES EL ANGU-- LO DE MOVIMIENTO NO DEBERA SER MENOR DE 15° CON RESPECTO A LA CARA LIBRE.

LA PLANTILLA DE RETARDO MS-V FRECUENTEMENTE ES LA PLANTILLA MAS UTILIZADA PARA -- DIAMETROS DE BARRENOS DE 3 1/2 A 5 PULGADAS CON PROFUNDIDADES HASTA DE 60 PIES . EL MOVIMIENTO HACIA ENFRENTE, ESTA CONTROLADO DENTRO DE LOS LIMITES RAZONABLES Y LA REZAGA QUE DEPOSITA EN UNA HILERA A 90° DE LA CARA LIBRE. DEPENDIENDO DE LA - FORMACION Y DEL NUMERO DE BARRENOS POR FILA ES A VECES DESEABLE ABRIR LA VOLADURA USANDO DOS BARRENOS CON EL RETARDO 25 MS. ESTO DARA COMO RESULTADO UN LIGERO MO- VIMIENTO MAYOR DE LA REZAGA HACIA EL FRENTE.

CARGADO. LAS CONDICIONES TAN VARIADAS QUE SE ENCUENTRAN EN MUCHAS CANTERAS DEN-- TRO DE LA INDUSTRIA, HACE IMPOSIBLE OFRECER RECOMENDACIONES DE GRADOS ESPECIFICOS DE EXPLOSIVOS PARA PRODUCIR RESULTADOS SATISFACTORIOS BAJO CUALQUIER CONDICION. LAS SIGUIENTES RECOMENDACIONES SON GUIAS QUE HAN PROBADO TENER EXITO EN MUCHAS O- PERACIONES.

RELACION DE EXPLOSIVOS. LA RELACION DE EXPLOSIVOS PUEDE VARIAR DE 0.25 LIBRAS -- POR TONELADAS HASTA 1.0 LIBRAS POR TONELADA, DEPENDIENDO DE LA FORMACION Y EL USO FINAL DE LA ROCA QUE SE ESTA EXPLOTANDO. EN GENERAL, LA MAYOR PARTE DE LA ROCA -- SE EXPLOTA ENTRE 0.5 Y 0.65 LIBRAS POR TONELADA.

DISTRIBUCION DE EXPLOSIVOS. LA DISTRIBUCION DE EXPLOSIVOS ES GENERALMENTE EL FAC -- TOR MAS IMPORTANTE PARA DETERMINAR LA FRAGMENTACION. ESTA CONTROLADA POR EL DIA -- METRO, LOS BORDOS Y ESPARCIAMIENTOS DE LOS BARRENOS. SIN EMBARGO, LA DISTRIBU --- CION DE LOS EXPLOSIVOS DENTRO DE LOS BARRENOS EN FORMA INDIVIDUAL, ES TAMBIEN FAC -- TOR IMPORTANTE.

EN LA MAYORIA DE LAS FORMACIONES EL PIE O FONDO DEL BARRENOS PRESENTE LA MAYOR -- DIFICULTAD EN ASEGURAR EL MOVIMIENTO ADECUADO PARA PROPORCIONAR FACILIDAD EN EL -- CARGADO. UNA REGLA EMPIRICA ES DISEÑAR LA CARGA DENTRO DEL BARRENO DE TAL FORMA QUE LA MITAD DEL TOTAL DE LOS EXPLOSIVOS SE ENCUENTRE LOCALIZADA EN LA 3a. PARTE DEL FONDO DEL BARRENO. ESTA ES TAN SOLO UNA REGLA EMPIRICA Y DEBE AJUSTARSE POR LAS CARACTERISTICAS DE LA FORMACION QUE SE ESTE EXPLOTANDO.

EN GENERAL, LA MAXIMA ENERGIA DEBE ESTAR LOCALIZADA EN EL FONDO DECRESIENDO GRA -- DUALMENTE A MEDIDA QUE LA COLUMNA DE EXPLOSIVOS SE ELEVE HASTA UNA PROFUNDIDAD -- PREDETERMINADA PARA EL TACO.

SUB-BARRENACION. LA CANTIDAD DE SUB-BARRENACION ESTA INFLUENCIADA POR LA FORMA -- CION, EL BORDO DE LOS BARRENOS Y EL NUMERO DE HILERAS QUE SE ESTEN DISPARANDO.

EN LA MAYORIA DE LAS FORMACIONES UNA SUB-BARRENACION QUE TENGA UNA PROFUNDIDAD -- IGUAL A UNA 3a. PARTE DEL BORDO ES LA ADECUADA. A MEDIDA QUE AL NUMERO DE HILE -- RAS SE INCREMENTA, LA SUB-BARRENACION EN LAS FILAS TRASERAS DEBERA INCREMENTARSE TAMBIEN. ESTO ES NECESARIO YA QUE EL AREA REDUCIDA PARA EL MOVIMIENTO DE ROCA -- QUE SE TIENE EN LOS BARRENOS TRASEROS CREA UNA CONDICION DE ENCIERRO.

TACO. LA CERCANIA CON QUE LA COLUMNA DE EXPLOSIVOS TENGA AL CUELLO DEL BARRENO -- CON MATERIAL DE ATACAMIENTO ES UN FACTOR PRIMORDIAL PARA EL CONTROL DE ROCA EN -- VUELO. PODRIA SER PELIGROSO OFRECER CUALQUIER GENERALIDAD PARA CONTROLAR LA LA -- TURA DEL TACO. LA ALTURA DEL TACO DEBE BASARSE EN UN AMPLIO CONOCIMIENTO DE LA -- FORMACION, DE LA CANTIDAD DE EXPLOSIVOS QUE SE ESTE UTILIZANDO Y DE LA CANTIDAD -- DE ROCA EN VUELO QUE PUEDE TOLERARSE, CON UN BUEN JUICIO Y EXPERIENCIA.

AL CARGAR EL TACO SE DEBE PRACTICAR EL MISMO CUIDADO Y ATENCION QUE SE TIENE AL -- CARGAR LOS EXPLOSIVOS. TENIENDO ESPECIAL CUIDADO DE NO DAÑAR EL SISTEMA DE INI -- CIACION.

6.2. MINERIA SUBTERRANEA

LA MAYORIA DE LAS OPERACIONES DE MINERIA SUBTERRANEA MANTIENEN UN BALANCE ENTRE - EL MINADO DE DESARROLLO Y EL DE PRODUCCION. LA MAYORIA DE LAS MINAS TAMBIEN DISEÑAN PROYECCIONES FORMALES A LARGO PLAZO, QUE SIRVEN COMO GUIAS OPERACIONALES A -- MENUDO HASTA 20 AÑOS ADELANTE. ADEMAS DE ESTAS PROYECCIONES A LARGO PLAZO, LA MA YORIA DE LOS OPERADORES TAMBIEN PREPARAN PROYECCIONES A CORTO PLAZO DE 1 A 5 AÑOS. LAS PROYECCIONES A CORTO PLAZO PUEDEN ALTERARSE DE TIEMPO EN TIEMPO.

6.2.1. VOLADURAS DE DESARROLLO.

LOS TRABAJOS DE DESARROLLO EN LAS MINAS GENERALMENTE SE CARACTERIZAN POR SER OPE- RACIONES CON UNA SOLA CARA DISPONIBLE PARA EL MOVIMIENTO DEL MATERIAL EXPLOTADO. LOS CAÑONES O SOCAVONES, GENERALMENTE TIENEN UN AREA PEQUEÑA EN LA SECCION TRANS- VERSAL QUE DA COMO RESULTADO CONDICIONES ESTRECHAS PARA LA VOLADURA.

EL PASO MAS IMPORTANTE Y DIFICIL EN EL AVANCE DEL SOCAVON ES EL HACER UNA ABERTU- RA EN LA CARA SOLIDA PARA PRODUCIR UN HUECO Y SEGUNDA CARA O PLANO DE ALIVIO TAN PROFUNDO COMO RESULTE PRACTICO PARA AVANZAR EN UNA SOLA BARRENACION. ESTE SEGUN- DO PLANO DE ALIVIO O HUECO SE LLAMA CUÑA. LA CUÑA PUEDE QUEBRARSE Y DESPLAZARSE HACIA AFUERA PARA CREAR UN HUECO MEDIANTE UN GRAN NUMERO DE DIFERENTES PLANTILLAS DE BARRENACION. LA CUÑA ES LA PARTE MAS IMPORTANTE DE LA VOLADURA. EL RESTO DE LOS BARRENOS EN LA BARRENACION NO PUEDE QUEBRAR EN FORMA EFICIENTE A MENOS QUE LA CUÑA HAYA SIDO REMOVIDA TOTALMENTE DE LA CARA. ESTO CREA UN HUECO PARA PERMITIR LA EXPANSION Y MOVIMIENTO DE LOS BARRENOS RESTANTES. OBTIVAMENTE, LA CUÑA NO PUE- DE CREAR UN HUECO SUFICIENTEMENTE GRANDE PARA ACOMODAR LA EXPANSION DE TODA LA -- BARRENACION, POR LO TANTO, LA MAYOR PORCION DEL MOVIMIENTO DE ROCA DEBE SER HACIA EL FRENTE.

CUÑAS BASICAS. LAS TECNICAS DE BARRENACION Y VOLADURA QUE EXITOSAMENTE LLEVAN -- LAS BARRENACIONES A SU PROFUNDIDAD DE BARRENACION HAN EVOLUCIONADO A TRAVES DE -- LOS AÑOS. EXISTEN TRES TIPOS BASICOS DE CUÑAS: QUEMADA, EN ANGULO Y MECANICA. - CADA TIPO DE CUÑA TIENE MUCHAS VARIACIONES EN SUS DISEÑOS PARA HACERLAS ADAPTABLES A UNA FORMACION EN PARTICULAR.

CUÑA QUEMADA. ESTE ES UN GRUPO DE BARRENOS PERFORADOS CERCANOS UNO A OTRO, PARA- LELOS A LA DIRECCION DE AVANCE Y PERPENDICULARES A LA CARA EXISTENTE. SON DISPA- RADOS EN EL CENTRO DE LA CARA O CERCA DE EL PARA QUEBAR UNA ABERTURA APROXIMADA--

MENTE CILINDRICA A TODA LA PROFUNDIDAD DE LA BARRENACION. LOS BARRENOS QUE RO--
DEAN EL AREA DE LA CUÑA TIENEN UNA SECUENCIA PARA DISPARARSE POSTERIORMENTE Y QUE
BRAR HACIA ESTA NUEVA ABERTURA QUE SE HA CREADO.

CUÑA EN ANGULO. LA CUÑA EN ANGULO ES UN GRUPO DE BARRENOS PERFORADOS A DIVERSOS
ANGULOS INCLINADOS EN RELACION A LA CARA LIBRE PARA PORPORCIONAR LA MAYOR LIBER--
TAD DE MOVIMIENTO POSIBLE DE LA ROCA. DENTRO DE LAS CUÑAS EN ANGULO SE INCLUYE -
LA CUÑA EN V, LA PIRAMIDE Y LA DE MARTILLO. GENERALMENTE LAS CUÑAS EN ANGULO RE-
QUIEREN MENOS BARRENOS Y MENOS FACTORES DE CARGA QUE LAS CUÑAS QUEMADAS.

USUALMENTE LA CUÑA EN ANGULO MOVERA LA ROCA MAS LEJOS EN EL SOCAVON Y PRODUCIRA -
UNA FRAGMENTACION MAS GRUESA.

CUÑA MECANICA. EN FORMACIONES MAS BLANDAS, TALES COMO LA POTASA, SAL Y YESO QUE
UTILIZAN METODOS DE SALON Y PILAR SIMILARES AL CARBON, EN DONDE MAQUINAS CON BA--
RRAS CORTADORAS, EFECTUAN UNO O MAS CORTES VERTICALES EN LA CARA A LA PROFUNDIDAD
DESEADA DE LA BARRENACION. LA CANTIDAD DE AVANCE POR RONDA ESTA LIMITADA POR LA
PROFUNDIDAD DE ESTE CORTE. LOS BARRENOS SE PERFORAN A LA PROFUNDIDAD DEL CORTE Y
POR MEDIO DE UNA SECUENCIA DE RETARDO SE VAN DISPARANDO COMO LOSAS HACIA EL CORTE.
COMO LA CUÑA SE REMUEVE SIN EL USO DE EXPLOSIVOS, ESTE TIPO DE BARRENACION REQUIE
RE MENOS BARRENOS REDUCIENDO POR LOS TANTO EL FACTOR DE CARGA.

BARRENACION DE SOCAVONES. LAS BARRENACIONES DE SOCAVONES SE UTILIZAN PARA HACER
TUNELES DE ACCESO, NIVELES, CAÑONES O CRUCEROS HACIA Y ATRAVES DE UN CUERPO MINE-
RALIZADO. ESTOS SOCAVONES VARIAN CON LA FORMA Y AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL -
DEPENDIENDO DEL USO QUE SE LES VAYA A DAR TALES COMO TRANSPORTACION DEL MINERAL,
PARA FINES DE VENTILACION O TRANSPORTE DEL PERSONAL. SON GENERALMENTE MAS PEQUE-
ÑOS Y SE TRABAJAN DIFERENTE A LOS GRANDES TUNELES USADOS PARA CARRETERAS, TRENES,
VEHICULOS EN GENERAL O AGUA.

UN SOCAVON O GALERIA AL SE BARRENADOS SE LES CONOCEN GENERALMENTE COMO BARRENACIO
NES DE CUÑA QUEMADA, BARRENACIONES DE CUÑA EN V O BARRENACIONES DE CORTE EN ANGU-
LO. DERIVAN SU NOMBRE DEL TIPO DE CUÑA QUE SE UTILICE. EL DISEÑO GENERAL DE CUAL
QUIER TIPO DE BARRENCION ES EL MISMO EN PRINCIPIO. LA CUÑA DEBE QUEBRARSE Y REMO
VERSE COMPLETAMENTE PARA CREAR UN ESPACIO PARA EXPANSIO Y ALIVIO. EL RESTO DE LOS
BARRENOS DE LA PLANTILLA SON DISPARADOS EN SECUENCIA DE TIEMPO ROMPIENDO HACIA LA
NUEVA CARA LIBRE

BARRENACIONES CON CUÑAS EN ANGULO. LAS BARRENACIONES CON CUÑAS EN ANGULO GENERAL
MENTE REQUIEREN MENOS BARRENOS Y MENOS EXPLOSIVOS POR PIE DE AVANCE. SIN EMBARGO
SU USO ESTA RESTRINGIDO POR EL ANCHO DE LA FRENTE. NORMALMENTE LA CUÑA EN ANGULO

SOLO SE USE EN MINAS CON EQUIPO DE PERFORACION QUE SE AUTODESPLACE. LA FRNTE DEBE SER LO SUFICIENTEMENTE AMPLIA PARA PERMITIR QUE LOS TALADROS SE COLOQUEN EN -- ANGULOS RELATIVAMENTE PEQUEÑOS EN RELACION A LA CARA.

CUÑA EN V. LA CUÑA PUEDE TENER UNA V O VARIAS PERFORADAS PARALELA UNA A OTRA. EL NUMERO DE V_s . NECESARIAS DEPENDE PRINCIPALMENTE DE LA ESTRUCTURA O ESTRATIFICACION DE LA ROCA. EN BARRENACIONES MAS PROFUNDAS O EN ROCA MUY DURA LAS CUÑAS PUEDEN SER DE DOBLE O TRIPLE V. LA CUÑA MAS PEQUEÑA Y QUE ESTA MAS ADENTRO SE CONOCE COMO CUÑA CHICA. ALGUNAS VECES SE UTILIZAN BARRENOS DE ALIVIO PARA AYUDAR A QUEBRAR EN CUÑAS EN ANGULO PROFUNDAS.

EN LAS BARRENACIONES CON CUÑA EN V TODOS LOS BARRENOS DE LA V DEBEN SER DISPARADOS AL MISMO TIEMPO USANDO ESTOPINES "ACUDET" PERIODO CERO O MS-25. ESTO ES NECESARIO PARA OBTENER RESULTADOS OPTIMOS Y ES PARTICULARMENTE IMPORTANTE EN ROCA DURA. TANTO LOS ESTOPINES MS COMO LA ACUDET SE USAN PARA RETARDAR LA VOLADURA CON CUÑAS EN V.

EN FRNTES MUY GRNADES, LOS ESTOPINES MS SE UTILIZAN CON MUCHA FRECUENCIA, PUES -- GENERALMENTE DAN UNA MEJOR FRAGMENTACION Y DESPLAZAMIENTO QUE LOS ESTOPINES ACUDET QUE SON MAS LENTOS.

LA INVESTIGACION REALIZADA POR DUPONT HA DESARROLLADO UNA CURVA QUE RELACIONA LA MAXIMA VELOCIDAD DEL MINERAL EN PIES POR SEGUNDO CON LA DENSIDAD DE CARGA EN TONELADAS POR LIBRA DEL EXPLOSIVO. SOLO DEBE CONSIDERARSE EL VOLUMEN DE ROCA DENTRO DE LA V Y LA CANTIDAD DE EXPLOSIVOS EN LOS BARRENOS EN V AL CALCULAR LA DENSIDAD DE CARGA. ESTA INVESTIGACION HA DEMOSTRADO QUE LA MAYORIA DE LA ROCA SOLO SE ACELERA DENTRO DE LOS PRIMEROS DOS MILISEGUNDOS DESPUES DE LA DETONACION. DESPUES -- DE DOS MILISEGUNDOS, LA CURVA DE LA VELOCIDAD SE VUELVE RECTA.

SUPONGASE UNA CUÑA EN V DE 16 PIES DE PROFUNDIDAD, UNA BARRENACION DE 17.9 PIES, DOS PARES DE V_s PERFORADAS CON UNA SEPARACION DE 4 PIES ENTRE BARRENOS EN UN AN-- GULO DE 45° Y UN DIAMETRO DE 2 PULGADAS CARGADO CON TOVEX 200 HASTA 3 PIES DEL -- CUELLO.

EL VOLUMEN DE ROCA DENTRO DE LA V EQUIVALE A :

$$V = 1/2 (bh) S$$

$$V = 1/2 (16 X 16) X 4$$

$$V = 18.96 \text{ YARDAS CUBICAS.}$$

PARA ROCA CALIZA, 2.23 TONELADAS POR YARDA CUBICA.

$$\text{CARGA} = 2.23 \times 18.96$$

$$\text{CARGA} = 42.28 \text{ TONELADAS}$$

EN UN BARRENO CON DIAMETRO DE 2 PULGADAS EL TOVEX 200 PODRA CARGARSE A RAZON DE - 1.5 LIBRAS POR PIE. POR LO TANTO, SI SE DEJAN 3 PIES DEL CUELLO EL BARRENO CARGA DO EQUIVALDRA A 14.9 PIES.

$$\begin{aligned} \text{EXPLOSIVO/BARRENO} &= 14.9 \text{ PIES} \times 1.5 \text{ LIBRAS/PIE} \\ &= 22.3 \text{ LIBRAS/BARRENO} \end{aligned}$$

USANDO UNA V DE 4 BARRENOS EL TOTAL DE EXPLOSIVOS SERA:

$$\begin{aligned} \text{EXPLOSIVOS DENTRO DE LA V} &= 4 \times 22.3 \\ &= 89.2 \text{ LIBRAS} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FACTOR DE EXPLOSIVOS} &= 42.28 - 89.2 \\ &= 0.47 \text{ TONELADAS/LIBRA.} \end{aligned}$$

POR LO TANTO, LA VELOCIDAD MAXIMA EQUIVALE A 110 PIES/SEGUNDO.

USANDO LA FORMULA:

$$S = V (t - 2) \times 10^{-3}$$

DONDE :

S = DISTANCIA EN PIES

V = VELOCIDAD MAXIMA EN PIES POR SEGUNDO

(t-2) = TIEMPO EN MILLISEGUNDOS - LOS 2 MS X ACELERACION.

SUPONIENDO UN INTERVALO DE 75 MS ENTRE EL DISPARO DE LA V Y LOS PRIMEROS ALIVIADOS:

$$S = 110 (75-2) \times 10^{-3}$$

$$S = 8.03 \text{ PIES.}$$

UTILIZANDO ESTA MISMA FORMULA UN INTERVALO DE 25 MS SERIA IGUAL A 2.53 PIES Y UN INTERVALO DE 50 MS EQUIVALDRA A 5.28 PIES.

PARA DAR UN ESPACIO ADECUADO PARA EL MOVIMIENTO DE LOS PRIMEROS ALIVIADORES, LA V DEBE MOVERSE UNA DISTANCIA IGUAL A LA MITAD DE SU PROFUNDIDAD. POR LO TANTO, EN EL EJEMPLO DADO SERIA NECESARIO TENER UN INTERVALO DE 75 MS ENTRE EL DISPARO DE LA V Y EL DISPARO DE LOS PRIMEROS ALIVIADORES PARA PROPICIAR UN MOVIMIENTO DE LA V DE 8 PIES.

CUÑA DE MARTILLO. LA CUÑA DE MARTILLO ES UNA CUÑA EN V MODIFICADA. GENERALMENTE SE LOCALIZA ALEJADA DEL CENTRO DE LA FRENTE Y LOS BARRENOS ESTAN PERFORADOS DE TAL FORMA QUE NO SE ENCUENTREN. ESTA CUÑA REQUIERE DE UNA BARRENACION CUIDADOSA, PERO CUANDO ESTA ADECUADAMENTE PERFORADA, CARGADA Y CON UNA SECUENCIA DE RETARDOS - PROPICIA PUEDE TRABAJAR MUY BIEN, ESPECIALMENTE CUANDO SE PRESENTA UNA FRACTURA O SEPARACION EN EL FONDO O A UN LADO DEL CORTE. ESTE METODO SE USA FRECUENTEMENTE EN SOCAVONES PEQUEÑOS DONDE EL EQUIPO NO TIENE SUFICIENTE ESPACIO PARA PERFORAR - UNA CUÑA EN EL CENTRO DE LA CARA.

CUÑAS MECANICAS. ALGUNOS MATERIALES SON SUFICIENTEMENTE SUAVES Y NO ABRASIVOS PARA SER CORTADOS POR UNA MAQUINA A LA PROFUNDIDAD DE LA BARRENACION. A ESTE CORTE SE LE LLAMA RANURA. ESTAS RANURAS PROPORCIONAN UNA CARA LIBRE Y UN HUECO AL CUAL LOS BARRENOS PUEDEN QUEBRAR. LAS CUÑAS MECANICAS SE UTILIZAN EN SAL, YESO, POTASA Y TRONA, EN FORMACIONES HASTA DE 30 PIES DE ESPESOR.

TIPO DE EXPLOSIVOS. EL NUMERO DE BARRENOS REQUERIDOS DEPENDE EN PARTE DE LA EFICIENCIA DE LOS EXPLOSIVOS. EL ACOPLAMIENTO ENTRE LOS EXPLOSIVOS Y LA PARED DEL - BARRENO ES DE GRAN IMPORTANCIA.

EL TOVEX 100 Y EL TOVEX 200 SON HIDROGELES QUE TIENEN EXCELENTE CARACTERISTICAS DE ATACAMIENTO Y PROPORCIONAN UN CONFINAMIENTO MAXIMO EN EL BARRENO.

SON SENSIBLES A LA CAPSULA CON EXCELENTE RESISTENCIA AL AGUA, MINIMA PRODUCCION DE HUMO Y GASES Y NO TIENEN INGREDIENTES QUE CAUSEN DOLOR DE CABEZA.

EL TOVEX 100 GENERALMENTE SE USA PARA ROCA MEDIA Y DURA.

EL TOVEX 200 SE PREFERE PARA VOLADURAS QUE PRESENTAN MAYOR DIFICULTAD.

EL TOVEX 90 ES UN HIDROGEL DE BAJA DENSIDAD UTILIZADO EN MUCHAS VOLADURAS DE FORMACIONES FACILES.

DONDE LAS CONDICIONES SON SECAS SE USA AMPLIAMENTE EL ANFO. ESTE AGENTE EXPLOSIVO DE BAJO COSTO TIENE UNA MENOR DENSIDAD DE 0.8 A 0.9 g/cc PERO CARGA TODO EL -- DIAMETRO DEL BARRENO. SU ACCION DE VOLADURA A DEMOSTRADO SER ADECUADA EN MUCHAS CONDISIONES DE ROCA Y PUEDE CEBARSE CON HIDROGELES ENCARTUCHADOS O INICIADORES DE TAPRIME.

6.2.2. VOLADURAS DE PRODUCCION.

EL CONCEPTO BASICO DE VOLADURAS PARA CASI TODOS LOS DISPAROS DE PRODUCCION, ES LA BARRENACION DE LOZAS O LAJAS. DICHAS VOLADURAS SE USAN COMUNMENTE PARA AMPLIAR -- UNA GALERIA O SALON, REDUCIR O TIRAR UN PILAR, HACER UN REBAJE, INTRODUCIR UN DE-

RRUMBE O HACER FONDO EN UN SOCAVON O INCLINADO.

BASICAMENTE, UNA BARRENACION DE LOZA CONSISTE EN UNA O MAS HILERAS DE BARRENOS -- PERFORADOS PARALELAMENTE A UNA CARA DE ALIVIO, Y DISPARADOS HACIA ESTA. DEBIDO - AL ALIVIO CONFIABLE QUE SE TIENE, LOS BARRENOS DE LOZAS PUEDEN TENER UN BORDO MA- YOR, REDUCIENDO LA CANTIDAD DE EXPLOSIVOS Y EL NUMERO DE PERFORACIONES REQUERIDAS. LAS BARRENACIONES DE PRODUCCION DE LOZA, PUEDEN CLASIFICARSE EN FORMA GENERAL, CO MO VOLADURAS DE : BARRENOS CORTOS, O BARRENOS LARGOS.

EXPLOSIVOS. MUCHAS FRENTES DE PRODUCCION Y BARRENACIONES DE LOZAS SE DISPARAN -- CON ANFO. EL ANFO NORMALMENTE, SE CEBAN CON TOVEX O DETAPRIME. EN BARRENOS CON - AGUA, DONDE NO SE PUEDE CARGAR ANFO, EL TOVEX 100 Y EL TOVEX 200 HAN PRODUCIDO -- EXCELENTES RESULTADOS. EL TOVEX 200 SE UTILIZA DONDE SE REQUIERE MAYOR ENERGIA - PARA DESPLAZAR FORMACIONES PESADAS. AUN CUANDO LOS RETARDOS ACUDET SE HAN UTILI- ZADO, LA MAYORIA DE LAS BARRENACIONES DE LOZA UTILIZAN ESTOPINES ELECTRICOS DE -- RETARDO MS PARA AUMENTAR LA PAVIMENTACION Y EVITAR CORTES CAUSADOS POR EL MOVI--- MIENTO DE LA ROCA.

6.3. MINADO DE CARBON.

EL CARBON ES UNO DE LOS RECURSOS NATURALES PRODUCTORES DE ENERGIA MAS ABUNDANTE -- QUE HAY. BASADO EN LA TECNOLOGIA ACTUAL Y CONSIDERANDO LA PRODUCCION ECOLOGICA Y LA ECONOMIA.

EL MINADO DE CARBON ES UNO DE LOS MAYORES CONSUMIDORES DE EXPLOSIVOS. EXISTEN -- ACTUALMENTE DOS METODOS PARA EFECTUAR ESTE MINADO:

- 1.- SUBTERRANEO, DONDE SE UTILIZAN EXPLOSIVOS PERMISIBLES.
- 2.- DE SUPERFICIE, DONDE SE UTILIZAN GRANDES CANTIDADES DE ANFO FRECUENTEMENTE CE BADO O INICIADO CON HIDROGELES.

6.3.1. METODO SUBTERRANEO.

LA MAYORIA DE MINAS SUBTERRANEAS DE CARBON SE DESARROLLAN USANDO EL SISTEMA DE SA LON Y PILAR. EL CARBON SE PERFORA MEDIANTE UN SISTEMA DE 4 A 9 GALERIAS PARALELAS QUE NORMALMENTE TIENEN DE 4 A 6 METROS DE ANCHO DEPENDIENDO DEL TIPO DE EQUIPO -- USADO Y DE LA ESTABILIDAD DEL TECHO. LAS GALERIAS PARALELAS USUALMENTE TIENEN 30 METROS DE CENTRO A CENTRO CON CRUCEROS QUE LOS CONECTAN A APROXIMADAMENTE LOS MIS MOS 30 METROS. ESTAS GALERIAS TENDRAN UNA LONGITUD PREDETERMINADA Y DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES LOS PILARES DE CARBON DEJADOS POR LAS GALERIAS Y LOS CRUCES -- ESTARAN ABIERTOS POR CRUCES ADICIONALES EN UN SISTEMA DE RETIRADA PARA RECUPERAR EL MAXIMO CARBON QUE SEA POSIBLE DE ACUERDO A LA SEGURIDAD.

CON UN ASENTAMIENTO TOTAL DEL TECHO DURANTE LA RETIRADA, EL SISTEMA DE FRENES -- LARGAS ES UN SISTEMA DE MINADO PARA OBTENER CASI UNA TOTAL RECUPERACION DEL CAR-- BON. UNA CARA DE 75 A 180 METROS DE LARGO SE RETIRA EN TAJADAS RELATIVAMENTE DEL GADAS. A MEDIDA QUE LA CARA AVANZA SE PERMITE QUE EL TECHO DE LA MINA SE DERRUM-- BE Y LLENE EL AREA EXCAVADA.

LA MAYORIA DE LAS OPERACIONES USAN UNA COMBINACION DE LOS SISTEMAS DE SALON Y PI-- LAR Y DE FRENTE LARGA PARA LOGRAR CONDICIONES DE TRABAJO SEGURAS Y UNA MAXIMA RE-- CUPERACION DEL CARBON.

LA NATURALEZA GEOLOGICA DE LOS MANTOS DE CARBON BITUMINOSOS MUESTRAN UNA VARIACION CONSIDERABLE EN LA ALTURA DEL MANTO, TIPO Y CANTIDAD DE IMPUREZAS, CLIVAJE, FRA-- GILIDAD Y TIPO DE FORMACION CIRCUNDANTE AL MANTO. ESTOS FACTORES INFLUYEN GRANDE MENTE EN LOS METODOS DE VOLADURA Y TIPOS DE EXPLOSIVOS PERMISIBLES REQUERIDOS PA-- RA UNA MINA EN PARTICULAR.

VOLADURAS A TODA LA SECCION. LAS VOLADURAS A TODA LA SECCION SE USAN FRECUENTE--
 MENTE PARA LAMINAR EL PERIMETRO DE UN PILAR EN EL SISTEMA DE MINADO EN RETIRADA.
 LOS BARRENOS SE PERFORAN PARALELAMENTE A UNA CARA LIBRE CON SUFICIENTE BORDO EN -
 CADA BARRENO PARA LOGRAR LA MAXIMA UTILIZACION DE ENERGIA DEL EXPLOSIVO. LA CANTI-
 DAD OPTIMA DE BORDO REQUERIDO DEPENDERA DEL MANTO DE CARBON Y DEL TIPO DE EQUI-
 PO QUE SE USARAN PARA LA CARGA DEL CARBON. EL USO DE RETARDOS PARA MINAS DE CAR-
 BON PERMITIRA GENERALMENTE UN INCREMENTO EN LA PROFUNDIDAD DEL BARRENO Y LA CANTI-
 DAD DE BORDO QUE PUEDA MOVERSE MEDIANTE ESTE TIPO DE VOLADURA. CUANDO EL RETARDO
 NUMERO 1 DISPARA CREA UNA AREA ABIERTA QUE PERMITIRA AL RETARDO NUMERO 2 ROMPER
 HACIA ABAJO EL CARBON QUE SE ENCUENTRA ARRIBA. EL NUMERO DE BARRENOS REQUERIDO -
 DEPENDERA DE LA ALTURA DEL MANTO Y LAS CARACTERISTICAS DEL MISMO.
 CUANDO SE DISPARA A TODA LA SECCION, LA CANTIDAD DE EXPLOSIVOS SERA NORMALMENTE -
 MUCHO MAYOR QUE EN VOLADURAS CON RANURA.

LA CANTIDAD VARIARA DE 0.35 Kg. POR TONELADA A 0.57 Kg. POR TONELADA DEPENDIENDO
 DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS DEL MANTO DE CARBON.

VOLADURAS DE CARBON USANDO RANURA. LA CARA SOLIDA DE CARBON MEDIANTE UN CORTE O
 RANURA EN LA PARTE SUPERIOR O INFERIOR O UNA COMBINACION DE AMBAS, RECIBE UN ALI-
 VIO. EL OBJETO DE CORTAR Y RANURAR ES BRINDAR UN ALIVIO A TODA LA PROFUNDIDAD --
 DEL BARRENO EN 2 O MAS CARAS. ESTE PERMITE UNA DISTRIBUCION MAS EQUILIBRADA DE LA
 ENERGIA TOTAL DE LOS EXPLOSIVOS. ADICIONALMENTE ESTABLECIENDO CARAS LIBRES, EL -
 CORTE O RANURA BRINDA UNA AREA ADICIONAL PARA LA EXPANCIION DEL CARBON QUEBRADO.
 PARA LOGRAR EL DESPLAZAMIENTO Y FRAGMENTACION NECESARIAS PARA UN MINADO DE ALTA -
 PRODUCCION TODAS LAS FASES DE PREPARACION DE LA FRENTE, CORTE, BARRENACION Y VOLA-
 DURA DEBEN DE CONSIDERARSE COMO UNA UNIDAD INTRINSECA DEPENDIENTE COMPLETAMENTE -
 UNA DE LA OTRA PARA UN EXITOSO CARGADO MECANICO DEL CARBON.

PREPARACION DE LA FRENTE. LA PREPARACION DE LA FRENTE SE REALIZA EN UN CICLO RE-
 PETITIVO QUE SUPONE LA UTILIZACION DE LA MAQUINA PARA ANCLAJE DEL TECHO, LA MAQUI-
 NA CORTADORA, LA PERFORADORA, LA EXPLOSORA Y LA MAQUINA DE CARGA.

EL PRIMER PASO EN CADA CICLO DE MINADO DEBERA ESTAR PRECEDIDO POR DOS REVICIONES
 DE SEGURIDAD:

1.- PROBANDO QUE LA FRENTE TENGA UNA CONCENTRACION DE METANO DE CERO Y ASEGURAN--
 DOSE DE UNA VENTILACION ADECUADA.

2.- ADECUADO EL SOPORTE DEL TECHO.

LA CUADRILLA QUE COLOCA LAS ANCLAS DE SOPORTE EN UNA FRENTE LO HACEN EN BASE A UN
 PLAN PREDETERMINADO DE SOPORTE PARA OFRECER LA MAXIMA PROTECCION EN LOS CICLOS.

CORTE. LA ADECUADA LOCALIZACION DEL CORTE ESTA DETERMINADA NORMALMENTE POR LAS CARACTERISTICAS FISICAS DEL MANTO DE CARBON, LA ESTABILIDAD DEL TECHO Y LA FIRMEZA DEL PISO. ES EXTREMADAMENTE IMPORTANTE CORTAR CADA COSTADO EN UNA LINEA RECTA PARALELA A LA LINEA CENTRAL DE LA GALERIA.

EL CORTE SUPERIOR SE HA HECHO EL MAS POPULAR CON EL USO DE RETARDO DE DISPARO EN MILISEGUNDOS. EL CORTE ENTERO SE DISPARA EN UNA SOLA OPERACION DISPARANDO CADA BARRENO A UN PERIODO DE TIEMPO INDIVIDUAL. EL CORTE SUPERIOR OFRECE EL CONFINAMIENTO MAXIMO A TODAS LAS CARGAS DE EXPLOSIVOS AFECTANDO AL MINIMO EL TECHO.

EL CORTE INFERIOR ES EL TIPO MAS COMUN DE CORTE Y SE UTILIZA EN AREAS DONDE EL PISO ES SUAVE. EL CORTE MECANICO DEJARA UNA SUPERFICIE RELATIVAMENTE TERSA QUE NO SE ROMPERA FACILMENTE BAJO EL PESO DE EQUIPO PESADO.

UN CORTE CENTRAL SE USA FRECUENTEMENTE DONDE SE PRESENTAN INTRUSIONES PESADAS DE ROCA HORIZONTAL EN EL MANTO. EL CORTE GENERALMENTE, SE LOCALIZA DIRECTAMENTE ABAJO DE LA UNION DE DIFERENTES MATERIALES PERMITIENDO QUE LA ROCA SE QUIEBRE FACILMENTE DE BARRENOS LOCALIZADOS SOBRE LA MISMA.

RANURAS EN EL CENTRO, A UN LADO DEL CENTRO O EN EL COSTADO DERECHO SE UTILIZAN PARA PROPORCIONAR UN ALIVIO ADICIONAL EN LOS MANTOS QUE SON DIFICILES DE DISPARAR. EXPLOSIVOS. LA SERIE DE HIDROGELES PERMISIBLES TOVEX 300 HA DEMOSTRADO SER MUY EFICIENTE EN MUCHOS MANTOS CARBONIFEROS. EL NO PRODUCIR DOLOR DE CABEZA Y BAJA CANTIDAD DE GASES CARACTERISTICO DEL TOVEX 300 COMBINADO CON UN ALTO DESEMPEÑO HACE DE EL UN EXPLOSIVO DIFERENTE EN TODOS LOS DIFERENTES MANTOS DE CARBON.

EL USO DE RETARDO PARA MINAS DE CARBON DARA COMO RESULTADO UN MEJOR DESPLAZAMIENTO PERMITIENDO QUE HAYA SUFICIENTE TIEMPO PARA QUE EL CARBON DE CADA BARRENO SE DESPLACE ANTES DE QUE DISPARE EL SIGUIENTE. ESTA MEJORA EN EL DESPLAZAMIENTO DE TODO EL CORTE, RESULTA EN UNA MEJOR DISTRIBUCION DEL CARBON FACILITANDO EL REZAGADO DEL MISMO.

LOS BARRENOS MAS CERCANOS AL PLANO DE ALIVIO TAL COMO EL CORTE O RANURA DEBERAN DISPARARSE PRIMERO PARA QUEBRAR Y DESPLAZAR EL CARBON PROPORCIONANDO ESPACIO DE ALIVIO PARA LA EXPANSION DEL CARBON DE LOS BARRENOS QUE DISPARARAN POSTERIORMENTE.

6.3.2. METODO DE SUPERFICIE.

EL MINADO DE CARBON A CIELO ABIERTO ES UN METODO DE RECUPERACION MUY ANTIGUO QUE SE HA PRACTICADO POR MAS DE CIEN AÑOS.

SIN EMBARGO, SE HACIA EN UNA ESCALA RELATIVAMENTE PEQUEÑA EN RELACION AL TONELAJE TOTAL DEL CARBON PRODUCIDO HASTA EL INICIO DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL. CUANDO LAS NECESIDADES DE ENERGIA EXCEDIERON LA CAPACIDAD DE LAS MINAS DE CARBON SUBTERRANEAS, EL MINADO EN SUPERFICIE SE COMBIERTIO EN UN FACTOR IMPORTANTE PARA SATISFACER LA DEMANDA DE CARBON.

EL DESARROLLO DE MINADO DE CARBON EN SUPERFICIE HA TENIDO UNA REACCION DE CAUSA Y EFECTO EN EL DESARROLLO DE EQUIPO GRANDE PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRA. GRANDES PALAS MECANICAS, DRAGAS, PERFORADORAS Y CAMIONES DE ALTA PRODUCCION SE HAN DESARROLLADO, PARA SER ECONOMICAMENTE FACTIBLE EL MINADO DEL CARBON DE LA SUPERFICIE QUE HUBIERA PODIDO SER EXTRAIDO UNICAMENTE BAJO TIERRA O SE CONSIDERABA NO COSTEABLE HACE ALGUNOS AÑOS.

LAS NUEVAS OPERACIONES DE MINADO EN SUPERFICIE QUE ELIMINAN LA NECESIDAD DE TRANSPORTAR EL CARBON A GRANDES DISTANCIAS Y ASEGURAR UN SUMINISTRO CONSTANTE, ESTAN SIENDO DESARROLLADAS EN CONJUNTO CON PLANTAS GENERADORAS A BASE DE VAPOR.

FORMACION. TODOS LOS DEPOSITOS DE CARBON SON DE ORIGEN SEDIMENTARIO. ORIGINALMENTE ESTUVIERON BAJO EL AGUA COMO ESTRATOS HORIZONTALES DE MATERIA VEGETAL CARBONOSA. ESTOS MANTOS FUERON CUBIERTOS SUBSECUENTEMENTE CON DEPOSITOS SEDIMENTARIOS QUE EJERCIERON TREMENDAS PRESIONES SOBRE EL MATERIAL CELULOSO Y LOS GEOLOGOS CREYERON QUE 12 PIES (3.6 METROS) DE MATERIA VEGETAL SE COMPRIMIERON PARA DAR FINALMENTE UN PIE (0.3 m). DE CARBON. EN LA MAYORIA DE LAS AREAS ESTOS MANTOS SON TODAVIA HORIZONTALES, PERO LA SUPERFICIE DE LA TIERRA SE HA PLEGADO EN ALGUNOS CASOS TAN DRASTICAMENTE QUE LA TOPOGRAFIA SUPERFICIAL ES CON FRECUENCIA MONTAÑOSA. LAS INCLINACIONES NATURALES DE ESTOS MANTOS, EL CONTORNO DEL TERRENO, EL ESPESOR DE LOS MANTOS DE CARBON Y LA PROFUNDIDAD Y CARACTER DE LA SOBRECARGA INFLUYEN EN EL METODO DE MINADO Y SISTEMA DE VOLADURAS EMPLEADO.

LA SOBRECARGA VARIA DE PIZARRAS SUAVES Y TIERRA A PIEDRA CALIZA Y ARENISCAS MASIVAS. FRECUENTEMENTE EL MATERIAL MAS SUAVE ESTA ENTREMESCLADO CON PIEDRAS DE VARIOS TAMAÑOS Y FORMAS O CON CAPAS MASIVAS DE ROCA PESADA. OBIAMENTE EL AMPLIO RANGO DE CONDICIONES ENCONTRADO PARA REMOVER LA SOBRECARGA REQUIRIO IGUALMENTE DE UNA AMPLIA GAMA DE PROCEDIMIENTOS EN LAS VOLADURAS.

BARRENACION Y CARGADO. EL DIAMETRO DE BARRENOS MAS USUALES ES DE 9 A 10 PULGADAS. EL BARRENO PUEDE SER VERTICAL Y HORIZONTAL DEPENDIENDO DE LA OPERACION.

NORMALMENTE LOS BARRENOS ESTARAN RETARDADOS MEDIANTE ESTOPINES DE RETARDO MS O CONECTORES DE RETARDO MS YA SEA DEL CENTRO DEL DISPARO O HACIA UN EXTREMO DEL MISMO. EN CUALQUIER CASO EL ALIVIO O MOVIMIENTO SE ENCUENTRA EN EL PUNTO MINIMO DEBIDO A LA RELACION DESBALANCEADA ENTRE BORDOS Y ESPACIAMIENTOS DE LOS BARRENOS. LA FALTA DE ALIVIO PARA EL LIBRE MOVIMIENTO DEL MATERIAL ESTERIL DARA COMO RESULTADO UN NIVEL DE VIBRACION QUE EXCEDE LA VIBRACION NORMAL PRODUCIDA POR EL MISMO PESO DE EXPLOSIVOS EN UNA VOLADURA QUE ESTA LIBRE PARA MOVERSE.

EN AÑOS RECIENTES SE HA COMBERTIDO EN UNA PRACTICA COMUN EL CARGAR ANFO E HIDRO--GELES ENCARTUCHADOS EN BARRENOS HORIZONTALES HASTA DE 30 METROS Y EN ALGUNAS OPERACIONES CON PROFUNDIDADES QUE SOBREPASAN LOS 45 METROS.

DONDE LOS BARRENOS TIENEN UNA INCLINACION HACIA ABAJO DE POR LO MENOS 4º, EL POUR VEX EXTRA HA SIDO CARGADO EXITOSAMENTE TODOS ESTOS METODOS MECANICOS REDUCEN GRADUALMENTE LA LABOR REQUERIDA PARA EL CARGADO. ADICIONALMENTE, BRINDA UNA COMPLETA UTILIZACION DEL DIAMETRO DEL BARRENO. ESTO ASEGURA UNA UNION ENTRE EL EXPLOSI VO Y LA PARED DEL BARRENO. ESTA COMPLETA UTILIZACION DEL BARRENO BRINDARA FRECUEN TEMENTE UNA EXPANSION EN LAS PLANTILLAS.

DONDE LOS BARRENOS ESTAN SECOS EN ANFO SERA EL EXPLOSIVO PRINCIPAL.

CUANDO LOS BARRENOS ESTAN LLENOS DE AGUA SE HA LOGRADO CIERTO EXITO DESAGUANDO LOS BARRENOS CON BOMBAS Y USANDO BOLSAS DE PLASTICO EN LOS BARRENOS.

DONDE SE TENGA BARRENOS HUMEDOS O LLENOS DE AGUA QUE DEBAN SER CARGADOS, EL ANFO-HD SE HA UTILIZADO EXITOSAMENTE. EL ANFO-HD DEPENDE TOTALMENTE DE LA INTEGRIDAD DEL EMPAQUE PARA BRINDAR RESISTENCIA AL AGUA. POR LO TANTO ES ESENCIAL QUE ESTE PRODUCTO SE CEBE CON UN INICIADOR EXCELENTE. DEBERA HABER UN CEBO EN CONTACTO -- CON CADA CARTUCHO YA SEA EN LA PARTE SUPERIOR O INFERIOR. ESTO PUEDE LOGRARSE -- USANDO UN CEBO DE ALTA PRESION Y DETONACION CADA 2 CARTUCHOS.

TANTO EN BARRENOS HUMEDOS COMO SECOS, LA MAYORIA DE LAS OPERACIONES HAN ENCONTRA DO MUY VENTAJOSO USAR ENTRE 1.5 Y 4.5 METROS DE TOVEX EXTRA COMO CARGA DE FONDO. LA ALTA ENERGIA DE ESTE PRODUCTO MEJORA EL DESPLAZAMIENTO DEL MATERIAL ESTERIL Y EN LA MAYORIA DE LAS FORMACIONES PERMITIRA UNA EXPANCION DE LOS BORDOS Y ESPACIA MIENTOS.

6.4. EXPLORACION SISMICA.

NUNCA HA SIDO MAS NECESARIA LA PROSPECCION SISMICA COMO AHORA.

LA EXPLORACION SISMICA SERA UNA VALIOSA HERRAMIENTA EN LA BUSQUEDA DE ENERGIA PARA SATISFACER LAS NECESIDADES DE LA NACION.

LA PROSPECCION SISMICA SE BASA EN QUE LA TIERRA SE HA SEGREGADO EN PROCESOS GEOLOGICOS EN HECHOS DE DENSIDAD Y COMPORTAMIENTO ELASTICO VARIABLE. EL PROPOSITO DE LA PROSPECCION SISMICA ES DETERMINAR IRREGULARIDADES EN LOS LECHOS, TALES COMO FALLAS Y PLIEGUES QUE PUEDEN SERVIR COMO DEPOSITOS PARA LA ACUMULACION DE PETROLEO Y GAS. UN GOLPE REPENTINO TAL COMO EL QUE PRODUCE UNA EXPLOSION, ENVIA ENERGIA SISMICA EN TODAS DIRECCIONES. ESA ENERGIA SE DIVIDE AL LLEGAR A LAS FRONTERAS DE FORMACIONES GEOLOGICAS CON DIFERENTES IMPEDANCIAS ACUSTICAS (LA DENSIDAD MULTIPLICADA POR LA VELOCIDAD SONICA). ALGO DE LA ENERGIA REGRESA A LA SUPERFICIE DONDE LA DETECTAN SENSIBLES INSTRUMENTOS ELECTROMECHANICOS LLAMADOS GEOFONOS. CUANDO ESTOS GEOFONOS SE COLOCAN CERCA DE LA FUENTE DE ENERGIA, PARA REGISTRAR LA ENERGIA QUE VIAJA EN UNA TRAYECTORIA ESENCIALMENTE VERTICAL, LA TECNICA SE LLAMA METODO DE REFLEXION. CUANDO LOS INSTRUMENTOS SE EXTIENDEN SOBRE LARGAS DISTANCIAS DE LA FUENTE, (COMPARADAS CON LA PROFUNDIDAD DE LA FORMACION GEOLOGICA DE INTERES), LA TECNICA SE CONOCE COMO EL METODO DE REFRACCION. EN ESTE CASO LA ENERGIA SE PROPAGA BAJO UNA TRAYECTORIA PRINCIPALMENTE HORIZONTAL EN UN MATERIAL DE ALTA VELOCIDAD CUBIERTO POR MATERIALES DE VELOCIDAD INFERIOR.

LAS VIBRACIONES QUE REGRESAN A LA SUPERFICIE SON RECOGIDAS POR LOS GEOFONOS Y CONVERTIDAS EN UNA SEÑAL ELECTRICA QUE SE AMPLIFICA Y REGISTRA MEDIANTE UN OSCILOGRAFO Y UNA GRABADORA MAGNETICA DE CINTA. EL OSCILOGRAMA COMUNMENTE CONOCIDO COMO "REGISTRO" PERMITE UNA INSPECCION INMEDIATA PARA DETERMINAR SI EL TIRO FUE REGISTRADO ADECUADAMENTE. EL REGISTRO DE LA CINTA MAGNETICA SE ANALIZA DESPUES EN UN CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS DONDE SE PREPARAN LOS MAPAS GEOLOGICOS. EL REGISTRO USUAL MUESTRA 24 O MAS TRAZAS COLOCADAS EN PARALELO. CADA TRAZA NORMALMENTE REPRESENTA EL EFECTO ACUMULADO DE UN GRUPO DE GEOFONOS.

LA MEDIDA EXACTA DEL TIEMPO ES ESENCIAL EN LA PROSPECCION SISMICA. UN ERROR DE UN MILISIMO DE SEGUNDO, POR EJEMPLO, POR LO REGULAR REPRESENTA UN ERROR DE 6 A 8 PIES EN LA LOCALIZACION DE UNA ESTRUCTURA SUBTERRANEA. EN CONSECUENCIA, DEBEN HACERSE ARREGLOS PARA MARCAR EN EL REGISTRO LOS INSTANTES EXACTOS EN LOS QUE SE APLICA EL IMPULSO Y EN LOS CUALES LAS SEÑALES REFLEJADAS O REFRACTADAS APARECEN EN LOS GEOFONOS.

REFRACCION. LOS PROSPECTORES SISMICOS UTILIZARON EL METODO DE REFRACCION, Y ESTE TUVO EXITO EN LA LOCALIZACION DE DOMOS SALINOS A LO LARGO DE LA COSTA DEL GOLFO. ESTAS INTRUCIONES DE SAL DENTRO DE LAS FORMACIONES SEDIMENTARIAS SIRVIERON A MENUDO PARA TRAMPAS PARA ACEITE A LO LARGO DE LOS FLANCOS DE LOS DOMOS. EL PROCEDIMIENTO ERA BASTANTE SIMPLE. SE DETONABA UNA GRAN CANTIDAD DE DINAMITA, A MENUDO EN LA SUPERFICIE, Y LA ENERGIA REFRACTADA SE DETECTABA MEDIANTE UN GRUPO DE GEOFONOS YA SEA COLOCADOS EN UNA LINEA ATRAVES DEL PUNTO DE TIRO, O EN UN ARCO AL REDEDOR DE EL. CUANDO EL MATERIAL EN CUESTION ESTABA FORMADO UNICAMENTE DE SEDIMENTOS, SE REGISTRABA UN TIEMPO NORMAL DE VIAJE. SIN EMBARGO, CUANDO SE LOCALIZABA UN DOMO SALINO ENTRE EL PUNTO DE DISPARO Y LOS GEOFONOS, EL TIEMPO DE VIAJE ERA MUCHO MAS CORTO DEBIDO A LA ELEVADA VELOCIDAD DEL SONIDO EN LA SAL COMPARADA CON EL MEDIO VECINO. EN LA ACTUALIDAD LA REFRACCION SE UTILIZA PARA RECONOCIMIENTOS, EN DONDE EL TIEMPO ES UN FACTOR IMPORTANTE, O EN CIERTAS SITUACIONES EN LAS CUALES EL METODO DE REFLEXION NO PROPORCIONA BUENOS RESULTADOS.

REFLEXION. EL METODO HA DOMINADO LA PROSPECCION SISMICA DEBIDO A QUE PROPORCIONA UN MEJOR DETALLE ESTRUCTURAL Y A SU GRAN EXITO EN LOCALIZAR PETROLEO. EN LA TECNICA DE REFLEXION, EL PRIMER GEOFONO SE PONE CERCA DEL PUNTO DE TIRO Y VARIOS GEOFONOS SE DISPERSAN EN UNA LINEA QUE SE EXTIENDE UNA MILLA EN CUALQUIER DIRECCION. EL PRIMER GEOFONO SE UTILIZA PARA REGISTRAR EL TIEMPO HACIA ARRIBA EN EL BARRENO, EL QUE ES NECESARIO PARA CORREGIR LA BAJA VELOCIDAD DEL LECHO INTEMPERIZADO CERCA A LA SUPERFICIE. DESPUES DEL DISPARO, EL SIGUIENTE PUNTO DE TIRO SE LOCALIZA A LO LARGO DE LA LINEA DE GEOFONOS LOS CUALES SE MUEVEN MANUAL O ELECTRICAMENTE - SE CAMBIAN A SU NUEVA POSICION. LOS DISPAROS SUCESIVOS EFECTUADOS DE ESTE MODO - PRODUCEN UN PERFIL SISMICO QUE CONDUCE A UNA SECCION TRANSVERSAL GEOLOGICA. PRODUCTOS. CASI TODO EXPLOSIVO, DESDE LA POLVORA NEGRA HASTA LA GELATINA HA SIDO PROVADA EN PROSPECCION SISMICA. LA EXPERIENCIA EN EL CAMPO Y LA INVESTIGACION EN EXPLOSIVOS PARA PROSPECCION SISMICA HA DADO COMO RESULTADO QUE SE PUEDAN OFRECER DOS CLASES DE EXPLOSIVOS PARA TRABAJOS SISMICOS EN TIERRA. ESTOS SON: SEISMOGEL Y NITRAMON S Y SA AGENTES EXPLOSIVOS.

SEISMOGEL ES UN HIDROGEL ENCARTUCHADO DESIGNADO ESPESIFICAMENTE PARA TRABAJO SISMOGRAFO EN TIERRA. VIENE EMPACADO EN CARTUCHOS DE PLASTICO ROSCADO QUE PUEDEN -- SER ENSAMBLADOS RAPIDAMENTE EN CARGAS RIGIDAS RESISTENTES AL AGUA. HA SIDO DISEÑADO PARA PROVEER A LAS BRIGADAS SISMOGRAFICAS CON UNA FUENTE DE ENERGIA EQUIVALENTE AL MEJOR GRADO DE DINAMITA PERO COM MAYOR SEGURIDAD DEBIDO A SU MENOR SENSIBILIDAD AL IMPACTO, GOLPE Y FUEGO.

PARA DETONAR LA CARGA SE REQUIERE UN ESTOPIN ELECTRICO SISMOGRAFICO QUE SE INCERTA EN ESTE.

NITRAMON S Y SA VIENEN EMPACADOS EN LATAS DE ACERO LAMINADO QUE PUEDEN SER FACILMENTE ENSAMBLADAS EN CARGAS RIGIDAS. NO CONTIENEN NITROGLICERINA NI OTROS INGREDIENTES QUE CAUSEN DOLOR DE CABEZA.

ESTOPINES ELECTRICOS SISMOGRAFICOS. EL AISLAMIENTO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD DEL ALAMBRE DE EXTENSION NO LLEVA TRAMA, ES DUPLEX Y NO SE QUIEBRA EN FRIO -- INTENSO, NI SE SUAVIZA A LA TEMPERATURA AMBIENTE. EL CIERRE DE TAPON DE HULE DA UNA RESISTENCIA COMPLETA AL AGUA A PROFUNDIDADES ARRIBA DE 500 PIES.

LOS ESTOPINES ELECTRICOS SSS LOS HAY DISPONIBLES CON ALAMBRE DE HASTA 400 PIES. SE USAN EN TRABAJOS SISMICOS PARA INICIAR SEISMOGEL O NITRAMON S Y SA SE EMPLEAN EN CONJUNCION CON CEBOS DETAPRIME S O CEBOS NITRAMON S.

6.5. CONSTRUCCION.

MUCHOS TIPOS DE CONSTRUCCION INVOLUCRAN EL USO DE EXPLOSIVOS. LAS CARRETERAS, -- PRESAS Y TUBERIAS SE CONSIDERAN COMO INDUSTRIA PESADA, CONSUMEN GRANDES CANTIDADES DE EXPLOSIVO.

6.5.1. CONSTRUCCION DE CARRETERAS.

AL DISEÑAR LAS CARRETERAS, LOS INGENIEROS TRATAN DE LOCALIZAR EL CENTRO Y LA RASANTE DE LA CARRETERA, PARA MINIMIZAR LA EXCAVACION DEL TERRENO Y CUMPLIR CON LOS LIMITES ESPECIFICOS DEPENDIENTES Y CURVAS. EN FORMA IDEAL, EL VOLUMEN DE ESTAS EXCAVACIONES BALANCEA EL VOLUMEN REQUERIDO DE RELLENOS DENTRO DE LOS LIMITES RAZONABLES DE ACARREO.

EN ALGUNOS CASOS GRANDES DESGARRADORES ACOPLADOS A LA PARTE POSTERIOR DE LOS BULLDOZERS RASGAN EL MATERIAL DE TAL FORMA QUE NO SE REQUIEREN EXPLOSIVOS. AUN CUANDO LOS DESGARRADORES QUIEBRAN EL MATERIAL SIN VOLADURAS LA BAJA PRODUCCION Y EL EXCESIVO DESGASTE DE LA MAQUINARIA HACEN EN MUCHOS CASOS MAS ECONOMICO EL METODO DE LA VOLADURA.

AL HACER LA DECISION DE USA EXPLOSIVOS SE DEBERAN DEJAR DE 0.60 A 1.20 METROS DE MATERIAL DESGARRABLE SOBRE EL MATERIAL SOLIDO QUE SE VA A VOLAR. ESTE SERVIRA COMO UNA CUBIERTA PARA PREVENIR ROCA EN VUELO Y PERMITE QUE LOS EXPLOSIVOS TENGAN UNA MAYOR CARGA Y UN DESEMPEÑO MAS EFICIENTE.

BARRENACION. EN CARRETERA SE UTILIZAN MAQUINAS PERFORADORAS DE PERCUSSION Y DE TIPO ROTATORIO. LOS DIAMETROS DE BARRENO MAS USUALES, VARIAN DE 8.9 A 12.7 CM. (3.5 A 5 PULGADAS). COMO REGLA GENERAL, LOS BARRENOS DE DIAMETRO GRANDE SE HAN LIMITADO A APLICACIONES DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIONES ESPECIALES, DONDE SE REQUIERE UNA FRAGMENTACION RELATIVAMENTE FINA. LOS BARRENOS DE GRAN DIAMETRO GENERALMENTE NO SON PRACTICOS EN CORTES POCO PROFUNDOS. SIN EMBARGO, EL TAMAÑO DEL BARRENO DEPENDE PRINCIPALMENTE DE LAS CONDICIONES LOCALES. LOS BARRENOS GRANDES SE USAN GENERALMENTE EN CORTES PROFUNDOS DONDE SE HA DESARROLLADO UNA CARA LIBRE. LA PERFORACION DE PEQUEÑO DIAMETRO CON EQUIPO DE ALTA VELOCIDAD, BRINDA COSTOS RELATIVAMENTE BAJOS POR UNIDAD Y PERMITE ESPACIAMIENTO DE LOS BARRENOS BASTANTE CERCANOS. OCASIONANDO UNA MEJOR DISTRIBUCION DE LOS EXPLOSIVOS ATRAVES DE LA MASA DE ROCA Y UN MEJOR QUEBRADO.

OTRA VENTAJA DE LA BARRENACION DE PEQUEÑO DIAMETRO ES LA REDUCCION EN LA CANTIDAD DE EXPLOSIVOS UTILIZADA EN CADA BARRENO.

FACTOR DE CARGA. LA VELOCIDAD DE CARGA ASI COMO LA CANTIDAD DE EXPLOSIVOS QUE SE REQUIEREN POR METRO CUBICO DE ROCA QUEBRADA, DEPENDEN DEL TIPO DE ROCA, LA PROFUNDIDAD DE LOS BARRENOS Y EL EXPLOSIVO QUE SE UTILICE. TAMBIEN INTERVIENEN:

- 1.- EL LUGAR DE LA VOLADURA.
- 2.- EL QUE LA VOLADURA ESTE ENCAJONADA O TENGA UNA CARA LIBRE.
- 3.- EL TIPO DE EQUIPO DE CARGA.
- 4.- EL USO QUE SE INTENTE DAR AL MATERIAL QUEBRADO.

BAJO CONDICIONES PROMEDIO EN UN CORTE DE CAJON QUE TENGA DE 3 A 10 METROS DE PROFUNDIDAD DE LOS BARRENOS CON PIEDRA CALIZA O ARENISCA DE MEDIANA DUREZA, UN FACTOR DE CARGA DE 1.26 A 2.10 KILOGRAMOS POR METRO CUBICO (0.75 A 1.25 LIBRAS POR YARDA CUBICA) PUEDE SER REPRESENTATIVO. EN ROCA LAMINADA O EN PIZARRA ESTE FACTOR SE PUEDE REDUCIR A 1 KILOGRAMO POR METRO CUBICO (0.6 LIBRAS POR YARDA CUBICA). ESTAS CANTIDADES PUEDEN SER MAYORES SI SE REQUIERE UN MAYOR DESPLAZAMIENTO. EN MATERIAL MAS DURO, TAL COMO EL GRANITO U OTRAS FORMACIONES IGNEAS, EL FACTOR DE CARGA SE PUEDE ACERCAR O AUN EXCEDER 2.5 KILOGRAMOS POR METRO CUBICO (1.5 LIBRAS POR YARDA CUBICA).

AL EFECTUAR VOLADURAS CON BARRENOS MAS PROFUNDOS Y MAS HILERAS, TAL COMO LAS VOLADURAS CON BARRENOS EN FILAS MULTIPLES Y PROFUNDIDADES DE 7.5 A 12 METROS, LAS PLANTILLAS DE DISPARO SIENDO ESTRECHAS PROVOCARAN QUE LA CANTIDAD DE EXPLOSIVO SEA MAYOR DEBIDO A LA CANTIDAD LIMITADA DE ALIVIO HACIA DONDE LA ROCA SE PUEDE MOVER. DEPENDIENDO DE LA FORMACION DE LA ROCA Y DE LA FUERZA DE LOS EXPLOSIVOS, EL EXITO EN LOS RESULTADOS REQUERIRA CANTIDADES MUCHO MAYORES DE CARGA, VARIANDO DE 2 A 2.3 KILOGRAMOS/m³ (1.25 A 2 LIBRAS POR YARDA CUBICA).

EXPLOSIVOS. EN BARRENOS SECOS DONDE LOS COSTOS DE BARRENACION SON EXCESIVOS SE PUEDE UTILIZAR EL ANFO CON VENTAJAS ECONOMICAS. EN CONDICIONES HUMEDAS UN PRODUCTO COMO EL TOVEX 700 ES SATISFACTORIO PARA CALIZA DURA, ARENISCA Y FORMACIONES IGNEAS.

EL POURVEX EXTRA, UN HIDROGEL DE ALTA DENSIDAD PUEDE LOGRAR UNA VELOCIDAD DE CARGADO DE APROXIMADAMENTE 55 KILOGRAMOS POR MINUTO CON UNA CUADRILLA DE CARGADO MUY PEQUEÑA EN BARRENOS DE 10.2 CM. (4 PULGADAS) DE DIAMETRO Y MAYORES. LA ALTA DENSIDAD DEL POURVEX EXTRA GENERALMENTE PERMITIRA UNA EXPANSION DEL 40 AL 50% DE LAS PLANTILLAS DE BARRENACION. EN DONDE LOS COSTOS DE BARRENACION SON ALTOS, EL EXPANDER LA PLANTILLA DE BARRENACION, GENERALMENTE JUSTIFICARA EL INCREMENTO EN COSTO

DE LOS EXPLOSIVOS.

PARA TRABAJOS DE PRECORTE EL TOVEX T-1 QUE ES UN HIDROGEL DE LONGITUD CONTINUA, - SE CARGA HASTA 3 VECES MAS RAPIDO QUE LOS DINAMITAS ENCARTUCHADAS CONVENCIONALES. COMO RESULTADO, SE HA CONVERTIDO EN UN ADITAMENTO QUE AHORRA MANO DE OBRA EN TRABAJOS DE CONSTRUCCION.

EL USO DE ESTOPINES ELECTRICOS DE RETARDO MS EN LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCION SE HA VUELTO UNA PRACTICA NORMAL EN LA MAYORIA DE LOS PROYECTOS. DOS VENTAJAS QUE OFRECEN SON, MEJORAR LA FRAGMENTACION Y DISMINUIR LA VIBRACION. ADICIONALMENTE, AYUDAN A CONTROLAR LA DIRECCION Y CANTIDAD DE LA ROCA QUEBRADA Y MINIMIZAN EL SOBREPIMIENTO HACIA ATRAS. DISPARANDO LOS BARRENOS EN SECUENCIA PARTIENDO DEL CENTRO DEL CORTE HACIA LOS EXTREMOS SE PUEDE REDUCIR GRADUALMENTE EL FRACTURAR LOS - TALUDES.

ESTABILIZACION DE SUELOS. LOS SUELOS LODOSOS Y ARCILLOSOS SE CONOCEN POR TENER - UNA POBRE CAPACIDAD DE CARGA. CUANDO ALCANZAN APROXIMADAMENTE EL 20% DE HUMEDAD, LA CONSTRUCCION DEBE DETENERSE O BIEN EL EQUIPO DE CONSTRUCCION REQUERIRA DE AYUDA DE VEHICULOS QUE TENGAN ORUGAS. CUALQUIER ALTERNATIVA PUEDE RESULTAR COSTOSA. EN MUCHAS OPERACIONES SE HA ENCONTRADO QUE UNA MEMBRANA DE SOPORTE COLOCADA BAJO EL AGREGADO DISTRIBUIRA LA CARGA EN FORMA MAS PAREJA Y REDUCIRA LA CANTIDAD DE ROCA REQUERIDA PARA EVITAR QUE EL EQUIPO PESADO DE CONSTRUCCION SE ATORE EN ALGUN - BACHE.

6.5.2. ZANJEO.

PARA PROPOSITOS DE ANALISIS LAS VOLADURAS DE ZANJEO SE DIVIDEN EN COLOCACION DE - TUBERIAS A CAMPO TRAVIESA Y TUBERIAS URBANAS. LOS PROYECTOS DE TUBERIAS A CAMPO TRAVIESA GENERALMENTE INVOLUCRAN EL TENDIDO DE CIENTOS DE KILOMETROS DE LINEAS -- CON PRODUCTOS DE PETROLEO A CAMPO ABIERTO. LOS PROYECTOS DE TUBERIAS URBANAS INVOLUCRAN DISTANCIAS CORTAS CERCANAS A LA GENTE Y EDIFICIOS Y SON TIPCICAMENTE PROYECTOS DE ALCANTARILLADO Y LINEAS DE AGUA.

VOLADURAS DE ZANJEO PARA CONSTRUCCION DE TUBERIAS. LAS VOLADURAS PARA PROYECTOS DE TUBERIAS A CAMPO TRAVIESA REQUIEREN METODOS ESPECIALES DIFERENTES A LOS PROCEDIMIENTOS CONVENCIONALMENTE USADOS PARA ALCANTARILLADO Y LINEAS DE AGUA. LA MAYORIA DE LAS LINEAS DE TUBERIA LARGA INVOLUCRA EL CRUCE DE UNO O MAS RIOS, POR LO - CUAL SE EMPLEA UNA DIFERENTE TECNICA DE VOLADURA.

DISPAROS DE ZANJEO. DESPUES DE HABER PREPARADO EL DERECHO DE VIA, GENERALMENTE - EL SIGUIENTE PASO ES RETIRAR TODO EL MATERIAL SUELTO SOBRE LA LINEA DE LA ZANJA - HASTA LLEGAR A ROCA SOLIDA.

A CONTINUACION SE PERFORAN LOS BARRENOS HASTA LA PROFUNDIDAD REQUERIDA. LOS BARRENOS SON NORMALMENTE DE 3 A 3.5 PULGADAS DE DIAMETRO Y SE PERFORAN DE 1 A 1.5 PIES (DE 30 A 45 CENTIMETROS) DEBAJO DE LA RASANTE.

EL NUMERO DE HILERAS Y ESPACIAMIENTOS DE LOS BARRENOS VARIA BASTANTE CON EL TIPO DE EQUIPO DE EXCAVACION ANCHO DE LA ZANJA Y GEOLOGIA DE LA ROCA.

EL EXPLOSIVO MAS POPULAR PARA VOLADURAS DE ZANJEO EN AREAS SECAS ES EL ANFO. --- DONDE LA ROCA ES MAS DURA Y SE ENCUENTRA AGUA DEBE USARSE EL TOVEX 700 O 100 DEPENDIENDO DEL DIAMETRO DEL BARRENO. LOS FACTORES DE CARGA VARIAN DESDE UNA LIBRE DE EXPLOSIVO POR YARDA CUBICA ($0.59 \text{ KILOGRAMOS/m}^3$) EN CONDICIONES FAVORABLES HASTA 5 LIBRAS (3 KILOGRAMOS) PARA ROCA DURA Y MUY CONFINADA.

METODOS DE DISPARO. SE HAN EFECTUADO ATRAVES DE LOS AÑOS MUCHAS VOLADURAS UTILIZANDO FULMINANTE Y MECHA, SIN EMBARGO EL METODO DE FULMINANTE Y MECHA HA SIDO AMPLIAMENTE DESPLAZADO EN LOS ULTIMOS AÑOS POR EL CORDON DETONANTE. UNA DE LAS --- VENTAJAS MAS IMPORTANTES DEL CORDON DETONANTE ES LA RAPIDEZ ENCARGADO Y AMARRE. OTRO ES EL QUE SE PERMITE EL USO DE CONECTORES MS PARA INTERVALOS CORTOS DE RETARDO.

CRUCE DE RIOS. NO ES RARO QUE UN PROYECTO DE TUBERIA INCLUYE EL CRUCE DE UNO O - MAS RIOS Y QUE LA MAYORIA DE ELLOS REQUIERA ALGUNA FORMA DE VOLADURA.

SI EL MATERIAL ES ARCILLA DURA, PIZARRA O ROCA SUAVE PUEDE TENERSE UN RAPIDO AVANCE MEDIANTE DISPAROS EN ROSARIO. EN ESTE PROCEDIMIENTO SE AMARRAN ATADOS DE HI--DROGELES ENCARTUCHADOS A INTERVALOS PROXIMOS A LO LARGO DE UN CABLE TENDIDO SOBRE EL RIO.

EL ROSARIO DE CARGAS SE CEBAN CON UNA O MAS LINEAS DE CORDON DETONANTE Y DETAPRI--MES Y DESPUES SE COLOCA EN EL FONDO DEL RIO. AL EFECTUAR LA DETONACION EL MATE--RIAL COLOCADO DEBAJO DEL ROSARIO SE DESPLAZA, DEJANDO ABIERTA LA TRINCHERA DESEADA. ESTE METODO REQUIERE RELATIVAMENTE GRANDES CANTIDADES DE EXPLOSIVOS GENERALMENTE 10 LIBRAS POR YARDA CUBICA ($5.9 \text{ KILOGRAMOS/m}^3$) ES EFECTIVO UNICAMENTE SI EL AGUA TIENE MAS DE 15 O 20 PIES (4.5 A 6 METROS DE PROFUNDIDAD). DEPENDIENDO DEL TIPO DE ROCA LA MAXIMA PROFUNDIDAD QUE SE PUEDE ESPERAR A ROMPER ES DE 3 A 6 PIES (0.9 A 1.80 METROS). SIN EMBARGO, ES PARTICULARMENTE ECONOMICO DADO QUE SE REQUIERE UN MENOR TIEMPO Y SE ELIMINAN LAS BARRENACIONES COSTOSAS.

6.6 TUNELERO.

LA ROCA REMOVIDA DE LA EXCAVACION DE UN TUNEL, ES GENERALMENTE MATERIAL DE DESPERDICIO EN CONTRASTE CON EL MINERAL OBTENIDO EN UNA MINA. POR LO TANTO, EL ENFASIS ESTA EN EL AVANCE DE LA CARA CON LA MAYOR VELOCIDAD POSIBLE, COMPATIBLE CON LA SEGURIDAD Y EFICIENCIA.

LA CAUSA PRINCIPAL DE PERDIDA DE TIEMPO, SON LOS PROBLEMAS DE VENTILACION. LA MAYORIA DE LOS TUNELES DE CONSTRUCCION TIENEN UN SOLO TIRO COMO ENTRADA PARA EL AIRE FRESCO, ASI COMO ESCAPE PARA EL HUMO Y GASES LIBERADOS POR LA VOLADURA, CUALQUIER REDUCCION EN EL VOLUMEN DE HUMO Y GASES LIBERADOS POR LA VOLADURA PUEDE MATERIALMENTE REDUCIR EL TIEMPO DE ESPERA REQUERIDO PARA QUE SE LIMPIE EL HUMO ANTES DE REGRESAR A TRABAJAR.

LOS HIDROGELES REDUCEN GRANDEMENTE LA CANTIDAD DEL HUMO Y GASES TOXICOS LIBERADOS DE LA VOLADURA REDUCIENDO POR LO TANTO, EL TIEMPO DEL CICLO COMPLETO.

CUÑAS Y BARRENACION. EN EL DESARROLLO DE TUNELES MAS PEQUEÑOS, POR LO GENERAL SE FAVORECE LA BARRENACION CON CUÑA QUEMADA. ESTE ES EL RESULTADO DE LA FALTA DE ESPACIO PARA POSICIONAR EL EQUIPO Y HACER UNA CUÑA EN V. ES UNA PRACTICA COMUN EL BARRENAR DOS PERFORACIONES DE DIAMETRO GRANDE PARA ALIVIO ADICIONAL.

CUANDO SE UTILICEN DOS O MAS BARRENOS QUEMADOS, GENERALMENTE NO ES NECESARIO USAR BARRENOS INCLINADOS. LOS BARRENOS QUEMADOS DE ALIVIO O VACIOS DEBERAN PERFORARSE DE 15 A 20 CENTIMETROS MAS PROFUNDO QUE EL RESTO DE LOS BARRENOS QUEMADOS QUE SE VAN A CARGAR. ESTO ASEGURARA SACAR LA BARRENACION A TODA LA PROFUNDIDAD.

LA CUÑA EN V ES FRECUENTEMENTE DONDE LA SECCION TRANSVERSAL DEL TUNEL ES EXTREMADAMENTE GRANDE. LA CUÑA EN V RESULTARA GENERALMENTE CON UN MAYOR AVANCE POR BARRENACION NECESITANDO MENOS BARRENOS QUE LA CUÑA QUEMADA.

EN LA BARRENACION DE CUÑAS EN V, TODOS LOS BARRENOS EN LA V DEBERAN SER DISPARADOS AL MISMO TIEMPO UTILIZANDO RETARDOS ACUDET DEL PERIODO CERO O UN RETARDO MS 25.

CUANDO SE UTILICEN RETARDOS DE MILISEGUNDOS, SE DEBE DAR UNA ESPECIAL CONSIDERACION AL TIEMPO REQUERIDO PARA EL MOVIMIENTO DEL BORDO. UNICAMENTE DE BEBE CONSIDERAR EL VOLUMEN DE ROCA DENTRO DE LA V Y LA CANTIDAD DE EXPLOSIVOS DE LOS BARRENOS EN V AL CALCULAR LA DENSIDAD DE CARGA. SE DEMOSTRO QUE LA MAYOR PARTE DE LA ROCA SOLO SE ACELERARA DURANTE LOS PRIMEROS DOS MILISEGUNDOS POSTERIORES A LA DETONACION. DESPUES DE LOS DOS MILISEGUNDOS LA CURVA DE VELOCIDAD SE VUELVE PLANA.

6.6.1. METODOS DE PERFORACION DE TUNELES.

HISTORICAMENTE, LA SELECCION DEL METODO UTILIZADO PARA PERFORAR UN TUNEL ERA IMPUESTA POR EL TIPO DE FORMACION DE ROCA Y TAMAÑO DE LA ABERTURA. SIN EMBARGO, CON EL DESARROLLO DE EQUIPO MODERNO HAY MAS FLEXIBILIDAD EN EL PROCEDIMIENTO QUE SE DEBE ADOPTAR PARA CUALQUIER TUNEL EN PARTICULAR. EL METODO DE AVANCE SUPERIOR Y BANQUEO FUE CASI ESTANDAR DURANTE ALGUN TIEMPO EN LA PERFORACION DE TUNELES GRANDES, EN SUELO BUENO, MIENTRAS QUE EL METODO DE FRENTE COMPLETA ES ACTUALMENTE Y POR MUCHO EL MAS POPULAR.

METODO DE LA FRENTE COMPLETA. COMO EL NOMBRE LO INDICA ESTE METODO UTILIZA UNA BARRENACION DISEÑADA PARA ROMPER LA TOTALIDAD DEL AREA DE LA SECCION DE LA FRENTE EN UN DISPARO.

ESTE PROCEDIMIENTO SE HA UTILIZADO SIEMPRE PARA TUNELES PEQUEÑOS. SIN EMBARGO, LA INTRODUCCION DE EQUIPO Y BROCAS DE BARRENACION ALTAMENTE MEJORADOS, HA CONTRIBUIDO A UNA APLICACION MAS AMPLIA DE LA TECNICA DE LA FRENTE COMPLETA. HOY SE UTILIZA PRACTICAMENTE PARA TODOS LOS TUNELES QUE TENGAN UNA ALTURA MENOR DE 10 METROS (30) PIES A MENOS QUE CONDICIONES EXTREMADAMENTE ADVERSAS REQUIERAN DE DISPAROS MAS CHICOS, DONDE EL METODO DE AVANCE Y BANQUEO GENERALMENTE SE ADOPTA.

EN LA FIGURA SE MUESTRA UNA BARRENACION TÍPICA PARA UN TUNEL DE 16 PIES (4.8 m) DE DIAMETRO UTILIZANDO DOS BARRENOS DE CUÑA QUEMADA DE 5 PULGADAS (12.7 cm) DE DIAMETRO. LOS NUMEROS INDICAN EL PERIODO DE RETARDO DE LOS ESTOPINES "ACUDET" USADOS EN CADA BARRENO. BARRENACIONES DE ESTE TAMAÑO SE PERFORAN NORMALMENTE CON UN JUMBO DE CUATRO MAQUINAS CON UNA MAQUINA ADICIONAL PARA PERFORAR LOS QUEMADOS. GENERALMENTE PRODUCEN UN AVANCE DE 8 o 10 PIES (2.4 o 3 METROS).

METODO DE FRENTE SUPERIOR Y BANQUEO. EL METODO DE FRENTE SUPERIOR Y BANQUEO FUE ESTANDAR DURANTE MUCHOS AÑOS EN LA MAYORIA DE LOS TUNELES. AUN SE UTILIZA EN TUNEL DEBIL Y EN LA MAYORIA DE LOS TUNELES QUE EXCEDEN UNA ALTURA DE 10 M. (30 PIES). CONSISTE EN PERFORAR UNA FRENTE EN LA PARTE SUPERIOR DEL TUNEL QUE TOMA UNA PORCION DE LA ALTURA TERMINADA Y LA ANCHURA COMPLETA. LA PORCION INFERIOR SE ATAACA EN UNO O MAS BANCOS CON BARRENOS HORIZONTALES O VERTICALES. CUANDO SE UTILIZAN BARRENOS VERTICALES, GENERALMENTE SE DISPARAN FILAS MULTIPLES EN SECUENCIA CON RETARDOS MS. O SE UTILIZA EL SEQUENTIAL TIMER EN FORMA SIMILAR.

LA FRENTE SUPERIOR SE PUEDE DESARROLLAR CON UNA BARRENACION USANDO CUALQUIERA DE LAS CUÑAS ESTANDAR. NORMALMENTE, LA FRENTE SE COMPLETA E INCLUSIVE PUEDE SER RECUBIERTA ANTES DE REMOVER EL FONDO.

METODO DEL TUNEL PILOTO. EL METODO DEL TUNEL PILOTO SE HA USADO PARA PERFORAR UN GRAN NUMERO DE TUNELES. UNA FRENTE PILOTO SE PERFORA EN LA LINEA CENTRAL DEL TUNEL PROPUESTO POR LOS METODOS CONVENCIONALES Y GENERALMENTE SE COMPLETA DE PORTAL A PORTAL. EL TUNEL PILOTO SE ALARGA HASTA EL TAMAÑO COMPLETO POR MEDIO DE BARRENOS LARGOS PARALELOS A LA LINEA CENTRAL. ESTE METODO ES VENTAJOSO DONDE SOBRESOBREPIMIENTO Y QUEBRADO DE LAS PAREDES DEBE SER EVITADO.

CON ESTE METODO SE FORMAN RANURAS O ESTACIONES PERPENDICULARES A LOS LADOS DEL TUNEL PILOTO AL DIAMETRO COMPLETO QUE TENDRIA EL TUNEL TERMINADO. ESTAS RANURAS ESTAN ESPACIADAS A INTERVALOS PREDETERMINADOS Y SE UTILIZAN PARA PERFORAR LOS BARRENOS LARGOS PARALELOS Y EFECTUAR LA OPERACION DE AGRANDAMIENTO. FRECUENTEMENTE, LOS BARRENOS LARGOS SE INICIAN EN EL PORTAL Y SE CONTINUAN EN BARRENACIONES DE 6 o 9 METROS (20 o 30 PIES) A TRAVES DE TODO EL TUNEL ELIMINANDO LA NECESIDAD DE RANURAS. EN ESTE TIPO DE VOLADURAS, LOS RETARDOS MS SON CASI INDISPENSABLES PARA UNA FRAGMENTACION ACEPTABLE Y UN MINIMO DE SOBRESOBREPIMIENTO.

METODO DEL TUNEL PIONERO. AL PERFORAR TUNELES LARGOS ES UNA PRACTICA COMUN PERFORAR LUMBRERAS O TIROS A LO LARGO DE LA LINEA DEL TUNEL PARA ABRIR FRENTE ADICIONALES DE TRABAJO Y DE ESTE MODO REDUCIR EL TIEMPO TOTAL DE LA CONSTRUCCION. SI LA PROFUNDIDAD DE ESTAS LUMBRERAS O TIROS ES EXCESIVA, O SI LA EXPLORACION DE LA ROCA POR EXCAVAR EN EL TUNEL PRINCIPAL ES DESEABLE, PUEDE EMPLEARSE EL METODO DEL TUNEL PIONERO. ESTE CONSISTE EN UN TUNEL PEQUEÑO PARALELO A LA LINEA DEL TUNEL PRINCIPAL APROXIMADAMENTE A 15 O 20 METROS (50 o 75 PIES) A UN LADO. LA FRENTE PIONERA SE AVANZA CONSIDERABLEMENTE ADELANTE DEL TUNEL PRINCIPAL. ENTONCES CADA 450 METROS (1,500 PIES) SE PERFORAN CRUCEROS A LA LINEA DE EXCAVACION PRINCIPAL, PARA ABRIR DOS FRENTE ADICIONALES. SI EL TUNEL PIONERO ENCUENTRA CAMBIOS SUBSTANCIALES EN EL TERRENO; DA AVISO CON SUFICIENTE TIEMPO PARA QUE SE PUEDA PLANEAR LAS ALTERACIONES NECESARIAS EN EL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE LA FRENTE PRINCIPAL MINIMIZANDO LOS RETRASOS. LA ROCA QUEBRADA DE LAS FRENTES INTERIORES DE LA EXCAVACION PRINCIPAL SE SACA A TRAVES DEL TUNEL PIONERO, EL CUAL TAMBIEN SE UTILIZA PARA FINES DE VENTILACION Y MANEJO DEL MATERIAL EN OPERACION.

PERFORACION Y CARGADO. LA VELOCIDAD DE AVANCE DEPENDE EN UNA FRAGMENTACION CONSISTENTEMENTE BUENA Y ROMPIMIENTO DE UNA BARRENACION COMPLETA A TODA LA PROFUNDIDAD EN CADA VOLADURA. SE UTILIZAN GENERALMENTE EXPLOSIVOS DE ALTA POTENCIA. OTROS REQUERIMIENTOS PARA UN EXPLOSIVO DE TUNEL A ALTA VELOCIDAD SON BUENA PLASTICIDAD Y COHESION PARA UN ATACADO FACIL, ALTA DENSIDAD DE CARGA Y EXCELENTES PROPIEDADES DE HUMOS.

EL TOVEX 200 ES UN HIDROGEL DE ALTA ENERGIA QUE REUNE TODAS ESTAS CUALIDADES. SE FABRICA EN TAMAÑOS DE 1 o 1 1/2 PULGADAS DE DIAMETRO POR 12, 16 Y 24 PULGADAS DE LARGO. SE EMPACA EN PLASTICO DISEÑADO PARA DAR EL MAXIMO ATACAMIENTO SIN TENER -- QUE RANURARLO. EL HUMO Y GASES LIBERADOS POR LA VOLADURA SON REDUCIDOS GRADUALMEN TE Y NO PRODUCEN LAS JAQUECAS DE LA NITROGLICERINA.

DONDE HAY CONDICIONES SECAS, MUCHOS TUNELES DE ALTA VELOCIDAD SE CARGAN Y DISPA-- RAN CON ANFO. DADO QUE, LOS BARRENOS DE CUÑA QUEMADA, BARRENOS DE OTRAS CUÑAS Y - BARRENOS AYUDANTES SE CARGAN NORMALMENTE CON TOVEX, EL MISMO HIDROGEL PUEDE USAR-- SE COMO CEBO DE LOS AGENTES EXPLOSIVOS.

6.7. APLICACIONES DIVERSAS.

EL TNT ES UN EXPLOSIVO QUE SE OBTIENE DEL TRIPLE NITRADO DEL TOLUENO, EL CUAL - ES UN PRODUCTO DERIVADO DE LA DESTILACION DEL ALQUITRAN DE HULLA.

ES ESTABLE, MUY POTENTE, POCO SENSIBLE, NO HIGROSCOPICO, PUEDE FUNDIRSE, CORTARSE PERFORARSE, PRENSARSE Y PULVERIZARSE. RESISTE LOS GOLPES AISLADOS PERO NO LOS RE-- PETIDOS.

CUANDO SE PRESENTA EN HOJUELAS O CRISTALES REQUIERE PARA SU USO UN ESTOPIN DEL N° 6 CUANDO SE PRESENTA COMPRIMIDO REQUIERE PARA CEBARSE DE UN DETONADOR DEL N° 8, PE-- RO CUANDO SE PRESENTA FUNDIDO REQUIERE DE UNA CARGA REFORZADORA.

CARGA. SE LE DA EL NOMBRE DE CARGA A UNA CANTIDAD CUALQUIERA DE EXPLOSIVO, DESTI-- NADA A DETERMINADA TAREA.

LAS CARGAS DE ACUERDO CON EL EFECTO BUSCADO SE CLASIFICAN EN: CARGAS DE PROYECCI-- ON, DE RUPTURA, DE APERTURA, DE DEMOLICION, Y CARGAS DE CEBO O DETONADORAS.

CARGAS DE PROYECCION. PROPORCIONAN LA FUERZA NECESARIA PARA IMPULSAR LOS PROYECTI-- LES DE LAS ARMAS DE FUEGO.

CARGAS DE RUPTURA. PRODUCIR LA FRAGMENTACION DE GRANADAS, BOMBAS Y ALGUNOS TIPOS DE MINAS.

CARGAS DE APERTURA. FORZAR O ABRIR GRANADAS O BOMBAS ESPECIALES, COMO LAS DE ILU-- MINACION Y FUMIGENAS.

CARGAS FULMINANTES. PROVOCAR LA DEFLAGRACION O DETONACION DE OTRAS CARGAS.

CARGAS DE DEMOLICION. PRODUCIR LA FRAGMENTACION DE ROCA, PIEZAS DE DIFERENTES MA-- TERIALES, CONSTRUCCIONES, TERRACERIA, ETC.

CARGAS REFORZADORAS. SE DENOMINA A LAS CARGAS QUE SE AGREGAN A LAS CARGAS FULMI-- NANTES, CUANDO ESTAS SON INSUFICIENTES POR SI SOLAS PARA PROVOCAR LA DETONACION.

CLASIFICACION DE LAS CARGAS.

NOMBRE	EFECTO	SUB-CLASIFICACION
DE PROYECCION	IMPULSO	
DE RUPTURA	FRAGMENTACION	
DE APERTURA	FORZAMIENTO	
DEMOLICION	DESTRUCCION	FOGATA BRECHA PRESION
FULMINANTES	CHOQUE	
REFORZADORAS	HACER MAS ENERGICA LA ACCION DE LAS CARGAS FULMINANTES	

CARGA DE BRECHA. SE LE LLAMA CARGA DE BRECHA A LAS QUE TIENEN POR OBJETO ROMPER O QUEBRAR LOS MATERIALES POR LA CONMOCION QUE PRODUCE LA EXPLOSION. PUEDE COLOCARSE ADOSADA O EMPOTRADA.

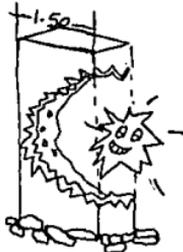
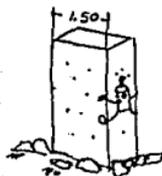
CARGA DE PRESION. SE LLAMA CARGA DE PRESION A LAS QUE TIENEN POR OBJETO DESTRUIR PUENTES, LOZAS DE CONCRETO, ETC. MEDIANTE LA PRESION QUE ORIGINA LA EXPLOSION.

CARGA DE FOGATA. SE LES LLAMA CARGA DE FOGATA A LAS QUE SE ENTIERRAN CON OBJETO DE LOGRAR DESALOJAR EL MATERIAL FORMANDO EMBUDOS O CRATERES.

RADIO DE BRECHA SE LE LLAMA A LA LONGITUD DEL RADIO DE UNA CIRCUNFERENCIA CON EJE EN LA CARGA Y DENTRO DE LA CUAL, AL EFECTUARSE LA EXPLOSION, HABRA DESTRUCCION O DESPLAZAMIENTO DE MATERIALES.

EJEMPLO 1.- SE DESEA DESTRUIR, MEDIANTE UNA CARGA DE BRECHA ADOSADA, CUYO ESPESOR ES DE 1.50 m. ¿ CUAL SERA EL VALOR DEL RADIO DE BRECHA QUE DEBO CONSIDERAR PARA APLICAR LA FORMULA ?

DE ACUERDO CON LO DICHO, ES NECESARIO, PARA DESTRUIR EL MURO, QUE LA CIRCUNFERENCIA EN QUE LOS MATERIALES SON DESTRUIDOS, TENGA UN RADIO DE TAL MAGNITUD QUE AL HACER EJE EN LA CARGA ABARQUE TODO EL ESPESOR DEL MURO.

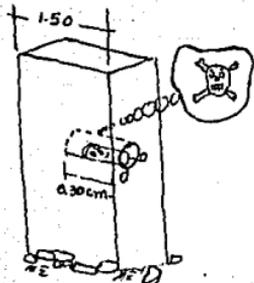


ENTONCES SI LA CARGA ESTA ADOSADA, O SEA, EN CONTACTO CON LA PARED DEL MURO Y COMO LA CARGA ES EL CENTRO DE LA CIRCUNFERENCIA. SE PRECISA, QUE EL EJE O RADIO SEA IGUAL AL ESPESOR DEL MURO PARA QUE ESTE QUEDE COMPROMETIDO DENTRO DE LA CIRCUNFERENCIA QUE SE TRATE. POR LO TANTO EL RADIO DE BRECHA CUANDO SE TRATE DE CARGA ADOSADAS, SERA IGUAL AL ESPESOR DEL OBJETO POR DESTRUIR. EN ESTE CASO 1.50 m.

EJEMPLO 2.- SE DESEA DESTRUIR MEDIANTE UNA CARGA DE BRECHA EMPOTRADA UN MURO CUYO ESPESOR ES DE 1.50 m. EL BARRENO EN QUE VA A INTRODUCIRSE LA CARGA, TIENE UNA PROFUNDIDAD DE 0.30 cm. ¿ CUAL SERA EL RADIO DE BRECHA QUE DEBO CONSIDERAR PARA APLICAR LA FORMULA ?

EN ESTE CASO Y PUESTO QUE LA CARGA SIGUE SIENDO EL CENTRO DE LA CIRCUNFERENCIA DE DESTRUCCION, LA MAGNITUD DEL RADIO SERA IGUAL A EL ESPESOR DEL MURO MENOS LA PROFUNDIDAD DEL BARRENO EN QUE VA A COLOCARSE LA CARGA. POR TANTO EL VALOR DEL RADIO DE BRECHA CUANDO SE TRATA DE CARGAS EMPOTRADAS, SERA IGUAL AL ESPESOR DEL OBJETO POR DESTRUIR MENOS LA PROFUNDIDAD DEL BARRENO EN QUE VA A COLOCARSE LA CARGA. EN ESTE CASO:

$$1.50 - 0.30 = 1.20 \text{ mts.}$$



LA COLOCACION DE LAS CARGAS PUEDE SER ADOSADAS O EMPOTRADAS.

SE DICE QUE UNA CARGA ES ADOSADA CUANDO SE COLOCA SIMPLEMENTE EN CONTACTO DIRECTO CON LA OBRA U OBJETO POR DESTRUIR.

LAS VENTAJAS DE ESTE TIPO DE CARGAS ES LA ECONOMIA EN TIEMPO Y TRABAJO. PERO LAS DESVENTAJAS ES EL DESPERDICIO DE LA POTENCIA DEL EXPLOSIVO, LO QUE REDUNDA EN MAYOR CONSUMO DEL MISMO.



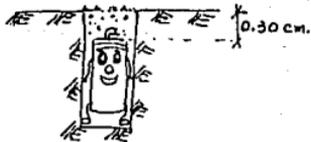
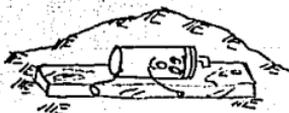
ADOSADA



EMPOTRADA

AL HECHO DE CUBRIR LAS CARGAS CON CUALQUIER MATERIAL SE LE LLAMA "ATRARCAR UNA CARGA". ESTO AUMENTA LA RESISTENCIA QUE SE OPONE A LA ACCION DEL EXPLOSIVO, AUMENTA LA ENERGIA DE SU ACCION Y PERMITE ADEMAS LA CONCENTRACION DE DICHA ENERGIA EN UN AREA MAS REDUCIDA.

EL ATRACADO NUNCA DEBE SER MENOR DE 0.30 cm. Y DE PREFERENCIA DEBERA SER SUPERIOR AL RADIO DE BRECHA QUE SE PRETENDE OBTENER.



ESTOS DIBUJOS MUESTRAN UNAS CARGAS ATRACADAS.

APLICACION DE LA FORMULA PARA EFECTUAR DESTRUCCIONES MEDIANTE CARGAS DE BRECHA.

LA FORMULA POR APLICAR ES: $8R^3KC$

LAS LITERALES SIGNIFICAN:

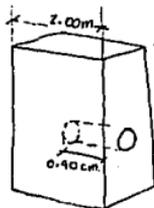
R = RADIO DE LA BRECHA POR LOGRAR.

K = FACTOR DEL MATERIAL POR DESTRUIR.

C = FACTOR DE LA COLOCACION Y ATRAQUE DE LA CARGA.

ESTA FORMULA ESTA EN FUNCION DE LA POTENCIA DEL TNT Y POR LO TANTO EL RESULTADO DE SU APLICACION NOS DARA KILOS DE ESTE EXPLOSIVO.

EJEMPLO 3.- SE DESEA DESTRUIR UN MURO DE MAMPOSTERIA DE PRIMERA CALIDAD, MEDIANTE UNA CARGA DE BRECHA EMPOTRADA Y ATRACADA CUYAS DIMENSIONES SON LAS QUE SE ILUSTRAN. ¿ QUE CANTIDAD DE TNT SE REQUERIRA ?



RADIO DE BRECHA.- PUESTO QUE EL MURO TIENE UN ESPESOR DE 2.00 m. Y EL BARRENO UNA PROFUNDIDAD DE 0.40 cm. COMO SE TRATA DE UNA CARGA EMPOTRADA, EL RADIO DE BRECHA SERA:

$$\begin{array}{rcl} \text{ANCHO DEL MURO} - \text{PROFUNDIDAD DEL BARRENO} & = & "R" \\ 2.00 & - & 0.40 & = & 1.60 \text{ m.} \end{array}$$

VALOR DE LA LITERAL "K".- EN LA TABLA - 6.7.1 EN LA COLUMNA TITULADA TIPO DEL MATERIAL, BUSQUESE LA LINEA QUE CORRESPONDE AL MATERIAL INDICADO EN EL PROBLEMA -- (MAMPOSTERIA DE PRIMERA CALIDAD). EL MATERIAL SE ENCUENTRA EN LA CUARTA LINEA. SO BRE LA MISMA LINEA Y EN LA COLUMNA TITULADA VALORES DE "R" BUSCAMOS EL VALOR DEL RADIO DE BRECHA DESEADO (1.6), ESTE SE ENCONTRARA EN LA LINEA QUE DICE "VALORES DE 1.5 o 2.1". SOBRE ESTA MISMA LINEA EN LA COLUMNA TITULADA "VALORES DE K" VEMOS QUE DICHO VALOR ES DE 0.65

VALOR DE LA LITERAL "C".- EN LA TABLA-6.7.2 BUSCAMOS UNA ILUSTRACION SEMEJANTE A LA FORMA EN QUE VA A COLOCAR LA CARGA PARA DESTRUIR EL MURO. VEMOS QUE LA QUE SE ASEMEJA ES LA FIGURA Nº 2 . ESTA FIGURA TIENE DOS VALORES, EL DE ARRIBA CORRESPONDE A UNA CARGA ATRACADA, Y EL OTRO CORRESPONDE A UNA CARGA SIN ATRAQUE. TOMAMOS EL QUE CORRESPONDE A UNA CARGA ATRACADA O SEA 1.25

APLICAMOS LA FORMULA CON LOS VALORES DE LAS LITERALES.

$$R^3 = (1.6)^3 = 4.096$$

$$8R^3KC = (8)(4.096)(0.65)(1.25) = 26.624 \text{ Kg. DE TNT.}$$

LA RESPUESTA SERIA: PARA DESTRUIR EL MURO SE PRECISA UNA CANTIDAD DE 26.624 Kg. DE TNT.

EJEMPLO 4.- SI PARA DESTRUIR UN PUENTE SE REQUIERE UNA CANTIDAD DE 450 Kgs. DE == TNT. ¿ QUE CANTIDAD DE TOVEX EXTRA SE REQUERIRA PARA DESTRUIR EL MISMO PUENTE, SI EL TOVEX EXTRA ES EL UNICO EXPLOSIVO DE QUE SE DISPONE ?

SE CONSULTA LA TABLA 6.7.3 Y SE VE LA COLUMNA TITULADA "POTENCIA RELATIVA", QUE EL TNT (TRINITROTOLUENO) TIENE UNA POTENCIA DE 1.00 Y QUE LA POTENCIA DEL TOVEX EXTRA ES DE 0.92.

PARA RESOLVER EL PROBLEMA Y PUESTO QUE LA CANTIDAD DE EXPLOSIVO ESTA EN RAZON INVERSA AL FACTOR DE POTENCIA (MAYOR POTENCIA MENOR CANTIDAD, MENOR POTENCIA MAYOR CANTIDAD) SERA NECESARIO APLICAR UNA REGLA DE TRES INVERSA.

PARA OBTENER UNA FORMULA DE APLICACION GENERAL DEMOS NOMBRES A LAS CANTIDADES -- QUE INTERVINIERON EN EL PROBLEMA,

1.00 = POTENCIA DEL EXPLOSIVO QUE SIRVE DE BASE POTE_B.

450 = CANTIDAD DEL EXPLOSIVO BASE CANTE_B

0.92 = POTENCIA DEL EXPLOSIVO POR USAR POTE_U

APLICAMOS LAS LITERALES:

$$\frac{\text{POTE}_B \times \text{CANTE}_B}{\text{POTE}_U} = \text{CANTIDAD DE EXPLOSIVO A USAR.}$$

$$\frac{1.00 \times 450}{0.92} = 489.13 \text{ Kg. DE TOVEX EXTRA SON NECESARIOS PARA EFECTUAR LA DESTRUCCION.}$$

EJEMPLO 5.- PARA LA VOLADURA DE UNA CARRETERA SERIAN NECESARIOS 728 Kg. DE DINAMITA CORRIENTE AL 50%. ¿ QUE CANTIDAD DE TOVEX EXTRA SERIA NECESARIA PARA EFECTUAR ESTA DESTRUCCION ?

CONSULTA LA TABLA 6.7.3. SE VE QUE LA POTENCIA RELATIVA DE LA DINAMITA CORRIENTE AL 50% ES DE 0.79. TAMBIEN SE VE QUE LA POTENCIA DE EL TOVEX EXTRA ES DE 0.92 SE RECUERDA LA FORMULA:

$$\frac{\text{POTE}_B \times \text{CANTE}_B}{\text{POTE}_U} = \frac{0.79 \times 728}{0.92} = 625.239 \text{ Kg. DE TOVEX EXTRA}$$

EJEMPLO 6.- ¿ QUE CANTIDAD DE DINAMITA AL 30% SERIA NECESARIA PARA VOLAR UN PUNTE DE CONCRETO, SI DE DINAMITA AL 60% SE NECESITAN 343 Kg.

EN LA TABLA 6.7.4 BUSCAMOS EN LA PRIMERA COLUMNA LA LINEA QUE SE REFIERE A LA DINAMITA AL 30%.

SOBRE LA MISMA LINEA Y HACIA LA DERECHA BUSCAMOS LA COLUMNA QUE ENCABEZA 60%.

ES LA PRIMERA, EN LA INTERSECCION DE AMBAS CANTIDADES, ENCONTRAMOS EL FACTOR DE POTENCIA CORRESPONDIENTE A UNA DINAMITA DE 30% EN RELACION A OTRA DEL 60%. ESTE FACTOR ES 0.67. PARA ENCONTRAR POTE_B BUSCAMOS PRIMERO 60% Y RECORREMOS A 30%.

POR LO TANTO EXISTE LA MISMA PROPORCION QUE EN LOS PROBLEMAS ANTERIORES, ES DECIR A MENOR FACTOR DE POTENCIA EN UN EXPLOSIVO, MAYOR CANTIDAD DEL MISMO SE REQUIERE PARA EFECTUAR UNA DESTRUCCION. POR CONSIGUIENTE PARA RESOLVER EL PROBLEMA NECESITAMOS, TAMBIEN APLICAR UNA REGLA DE TRES INVERSA. RECORDAMOS LA FORMULA:

$$\frac{\text{CANTEB} \times \text{POTE}_B}{\text{POTE}_U} = \text{CANTIDAD DE EXPLOSIVO A USAR}$$

SUSTITUYAMOS LAS LITERALES POR SU VALOR NUMERICO:

$$\text{CANTEB} = 343 \text{ Kg.}$$

$$\text{POTE}_B = 1.50$$

$$\text{POTE}_U = 0.67$$

APLICANDO LOS VALORES NUMERICOS A LA FORMULA:

$$\frac{343 \times 1.50}{0.67} = 767.910 \text{ Kg. DE DINAMITA AL 30% SE NECESITAN.}$$

EJEMPLO 7.- PARA LA DEMOLICION DE UNA TRINCHERA SE HA CALCULADO UNA CANTIDAD DE 386 Kg. DE DINAMITA AL 15%, SI SE USARA DINAMITA AL 35%. ¿ QUE CANTIDAD SE REQUERIRIA ?

BUSCAMOS EN LA TABLA 6.7.4 LA POTENCIA DE 15% CON RESPECTO A 35% QUE ES EL EXPLOSIVO BASE. DESPUES LA POTENCIA DE 35% CON RESPECTO AL 15% QUE ES EL EXPLOSIVO A USAR Y ENCONTRAMOS:

$$\text{POTE}_B = 0.66 \text{ Y } \text{POTE}_U = 1.5 \text{ POR LO TANTO.}$$

$$\frac{\text{CANTEB} \times \text{POTE}_B}{\text{POTE}_U} = 169.840 \text{ Kg. DE DINAMITA AL 35\%}$$

TABLA 6.7.1.

	1	2	3
	TIPO DE MATERIAL	VALORES DE "R"	VALORES DE "K"
1	TIERRA ORDINARIA	CUALQUIER VALOR	0.10
2	MAMPOSTERIA DE MALA CALIDAD, PIZARRA, ARCILLA DURA, BUENAS -- CONSTRUCCIONES DE TIERRA	CUALQUIER VALOR	0.45
3	MAMPOSTERIA DE BUENA CALIDAD, HORMIGON ORDINARIO, ROCAS	VALORES HASTA 0.91 m DE 0.91 a 1.50 m. DE 1.5 a 2.1 m. DE 2.1 m. EN ADELANTE	0.70 0.55 0.50 0.45
4	HORMIGON DENSO O MAMPOSTERIA DE PRIMERA CALIDAD	VALORES HASTA 0.91 m. DE 0.91 a 1.5 m. DE 1.5 a 2.1 m. DE 2.1 m. EN ADELANTE	0.90 0.75 0.65 0.55
5	HORMIGON ARMADO, LA ARMADURA DE ACERO NO SE DESTRUIRA.	VALORES HASTA 0.91 m. DE 0.91 a 1.5 m. DE 1.5 a 2.1 m. DE 2.1 m. EN ADELANTE	1.40 1.10 1.00 0.85

TABLA 6.7.2.

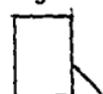
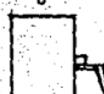
<p>1</p>  <p>CON ATRAQUE = 1.1 SIN ATRAQUE = 1.4</p>	<p>2</p>  <p>1.25 1.50</p>	<p>3</p>  <p>1.25 2.00</p>	<p>4</p>  <p>2.50 -</p>
<p>5</p>  <p>1.50 -</p>	<p>6</p>  <p>2.00 -</p>	<p>7</p>  <p>2.50 3.50</p>	<p>8</p>  <p>- 4.50</p>

TABLA 6.7.3.

POTENCIA RELATIVA DE LOS PRINCIPALES EXPLOSIVOS

EXPLOSIVOS	POTENCIA RELATIVA
TRINITROTOLUENO	1.00
DINAMITA GRANULAR	
ZANJEO 50 %	0.79
HI CAP	0.47
RED ARROW	0.76
DINAMITA SEMIGELATINA	
40%	0.49
50%	0.60
60%	0.73
DINAMITA GELATINA	
SEISMOGRAPH HI VELOCITY 60%	0.76
SPEC. GEL 40	0.42
SPEC. GEL 60	0.76
TOVEX T-1	1.00
TOVEX 100	0.65
TOVEX 300	0.42
TOVEX 650	0.79
TOVEX 700	0.47
TOVEX EXTRA	0.92
ALUVITE 2	0.65
ALUVITE 3	0.60
ANFO P	0.42
ANFO HD	0.47
TOVITE 0.42	0.42

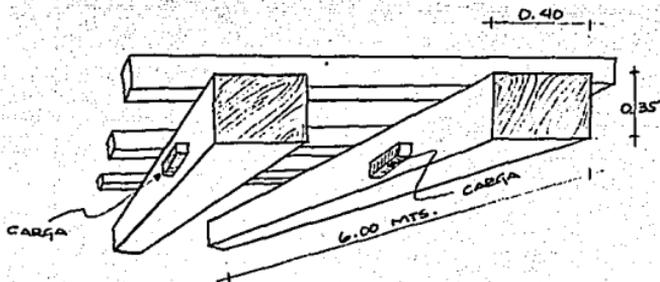
TABLA 6.7.4

POTENCIA RELATIVA DE LAS DINAMITAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		60%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%
2	60%	1.00	1.12	1.20	1.28	1.38	1.50	1.63	1.80	2.08
3	50%	0.89	1.00	1.07	1.14	1.23	1.34	1.45	1.60	1.85
4	45%	0.83	0.93	1.00	1.07	1.15	1.25	1.36	1.50	1.73
5	40%	0.78	0.87	0.94	1.00	1.08	1.17	1.27	1.40	1.59
6	35%	0.72	0.81	0.87	0.93	1.00	1.09	1.18	1.30	1.50
7	30%	0.67	0.75	0.80	0.85	0.92	1.00	1.09	1.20	1.30
8	25%	0.61	0.69	0.74	0.78	0.85	0.92	1.00	1.10	1.27
9	20%	0.55	0.62	0.67	0.71	0.77	0.83	0.90	1.00	1.15
10	15%	0.48	0.54	0.58	0.61	0.66	0.72	0.78	0.86	1.00

TABLA 6.7.4 RELACIONA LOS TIPOS DE DINAMITA PARA EL CALCULO DE LA CANTIDAD DE EXPLOSIVOS.

EJEMPLO 8.- SE DESEA DESTRUIR MEDIANTE CARGAS DE BRECHA ADOSADAS, DOS LARGEROS -- DEL PUENTE ILUSTRADO, LOS CUALES SON DE HORMIGON DENSO & QUE CANTIDAD DE DINAMITA GELATINA AL 60% SE REQUERIRA.



FORMULA = $8R^3KC$.

VOLORES DE LAS LITERALES

R = RADIO DE BRECHA = 0.40

K = DE LA TABLA 6.7.1 = 0.90

C = DE LA TABLA 6.7.2 = 4.5 (FIGURA 8)

$8R^3KC = (8)(0.064)(0.90)(4.5) = 2.073 \text{ kg.}$ CUANDO LA CARGA ES MENOR DE 25 Kg. SE INCREMENTA UN 10%. POR LO TANTO 10% DE 2.072 = 0.2073. PESO TOTAL = 2.280 Kg.

COMO EL PUENTE TIENE DOS LARGEROS SE NECESITA DOBLAR LA CANTIDAD CALCULADA.

$2.280 \times 2 = 4.560 \text{ Kg. DE TNT.}$

PARA CALCULARLO EN DINAMITA AL 60%

CANTIDAD DE EXPLOSIVO BASE = 4.560 Kg.

POTENCIA DE EXPLOSIVO BASE = 1.00

POTENCIA DE EXPLOSIVO POR USAR = 0.76

$\frac{4.560 \times 1.00}{0.76} = 6,000 \text{ Kg. DE DINAMITA GELATINA AL 60\% SE REQUIEREN.}$

APLICACION DE LA FORMULA PARA EFECTUAR DESTRUCCIONES MEDIANTE CARGAS DE PRESION.
LA FORMULA POR APLICAR ES:

$48H^2T$ DONDE:

P = PESO DE TNT EN KILOS.

H = ALTURA DEL OBJETO POR DESTRUIR.

T = ESPESOR DEL OBJETO POR DESTRUIR.

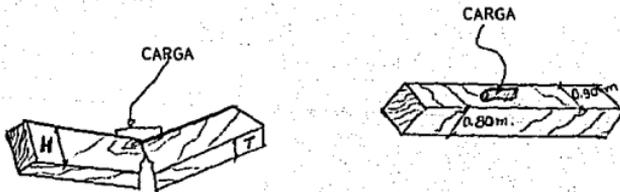
PARA PODER DIFERENCIAR LO QUE ES ALTURA (H) Y LO QUE ES ESPESOR (T), ES NECESARIO CONSIDERAR EL LUGAR EN EL QUE VA A COLOCARSE LA CARGA. ALTURA (H) SERA LA MAGNITUD DEL OBJETO CONTRA LA QUE VA A ACTUAR LA FUERZA DE PRESION DE LA CARGA Y SE CONSIDERA COMO ESPESOR (T) LA OTRA MAGNITUD.

EJEMPLO 9.- SE DESEA DESTRUIR MEDIANTE UNA CARGA DE PRESION, EL LARGERO DE UN PUENTE CUYAS DIMENSIONES SON 0.90 m. Y 0.80 m. ¿ QUE CANTIDAD DE TNT SE PRECISARA? COMO LA CARGA SE VA A COLOCAR SOBRE LA PARTE SUPERIOR DEL LARGERO, ESTA ACTUARA CONTRA LA MAGNITUD DE 0.80. LA ALTURA ES $H = 0.80$ m.

(T) QUE ES EL ESPESOR SERA LA OTRA MAGNITUD $T = 0.90$ m.

APLICANDO LA FORMULA:

$$48 H^2 T = (48)(0.64)(0.90) = 27.648 \text{ Kg. DE TNT.}$$



APLICACION DE LA FORMULA PARA CORTE DE PIEZAS DE ACERO.

SE UTILIZA LA FORMULA $P = \frac{A}{38}$ = PARA DESTRUCCION DE PERFILES, LAMINAS, ETC.

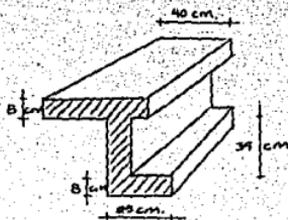
$P = \frac{7A}{100}$ = PARA DESTRUIR CADENAS, CABLES, ETC. EN QUE ES DIFICIL EL CONTACTO ENTRE EL OBJETO POR DESTRUIR Y LA CARGA.

LAS LITERALES SIGNIFICAN:

P = PESO DE TNT EN KILOS

A = AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LA PIEZA EN CMS. CUADRADOS.

EJEMPLO 9.- SE DESEA CORTAR UNA PIEZA DE ACERO COMO LA ILUSTRADA. ¿ QUE CANTIDAD DE TNT SERIA NECESARIO ?



DETERMINAR EL AREA DE LA PARTE SUPERIOR DE LA PIEZA.

ANCHO = 8 cm.

LARGO = 40 cm. AREA = 40 X 8 = 320 cm²

DETERMINAR EL AREA DE LA PARTE INFERIOR DE LA PIEZA

ANCHO = 8 cm

LARGO = 25 cm. AREA = 25 X 8 = 200 cm²

DETERMINAR EL AREA DE LA PARTE VERTICAL DE LA PIEZA

ANCHO = 8 cm

LARGO = 35 cm. AREA = 35 X 8 = 280 cm²

AREA TOTAL = 320 + 280 + 200 = 800 cm²

APLICANDO LA FORMULA $P = \frac{A}{38} = \frac{800}{38} = 21.052$ Kg. DE TNT

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES

EN 1980 SE INICIO EN MEXICO UNA ETAPA MUY IMPORTANTE EN EL MERCADO DE LOS EXPLOSIVOS, YA QUE SE DEJO DE PRODUCIR EN GRANDES CANTIDADES EN EL PAIS, DINAMITAS A BASE DE NITROGLICERINA, PARA SER SUSTITUIDAS POR EXPLOSIVOS CONOCIDOS COMO HIDROGELES.

EL DEPARTAMENTO DE EXPLOSIVOS DE DU PONT S.A. DE C.V. PRODUCE EN MEXICO SU HIDROGEL MARCA TOVEX, EL CUAL ES EMPLEADO EN LA EXTRACCION DE MINERALES, MATERIAS PRIMAS PARA LA CONSTRUCCION, DESARROLLO DE CARRETERAS, EXCAVACIONES, CANALES, Y MUCHAS OTRAS ACTIVIDADES COMO YA VIMOS EN EL CAPITULO VI.

COMO SE MENCIONA AL PRINCIPIO, EL CAMBIO A PRODUCTOS MAS SEGUROS Y ACORDES CON LAS NUEVAS TECNOLOGIAS, SE HA VENIDO REALIZANDO, LO CUAL HA INFLUIDO POSITIVAMENTE EN LAS TECNICAS DE VOLADURAS Y SUS APLICACIONES EN EL CAMPO.

ESTOS CAMBIOS EN PRODUCTOS, TECNICAS DE VOLADURAS Y PRACTICAS EN EL CAMPO, HAN LLEVADO A REALIZAR ESTA TESIS, LA CUAL TIENE LA INTENCION DE PROVEER INFORMACION ACTUAL SOBRE LOS DIFERENTES EXPLOSIVOS Y SUS USOS MAS FRECUENTES.

A SEMEJANSA DE LA POLVORA NEGRA, LA DINAMITA TENIA QUE LLEGAR A PASAR DE MODA DEBIDO A NUEVOS DESCUBRIMIENTOS. LA INTRODUCCION DE DOS NUEVOS PRODUCTOS DURANTE LOS AÑOS 50 - NITRATO DE AMONIO-ACEITE COMBUSTIBLE Y LOS HIDROGELES - HA REEMPLAZADO A LA DINAMITA EN LA PROPORCION MAYOR DEL MERCADO ACTUAL DE VOLADURAS COMERCIALES.

LOS PRODUCTOS ANFO Y SUS DERIVADOS REEMPLAZARON A LA DINAMITA EN BARRENOS SECOS A CAUSA DE LOS AHORROS EN COSTOS Y CARACTERISTICAS DE MANEJO MAS SEGURO. SIN EMBARGO EL ANFO TIENE UNA GRAN DEBILIDAD, ES MUY SOLUBLE Y NO PUEDE SER USADO EN BARRENOS HUMEDOS SIN QUEDAR DESENSIBILIZADO.

UN METODO DE SUMINISTRAR A LOS PRODUCTOS DE NITRATO DE AMONIO RESISTENCIA AL AGUA ES PROTEGIENDOLOS QUIMICAMENTE. LOS EXPLOSIVOS HIDROGELES EVOLUCIONARON POR INVESTIGACION EN ESTA AREA.

LA PRINCIPAL VENTAJA DE LOS HIDROGELES ES SU ALTA DENSIDAD DE CARGA Y DESEMPEÑO, BAJA SENSIBILIDAD AL IMPACTO, AUSENCIA DE INGREDIENTES QUE CAUSEN DOLORES DE CABEZA, Y RESISTENCIA AL AGUA.

ADEMAS LOS HIDROGELES SENSIBLES AL FULMINANTE MANTIENEN TODAS SUS PROPIEDADES DESEADAS.

POR MEDIO DE ESTA TESIS NOS DAMOS CUENTA QUE UNA INICIACION ADECUADA ES BASICA PARA EL USO APROPIADO DE LOS EXPLOSIVOS COMERCIALES.

LA POLVORA NEGRA ENCENDIA CON UNA CHISPA ELECTRICA, Y AL DESCUBRIR EXPLOSIVOS MAS SEGUROS, MENOS SENSIBLES, TUVO QUE HABER NUEVAS FORMAS DE INICIAR ESTOS PRODUCTOS, POR MEDIO DE CORDON DETONANTE, ESTOPINES ELECTRICOS, ESTOPINES ELECTRICOS DE RETARDO, HASTA FULMINANTES DE RETARDO NO ELECTRICOS.

LA HISTORIA DE LOS 180 AÑOS APROXIMADAMENTE DE LAS COMPAÑIAS FABRICANTES DE EXPLOSIVOS, LES HAN PERMITIDO DESARROLLAR Y OFRECER UNA ENORME RESERVA DE CONOCIMIENTOS Y EXPERIENCIAS EN EL USO DE LOS EXPLOSIVOS.

EL MERCADO ACTUAL DE LOS EXPLOSIVOS SE ENCUENTRA EN UN PROCESO DRAMATICO DE CAMBIO, TANTO EN TIPOS DE PRODUCTOS COMO EN SUS APLICACIONES. CONTRIBUYENDO A ESTOS CAMBIOS ESTAN REGLAMENTOS GUBERNAMENTALES MAS Estrictos Y EL INCREMENTO DE INQUIETUD PUBLICA ACERCA DE LA SEGURIDAD, EL RUIDO, Y LA VIBRACION.

LA INVESTIGACION DE LAS EMPRESAS SE ESTA ENFRENTANDO A LOS DESAFIOS PLANTEADOS -- POR ESOS CAMBIOS CON PRODUCTOS EXPLOSIVOS MAS SEGUROS, DE ALTO DESEMPEÑO, Y NUEVAS IDEAS DE INGENIERIA.

LOS MEDIOS DE FABRICACION ESTAN PROPORCIONANDO UN CONTINUO FLUJO DE ARTICULOS - EXPLOSIVOS , INCLUYENDO HIDROGELES (WATER GELS) Y OTROS ALTOS EXPLOSIVOS, ACCESORIOS, INICIADORES Y PRODUCTOS ESPECIALIZADOS.

DEBIDO A TODOS ESTOS CAMBIOS REALIZAMOS ESTA TESIS PARA PRESENTAR INFORMACION ACTUALIZADA YA QUE ES UNA INDUSTRIA QUE CONSTANTEMENTE ESTA PRESENTANDO NUEVOS PRODUCTOS MAS SEGUROS MAS EFICIENTES, Y MAS FACILES DE UTILIZAR. TAMBIEN COMO UN MEDIO DE INFORMACION PARA LOS ESTUDIANTES DE INGENIERIA, INGENIEROS Y PERSONAS INTERESADAS EN ESTA MATERIA, YA QUE EN LA ACTUALIDAD ES MUY Poca LA INFORMACION CON QUE SE CUENTA.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1.- DU PONT "BLASTER'S HANDBOOK" DU PONT DE NEMOURS AND COMPANY, INC. E.U.
- 2.- DU PONT "MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS" DU PONT S.A. DE C.V.- MEXICO
4ª EDICION EN ESPAÑOL 1991
- 3.- DU PONT "MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS" DU PONT S.A. DE C.V. - MEXICO
2ª EDICION EN ESPAÑOL 1975
- 4.- DAVIS W.C. "HIGH EXPLOSIVES" LOS ALAMOS SCIENCE, E.U.
- 5.- CHIAPPETTA F. "BLASTING THEORIES" EXPLOSIVES TECHNICAL HANDBOOK, TEXAS, E.U.
- 6.- OERT L. DUVAL W. I. " GENERATION AND PROPAGATION OF STRAIN WAVES IN ROCK"
USBM. RI 4663, 1950.
- 7.- LANGFORS, U. KIHLMSTROM B. "THE MODERN TECHNIQUE OF ROCK BLASTING"
JOHN WILEY AND SONS N. Y. , E.U.
- 8.- HINO U. "FRAGMENTATION OF ROCK THROUGH BLASTING" Q. COLORADO SCHOOL OF MINES
- 9.- JHONSON MAJOR W. S. "EXPLOSIVE EXCAVATION TECHNOLOGY" ARMADA DE LOS E.U.
- 10.- RINEHART J.S. "FRACTURING UNDER IMPULSE LOSDING" UNIVERSITY OF MO-ROLLA E.U
- 11.-DUVALL W. I. ATCHISON T. C. "ROCK BREAKAGE BY EXPLOSIVES" USBM. RI 5356
USBM. RI 5356 1957
- 12.- SISKIND D. E. STECKLEY R. C. OLSEN J. J. "FRACTURING IN ZONE AROUND A
BLASTHOLE" MICHIGAN E. U.

- 13.- E. HOEY Y E.T. BROWN "EXCAVACIONES SUBTERRANEAS EN ROCA" MCGRAW HILL DE MEXICO 1980.
- 14.- SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL " EXPLOSIVOS MILITARES" MEXICO 1990
- 15.-STETTbacher A. "POLVORAS Y EXPLOSIVOS" ED. G. GILL S.A. BUENOS AIRES ARGENTINA.
- 16.- SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL. "LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS Y SU REGLAMENTO" ED. PORRUA MEXICO.
- 17.- CIA. MEXICANA DE EXPLOSIVOS S.A. "MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS" MEXICO.
- 18.- STARFIELD A. M. "STRAINING WAVES ENERGY IN ROCK BLASTING" UNIVERSIDAD DE MINESOTA.
- 19.- FIELD J. E. LADEGAARD PEDERSON A. "THE IMPORTANCE OF THE REFLECTED STRESS WAVES IN ROCK BLASTING" J. SCI.
- 20.- TOMROCK "HANDBOOK OF SURFACE DRILLING AND BLASTING" FINLANDIA
- 21.- SECRETARIA DE GUERRA Y MARINA "REGLAMENTO PARA LA COMPRA VENTA, FABRICACION TRANSPORTACION Y ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS, ARMAS Y MUNICIONES. MEXICO.